



GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS
SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO

PROJETO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL INTEGRADO E SUSTENTÁVEL

ELABORAÇÃO DAS CARTAS CLIMÁTICAS DO ESTADO DO TOCANTINS

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS

MAURO CARLESSE - Governador

Wanderlei Barbosa - Vice-Governador

SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO

Sandro Armando Henrique - Secretário

SECRETARIA EXECUTIVA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

Sergislei Silva de Moura - Secretário Executivo

SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO GOVERNAMENTAL

Romildo Leite Dias - Superintendente

DIRETORIA DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES TERRITORIAIS E SOCIOECONÔMICAS

Rodrigo Sabino Teixeira Borges - Diretor

GERÊNCIA DE ZONEAMENTO TERRITORIAL

Paulo Augusto Barros de Sousa - Gerente

EQUIPE TÉCNICA

Bruno Moure Cícero - Bacharel em Ciências Econômicas - Mestre em Desenvolvimento Regional e Agronegócio

Cecília Amélia Miranda Costa - Bacharel em Processamento de Dados - Mestre em Engenharia Ambiental

Ilda Celeste da Costa Martins - Tecnóloga em Gestão Ambiental

Joaquim Eduardo Manchola Cifuentes - Bacharel em Estatística - Doutor em Sociologia

Leandro Roeder - Bacharel em Ciências Econômicas

Paulo Augusto Barros de Sousa - Bacharel em Ciência da Computação - Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas

Rodrigo Sabino Teixeira Borges - Bacharel em Geografia - Mestre em Geografia

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS
SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO

PROJETO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL
INTEGRADO E SUSTENTÁVEL

ELABORAÇÃO DAS CARTAS CLIMÁTICAS
DO ESTADO DO TOCANTINS

Volume I

Palmas, 2020.

CRÉDITOS DE AUTORIA

TEXTO EXPLICATIVO

Marlos Henrique Batista
Dionara De Nardin
Débora de Souza Simões
Patrícia Porta Nova da Cruz
Jonas da Costa Carvalho

COLABORADORES

Bruno Palma
Cecília Jardim Reis Souza
Cláudio Ruschel
Cristiano Rocha
Diego dos Santos de Medeiros
Eduardo Appel de Vargas

Felipe Stroff

José Augusto Müller Neto
Luiz Alberto Marchiori
Márcio Colares de Lemos
Marco Antônio de Oliveira
Suzianny Salazar

ACOMPANHAMENTO TÉCNICO E ANÁLISE

ACOMPANHAMENTO TÉCNICO

Rodrigo Sabino Teixeira Borges
Leandro Roeder

ANÁLISE

Bruno Moure Cícero
Cecília Amélia Miranda Costa
Ilda Celeste da Costa Martins
Joaquin Eduardo M. Cifuentes

Leandro Roeder

Paulo Augusto Barros de Sousa
Rodrigo Sabino Teixeira Borges

BATISTA, Marlos Henrique; DE NARDIN, Dionara; SIMÕES, Débora de Souza; CRUZ, Patrícia Porta Nova; CARVALHO, Jonas da Costa

Secretaria da Fazenda e Planejamento (SEFAZ). Subsecretaria do Planejamento e Orçamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial (GZT). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins. Palmas: SEFAZ/GZT, 2020.

464 p., Ilust.

Série TOCANTINS / Recursos Naturais /Cartas Climáticas - v. 1.

Executado pelo Consórcio CODEX REMOTE Ciências Espaciais e Imagens Digitais Ltda. - GITEC BRASIL Consultoria Sócio-Ambiental Ltda. - GITEC-IGIP GMBH para a Secretaria da Fazenda e Planejamento, no âmbito do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável (PDRIS).

1. Cartas Climáticas. 2. Recursos Naturais. 3. Gestão Territorial. 4. Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico. 5. Estado do Tocantins. 6. Relatório. 7. Mapas.

I. Tocantins. Secretaria da Fazenda e Planejamento. II. Subsecretaria do Planejamento e Orçamento. III. Título.

CDU 504.5 (811)

Secretaria da Fazenda e Planejamento

Superintendência de Planejamento Governamental

Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas

Gerência de Zoneamento Territorial

AANO - Esplanada das Secretarias, s/n, Centro

CEP: 77.001-002, Palmas - TO

Tel: (63) 3212.4495 - 3212.4493

<http://www.sefaz.to.gov.br>

E-mail: ascom@sefaz.to.gov.br

Resumo

O inventário climático do Estado do Tocantins tem como objetivo apresentar aspectos gerais do clima, dinâmica atmosférica e elementos climáticos como precipitação pluviométrica, excedente e deficiência hídrica, temperaturas máxima, média e mínima do ar, umidade relativa do ar, evaporação, evapotranspiração de referência, insolação, nebulosidade, radiação solar global e a regionalização climática (índice hídrico, de umidade e de seca). Para o levantamento desses dados a metodologia baseou-se, inicialmente, na consulta as instituições e órgãos oficiais geradores das informações, como INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e ANA (Agência Nacional de Águas), por meio do acesso aos seus bancos de dados. Foram utilizados *software* de geoprocessamento e rotinas automatizadas para realizar a criação dos mapas. No diagnóstico também são apresentadas informações sobre números de dias de chuva, início de duração de período de chuva, ocorrência de veranicos, e índices de seca. Foram obtidas as curvas IDF (intensidade-duração-frequência) de chuvas intensas para os municípios de Araguatins, Darcinópolis, Tocantinópolis, Araguaína, Colinas do Tocantins, Pedro Afonso, Campos Lindos, Mateiros, Caseara, Pium, Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Gurupi, Peixe, Dianópolis, Natividade, Arraias, Paraíso do Tocantins, Porto Nacional e Palmas. Considerando a referência desses 20 municípios, são apresentados gráficos relacionados com a distribuição temporal e a frequência de duração a partir das variáveis associadas com a precipitação pluvial (duração do período de chuvas, número de dias de chuva, ocorrência de veranicos e índice de seca), cujo objetivo foi relacionar as principais culturas temporárias (abacaxi, arroz, cana-de-açúcar, feijão, melancia, milho, soja e sorgo) e permanentes (banana, caju e coco) para o estado do Tocantins. Foi considerado o Censo Agropecuário do IBGE de 2006 e 2017 para a construção dos mapas referente a cada cultivo. Os anos de atuação do fenômeno *El Niño* e *La Niña*, também foram considerados na distribuição temporal.



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE QUADROS	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XV
1. APRESENTAÇÃO	1
2. INTRODUÇÃO.....	3
3. METODOLOGIA.....	5
3.1. LISTAGEM DE MATERIAIS	8
3.1.1. <i>Dados meteorológicos do INMET.....</i>	<i>8</i>
3.1.2. <i>Dados pluviométricos da ANA.....</i>	<i>9</i>
3.1.3. <i>Dados base para confecção dos mapas.....</i>	<i>11</i>
3.1.4. <i>Quantitativo de dados e mapas gerados.....</i>	<i>11</i>
3.2. ANÁLISE CLIMÁTICA	12
3.2.1. <i>Movimentos atmosféricos na América do Sul e no Tocantins.....</i>	<i>12</i>
3.2.2. <i>Precipitação pluviométrica</i>	<i>13</i>
3.2.3. <i>Temperatura do ar</i>	<i>13</i>
3.2.4. <i>Umidade relativa do ar.....</i>	<i>16</i>
3.2.5. <i>Evaporação.....</i>	<i>17</i>
3.2.6. <i>Nebulosidade</i>	<i>18</i>
3.2.7. <i>Insolação</i>	<i>18</i>
3.2.8. <i>Radiação solar global.....</i>	<i>19</i>
3.2.9. <i>Evapotranspiração de referência</i>	<i>20</i>
3.2.10. <i>Número dos dias de chuva</i>	<i>22</i>
3.2.11. <i>Duração do período de chuva.....</i>	<i>22</i>
3.2.12. <i>Ocorrência de veranicos.....</i>	<i>23</i>
3.2.13. <i>Índice de seca</i>	<i>24</i>
3.2.14. <i>Índice hídrico</i>	<i>25</i>
3.2.15. <i>Excedente hídrico</i>	<i>26</i>
3.2.16. <i>Deficiência hídrica</i>	<i>26</i>
3.2.17. <i>Regionalização climática.....</i>	<i>27</i>
3.3. VARIABILIDADE CLIMÁTICA	35
3.4. MUDANÇAS CLIMÁTICAS	35
3.5. CURVAS DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF)	35
3.6. AVALIAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA	37
4. RESULTADOS.....	45
4.1. ANÁLISE CLIMÁTICA	45
4.1.1. <i>Contextualização geográfica geral do estado do Tocantins</i>	<i>46</i>
4.1.2. <i>Movimentos atmosféricos na América do Sul e no Tocantins.....</i>	<i>50</i>
4.1.3. <i>Precipitação pluviométrica</i>	<i>54</i>
4.1.4. <i>Temperatura do ar</i>	<i>61</i>
4.1.5. <i>Umidade relativa do ar.....</i>	<i>79</i>
4.1.6. <i>Evaporação.....</i>	<i>85</i>
4.1.7. <i>Nebulosidade</i>	<i>90</i>
4.1.8. <i>Insolação</i>	<i>94</i>

4.1.9.	<i>Radiação Solar Global</i>	98
4.1.10.	<i>Evapotranspiração de referência</i>	103
4.1.11.	<i>Número de dias de chuva</i>	108
4.1.12.	<i>Duração do período de chuva</i>	113
4.1.13.	<i>Ocorrência de veranicos</i>	117
4.1.14.	<i>Índice de seca</i>	120
4.1.15.	<i>Índice hídrico</i>	122
4.1.16.	<i>Excedente Hídrico</i>	124
4.1.17.	<i>Deficiência hídrica</i>	128
4.1.18.	<i>Regionalização climática</i>	132
4.2.	VARIABILIDADE CLIMÁTICA	141
4.3.	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	143
4.4.	CURVAS DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF)	145
4.4.1.	<i>Araguatins</i>	148
4.4.2.	<i>Darcinópolis</i>	154
4.4.3.	<i>Tocantinópolis</i>	159
4.4.4.	<i>Araguaína</i>	164
4.4.5.	<i>Campos Lindos</i>	169
4.4.6.	<i>Pedro Afonso</i>	174
4.4.7.	<i>Colinas do Tocantins</i>	179
4.4.8.	<i>Mateiros</i>	184
4.4.9.	<i>Palmas</i>	188
4.4.10.	<i>Porto Nacional</i>	194
4.4.11.	<i>Caseara</i>	199
4.4.12.	<i>Paraíso do Tocantins</i>	203
4.4.13.	<i>Pium</i>	208
4.4.14.	<i>Dianópolis</i>	211
4.4.15.	<i>Natividade</i>	215
4.4.16.	<i>Arraias</i>	219
4.4.17.	<i>Peixe</i>	223
4.4.18.	<i>Gurupi</i>	227
4.4.19.	<i>Formoso do Araguaia</i>	232
4.4.20.	<i>Lagoa da Confusão</i>	236
4.5.	AVALIAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA	242
4.5.1.	<i>Araguatins</i>	243
4.5.2.	<i>Darcinópolis</i>	253
4.5.3.	<i>Tocantinópolis</i>	264
4.5.4.	<i>Araguaína</i>	272
4.5.5.	<i>Campos Lindos</i>	284
4.5.6.	<i>Pedro Afonso</i>	293
4.5.7.	<i>Colinas do Tocantins</i>	303
4.5.8.	<i>Mateiros</i>	312
4.5.9.	<i>Palmas</i>	319
4.5.10.	<i>Porto Nacional</i>	330
4.5.11.	<i>Caseara</i>	341
4.5.12.	<i>Paraíso do Tocantins</i>	350
4.5.13.	<i>Pium</i>	359
4.5.14.	<i>Dianópolis</i>	368
4.5.15.	<i>Natividade</i>	376
4.5.16.	<i>Arraias</i>	383
4.5.17.	<i>Peixe</i>	390
4.5.18.	<i>Gurupi</i>	398
4.5.19.	<i>Formoso do Araguaia</i>	407
4.5.20.	<i>Lagoa da Confusão</i>	416



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	425
6. REFERÊNCIAS	427



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma das etapas do projeto.....	7
Figura 2. Localização das estações do INMET e ANA.....	10
Figura 3. Quantitativo de dados e mapas gerados ao longo do projeto.....	11
Figura 4. Exemplo comparativo de mapas de temperatura. (a) altitude não considerada (b) altitude considerada (resultado final).	15
Figura 5. Capacidade de Água Disponível para o estado do Tocantins.....	32
Figura 6. Mapa da Divisão Política Administrativa, com os limites das Regiões Programa.....	48
Figura 7. Mapa da Precipitação Pluviométrica anual no Tocantins, total acumulado, do período 1990 - 2019.	58
Figura 8. Mosaico com mapas da Precipitação Pluviométrica mensal no Tocantins, total acumulado, do período 1990 - 2019.....	60
Figura 9. Mapa da Temperatura Mínima Anual no Tocantins, dada em graus Celsius [°C]. Média do período 1990 – 2019.....	65
Figura 10. Mosaico com mapas de Temperatura Mínima Mensal no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média mensal do período 1990 – 2019.....	67
Figura 11. Mapa da Temperatura Máxima Anual no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média do período 1990 – 2019.....	70
Figura 12. Mosaico com mapas de Temperatura Máxima Mensal no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média mensal do período 1990 – 2019.....	73
Figura 13. Mapa da Temperatura Média Anual no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média do período 1990 – 2019.....	76
Figura 14. Mosaico com mapas de Temperatura Média Mensal no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média mensal do período 1990 – 2019.....	78
Figura 15. Mapa da Umidade Relativa do Ar Anual no Tocantins, dada em porcentagem [%]. Média do período 1990 – 2019.....	81
Figura 16. Mosaico com mapas de Umidade Relativa do Ar Mensal no Tocantins, dada porcentagem [%]. Média mensal do período 1990 – 2019.....	84
Figura 17. Mapa da Evaporação Anual no Tocantins, dada em milímetro [mm]. Média do período 1990 – 2017.	87
Figura 18. Mosaico com mapas de Evaporação no Tocantins, dada em milímetro [mm]. Média mensal do período 1990 – 2017.	89
Figura 19. Mapa da Nebulosidade Anual no Tocantins, dada em porcentagem [%]. Média do período 1990 – 2019.....	91
Figura 20. Mosaico com mapas de Nebulosidade no Tocantins, dada em porcentagem [%]. Média mensal do período 1990 – 2019.....	93
Figura 21. Mapa da Insolação Total Anual no Tocantins, dada em horas. Média do período 1990 – 2019.	95
Figura 22. Mosaico com mapas de Insolação no Tocantins, dada em horas. Média mensal do período 1990 – 2019.....	97
Figura 23. Mapa da Radiação Solar Global Anual no Tocantins, dada em [KJm ⁻²]. Média do período 2007 – 2019.....	100
Figura 24. Mosaico com mapas de Radiação Solar Global no Tocantins, dada em [KJ.m ⁻²]. Média mensal do período 2007 – 2019.....	102
Figura 25. Mapa da Evapotranspiração de Referência Total Anual no Tocantins, dado em milímetros [mm]. Média do período 2007 - 2019.....	105
Figura 26. Mosaico com mapas da Evapotranspiração de Referência mensal no Tocantins, dado em milímetros. Média mensal do período 2007 - 2019.	107

Figura 27. Mapa do Número dos Dias de Chuva no Tocantins, dado em dias. Média do período 1990 - 2019.	110
Figura 28. Mosaico com mapas do Número dos Dias de Chuva no Tocantins, dado em dias. Média mensal do período 1990 - 2019.	112
Figura 29. Mapa da Duração do Período de Chuva no Tocantins, dado em dias. Média do período 1990 - 2019.	116
Figura 30. Mapa da Ocorrência de Veranicos no Tocantins, dado em contagem numérica [número]. Média do período 1990 - 2019.	119
Figura 31. Mapa do Índice de Seca no Tocantins, dado em classes. Período dos dados de 1990 - 2019.	121
Figura 32. Mapa do Índice Hídrico no Tocantins, dado em classes. Período dos dados de 1990 - 2019.	123
Figura 33. Mapa do Excedente Hídrico no Tocantins, dado em milímetros [mm]. Média do período 1990 - 2019.	125
Figura 34. Mosaico com mapas do Excedente Hídrico mensal no Tocantins, dado em milímetro [mm]. Média mensal do período 1990 - 2019.	127
Figura 35. Mapa da Deficiência Hídrica no Tocantins, dado em milímetros [mm]. Média do período 1990 - 2019.	129
Figura 36. Mosaico com mapas da Deficiência Hídrica mensal no Tocantins, dado em milímetro [mm]. Média mensal do período 1990 - 2019.	131
Figura 37. Mapa da Classificação Climática de Köppen-Geiger para o estado do Tocantins.	134
Figura 38. Mapa da Regionalização Climática para o estado do Tocantins, pelo modelo de classificação de Thornthwaite-Mather.	138
Figura 39. Mapa da distribuição espacial dos gráficos ombrotérmicos da Classificação Climática de Gaussen para o estado do Tocantins.	140
Figura 40. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Araguatins. Dados do período 1990 - 2019.	153
Figura 41. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Darcinópolis. Dados do período 1990 - 2019.	158
Figura 42. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Tocantinópolis - TO. Dados do período 1990 - 2019.	163
Figura 43. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Araguaína - TO. Dados do período 1990 - 2019.	168
Figura 44. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Campos Limpos - TO. Dados do período 1990 - 2019.	173
Figura 45. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Pedro Afonso - TO. Dados do período 1990 - 2019.	178
Figura 46. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Colinas do Tocantins - TO. Dados do período 1990 - 2019.	183
Figura 47. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Mateiros - TO. Dados do período 1998 - 2019.	187
Figura 48. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Palmas - TO. Dados do período 1990 - 2017.	193
Figura 49. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Porto Nacional - TO. Dados do período 1990 - 2019.	198
Figura 50. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Caseara - TO. Dados do período 1990 - 2019.	202
Figura 51. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Paraíso do Tocantins - TO. Dados do período 1990 - 2019.	207
Figura 52. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Pium - TO. Dados do período 1990 - 2019.	210



Figura 53. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Dianópolis - TO. Dados do período 1990 – 2019.	214
Figura 54. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Natividade - TO. Dados do período 1990 – 2019.	218
Figura 55. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Arraias - TO. Dados do período 1990 – 2019.	222
Figura 56. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Peixe - TO. Dados do período 1990 – 2019.	226
Figura 57. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Gurupi - TO. Dados do período 1993 – 2019.	231
Figura 58. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Formoso do Araguaia - TO. Dados do período 1990 – 2019.	235
Figura 59. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Lagoa da Confusão - TO. Dados do período 2004 – 2019.	239
Figura 60. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Araguatins. Período dos dados de 1990 - 2019.	245
Figura 61. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Araguatins – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.	250
Figura 62. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas de duração do período chuvoso [dias], números de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Darcinópolis. Período dos dados de 1990 - 2019.	256
Figura 63. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Darcinópolis – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.	260
Figura 64. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas de duração do período chuvoso [dias], números de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Tocantinópolis. Período dos dados de 1990 – 2019.	267
Figura 65. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Tocantinópolis – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	270
Figura 66. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Araguaína – TO. Período dos dados de 1990 – 2019.	274
Figura 67. Gráfico de focos de queimadas no município de Araguaína – TO, elaborado a partir de dados do INPE do período de 2000 – 2019.	276
Figura 68. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Araguaína – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.	280
Figura 69. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Campos Lindos - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	285
Figura 70. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Campos Lindos – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	290
Figura 71. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Pedro Afonso - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	295
Figura 72. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Pedro Afonso – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.	300

Figura 73. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Colinas do Tocantins - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	305
Figura 74. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Colinas do Tocantins – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.	309
Figura 75. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Mateiros - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	314
Figura 76. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Mateiros – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	317
Figura 77. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Palmas - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	321
Figura 78. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Palmas – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.	326
Figura 79. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Porto Nacional - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	332
Figura 80. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Porto Nacional – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	337
Figura 81. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Caseara - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	345
Figura 82. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Caseara – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.	346
Figura 83. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Paraíso do Tocantins - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	352
Figura 84. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Paraíso do Tocantins – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.	355
Figura 85. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Pium - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	361
Figura 86. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Pium – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	364
Figura 87. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Dianópolis - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	369
Figura 88. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Dianópolis – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	373
Figura 89. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Natividade - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	378
Figura 90. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Natividade – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	381



Figura 91. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Arraias - TO (estação de Conceição do Tocantins). Período dos dados de 1990 - 2019.....	384
Figura 92. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Arraias – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.....	388
Figura 93. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Peixe - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	392
Figura 94. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Peixe – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.....	395
Figura 95. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Gurupi - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	400
Figura 96. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Gurupi – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	403
Figura 97. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Formoso do Araguaia - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	409
Figura 98. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Formoso do Araguaia – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	413
Figura 99. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Lagoa da Confusão - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.	418
Figura 100. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Lagoa da Confusão – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.	421



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Subtipos climáticos baseados no índice de seca de Thornthwaite e Mather.	25
Tabela 2. Subtipos climáticos baseados no índice hídrico de Thornthwaite e Mather.	25
Tabela 3. Grupo climático principal dado pela Classificação Climática de Köppen-Geiger.	28
Tabela 4. Subgrupo climático da Classificação Climática de Köppen-Geiger.	28
Tabela 5. Subgrupo climático da Classificação Climática de Köppen-Geiger, usado para distinguir climas com diferentes variações de temperatura do ar.	29
Tabela 6. Tipos climáticos baseados no índice de umidade de Thornthwaite e Mather.	33
Tabela 7. Critérios dos tipos climáticos encontrados no Tocantins segundo o modelo de classificação climática de Thornthwaite-Mather.	135
Tabela 8. Tempos de retorno adotados para projetos de estruturas de drenagem.	147
Tabela 9. Relações de altura de chuva entre durações sugeridas pela CETESB para o Brasil.	148
Tabela 10. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh ⁻¹] em Araguatins – TO, obtida pela distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.	150
Tabela 11. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh ⁻¹] em Araguatins – TO, obtida pela equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.	150
Tabela 12. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh ⁻¹] em Darcinópolis – TO, obtida pela distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.	156
Tabela 13. Estimativa da precipitação máxima diária anual para Tocantinópolis – TO, considerando diferentes tempos de retorno (TR).	160
Tabela 14. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh ⁻¹] do Tocantinópolis – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno adequados a projetos de microdrenagem.	161
Tabela 15. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh ⁻¹] em Araguaína – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno de 10 e 20 anos.	166
Tabela 16. Intensidade da precipitação máxima diária para o mês de novembro [mmh ⁻¹] em Araguaína – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempo de retorno de 50 anos.	167
Tabela 17. Intensidade da precipitação [mmh ⁻¹] em Pedro Afonso – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno de 2, 20 e 50 anos.	175
Tabela 18. Intensidade da precipitação [mmh ⁻¹] em Pedro Afonso – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno de 2, 20 e 50 anos.	176
Tabela 19. Intensidade da precipitação [mmh ⁻¹] em Colinas do Tocantins – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno adequados a projetos de drenagem urbana.	180
Tabela 20. Intensidade da precipitação [mmh ⁻¹] em Mateiros – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando eventos com durações de 5, 60 e 1440 minutos e todos os tempos de retorno do estudo.	186
Tabela 21. Intensidade da precipitação [mmh ⁻¹] em Palmas – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.	189
Tabela 22. Intensidade da precipitação [mmh ⁻¹] em Palmas – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.	190
Tabela 23. Intensidade de precipitação [mmh ⁻¹] em Palmas – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, para o quadrimestre mais chuvoso, considerando eventos com duração de 5, 60 e 1440 minutos e tempos de retorno adotados no estudo.	191
Tabela 24. Intensidade de precipitação [mmh ⁻¹] em Palmas – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, para o trimestre mais seco, considerando eventos com duração de 5, 60 e 1440 minutos e tempos de retorno adotados no estudo.	191

Tabela 25. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Porto Nacional – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.....	196
Tabela 26. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Porto Nacional – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.....	196
Tabela 27. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Paraíso do Tocantins – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.....	204
Tabela 28. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Paraíso do Tocantins – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.....	205
Tabela 29. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Gurupi – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.....	228
Tabela 30. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Gurupi – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.....	229
Tabela 31. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Gurupi – TO, do mês de maio, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.....	230
Tabela 32. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Formoso do Araguaia – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando eventos com durações de 5, 60 e 1440 minutos e todos os tempos de retorno do estudo.....	233
Tabela 33. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Formoso do Araguaia – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando eventos com durações de 5, 60 e 1440 minutos e todos os tempos de retorno do estudo.....	233



LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Exemplo da adição de altitude.	14
Quadro 2. Variáveis meteorológicas disponíveis nas estações do INMET.	21
Quadro 3. Equações da FDP Gama 2P e dos parâmetros β e v	36
Quadro 4. Resumo das equações de intensidade de precipitação obtidas para municípios do estado do Tocantins.	241



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a	Constante usada no cálculo da radiação no topo da atmosfera ($a = 0,29\cos\phi$)
ADTUR	Agência de Desenvolvimento Turístico
AGUASPARANÁ	Instituto das Águas do Paraná
ADETUC	Agência do Desenvolvimento do Turismo, Cultura e Economia Criativa
AB	Alta da Bolívia
a, b, c	Constantes usadas na equação de intensidade de precipitação intensa
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
ASAS	Altas Subtropicais do Atlântico Sul
ASAN	Altas Subtropicais do Atlântico Norte
ATC	Anticiclone Tropical Continental
b	Constante usada no cálculo da radiação no topo da atmosfera ($b = 0,52$)
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BHC	Balanço Hídrico Climatológico
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
BN	Baixa do Nordeste
BOC	Balanço de Radiação de Ondas Curtas
BOL	Balanço de Radiação
β	Parâmetro da Função de Distribuição de Probabilidade Gama 2P
CAD	Capacidade máxima de água disponível
CC	Capacidade de Campo
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CD	Compact Disc
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COHIDRO	Cohidro Consultoria, Estudos e Projetos Ltda
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONSTRUFAM	Construfam Engenharia e Empreendimentos Ltda
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
CV	Coefficiente de Variação
Δ	Declividade da curva do déficit da pressão de vapor
DAEE/SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
DAIARA	Distrito Agroindustrial de Araguaína
DEF	Deficiência Hídrica
e ou e_a	Pressão de Vapor
EC1	Fase de crescimento do sorgo

EC2	Fase inicial da panícula até o florescimento do sorgo
EC3	Fase da afloração até a maturação fisiológicas do sorgo
EESGT	Estação Ecológica Serras Geral do Tocantins
EMA	Estação meteorológica automática
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
EPAGRI/SC	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa
e_s	Pressão de Saturação de Vapor
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ET_0	Evapotranspiração de Referência
ET_p	Evapotranspiração Potencial
EXC	Excedente hídrico
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FDP	Função de Distribuição de Probabilidade
G	Fluxo de Calor no Solo
g	Coeficiente de assimetria de uma população estatística
γ	Constante psicrométrica
$\Gamma(v)$	Função de Distribuição de Probabilidade Gama 2P
GDB	Geodatabase
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
H_{SRTM}	Altitude extraída do SRTM
I	Intensidade da precipitação pluviométrica
I_a	Índice de Seca ou de Aridez
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
ID	Índice de Desconforto
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IGAM/MG	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
I_h	Índice Hídrico
ILF	Integração Lavoura-Floresta
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPCC-R5	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change - Fifth Assessment Report</i>



IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
ISA	International Standard Atmosphere
I_u	Índice de Umidade
K	Constantes usadas na equação de intensidade de precipitação intensa
LICON	Linha de Instabilidade Continental
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MATOIIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
Md	Mediana de uma população estatística
MDE	Modelo Digital de Elevação
mEa	Massa de ar Equatorial Atlântica
MEAN	Massa de ar Equatorial do Atlântico Norte
mEc	Massa Equatorial Continental
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MONACC	Monumento Natural Canyons e Corredeiras do Rio Sono
mPa	Massa Polar Atlântica
mTa	Massa Tropical Atlântica
MTUR	Ministério do Turismo
MXD	Map Exchange Document
N	Tamanho da amostra
N*	Comprimento do dia
n	Horas de brilho solar
ν	Parâmetro da Função de Distribuição de Probabilidade Gama 2P
NC	Número de classe
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Pressão Atmosférica
PAM	Produção Agrícola Municipal
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PIB	Produto Interno Bruto
pdf	<i>Portable Document Format</i>
PEJ	Parque Estadual do Jalapão
PMP	Ponto de Murcha Permanente
PNIH	Plano Nacional de Integração Hidroviária
PNNRP	Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba
ProperTins	Programa de perenização das águas do Tocantins
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PDITS	Planos de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável

Qualiágua	Programa de fomento ao monitoramento da qualidade da água
R	Estádio reprodutivo das plantas
R_a	Radiação Solar no Topo da Atmosfera
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RPPN	Reservas Particulares do Patrimônio Natural
R5	Estádio reprodutivo de início da floração do feijão (pré-floração)
R9	Estádio reprodutivo de maturação do feijão
R_n	Saldo de Radiação
R_s	Radiação Solar Global
R_{s_0}	Radiação Solar em Condições de Céu Claro
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
s	Desvio padrão de uma população estatística
s^2	Variância de uma população estatística
SECOM	Secretaria da Comunicação
SEFAZ/TO	Secretaria da Fazenda e Planejamento/Governo do Estado do Tocantins
SEMADES	Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEPLAN	Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SPD	Sistema de Plantio Direto
SRTM	<i>Topográfica Radar Shuttle</i>
t	Duração do evento de chuva intensa
T	Temperatura do ar
t_{00}	Temperatura do ar às 00h TMG
t_{12}	Temperatura do ar às 12h TMG
T_k	Temperatura do ar obtida através da krigagem
$t_{máx}$	Temperatura máxima do ar
$t_{méd}$	Temperatura média compensada do ar
$t_{mín}$	Temperatura mínima do ar
TMG	Tempo Médio de Greenwich
TR	Tempo de Retorno
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TVVT	Taxa de Variação Vertical da Temperatura
U	Umidade relativa do ar
u_2	Velocidade do Vento Medida a 2 m acima do Solo
UFC	Universidade Federal do Ceará
UHE	Usina Hidrelétrica
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
V	Estádio vegetativo das plantas



V0	Estádio vegetativo de germinação do feijão
V4	Estádio vegetativo com a Terceira folha trifoliolada aberta
VC	Estádio vegetativo de cotilédone da soja
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VE	Estádio vegetativo de emergência da soja
Vn	Estádio vegetativo de número de nós da soja
VT	Estádio vegetativo de pendoamento do milho
WMO	World Meteorological Organization
χ^2	Teste de Aderência Qui-quadrado
\bar{x}	Média de uma população estatística
x_i	Valor de um elemento de uma população estatística
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropica



1. Apresentação

O relatório técnico DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO é parte integrante do trabalho de *Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins* ^[1]. Este trabalho foi executado no âmbito do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável (PDRIS), componente Melhoramento da Eficiência dos Serviços Públicos numa Seleção de Serviços Públicos, com recursos do Tesouro Estadual e do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) ^[2].

O objetivo principal do projeto de *Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins* é a sistematização, a representação espacial, a caracterização, a cenarização e a análise de informações climáticas no estado do Tocantins em escalas temporais compatíveis com as atividades agrícolas (mensais, estacionais e anuais), gerando-se base de dados geoespacial, relatórios analíticos e mapas.

Em síntese, foram gerados 4.914 mapas a partir de 8 variáveis básicas (Precipitação Pluviométrica, Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Insolação, Nebulosidade, Radiação Solar Global, Evaporação, Evapotranspiração de Referência) e 8 variáveis derivadas (Número de Dias de Chuva, Duração do Período de Chuva, Ocorrência de Veranicos, Excedente Hídrico, Deficiência Hídrica, Índice de Seca, Índice Hídrico e as Regionalizações Climáticas - Thornthwaite-Mather, Köppen-Geiger e Gaussen). A elaboração das Cartas Climáticas, em escala 1:250.000, permitiu a geração de 4.350 mapas e 21.106 camadas vetoriais. Já as Cartas Climáticas, em escala 1:1.000.000, representam 528 mapas e 894 camadas vetoriais. As escalas 1:3.000.000 e 1:19.000.000 foram utilizadas para apresentar as 16 variáveis analisadas nos relatórios, totalizando 36 mapas. Os dados vetoriais estão presentes em um banco de dados geográficos, estruturado em ambiente ArcGIS, contendo os dados e metadados relativos às atividades/produtos desenvolvidos.

O relatório tem como finalidade realizar um diagnóstico climático completo, descrevendo os procedimentos metodológicos utilizados na elaboração do mapeamento de cada variável climática, bem como as análises estaduais que integram aspectos gerais do clima, dinâmica atmosférica e elementos climáticos, relacionando as curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas intensas para os municípios que apresentam áreas ocupadas por culturas temporárias e permanentes do Tocantins.

^[1] A *Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins* foi executada por meio de contrato de prestação de serviços especializados firmado entre a **Secretaria da Fazenda e Planejamento** e o **Consórcio CODEX REMOTE Ciências Espaciais e Imagens Digitais Ltda. - GITEC BRASIL Consultoria Sócio-Ambiental Ltda. - GITEC-IGIP GMBH**, por meio do contrato nº 45/2019.

^[2] Contrato de empréstimo nº 8185-0-BR.



2. Introdução

O relatório de diagnóstico climático do território tocantinense baseia-se nas informações sistematizadas ao longo do trabalho, integrando fatores como aspectos gerais do clima, dinâmica atmosférica e elementos climáticos. Serão identificados e analisados os principais condicionantes internos e externos, bem como as principais variações identificadas no território do Tocantins, associadas a fenômenos de interação oceano-atmosfera de grande magnitude (*El Niño e La Niña*), além dos principais fatores climáticos que influenciam na dinâmica climática tocantinense. Para a regionalização climática serão consideradas as classificações de Gaussen, Köppen-Geiger e Thornthwaite-Mather, considerando-se as variáveis que permitem a identificação e explicação de variações em nível regional.

O estudo dos fenômenos isolados da atmosfera e do tempo atmosférico é de competência da Meteorologia, que pertence ao campo das ciências naturais (ramo da Física). Ela também trabalha com instrumentos para a mensuração dos elementos e fenômenos atmosféricos, cujos registros e criação de uma fonte de dados é essencial para os estudos da climatologia. A Climatologia se dedica ao estudo da espacialização dos elementos e fenômenos atmosféricos e de sua evolução, compondo o campo das ciências humanas (Geografia Física), que por sua vez estuda o espaço geográfico a partir da interação entre a sociedade e a natureza. Ela trata dos padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do Planeta durante um longo período de tempo. Portanto, o clima é o comportamento médio dos elementos atmosféricos.

O conhecimento sistemático e detalhado da natureza condiciona o nível de compreensão do clima de determinado local. Conhecer a atual climatologia do estado do Tocantins possibilitará definir onde, quando, como e quais os produtos agrícolas que podem ser cultivados e explorados economicamente e de forma sustentável; fornecer subsídios para garantir maior produtividade, melhorar a circulação de mercadorias e pessoas, aumentar a assertividade de tomada de decisões no que tange a segurança social, ambiental e econômica; gerir de forma mais consciente a organização do espaço. Este diagnóstico também possibilitará o tratamento de fenômenos atmosféricos que ocorrem de forma eventual ou esporádica, como secas prolongadas ou enchentes repentinas, tendo-se em vista que estes são os fenômenos que causam maior impacto às atividades humanas.

Neste diagnóstico serão realizadas avaliações dos elementos derivados diretamente da precipitação, temperatura, umidade, velocidade e direção do vento e radiação solar para o desenvolvimento da atividade agrícola no Tocantins. Também serão analisadas informações sobre números de dias de chuva, início e duração de período de chuva, ocorrência de veranicos, e índices de seca, e estabelecer sua duração e frequência em conformidade com as principais culturas temporárias e permanentes. Serão analisadas as culturas de soja, arroz, milho, feijão, sorgo, cana-de-açúcar, abacaxi, melancia, banana, caju e coco da baía. Será dada ênfase na análise espacial das regiões/municípios com maior área ocupada por atividades agrícolas.

Serão obtidas as curvas de intensidade, duração e frequência (IDF) e elaborados os estudos de intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para os municípios de Araguatins, Darcinópolis, Tocantinópolis, Araguaína, Colinas do Tocantins, Pedro Afonso, Campos Lindos, Mateiros, Caseara, Pium, Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Gurupi, Peixe, Dianópolis, Natividade, Arraias,

Paraíso do Tocantins, Porto Nacional e Palmas. As informações serão analisadas como apoio para monitoramento de sistemas de drenagem hidráulica urbanas e rodoviárias, obras de artes (bueiros), defesa civil, atividades de licenciamento e monitoramento ambientais, e empreendimentos agropecuários.

Serão contextualizadas as temáticas mapeadas nas Cartas Climáticas em escala 1:250.000 e 1:1.000.000: regionalização climática; precipitação pluviométrica; excedente e deficiência hídrica; temperaturas máxima, média e mínima do ar; umidade relativa do ar; evaporação; evapotranspiração de referência; insolação; nebulosidade; e radiação solar global.

Este produto conterà a descrição de caráter técnico-científico da execução do trabalho abordando os materiais e métodos empregados, resultados e discussão dos resultados, além das conclusões e recomendação de ações do poder público. O Apêndice Digital, que faz parte deste produto, apresenta os dados geoespaciais vetoriais no formato *file geodatabase (gdb)* com um dicionário de dados explicando a estrutura proposta em planilha *com a extensão .xlsx*, o projeto *ESRI ArcGIS (mxd)* na versão 10.4 com a composição das camadas que geram os mapas e por fim, os mapas derivados como figuras na extensão *.pdf*.

O Apêndice A apresenta as informações sobre a nomenclatura da estrutura dos geodatabases e mapas. O Apêndice B apresenta a tabela com informações do conteúdo das colunas de atributos dos planos de informações do geodatabase final. O Apêndice C apresenta a descrição do conteúdo dos metadados dos planos de informações. O Apêndice D mostra as informações das estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas.



3. Metodologia

A metodologia utilizada baseou-se no conjunto de dados e informações sistematizados nos produtos anteriores deste estudo. Também foram geradas novas informações para atender demandas específicas deste diagnóstico.

Para o levantamento dos dados a metodologia baseou-se, inicialmente, na consulta aos dados já disponibilizados pelas instituições e órgãos oficiais geradores das informações, como Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do acesso aos seus bancos de dados, sistematizados ou não, disponibilizados em seus websites. A fim de complementação e preenchimento das lacunas, parte dos dados foram obtidos por meio de contato direto com as instituições e órgãos, via e-mail e/ou telefone.

Como um primeiro controle de qualidade dos dados disponíveis, foi realizada uma análise espacial das informações para verificar a distribuição geográfica das estações disponíveis, que serão descritas a seguir, dentro da área de interesse. De modo concomitante, foi realizada uma avaliação dos períodos de dados disponíveis a partir de cada uma das estações, com o objetivo de identificar e uniformizar o período das informações.

Para a análise climatológica, foi selecionado o período entre janeiro de 1990 e dezembro de 2019, resultando em 30 anos de dados válidos, estando de acordo com as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM) para estabelecimento de dados climatológicos (WMO, 2011). Já nas estações que não dispunham do total citado, foram consideradas aquelas em que as séries históricas contassem com dados válidos superiores a uma década, conforme sugere o Termo de referência – TDR do projeto, pois segundo a OMM valores obtidos para períodos de 10 anos são tão representativos da climatologia local quanto valores de 30 anos. Com a devida definição e adequação do período, escolheu-se estações localizadas dentro dos limites geográficos do estado do Tocantins e aquelas além dos limites estaduais que se encontram até 165km.

As médias climáticas devem ser calculadas para o maior número possível de estações, sujeito ao requisito de que a estação atenda aos padrões da quantidade e integridade dos dados disponíveis. A inserção de novas estações ocorreu com o objetivo de aumentar a quantidade de informações e melhorar os resultados das interpolações para a geração das cartas climáticas, seguindo recomendações da OMM que sugerem o uso de estações cujo raio de abrangência amplie os limites do estudo, tanto para o preenchimento de falhas como para melhoria de resultados.

Médias obtidas a partir de conjuntos de dados incompletos podem ser tendenciosas, por isso a OMM orienta que as médias devem ser calculadas apenas quando os valores estão disponíveis por pelo menos 65% do período de registro, podendo este percentual ser mais restritivo, devendo ser atendido o critério 5:10, que manda descartar séries com dados faltantes em cinco períodos consecutivos ou dez alternados. Após as definições do período da série de dados e da distribuição espacial das estações meteorológicas, procedeu-se com a organização das planilhas, por variável e por estação meteorológica. Deste modo, foram eliminadas as falhas de dados nas séries, tanto nas estações convencionais quanto nas automáticas, sendo descartados os meses que apresentem menos de 75% de dados. Esta metodologia se aplica aos dados dos quais seriam efetuados cálculos de médias mensais e diárias (só de estações automáticas), e a todas as variáveis meteorológicas com exceção

da precipitação pluviométrica, radiação solar, insolação, evapotranspiração de referência e evaporação. Estas variáveis possuem características peculiares nas quais não se aplica o cálculo de valores médios, suas medidas representam valores acumulados, logo, não são obtidos dados anuais (ou mensais, ou diários) se estiver faltando um único dado mensal (ou diário, ou horário) na série histórica em análise, segundo normas estabelecidas pela OMM e o INMET.

Com a organização dos dados e a eliminação de falhas, foi possível realizar o cálculo de médias, de acumulados (soma) e de parâmetros necessários ao estudo de interesse, utilizando-se banco de dados e planilhas eletrônicas, para a posterior composição dos mapas climatológicos.

Para a geração dos mapas de média mensal obteve-se a variável para cada mês da série histórica, e por fim determinou-se um valor médio para o mês em tratamento. Por exemplo, os mapas de média mensal de janeiro contemplam a média dos valores de cada um dos janeiros obtidos no decorrer dos 30 anos da série de dados, ou seja, se obtém um mapa para cada mês de janeiro com a média do acumulado mensal de 30 anos.

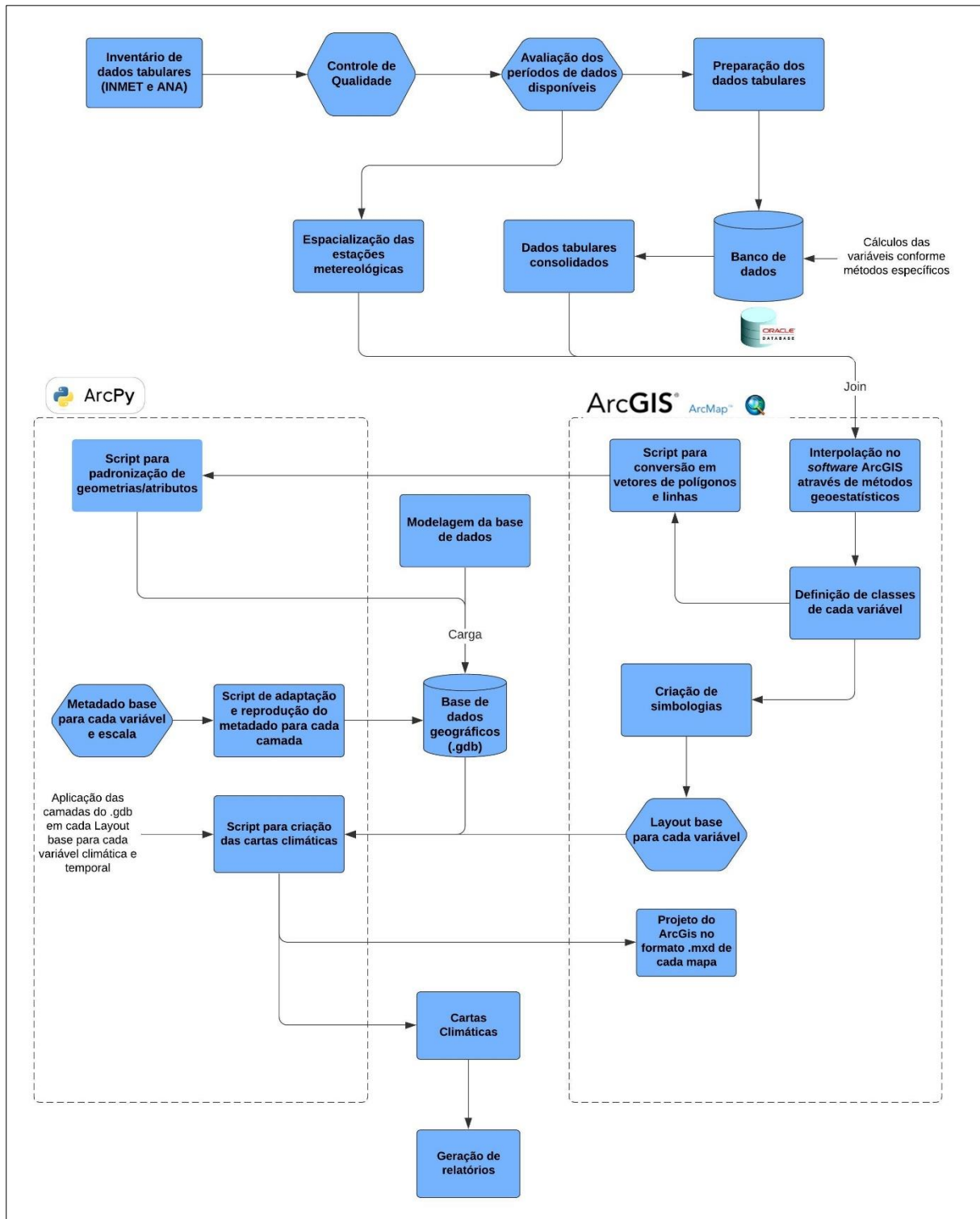
Os mapas de acumulado anual foram obtidos através do valor acumulado da variável no decorrer de cada ano da série histórica em estudo. Sendo assim, por exemplo, o mapa de precipitação anual do ano de 1995 contempla a precipitação acumulada ao longo de todo o ano de 1995, então, obtém-se um mapa para cada ano.

Já os mapas de total anual, que representam a média total da série histórica, foram confeccionados efetuando-se a média do somatório dos valores obtidos em cada um dos anos, ou seja, somou-se todos os valores anuais, obtidos em cada ano da série de dados, e dividiu-se o resultado pelo total de anos da série, resultando em um único mapa com a média de 30 anos.

Após a execução dos cálculos de todas as variáveis, foi possível gerar o processo de interpolação, cuja metodologia está detalhada nos itens apresentados a seguir para cada temática. Com os dados interpolados para cada escala, foram definidos os intervalos das classes e foi possível gerar os arquivos vetoriais de linhas e polígonos, realizar recortes a partir dos limites estaduais e das folhas das cartas, padronizar os sistemas de coordenadas e projeção e, por fim, com os *scripts* no ArcPy, foi possível padronizar os atributos e fazer a carga na base de dados, cuja estrutura seguiu a padronização estabelecida na modelagem do banco de dados. Com a criação das camadas nas escalas solicitadas, foi possível inserir os metadados e associar cada feição vetorial com as simbologias específicas criadas para cada variável nos *layouts* dos projetos no ArcGIS (.mxd) e através do ArcPy foi possível finalizar a sistematização das cartas climáticas (Figura 1).



Figura 1. Fluxograma das etapas do projeto.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

3.1. Listagem de materiais

Neste item são apresentadas as fontes de dados para compor cada uma das variáveis utilizadas na confecção das cartas climáticas.

3.1.1. Dados meteorológicos do INMET

Foram selecionadas 47 estações do INMET, sendo 16 (dezesesseis) estações meteorológicas convencionais e 31 (trinta e uma) estações automáticas.

De acordo com a nota técnica do INMET de nº 001/2011³, uma estação meteorológica automática (EMA) efetua, de minuto a minuto, a coleta pontual de dados das seguintes variáveis meteorológicas: temperatura do ar [°C], umidade relativa do ar [%], temperatura do ponto de orvalho [°C], pressão atmosférica [hPa], precipitação [mm], direção [°] e velocidade [ms⁻¹] do vento, rajada de vento [ms⁻¹] e radiação solar [kJm⁻²].

A cada hora, estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília. Recebidos, estes dados são validados através de um controle de qualidade e na sequência são armazenados em um banco de dados.

Os dados são disponibilizados de forma gratuita, em tempo real, na plataforma online⁴, porém com consulta restrita aos 365 dias mais recentes, com a finalidade de auxiliar em pesquisas relacionadas a oceanografia, hidrologia, meteorologia, sensoriamento remoto, entre outras áreas de pesquisa, na elaboração de previsão do tempo e produtos meteorológicos.

Neste estudo o período de análise abrange 30 anos, de janeiro de 1990 a dezembro de 2019. Sendo assim, o recebimento dos dados das estações automáticas exigiu a solicitação ao INMET via e-mail, que, após 30 dias, os encaminhou em formato digital em CD por meio de correspondência.

Os dados das estações convencionais foram baixados do banco de dados do INMET. O Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) disponibiliza dados meteorológicos diários em formato digital. Ele possui séries históricas das várias estações meteorológicas convencionais com informações de medições diárias que são coletadas de acordo com as normas técnicas internacionais da OMM.

Em uma estação meteorológica convencional há vários sensores isolados que registram continuamente os parâmetros meteorológicos. Essas medidas são lidas e anotadas por um observador em horários pré-determinados (horários sinóticos) que na sequência os envia a um centro coletor por um meio de comunicação qualquer.

Da série de dados disponíveis nas estações convencionais, para este projeto foram utilizados: temperatura máxima do ar [°C]; temperatura mínima do ar [°C]; temperatura compensada média do ar [°C]; precipitação total [mm]; insolação [horas]; evaporação [mm]; umidade relativa média [%]; nebulosidade média [décimos].

³ Disponível em http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf

⁴ Disponível em <https://portal.inmet.gov.br/>.



3.1.2. Dados pluviométricos da ANA

Para complementar as variáveis de precipitação, dias de chuva e duração do período chuvoso foram utilizados os dados pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA).

A Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), é uma rede de monitoramento das águas do Brasil. Com mais de 4.641 pontos de coleta de dados espalhados por todo o país, monitora através de suas estações pluviométricas parâmetros relacionados aos rios como: cota, perfil transversal, resumo de descarga, nível, vazão, qualidade da água e transporte de sedimentos; e com suas estações pluviométricas coletam dados de precipitação.

A RHN é de responsabilidade da ANA, sobretudo pelo planejamento, normatização de procedimentos e equipamentos, fiscalização, organização dos dados hidrometeorológicos e sua publicação. As estações hidrometeorológicas da RHN são operadas por entidades parceiras ou contratadas pela ANA, tendo atualmente como responsáveis pela operação: o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/SC), o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE/SP), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM/MG), o Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ) e as empresas contratadas Cohidro Consultoria, Estudos e Projetos Ltda. (COHIDRO), Construfam Engenharia e Empreendimentos Ltda. (CONSTRUFAM) e Universidade Federal do Ceará (UFC) (SNIRH, 2019).

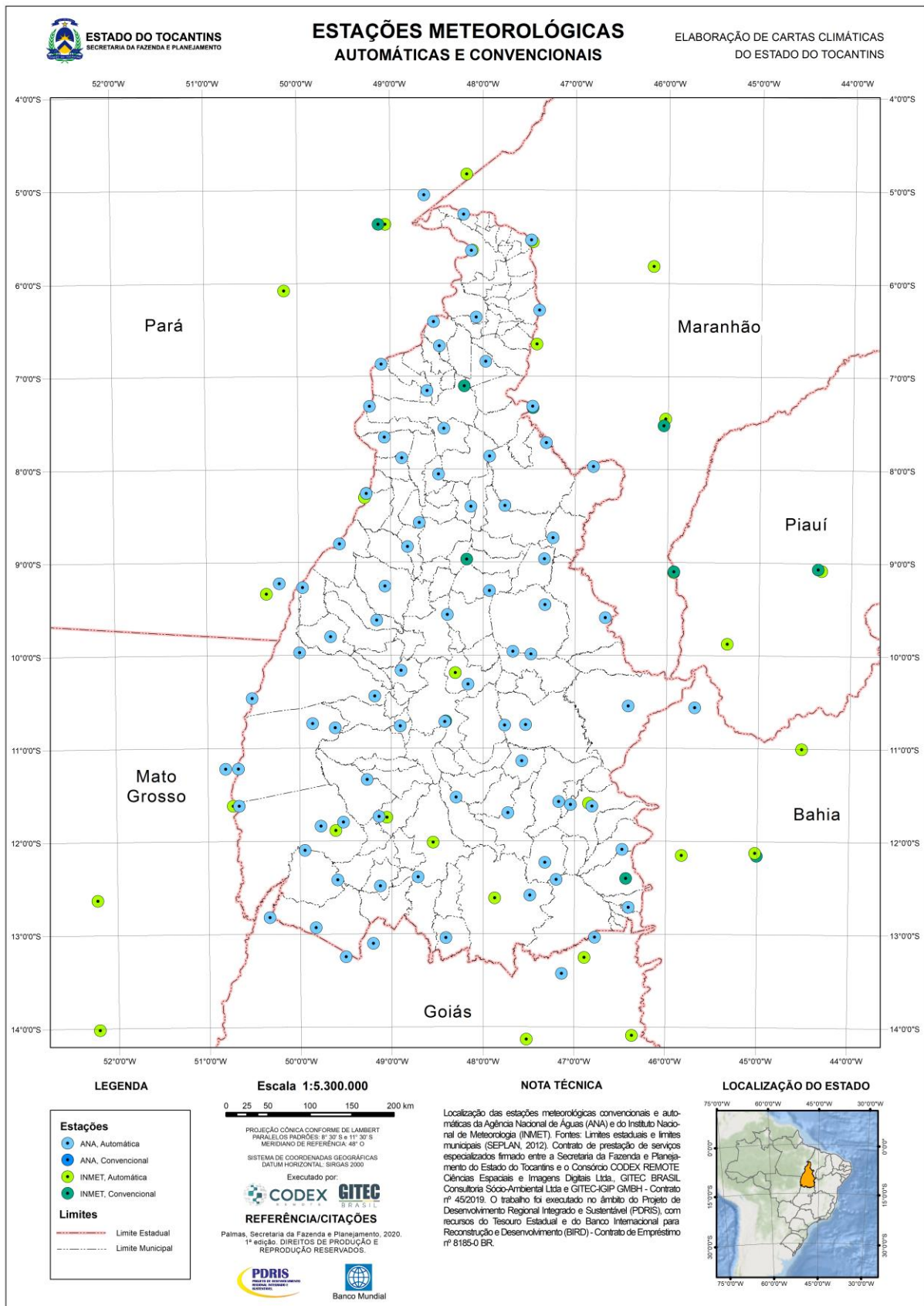
Segundo o SNIRH (2019), há também estações mantidas pelos Estados através dos programas de implantação e operação das Salas de Situação Estaduais e do fomento ao monitoramento da qualidade da água (Qualiágua).

Para este projeto foram selecionadas 81 (oitenta e uma) estações pluviométricas da ANA atendendo o critério da disponibilidade dos dados no período requerido (pelo menos dos últimos 10 anos).

Então, atendendo a todas as recomendações técnicas para estudos climatológicos, selecionou-se para este diagnóstico climático as estações apresentadas na Figura 2, onde verifica-se suas respectivas localizações.

No Apêndice D disponibiliza-se uma tabela com a todas as estações utilizadas neste projeto, onde encontra-se informações como: o código OMM da estação, município de locação da estação, responsável, operador, altitude, coordenadas geográficas, data de operação, tipo e período dos dados disponíveis.

Figura 2. Localização das estações do INMET e ANA.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



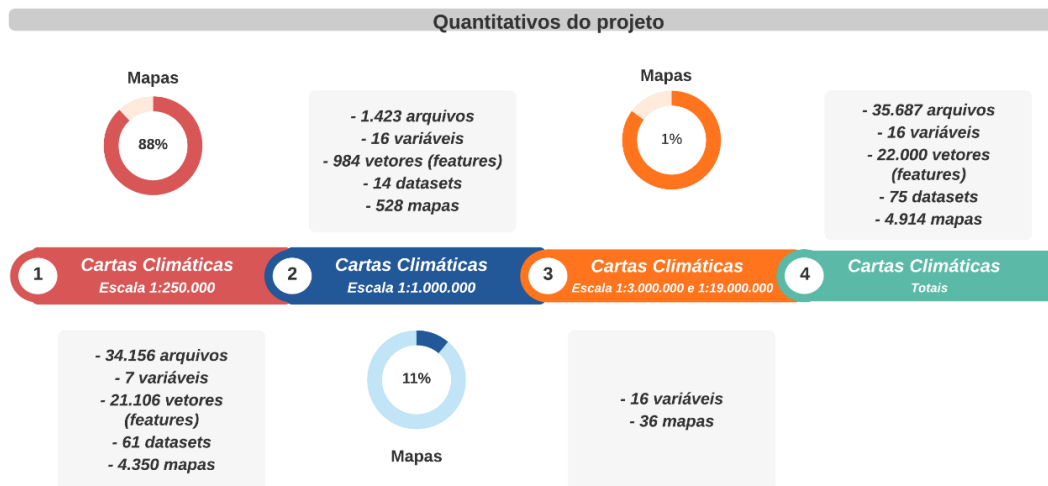
3.1.3. Dados base para confecção dos mapas

Para a criação das cartas climáticas além dos dados associados as variáveis meteorológicas do INMET e ANA, foi necessário o uso de uma série de dados base, como rodovias, drenagem, limites e sedes municipais, limites de unidades de conservação e terras indígenas, entre outras camadas definidas em conjunto com a Secretaria da Fazenda e Planejamento (SEFAZ). Os dados utilizados foram disponibilizados em arquivos vetoriais ou acessados no *site*⁵ da instituição. Os *layouts* padrões utilizados nas escalas 1:250.000 e 1:1.000.000 foram validados pela SEFAZ e serviram de referência para a construção de todos os mapas.

3.1.4. Quantitativo de dados e mapas gerados

Ao longo do projeto foram gerados um total de 4.914 mapas a partir de 8 variáveis básicas (Precipitação Pluviométrica, Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Insolação, Nebulosidade, Radiação Solar Global, Evaporação, Evapotranspiração de Referência) e 8 variáveis derivadas (Número de Dias de Chuva, Duração do Período de Chuva, Ocorrência de Veranicos, Excedente Hídrico, Deficiência Hídrica, Índice de Seca, Índice Hídrico e as Regionalizações Climáticas - Thornthwaite-Mather, Köppen-Geiger e Gaussen). A elaboração das Cartas Climáticas, em escala 1:250.000, permitiu a geração de 4.350 mapas e 21.106 camadas vetoriais de 7 variáveis (Duração do Período de Chuva, Ocorrência de Veranicos, Excedente Hídrico, Deficiência Hídrica, Índice de Seca, Índice Hídrico e as Regionalizações Climáticas). Já as Cartas Climáticas, em escala 1:1.000.000, representam 528 mapas e 894 camadas vetoriais das 16 variáveis. As escalas 1:3.000.000 e 1:19.000.000 foram utilizadas para apresentar as 16 variáveis analisadas nos relatórios, totalizando 36 mapas (Figura 3).

Figura 3. Quantitativo de dados e mapas gerados ao longo do projeto.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

⁵Disponível em <http://www.sefaz.to.gov.br/zonamento/bases-vetoriais/>.

3.2. Análise climática

Busca-se com este estudo compreender a climatologia do estado do Tocantins a partir da análise científica do clima. O mesmo é estruturado a fim de evidenciar os elementos e os fatores geográficos do clima sobre o estado do Tocantins, identificando-se e analisando-se os condicionantes internos e externos e as diversas alterações decorrentes da dinâmica atmosférica nas mais variadas escalas temporais e espaciais.

Foi adotada uma abordagem explicativa do clima e não somente descritiva, considerou-se a dinâmica atmosférica, as diversas interações entre a atmosfera e os ambientes de contato, buscando-se sanar deficiências comumente observadas em análises climáticas, como cita Ayoade (2006). As isolinhas e as áreas hachuradas representadas nos mapas produzidos não devem ser interpretadas como mudanças abruptas das variáveis meteorológicas ou do clima, tendo em vista que tais linhas delimitadoras, naturalmente, não existem.

Os dados utilizados para a geração das informações foram obtidos de estações meteorológicas automáticas e convencionais do INMET e de estações pluviométricas da ANA. Todos os procedimentos e tratamentos adotados seguiram rigorosamente as recomendações da OMM.

Neste diagnóstico serão apresentados e discutidos fórmulas, coeficientes, quadros, tabelas, gráficos e mapas com os resultados oriundos do tratamento de dados para a obtenção das seguintes variáveis: precipitação pluviométrica, número de dias de chuva, duração do período chuvoso, ocorrência de veranicos, evapotranspiração de referência, índice de seca, índice hídrico, temperatura mínima do ar, temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global, insolação, nebulosidade, evaporação, excedente hídrico e deficiência hídrica. Serão utilizados exemplos ilustrativos para que as informações sejam mais acessíveis à usuários menos familiarizados com as ciências atmosféricas.

Tais variáveis serão apresentadas em figuras onde serão disponibilizados os resultados em escala mensal, portanto, com 12 mapas do estado do Tocantins para cada variável, e ainda um mapa com a informação em escala anual (resultado da média/total anual do período de dados).

Ao longo do documento, cada variável mensal em análise será apresentada em mapas com escala 1:19.000.000 e legenda dos dados, constituindo um mosaico com 12 meses de dados.

Os mapas de médias anuais serão apresentados em escala 1:3.000.000 representado por isolinhas dos temas de cada variável, bem como rodovias, ferrovias cursos d'água, corpos hídricos, limites de sedes municipais, limites de unidades de conservação e de terras indígenas. Lembra-se que foram mapeadas nas Cartas Climáticas em escala 1:250.000 e 1:1.000.000 as seguintes temáticas: regionalização climática; precipitação pluviométrica; excedente e deficiência hídrica; temperaturas máxima, média e mínima do ar; umidade relativa do ar; evaporação; evapotranspiração de referência; insolação; nebulosidade; radiação solar global; número de dias de chuva; período chuvoso; índices de seca e hídrico; e classificação climática de Köppen.

3.2.1. Movimentos atmosféricos na América do Sul e no Tocantins

A compreensão e a descrição das circulações e sistemas atmosféricos que influenciam a climatologia do estado do Tocantins ocorrerão a partir de uma revisão da bibliografia técnica do tema.



3.2.2. Precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica é expressa em milímetros, ou seja, a chuva de 1mm equivale ao volume de 1L precipitado sobre uma área de 1m². Junto com a temperatura, a precipitação é uma das variáveis climáticas que mais afeta os biomas. Os padrões de chuva influenciam na distribuição natural de muitas espécies e também na aptidão local às culturas agrícolas que podem ou não ser plantadas em uma determinada região.

Para mapear os valores de precipitação, foram utilizados dados de 97 estações entre automáticas e convencionais, sendo 16 do INMET e 81 estações da ANA.

Após a obtenção dos dados brutos, originalmente submetidos ao controle de qualidade dos órgãos coletores/gestores, estes foram inseridos em um banco de dados para tratamento e geração dos totais acumulados e das médias mensais e anuais desta variável. Posteriormente, em ambiente SIG, cada resultado obtido foi associado geoespacialmente com os pontos de localização das respectivas estações. As informações pontuais obtidas foram interpoladas com o uso do *software* ArcGIS 10.7 para se obter a distribuição espacial das precipitações no estado do Tocantins.

O método geoestatístico de krigagem⁶ foi utilizado para espacialização e interpolação dos dados presentes nas estações, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial, que permitiu gerar os mapas de Precipitação Mensal (um mapa para cada mês com a média do acumulado mensal de 30 anos), de Precipitação Anual 1990 - 2019 (um mapa para cada ano) e de Precipitação Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).

3.2.3. Temperatura do ar

A temperatura é a variável que fornece uma medida da movimentação das moléculas do ar, quanto maior a agitação das moléculas maior será a temperatura do ar. Ela também determina o fluxo de calor de uma substância para outra, observando-se o calor se deslocar do corpo de maior temperatura para o de menor (AYOADE, 2006).

Apresentando significativa variabilidade espacial (horizontal e vertical) e temporal, a representação da distribuição espacial ocorre através de linhas isotérmicas e a distribuição temporal se dá por meio de gráficos. Entre os fatores que influenciam sua distribuição pode-se citar: a insolação solar, a natureza da superfície, distância de corpos hídricos, o relevo, características dos ventos predominantes e de correntes oceânicas (AYOADE, 2006). Então, uma mesma localidade poderá perceber valores diferentes de temperatura no transcorrer de um dia, por exemplo, observando-se a ocorrência de temperaturas mínimas, médias e máximas.

A radiação solar é o principal fator de modificação da temperatura, influenciando principalmente seu comportamento temporal. Por este motivo, para fins climatológicos, seria interessante que as observações da temperatura ocorressem na hora solar média local, que as vezes pode se distanciar expressivamente da hora legal, mas mesmo assim, sem introduzir erros apreciáveis. No Brasil as observações nas estações convencionais ocorrem em horários pré-estabelecidos pelo INMET, sendo as 9h, 15h e 21h, horário local, acompanhando as atualizações decorrentes do fuso horário onde se

⁶A krigagem é um método amplamente empregado em variáveis climáticas que utilizam o dado tabulado e sua posição espacial/temporal para calcular as interpolações, sendo que possui em sua base conceitual dois importantes fundamentos, o das variáveis regionalizadas e das funções aleatórias (MIRANDA, 2005).

encontra a estação. Assim, estações que se localizam em um mesmo fuso horário podem apresentar uma diferença de até duas horas em termos de hora solar média (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Tratando-se especificamente dos dados de entrada do algoritmo adotado para o mapeamento dos valores máximos, médios e mínimos de temperatura do ar, foram utilizados dados de 45 estações meteorológicas do INMET, tanto automáticas quanto convencionais. Após a obtenção dos dados brutos, originalmente submetidos ao controle de qualidade dos órgãos responsáveis, estes foram coligidos em uma estrutura de banco de dados para tratamento prévio.

Com o intuito de garantir um resultado final verossímil, se faz necessária a análise dos valores de altitude de cada uma das estações meteorológicas, uma vez que tal fator climático influencia diretamente nos valores de temperatura observados. Desta forma, devido à variação altimétrica, para cada metro acrescido à posição vertical de uma determinada estação em relação ao nível do mar, devem ser somados $0,0065^{\circ}\text{C}$, conforme exemplificado no Quadro 1.

Quadro 1. Exemplo da adição de altitude.

Estação	Temperatura	Altitude	Incremento de temperatura	Temperatura final (considerando a altitude)
01	30°C	200m	$1,3^{\circ}\text{C}$	$31,3^{\circ}\text{C}$
02	30°C	1000m	$6,5^{\circ}\text{C}$	$36,5^{\circ}\text{C}$

Fonte: elaboração do autor, 2020.

A execução deste procedimento resultou em uma normalização, ao nível médio do mar, dos dados de temperatura que foram obtidos em altitudes diferentes, permitindo, assim, que os dados trabalhados tivessem a mesma influência do fator climático altitude.

Para que essa etapa metodológica fosse incorporada aos dados de forma geolocalizada, as informações pontuais foram interpoladas no *software* ArcGIS 10.7, pelo método de krigagem. A partir da intitulada “Primeira Lei da Geografia” de Tobler, a qual estabelece que tão mais próximas estiverem determinadas unidades de análise mais parecidas estas serão entre si, se comparadas a unidades mais afastadas, a krigagem aplica funções matemáticas para atribuir pesos mais significativos às posições próximas aos pontos amostrais e pesos menores às posições distantes, e, assim, gerar uma interpolação que leve em conta a anisotropia, ou seja, a variação de uma propriedade conforme a variação de distribuição e de direção da ocorrência dos dados. Em específico, a krigagem empregada consistia em um modelo semivariograma do tipo exponencial, e, assim, obteve-se um resultado que considera o aumento de $0,0065^{\circ}\text{C}$ por metro acima do nível do mar na localização das estações.

Posteriormente, expandindo-se a aplicação da lógica acima às áreas interpoladas, em ambiente SIG adotaram-se técnicas de álgebra de mapas, onde operadores matemáticos são aplicados a informações espacializadas de forma que a sobreposição resultante dessas regras considere as interações entre as propriedades de cada nível de informação inicial. Compuseram essa etapa o resultado inicial da interpolação recentemente mencionada e um Modelo Digital de Elevação (MDE), de resolução espacial de 30 m, advindo do projeto Topodata, de responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir de dados originários do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, do inglês, *United States Geological Survey*). Desta forma, corrigir-se-ia a influência do fator climático altitude para toda área de interesse, e não somente das imediações das estações de monitoramento de dados.

Através desse cálculo direto, pixel a pixel, novos valores de temperatura foram gerados, pela aplicação de uma equação termodinâmica da atmosfera, utilizando parâmetros definidos para a Atmosfera



Padrão ou *International Standard Atmosphere* (ISA). Esta atmosfera padrão é, portanto, um modelo especial da atmosfera estabelecido pela Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization* - ICAO), e por esse motivo também recebe a denominação de Atmosfera ICAO. Segundo Varejão-Silva (2006) entre as várias condições que definem a ISA encontra-se a variação vertical da temperatura, onde fica estabelecido que se a altitude do local for inferior a 11.000 metros, então a taxa de variação vertical da temperatura (TVVT) pode ser considerada constante com valor de $-6,5^{\circ}\text{C}$ para cada 1000m de elevação. Assim, pode-se ajustar a temperatura com a altitude aplicando a simples equação a seguir:

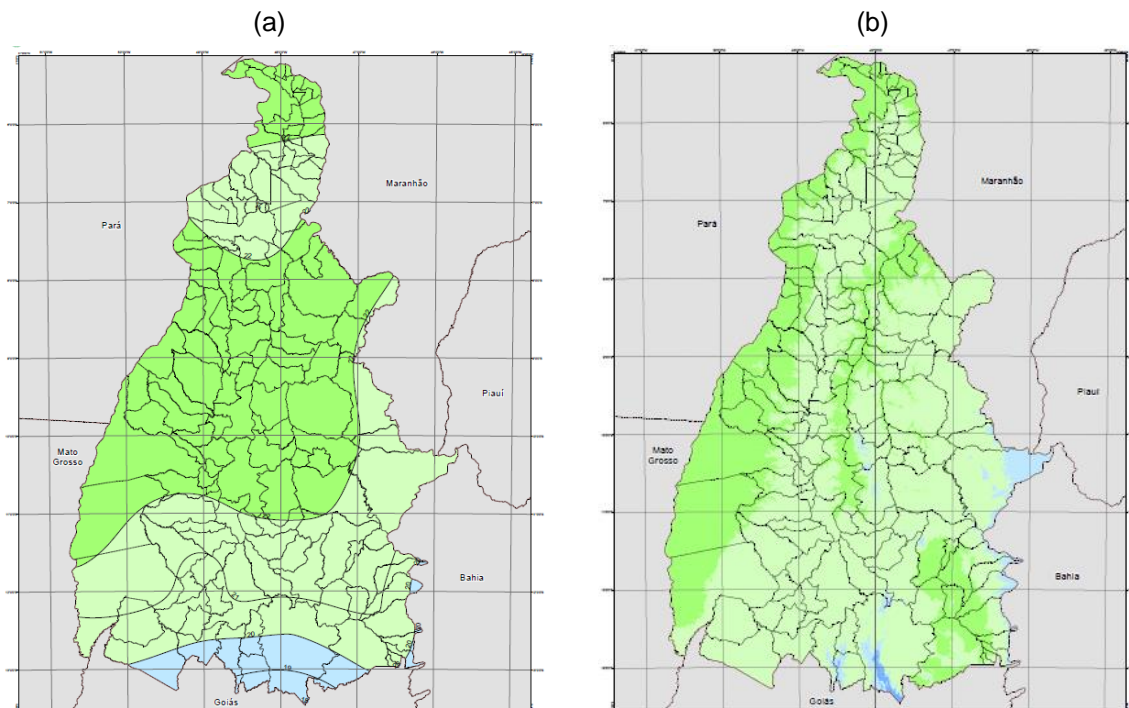
$$T = T_k - (H_{\text{SRTM}} \times 0,0065) \quad (\text{Eq. 1})$$

onde T é a temperatura ajustada [$^{\circ}\text{C}$], T_k é a temperatura do ar [$^{\circ}\text{C}$] obtida através da krigagem e H_{SRTM} é a altitude [m] extraída do SRTM.

Finalmente, a metodologia de processamento resultou em um mapa com a distribuição espacial da temperatura para o estado do Tocantins. Vale destacar, conforme supracitado, que os valores obtidos consideram o posicionamento vertical das informações processadas e fornecem um resultado ajustado matematicamente à altitude, não devendo, entretanto, desprender-se do resultado final, que as estações meteorológicas utilizadas nesse estudo se encontram na mesma altitude (ao nível do mar).

Os processamentos aplicados possibilitaram um resultado final mais preciso do que os que seriam obtidos se os valores de temperatura fossem apenas interpolados, sem ajuste de altitude. A Figura 4 mostra um exemplo de resultado quando a altitude não é considerada (a) e outro em que a altitude foi considerada em todas as etapas do processo de criação do dado (b).

Figura 4. Exemplo comparativo de mapas de temperatura. (a) altitude não considerada (b) altitude considerada (resultado final).



Fonte: elaboração do autor, 2020.

O ajuste de altitude, descrito anteriormente, foi aplicado nas três variáveis de temperatura do ar: temperatura mínima, temperatura máxima e temperatura média. Por fim, foram obtidos mapas de Temperatura Mínima Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 30 anos), de Temperatura Mínima Anual 1990 - 2019 (um mapa para cada ano) e de Temperatura Mínima Total Anual (um mapa com a média de 30 anos), e analogamente, de Temperatura Média Mensal, de Temperatura Média Anual 1990 – 2019, de Temperatura Média Total Anual, de Temperatura Máxima Mensal, de Temperatura Máxima Anual 1990 – 2019, de Temperatura Máxima Total Anual.

3.2.4. Umidade relativa do ar

Na atmosfera, até 4% de seu volume pode ser ocupado pelo vapor d'água (água em estado gasoso). Apesar de um percentual tão baixo, este elemento meteorológico é de extrema importância para os processos e fenômenos que se produzem na atmosfera. Desempenha um papel termorregulador, absorvendo a radiação solar (onda curta) e terrestre (onda longa) na atmosfera, é essencial para a formação e evolução das nuvens e precipitações, e é o principal meio de transporte e transformação de calor latente (AYOADE, 2006).

No setor agrícola, a presença do vapor d'água na atmosfera condiciona a ocorrência e controle de pragas/moléstias em vegetais e animais; determina a qualidade, a condição de armazenamento e conservação de produtos agrícolas, e o conforto animal (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2007).

Segundo Varejão-Silva (2006) a umidade relativa é uma das formas de se avaliar a quantidade de vapor d'água presente em uma porção da atmosfera. Esta variável, medida em percentual [%], evidencia quanto há de vapor d'água da quantidade que aquela determinada porção da atmosfera poderia conter. Ela pode ser determinada pelo quociente entre a pressão parcial do vapor (e) e a pressão de saturação do vapor (e_s), conforme a equação:

$$U = \frac{e}{e_s} \times 100 \% \quad (\text{Eq. 2})$$

Os dados de umidade relativa foram adquiridos de 46 estações provenientes do banco de dados do INMET, correspondendo a uma série histórica de 30 anos para o período entre 1990 a 2019.

Após a obtenção dos dados brutos, originalmente submetidos ao controle de qualidade dos órgãos coletores/gestores, estes foram inseridos em um banco de dados para tratamento e obtenção de valores médios mensais e anuais desta variável. Posteriormente, em ambiente SIG, cada resultado obtido foi associado geoespacialmente com os pontos de localização das respectivas estações. As informações pontuais obtidas foram interpoladas com o uso do *software* ArcGIS 10.7 para se obter a distribuição espacial da umidade relativa no estado do Tocantins.

O método geostatístico de krigagem foi utilizado para espacialização e interpolação dos dados presentes nas estações, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial.

Assim, foram obtidos mapas de Umidade Relativa Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 30 anos), de Umidade Relativa Anual 1990 - 2019 (um mapa para cada ano) e de Umidade Relativa Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).



3.2.5. Evaporação

A evaporação é o processo de passagem água do estado líquido para o estado gasoso, assumindo a forma de vapor. A principal forçante deste processo é radiação solar, que incrementa a energia do sistema e permite a vaporização/sublimação da água líquida/sólida. As camadas mais baixas da atmosfera, ou seja, a troposfera, concentra aproximadamente 50% do volume disponível de vapor d'água presente na atmosfera. A presença de vapor d'água na atmosfera possui um papel fundamental no desenvolvimento de sistemas meteorológicos e no equilíbrio de vida na Terra, e parte de sua importância está relacionada com o fato de que o vapor d'água é o único constituinte da atmosfera que muda de estado em condições naturais (AYOADE, 2006; VAREJÃO-SILVA, 2006).

A taxa de evaporação de um determinado local depende de dois fatores principais: a disponibilidade de umidade na superfície e a capacidade da atmosfera para vaporizar a água, remover e transportar este vapor. Pode-se facilmente associar estes últimos com alguns elementos meteorológicos como a radiação solar, a temperatura e o vento (AYOADE, 2006).

A evaporação, assim como a evapotranspiração, é indicada na mesma unidade da precipitação, utilizando-se a altura da lâmina de água, expressa em milímetros [mm]. De maneira análoga à precipitação, um milímetro de evaporação indica que um litro de água para cada metro quadrado da projeção horizontal da superfície foi transferido para a atmosfera (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Algumas medidas de evaporação são obtidas por instrumentos específicos cuja construção está baseada na conservação da massa. O evaporímetro, tanque classe A e os atmômetros são alguns exemplos desses instrumentos. O atmômetro mais utilizado e conhecido é também chamado de evaporímetro de piche, que limita-se em medir a evaporação em milímetros [ml], partindo de uma superfície porosa, mantida permanentemente umedecida por água (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Os dados de evaporação foram adquiridos em 16 estações meteorológicas convencionais, disponibilizados no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia. Obteve-se uma série histórica de 27 anos, cobrindo o período entre 1990 e 2017⁷.

Após a obtenção dos dados brutos, originalmente submetidos ao controle de qualidade dos órgãos coletores/gestores, estes foram inseridos em um banco de dados para tratamento e obtenção de valores médios mensais e anuais e de totais anuais desta variável. Posteriormente, em ambiente SIG, cada resultado foi associado geoespacialmente com a localização da respectiva estação, e as informações pontuais foram interpoladas no *software* ArcGIS 10.7, pelo método de krigagem, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial, resultando na distribuição espacial da evaporação para todo o estado do Tocantins.

Finalmente, foram gerados mapas de Evaporação Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 27 anos), de Evaporação Anual 1990 - 2017 (um mapa para cada ano) e Evaporação Total Anual (um mapa com a média de 27 anos).

⁷ Devido a pouca quantidade de estações com dados de evaporação, foi necessário utilizar um período menor de 30 anos para abranger uma quantidade suficiente de dados para a interpolação.

3.2.6. Nebulosidade

A nebulosidade é a fração do céu (abóbada celeste) que se encontra encoberta por nuvens em um momento específico de observação. O observador meteorológico, técnico responsável por obter as leituras e obter medidas em estações meteorológicas convencionais, observa o céu e imagina que todas as nuvens estão arrumadas de forma a ocupar uma mesma área, e assim, de maneira visual, ele estima a fração da abóbada celeste que encontra-se ocupada por nuvens. Os horários oficiais de estimativa da nebulosidade são 9h, 15h e 21h, horário local; assim, tal registro também deve ocorrer a noite, com resultado mais acurado em noites enluaradas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A fração de céu encoberto por nuvens é indicada em oitavos ou em décimos encoberto, devendo ser indicada qual das escalas está sendo usada. As estações meteorológicas convencionais do INMET registram em décimos. Nebulosidade de 4/8 ou 5/10 corresponde à metade do céu encoberto e o valor zero indica que nenhuma nuvem foi detectada no exato momento da observação (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Para este estudo foram utilizadas 16 estações meteorológicas convencionais do INMET para compor a série histórica de dados de nebulosidade, completando 30 anos de dados registrados entre os anos de 1990 a 2019.

Após a obtenção dos dados brutos, originalmente submetidos ao controle de qualidade dos órgãos coletores/gestores, estes foram inseridos em um banco de dados para tratamento e obtenção de valores médios mensais e anuais e de totais anuais desta variável. Posteriormente, em ambiente SIG, cada resultado foi associado geoespacialmente com a localização da respectiva estação, e as informações pontuais foram interpoladas no *software* ArcGIS 10.7, pelo método de krigagem, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial, resultando na distribuição espacial da nebulosidade para todo o estado do Tocantins.

Finalmente, foram gerados mapas de Nebulosidade Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 30 anos), de Nebulosidade Anual 1990 - 2019 (um mapa para cada ano) e de Nebulosidade Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).

3.2.7. Insolação

A variável insolação é definida como a duração do brilho solar, expressa em horas ou décimos em que a luz do sol chega até a superfície da Terra sem interferência de nuvens. Assim, o registro da insolação só ocorre no intervalo de tempo entre o nascimento e o ocaso do Sol, período esse em que o disco solar não esteve oculto por nuvens ou fenômenos atmosféricos de qualquer natureza, como tempestades de areia. O instrumento usado para medi-la é o heliógrafo, que consiste de uma esfera de vidro transparente que concentra a radiação solar direta que a atingem, e esses raios concentrados queimam uma régua de papel fotossensível (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Os dados considerados para o processamento desta variável, foram adquiridos através das estações convencionais do INMET, totalizando 16 estações, compondo uma série histórica de 30 anos do período entre 1990 a 2019.

Após a obtenção dos dados brutos, originalmente submetidos ao controle de qualidade dos órgãos coletores/gestores, estes foram inseridos em um banco de dados para tratamento e obtenção de valores médios mensais e anuais e de totais anuais desta variável. Posteriormente, em ambiente SIG,



cada resultado foi associado geoespacialmente com a localização da respectiva estação, e as informações pontuais foram interpoladas no *software* ArcGIS 10.7, pelo método de krigagem, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial, resultando na distribuição espacial da insolação para todo o estado do Tocantins.

Finalmente, foram gerados mapas de Insolação Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 30 anos), de Insolação Anual 1990 - 2019 (um mapa para cada ano) e de Insolação Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).

3.2.8. Radiação solar global

Radiação, ou energia radiante, é a denominação dada a energia que se propaga sem necessidade da presença de um meio material (VAREJÃO-SILVA, 2006). A radiação solar é a principal fonte de energia para a Terra, sendo também o mais importante elemento meteorológico afetando todos os demais (temperatura, pressão, vento, precipitação, umidade e outros). Participa ativamente em todos os processos terrestres, desde a fotossíntese, passando pela manutenção da vida como a conhecemos, e também desencadeando uma série de processos e circulações atmosféricas e oceânica (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2007).

Em um dado instante e local, a energia solar que atinge a superfície terrestre é chamada de radiação solar global (R_s), formada por dois componentes. A radiação direta é a fração da radiação global que chega ao topo da atmosfera, e a radiação difusa corresponde a fração da radiação global que atravessa a atmosfera, interagindo com seus constituintes e que é espalhada em todas as direções (VAREJÃO-SILVA, 2006). As medições de radiação solar global são realizadas através de instrumentos denominados de piranômetros, piranógrafos ou actinógrafo. De acordo com a nota técnica N° 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET (INMET, 2011), as estações meteorológicas do INMET estão equipadas predominantemente com piranômetros Eppley para o registro de radiação solar global.

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados dados de radiação solar global adquiridos nas estações automáticas do INMET, totalizando 31 estações, com série histórica de 12 anos do período entre 2007 a 2018⁸.

Os dados brutos, originalmente submetidos ao controle de qualidade dos órgãos coletores/gestores, foram inseridos em um banco de dados para tratamento e obtenção de valores médios mensais e anuais e de totais anuais desta variável. Posteriormente, em ambiente SIG, cada resultado foi associado geoespacialmente com a localização da respectiva estação, e as informações pontuais foram interpoladas no *software* ArcGIS 10.7, pelo método de krigagem, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial, resultando na distribuição espacial da radiação solar global para todo o estado do Tocantins.

Finalmente, foram gerados mapas de Radiação Solar Global Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 12 anos), de Radiação Solar Global Anual 2007 - 2018 (um mapa para cada ano) e Radiação Solar Global Total Anual (um mapa com a média de 12 anos).

⁸ Devido a pouca quantidade de estações com dados de radiação solar global, foi necessário utilizar um período menor de 30 anos para abranger uma quantidade suficiente de dados para a interpolação.

3.2.9. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração é a combinação de dois processos distintos que ocorrem de forma simultânea: a evaporação e a transpiração. Nestes processos, a água no estado líquido ou sólido assumem sua forma gasosa sendo transferida para a atmosfera. O processo de evaporação ocorre quando a água presente na superfície da terra passa do estado líquido para o de vapor (vaporização) mediante alguma fonte externa de energia, como a radiação solar. Já o processo de transpiração é a retirada da água do solo pelas raízes das plantas, a parcela não utilizada em seus processos fisiológicos é transportada até as folhas e transferida para a atmosfera através de estruturas especializadas conhecidas como estômatos. Os demais seres vivos também contribuem para o processo de transpiração incrementando a evapotranspiração (AYOADE, 2006; COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

A taxa com que a evapotranspiração ocorre depende de algumas condições atmosféricas, como temperatura, que regula a capacidade do ar em reter água na forma de umidade; a umidade relativa, que determina a quantidade de água que o ar ainda é capaz de reter até atingir a saturação; e a velocidade do vento, que é responsável por substituir o ar saturado sobre a superfície evaporante por uma massa de ar mais seca (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

A distinção entre estes dois processos não é fácil. A quantidade de água perdida na forma de evaporação depende da quantidade de radiação solar que atinge a superfície. Em locais com vegetação mais esparsa, a evaporação predomina. Entretanto, onde a vegetação cobre e sombreia o solo, a transpiração predomina. Desta forma, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) criou o conceito de evapotranspiração de referência (ET_0), que tem como objetivo estudar a demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo de cobertura vegetal. A ET_0 considera que o solo está sempre bem suprido por água e completamente coberto por uma grama hipotética. Assim, somente fatores climáticos, como a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento interferem na taxa de perda de água da superfície através do processo de evapotranspiração. Depois da publicação do documento FAO 56, o método de Penman-Monteith/FAO passou a ser o recomendado como método padrão para determinar a ET_0 (ALLEN *et al.*, 1998). A equação da ET_0 é dada por:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde:

- ET_0 é a evapotranspiração de referência [mm dia^{-1}];
- Δ é a declividade da curva do déficit da pressão de vapor [$\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$];
- R_n é o saldo de radiação [$\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$];
- G é o fluxo de calor no solo [$\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$];
- γ é a constante psicrométrica [$\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$];
- T é a temperatura do ar [$^\circ\text{C}$];
- u_2 é a velocidade do vento medida a 2 m acima do solo [ms^{-1}];
- e_s e e_a são pressão de vapor de saturação e real do ar [kPa], respectivamente.



Além dos dados listados acima, também foram utilizadas as informações de latitude e altitude do local para a determinação de alguns dos parâmetros usados na Equação 3. Os detalhes sobre o cálculo da ET_0 podem ser encontrados no documento FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998).

Os dados meteorológicos usados na obtenção da ET_0 foram obtidos a partir de 31 estações automáticas, mantidas pelo INMET, localizadas em seis estados brasileiros (Bahia, Goiás, Maranhão, Pará, Piauí e Tocantins) compreendendo o período de 2007 a 2019⁹. As variáveis meteorológicas disponíveis nas estações meteorológicas e usadas para o cálculo da ET_0 são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Variáveis meteorológicas disponíveis nas estações do INMET.

Automática	Convencional
Temperatura média do ar [°C]	Temperatura média do ar [°C]
Umidade relativa média [%]	Umidade relativa média [%]
Pressão atmosférica média [hPa]	Pressão atmosférica [hPa]
Velocidade do vento [ms^{-1}]	Velocidade do vento [ms^{-1}]
Radiação solar global [kJm^{-2}]	Brilho solar [horas]

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Os valores de Δ e γ foram calculados em função de temperatura do ar (T) e da pressão atmosférica (P), respectivamente, de acordo com as equações:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \left(\frac{17,27T}{T + 237,3} \right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P \quad (\text{Eq. 5})$$

O valor do R_n é calculado pela equação do balanço de radiação, dada por:

$$R_n = BOC + BOL \quad (\text{Eq. 6})$$

onde BOC é o balanço de radiação de ondas curtas [$MJm^{-2}dia^{-1}$] que corresponde à radiação solar global (R_s). Já BOL é o balanço de radiação de ondas longas [$MJm^{-2}dia^{-1}$] que pode ser estimado através da seguinte equação:

$$BOL = \sigma T_k^4 (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0,35 \right) \quad (\text{Eq. 7})$$

onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann [$4,903 \times 10^{-9} MJK^{-4} m^{-2} dia^{-1}$], T_k é a temperatura do ar [K], e_a é a pressão de vapor real [kPa], R_s é a radiação solar global [MJm^{-2}] e R_{s0} é a radiação solar em condições de céu claro [MJm^{-2}], dada por:

$$R_{s0} = (0,75 + 2 \times 10^{-5}z)R_a \quad (\text{Eq. 8})$$

⁹ Devido a pouca quantidade de estações com dados meteorológicos essenciais para o cálculo da ET_0 , foi necessário utilizar um período menor de 30 anos para abranger uma quantidade suficiente de dados para a interpolação.

onde R_a é a radiação solar no topo da atmosfera e z é a altitude do local [m].

O cálculo da radiação no topo da atmosfera (R_a) depende de uma série de passos, que também pode ser obtido no documento FAO 56. Para esta variável, somente parâmetros orbitais, como o dia do ano e a latitude, são necessários.

Os valores de evapotranspiração de referência (mensais e anuais) foram obtidos a partir dos dados diários, seguindo a mesma regra de 75% dos dados completos para sua validade.

Foram estimados a ET_0 em cada um dos pontos onde estão localizadas as estações meteorológicas que forneceram os dados para esta variável. Posteriormente, as informações pontuais foram interpoladas no *software* ArcGIS 10.7 resultando na distribuição espacial da Evapotranspiração de Referência para todo o estado do Tocantins.

Finalmente, foram gerados mapas de Evapotranspiração de Referência Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 13 anos), de Evapotranspiração de Referência Anual 2007 - 2019 (um mapa para cada ano) e Evapotranspiração de Referência Total Anual (um mapa com a média de 13 anos).

3.2.10. Número dos dias de chuva

Para caracterizar a variável número de dias de chuva, foi considerado o registro de precipitação diária maior que 1mm (>1mm), que é o limiar adotado e recomendado pela OMM (WMO, 2017).

Os dados de precipitação utilizados para caracterizar a variável número de dias de chuva, foram adquiridos no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia e da Agência Nacional de Águas, totalizando 95 estações entre automáticas e convencionais, sendo 16 do INMET e 79 da ANA. A série de dados contabiliza um total de 30 anos, se estendendo de 1990 até 2019.

Os dados brutos foram processados em banco de dados e planilha eletrônica aplicando-se o limiar de precipitação superior a 1mm, onde foram determinados o número de dias de chuva para cada mês e o número de dias de chuva para cada ano da série histórica. Na sequência, em ambiente SIG, cada resultado foi associado geoespacialmente com a localização da respectiva estação. Então, as informações pontuais obtidas foram interpoladas com o uso do *software* ArcGIS 10.7 para se obter a distribuição espacial do número de dias de chuva para todo o estado do Tocantins.

No procedimento de espacialização dos dados foi empregado o método de interpolação pelo método de krigagem, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial. Assim, foram gerados mapas de Número de Dias de Chuva Mensal (um mapa para cada mês com a média do acumulado mensal de 30 anos), Número de Dias de Chuva Anual 1990 - 2019 (um mapa para cada ano) e Número de Dias de Chuva Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).

3.2.11. Duração do período de chuva

Para a determinação da duração do período de chuva adotou-se o método da porcentagem da precipitação média acumulada, por ser dependente apenas dos dados de chuva medidos nas estações meteorológicas. Este é um método bastante difundido no meio científico para a determinação das datas de início e fim do período chuvoso como descreve Guenang e Mkankam Kamga (2012).



Para mapear os valores da duração do período de chuva, foram utilizados dados de 97 estações entre automáticas e convencionais, sendo 16 do INMET e 81 estações da ANA.

Os dados de precipitação foram agrupados em conjuntos de 5 dias, sem sobreposição, denominados pântadas. Para melhor entendimento, considerando o ano civil, a pântada 1 contemplaria os dias 1 a 5 de janeiro e a última pântada seria de 27 a 31 de dezembro.

Entretanto, é essencial esclarecer que o estado do Tocantins está localizado em uma região com dois padrões distintos relativo ao comportamento da precipitação pluviométrica, um período chuvoso, também denominado estação chuvosa, e um período seco (estação seca). A estação chuvosa, de um modo geral, inclui os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, que, em uma visão mais genérica, corresponde a estação climática verão. Por esta característica foi necessário estabelecer uma nova cronologia anual, para que o período de chuvas fosse contabilizado continuamente e sem perda de informação.

A aplicação do método consistiu do somatório da precipitação diária acumulada durante todo o ano hidrológico em análise. Posteriormente efetuou-se o somatório da precipitação diária nas pântadas. A cada resultado obtido nas pântadas calculou-se o percentual acumulado correspondente ao total da precipitação anual do respectivo ano hidrológico.

Assim, quando o percentual acumulado atingiu 7% da precipitação média anual, o primeiro dia da pântada em que a meta foi atingida foi estabelecido como o início do período chuvoso. De forma análoga, o fim do período chuvoso foi determinado pelo último dia da pântada em que se verificou que 90% da precipitação média anual fora atingida. A duração do período chuvoso foi obtido de forma simples, somando-se os dias entre a data de início e a data de fim do período obtido.

Como em outras variáveis, em ambiente SIG, cada resultado foi associado geoespacialmente com a localização da respectiva estação, e as informações pontuais foram interpoladas no *software* ArcGIS 10.7, pelo método de krigagem, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial, resultando na distribuição espacial da duração do período chuvoso para todo o estado do Tocantins.

Desta forma, foram gerados mapas de Duração do Período de Chuva Anual 1990 - 2019 (um mapa para cada ano climatológico) e Duração do Período de Chuva Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).

3.2.12. Ocorrência de veranicos

Antes de definir a ocorrência de veranicos, é necessário conhecer o início e fim do período chuvoso. Segundo Hernandez *et al.* (2003) a ocorrência de veranicos pode ser definida como uma sequência de dias secos, inseridos no período chuvoso. Assad *et al.* (1993), afirma que em regiões de cerrado e grande parte da zona intertropical, possui interrupções durante a estação chuvosa, o que pode influenciar as culturas em fase reprodutiva. Neste sentido, um dia seco é caracterizado quando o valor diário de precipitação for menor que 1mm (<1mm), e o veranico se caracteriza por um intervalo mínimo de 5 dias consecutivos com ausência de precipitação durante o período chuvoso.

Observa-se que não existe um padrão definido de ocorrência de veranicos, por isso é necessário classificar qualitativamente estabelecendo-se o tempo de duração dos eventos ou quantitativamente apontando a frequência de ocorrência de veranico.

Para este estudo foi adotado um método de classificação baseado em metodologia proposta por Assad e Sano (1998) e com adaptações pautadas em Roldão (2015). Assim, serão gerados mapas quantitativos que apresentam a frequência de ocorrência do intervalo mínimo de 5 dias sem precipitação durante o período chuvoso.

Para esta variável também foram utilizados dados de precipitação pluviométrica diária que foram adquiridos através do banco de dados, contabilizando um total de 97 estações entre convencionais e automáticas, sendo 16 do INMET e 81 da ANA.

Inicia-se por identificar o período chuvoso, conforme metodologia já apresentada anteriormente. Dentro deste período são selecionados os dias de precipitação inferior a 1mm (<1mm) e a partir deste dia se efetua a contagem de dias sem chuva. O último dia da contagem será o dia imediatamente anterior ao registro de chuva maior que 1mm (>1mm). Quando a contagem de dias se iguala ou supera os 5 dias, é caracterizado o veranico.

Então, foram gerados mapas quantitativos que apresentam a frequência de ocorrência de veranicos, sendo os resultados associados a uma das 13 classes, cujos limites estão entre 1 e 14 veranicos, distribuindo-se da seguinte maneira: na primeira classe enquadram-se de 1 – 2 ocorrências de veranicos, na segunda classe de 2 – 3 ocorrências de veranicos, terceira classe de 3 – 4 ocorrências de veranicos, e assim sucessivamente até atingir a última classe onde se enquadram de 13 – 14 ocorrências de veranicos.

Como em outras variáveis, em ambiente SIG, cada resultado foi associado geoespacialmente com a localização da respectiva estação, e as informações pontuais foram interpoladas no *software* ArcGIS 10.7, pelo método de krigagem, considerando o modelo semivariograma do tipo exponencial, resultando na distribuição espacial dos veranicos para todo o estado do Tocantins.

Como resultado final foram gerados mapas de Ocorrência de Veranicos Anual 1990 - 2019 (um mapa para cada ano climatológico) e Ocorrência de Veranicos Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).

3.2.13. Índice de seca

O índice de seca ou de aridez (I_a) representa o quanto uma região é árida, sendo definido em função do déficit hídrico e evapotranspiração potencial. Thornthwaite em 1948 introduziu o conceito de evapotranspiração potencial em sua classificação a fim de obter um índice de umidade, tornando sua classificação aplicável a qualquer lugar, pois muitos lugares e em diferentes estações do ano observam excesso ou déficit de água. O índice de seca é um dos componentes do índice de umidade, afetando-o negativamente (VIANELLO e ALVES, 2000).

Este índice de seca, baseado na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), é definido como a relação percentual entre a deficiência hídrica (DEF) e a quantidade de evapotranspiração potencial (ETp), ambas medidas em milímetros [mm], também obtidos pelo Balanço Hídrico Climático (BHC).

$$I_a = \left(\frac{DEF}{ETp} \right) \times 100 \quad (\text{Eq. 10})$$

O índice de seca será utilizado para categorizar os subtipos climáticos, conforme Tabela 1.



Tabela 1. Subtipos climáticos baseados no índice de seca de Thornthwaite e Mather.

Climas Úmidos (A, B, C ₂)		Índice de seca (I _a)
Símbolo	Subtipo climático	
r	Sem ou com pequena deficiência hídrica	0 a 16,7
s	Deficiência hídrica moderada no verão	16,7 a 33,3
w	Deficiência hídrica moderada no inverno	16,7 a 33,3
s ₂	Grande deficiência hídrica no verão	Acima de 33,3
w ₂	Grande deficiência hídrica no inverno	Acima de 33,3

Fonte: Adaptado de Thornthwaite e Mather (1955).

Foram gerados mapas com o uso do *software* ArcGIS 10.7 a partir de dados raster, associando-se a cada pixel um valor de I_a. Por fim, a imagem foi classificada com os critérios apresentados na Tabela 1, resultando em mapas do Índice de Seca para todo o estado do Tocantins nas escalas desejadas.

3.2.14. Índice hídrico

O índice hídrico (I_h) é a relação entre o excesso de água e a evapotranspiração potencial. A importância deste índice vem do fato dele contribuir positivamente para o índice de umidade introduzido por Thornthwaite. Em uma análise superficial, embora o excesso de água observado em uma estação do ano não venha a prevenir uma deficiência na estação seguinte, com certeza irá amenizá-la, pois o excesso representa um incremento de umidade no solo e de água disponível (VIANELLO e ALVES, 2000).

A partir da relação percentual entre o excedente hídrico (EXC) e a evapotranspiração potencial (ET_p), ambas medidas em milímetros [mm], calcula-se o índice hídrico (I_h), baseado na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955).

$$I_h = \left(\frac{EXC}{ET_p} \right) \times 100 \quad (\text{Eq. 11})$$

O índice hídrico será utilizado para categorizar os subtipos climáticos, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Subtipos climáticos baseados no índice hídrico de Thornthwaite e Mather.

Climas Secos (C ₁ , D, E)		Índice hídrico (I _h)
Símbolo	Subtipo climático	
d	Excedente hídrico pequeno ou nulo	0 a 10
s	Excedente hídrico moderado no verão	10 a 20

w	Excedente hídrico moderado no inverno	10 a 20
s ₂	Grande excedente hídrico no verão	Acima de 20
w ₂	Grande excedente hídrico no inverno	Acima de 20

Fonte: Adaptado de Thornthwaite e Mather (1955).

Utilizando *software* ArcGIS 10.7 a partir de dados raster, associou-se a cada pixel um valor de lh. A imagem obtida foi classificada aplicando-se os critérios apresentados na Tabela 2, resultando em mapas do Índice Hídrico nas escalas desejadas.

3.2.15. Excedente hídrico

O excedente hídrico (EXC) é também conhecido como drenagem profunda na área agrícola. Baseando-se na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), é calculado a partir de parâmetros de evapotranspiração potencial (ETp) e precipitação. O excedente hídrico foi criado para o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), este com a finalidade de determinar a variação de armazenamento de água no solo sem a aplicação de irrigação (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2007).

Os dados meteorológicos usados na obtenção do excedente hídrico foram obtidos a partir de 97 estações, entre automáticas e convencionais, sendo 16 do INMET e 81 estações da ANA, localizadas em seis estados brasileiros (Bahia, Goiás, Maranhão, Pará, Piauí e Tocantins) compreendendo o período de 1990 a 2019, compondo uma série histórica de 30 anos.

Para este projeto foi adaptada uma ferramenta, criada em linguagem *Python* por Carvalho Neto (2014). As entradas do modelo foram: a Capacidade de Água Disponível (CAD), 12 arquivos raster de precipitação; e 12 arquivos raster de ETp, referentes a cada mês do ano, especializados com o mesmo tamanho e número de pixel e com todos os valores expressos em milímetros [mm].

Como saídas foram geradas 13 imagens raster de BHC, uma para cada mês e mais uma com a média do BHC da série histórica. Os valores positivos ou nulos do BHC correspondem aos excessos hídricos.

Então, serão disponibilizados mapas de Excedente Hídrico Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 30 anos) e Excedente Hídrico Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).

3.2.16. Deficiência hídrica

Similarmente ao excedente hídrico (EXC) supracitado, a deficiência hídrica (DEF) é também conhecida como drenagem profunda na área agrícola. Baseando-se na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), é calculado a partir de parâmetros de evapotranspiração potencial (ETp) e precipitação. A deficiência hídrica foi criada para o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), este com a finalidade de determinar a variação de armazenamento de água no solo sem a aplicação de irrigação (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2007). A diferença entre estas duas variáveis, excedente hídrico e deficiência hídrica, se refere apenas ao valor resultante do Balanço Hídrico Climatológico a



ser utilizado; comumente empregam-se valores positivos ou nulos para o excedente hídrico e valores negativos para a deficiência hídrica.

Os dados meteorológicos usados na obtenção do excedente hídrico foram obtidos a partir de 97 estações, entre automáticas e convencionais, sendo 16 do INMET e 81 estações da ANA, localizadas em seis estados brasileiros (Bahia, Goiás, Maranhão, Pará, Piauí e Tocantins) compreendendo o período de 1990 a 2019, compondo uma série histórica de 30 anos.

Para este projeto foi adaptada uma ferramenta, criada em linguagem *Python* por Carvalho Neto (2014). As entradas do modelo foram: o CAD, 12 arquivos raster de precipitação; e 12 arquivos raster de ETp, referentes a cada mês do ano, espacializados com o mesmo tamanho e número de pixel e com todos os valores expressos em milímetros [mm].

Como saídas foram geradas 13 imagens raster de BHC, uma para cada mês e mais uma com a média do BHC da série histórica. Os valores negativos do BHC representam a deficiência hídrica.

Então, serão disponibilizados mapas de Deficiência Hídrica Mensal (um mapa para cada mês com a média mensal de 30 anos) e Deficiência Hídrica Total Anual (um mapa com a média de 30 anos).

3.2.17. Regionalização climática

A regionalização climática aqui desenvolvida agrupa as áreas com condições climáticas aproximadamente homogêneas. Tendo em vista as diversas finalidades a que se propõe tais regionalizações observa-se a necessidade de obter-se a regionalização climática para o estado do Tocantins baseada em três classificações: Gaussen, Köppen-Geiger e Thornthwaite-Mather.

3.2.17.1. Classificação de Köppen-Geiger

Para a geração do mapa de classificação climática a partir do método de Köppen-Geiger, primeiramente, foi considerada a distribuição sazonal da precipitação e na sequência acrescida as características da temperatura.

As regras principais para a definição do clima, segundo a Köppen-Geiger (KÖPPEN, 1936), podem ser sintetizadas assim:

- A primeira letra, maiúscula (“A”, “B”, “C”, “D”, “E”), denota a característica geral do clima da região, ou grupo principal;
- A segunda letra, minúscula, estabelece o tipo de clima dentro do grupo principal (apenas utilizada caso a primeira letra seja “A”, “C” ou “D”), e denota as particularidades do regime pluviométrico, isto é a quantidade e distribuição da precipitação no local. Seja a primeira letra “B” ou “E”, a segunda letra é também uma maiúscula, denotando a quantidade da precipitação total anual (no caso “B”) ou a temperatura média anual do ar (no caso “E”);
- A terceira letra, minúscula, se refere a temperatura média mensal do ar dos meses mais quentes (nos casos em que a primeira letra seja “C” ou “D”) ou a temperatura média anual do ar (no caso da primeira letra ser “B”).

Apresenta-se nas Tabelas 3, 4 e 5 resumos dos critérios definidores de cada um dos grupos e subgrupos climáticos pelo método de Köppen-Geiger.

Tabela 3. Grupo climático principal dado pela Classificação Climática de Köppen-Geiger.

Código	Tipo	Descrição
A	Clima tropical	<ul style="list-style-type: none"> • Climas megatérmicos • Temperatura média do mês mais frio do ano > 18°C • Estação de inverno ausente • Forte precipitação anual (superior à evapotranspiração potencial anual)
B	Clima árido	<ul style="list-style-type: none"> • Climas secos (precipitação anual inferior a 500mm) • Evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual • Não existem cursos de água permanentes
C	Clima temperado ou Clima temperado quente	<ul style="list-style-type: none"> • Climas mesotérmicos • Temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C • Temperatura média do mês mais quente > 10°C • Estações de verão e inverno bem definidas
D	Clima continental ou Clima temperado frio	<ul style="list-style-type: none"> • Climas microtérmicos • Temperatura média do ar no mês mais frio < -3°C • Temperatura média do ar no mês mais quente > 10°C • Estações de verão e inverno bem definidas
E	Clima glacial	<ul style="list-style-type: none"> • Climas polares e de alta montanha • Temperatura média do ar no mês mais quente < 10°C • Estação do verão pouco definida ou inexistente.

Fonte: Adaptado de Köppen (1936).

Tabela 4. Subgrupo climático da Classificação Climática de Köppen-Geiger.

Código	Descrição	Grupo de aplicação
S	<ul style="list-style-type: none"> • Clima das estepes • Precipitação anual total média compreendida entre 380 e 760mm 	B
W	<ul style="list-style-type: none"> • Clima desértico • Precipitação anual total média < 250mm 	B
f	<ul style="list-style-type: none"> • Clima úmido 	A – C - D



Código	Descrição	Grupo de aplicação
	<ul style="list-style-type: none"> Ocorrência de precipitação em todos os meses do ano Inexistência de estação seca definida 	
w	<ul style="list-style-type: none"> Chuvas de verão ou inverno seco 	A – C - D
s	<ul style="list-style-type: none"> Chuvas de inverno ou verão seco 	A – C - D
w'	<ul style="list-style-type: none"> Chuvas de verão-outono ou inverno-primavera seco 	A – C - D
s'	<ul style="list-style-type: none"> Chuvas de inverno-outono ou verão-primavera seco 	A – C - D
m	<ul style="list-style-type: none"> Clima de monção Precipitação total anual média > 1500mm Precipitação do mês mais seco < 60mm 	A
T	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura média do ar no mês mais quente compreendida entre 0 e 10°C 	E
F	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura média do mês mais quente < 0°C 	E
M	<ul style="list-style-type: none"> Precipitação abundante Inverno pouco rigoroso 	E

Fonte: Adaptado de Köppen (1936).

Tabela 5. Subgrupo climático da Classificação Climática de Köppen-Geiger, usado para distinguir climas com diferentes variações de temperatura do ar.

Código	Descrição	Grupo de aplicação
a: Verão quente	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura média do ar no mês mais quente > 22°C 	C - D
b: Verão temperado	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura média do ar no mês mais quente < 22°C Temperaturas médias do ar nos meses mais quente > 10°C 	C - D
c: Verão curto e fresco	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura média do ar no mês mais quente < 22°C Temperaturas médias do ar > 10°C durante menos de 4 meses Temperatura média do ar no mês mais frio > -38°C 	C - D
d: Inverno muito frio	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura média do ar no mês mais frio < -38°C 	D
h: Seco e quente	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura média anual do ar > 18°C 	B

Código	Descrição	Grupo de aplicação
	<ul style="list-style-type: none"> Deserto ou semideserto quente (temperatura anual média do ar $\geq 18^{\circ}\text{C}$) 	
k: Seco e frio	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura média anual do ar $< 18^{\circ}\text{C}$ Deserto ou semideserto frio (temperatura anual média do ar $< 18^{\circ}\text{C}$) 	B

Fonte: Adaptado de Köppen (1936).

Com base nesses critérios as informações de precipitação total anual e de temperatura média anual, previamente convertidos para o formato de mapas, foram submetidos a processos de álgebra de mapas em ambiente SIG, utilizando-se o ArcGIS 10.7.

Assim, obteve-se um mapa de Classificação Climática de Köppen-Geiger para o estado do Tocantins, que foi representado nas escalas 1:1.000.000 e 1:3.000.000.

3.2.17.2. Classificação de Thornthwaite-Mather

A Classificação Climática de Thornthwaite-Mather foi construída a partir do Balanço Hídrico Climatológico, baseado no método de Thornthwaite e Mather (1955) e utilizando a equação de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998) para o cálculo de evapotranspiração.

O balanço hídrico é uma das ferramentas mais usadas para a estimativa da deficiência e do excedente hídrico, da reposição e da retirada da água do solo e da quantidade de água armazenada no mesmo. Quando calculado utilizando dados de normais climatológicas, então denomina-se este de Balanço Hídrico Climatológico (BHC) (CARVALHO NETO, 2014; PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2007).

Para o cálculo do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather considera-se o solo como um reservatório delimitado, com determinada Capacidade de Água Disponível (CAD), contendo um ciclo hídrico sustentado por precipitações e pela saída de água através da evapotranspiração (evaporação + transpiração) (TUCCI e BELTRAME, 2000; ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2005).

A CAD corresponde a diferença de umidade do solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, expressões muito conhecidas no meio agrícola. Por isso, é comum que a CAD seja determinada a partir de exigência hídricas de culturas agrícolas e tipo de cultura, e não pelo tipo de solo, considerando que a profundidade do sistema radicular da planta pode compensar um CAD menor (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2007).

Porém, tendo em vista a generalidade deste estudo a CAD foi obtida a partir da classificação e avaliação do uso do solo de acordo com o tipo de solo da região, com base nos dados fornecidos pela SEFAZ.

Alguns estudos colocam um valor fixo de CAD de 100mm para todos os solos, mas entende-se que cada tipo e textura de solo vinculados a usos distintos possuem CADs diferentes. Por esse motivo foram detalhados os valores tomando como base valores estipulados por Thornthwaite e Mather (1955) e Carvalho Neto (2014). Foram também avaliados os parâmetros de riscos climáticos (MAPA, 2017)¹⁰,

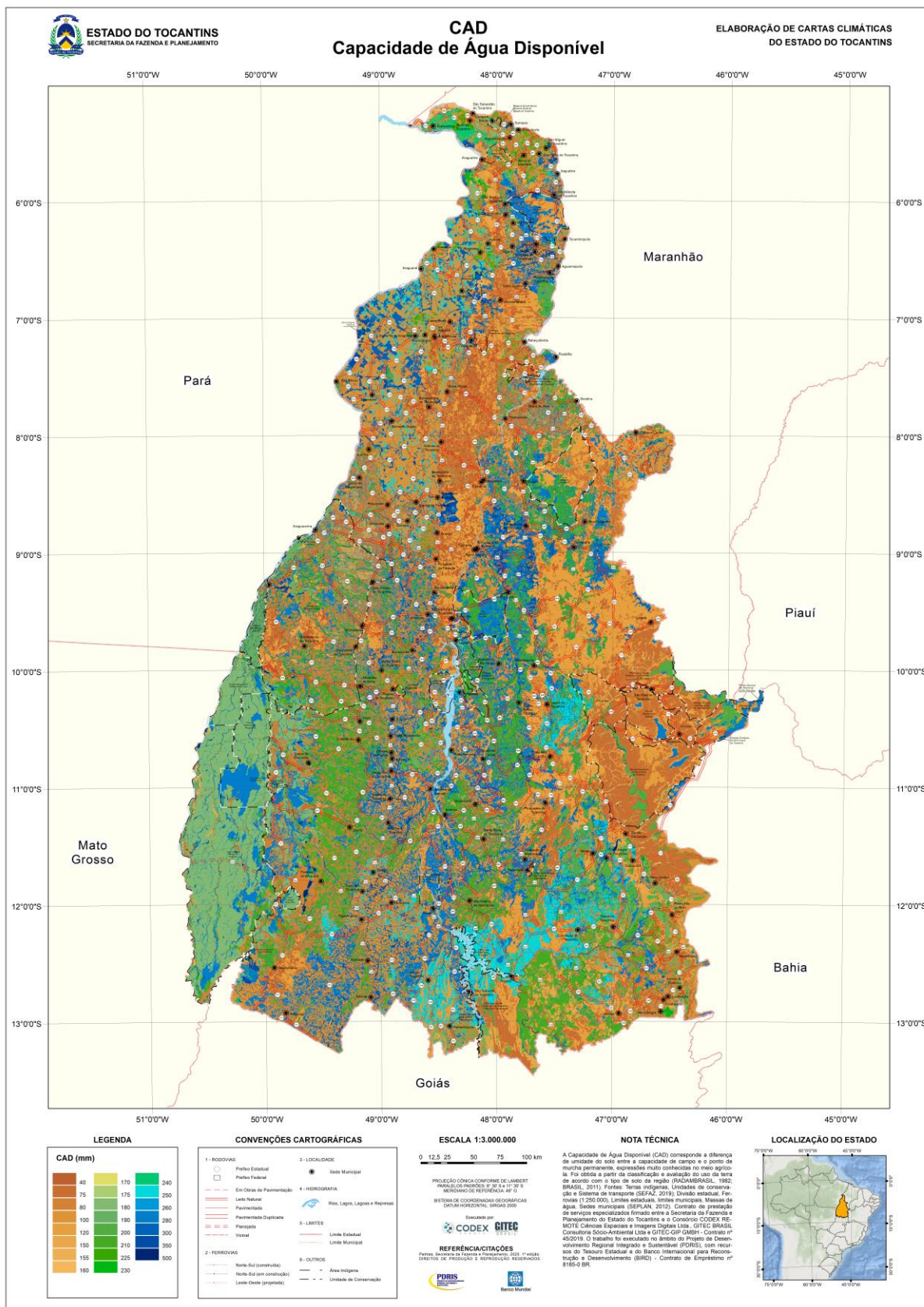
¹⁰ Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/documentos/Parametrosderiscoclimatico.pdf/view>.



que apresenta valores de referência de CAD para o estado do Tocantins sugeridos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

O mapa da **Figura 5** mostra valores baixos de CAD para locais com baixa capacidade de armazenamento de água, ou seja, quanto menor a CAD, menos água estará disponível para as plantas. Cabe ressaltar que esta análise superficial não considera o tipo de cobertura vegetal, ou seja, o sistema radicular da vegetação que cobre o solo. Se está analisando apenas observando o solo.

Figura 5. Capacidade de Água Disponível para o estado do Tocantins.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



Os dados meteorológicos usados para a regionalização foram obtidos a partir de 97 estações, entre automáticas e convencionais, sendo 19 do INMET e 78 estações da ANA, localizadas em seis estados brasileiros (Bahia, Goiás, Maranhão, Pará, Piauí e Tocantins) compreendendo o período de 1990 a 2019, compondo uma série histórica de 30 anos.

Para este projeto foi adaptada uma ferramenta, criada em linguagem *Python* por Carvalho Neto (2014) utilizando do *package ArcPy®* para realizar os cálculos do BHC. As entradas do modelo foram: a CAD, 12 arquivos raster de precipitação; e 12 arquivos raster de ETp, referentes a cada mês do ano, espacializados com o mesmo tamanho e número de pixel e com todos os valores expressos em milímetros [mm].

Como saídas foram geradas 13 imagens raster de BHC, uma para cada mês e mais uma com a média do BHC da série histórica. Os valores negativos do BHC correspondem ao déficit hídrico, e os valores positivos ou nulos são de excesso hídrico. Posteriormente, foram feitos os cálculos dos índices (de seca, hídrico e de umidade).

Este método gerou uma classificação com maior acurácia no diagnóstico e delimitação das áreas que apresentam diferentes condições atmosféricas e regimes de chuva, resultando em um mapeamento detalhado das zonas climáticas do estado do Tocantins.

A regionalização climática obtida foi baseada nos índices de umidade, que permitiram a identificação dos tipos climáticos usando-se como limiares para as classes climáticas os mesmos valores definidos por Thornthwaite e Mather (1955), cujos valores são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Tipos climáticos baseados no índice de umidade de Thornthwaite e Mather.

Símbolo	Tipo de Clima Subtipo climático	Índice de umidade (I_u)
A	Superúmido	$I_u \geq 100$
B ₄	Úmido	$80 \leq I_u < 100$
B ₃	Úmido	$60 \leq I_u < 80$
B ₂	Úmido	$40 \leq I_u < 60$
B ₁	Úmido	$20 \leq I_u < 40$
C ₂	Subúmido	$00 \leq I_u < 20$
C ₁	Subúmido seco	$-20 \leq I_u < 0$
D	Semiárido	$-40 \leq I_u < -20$
E	Árido	$-60 \leq I_u < -40$

Fonte: Adaptado de Thornthwaite e Mather (1955).

Para a geração do mapa de Regionalização Climática Simplificado foram considerados somente os valores do índice de umidade descritos na Tabela 6. Por ser menos discretizadas, as informações contidas neste mapa apontam o caráter úmido dos solos do estado do Tocantins.

Entretanto, percebeu-se a necessidade de considerar o índice de seca para que a informação apresentasse uma condição de umidade mais realística para os solos tocantinenses. Então, gerou-se o mapa de Regionalização Climática, onde foi efetuada, em ambiente SIG, a álgebra entre as imagens raster do índice de umidade e do índice de seca.

Então, foram gerados mapas da Regionalização Climática e da Regionalização Climática Simplificada para o estado do Tocantins, em escala de representação de 1:1.000.000 e 1:3.000.000, para este produto.

3.2.17.3. Classificação de Gaussen

O método de classificação climática de Gaussen é baseado nas médias mensais que determinam o ritmo da temperatura e das precipitações no decorrer do ano, através das quais é possível identificar os períodos favoráveis ou desfavoráveis à vegetação. Através desta classificação o balanço de água, é expresso em duas etapas essenciais e complementares, como descreve Barros *et al.* (2012), e seus resultados são traçados em um diagrama ombrotérmico. A primeira etapa é dedicada à determinação do período seco que é definido como aquele em que a precipitação total [mm] é igual ou inferior ao dobro de sua temperatura média do ar [°C], indicando a duração e severidade do período seco (VIANELLO e ALVES, 2000).

Na segunda etapa do método de Gaussen, além da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, é utilizado um terceiro elemento: a umidade atmosférica, em todas as suas formas (incluindo orvalho e nevoeiro), possibilitando a definição do índice xerotérmico, que representa o número de dias biologicamente secos. Este índice permite a diferenciação de bioclimas vizinhos que possuem alguma similaridade entre si, e também, discriminar diversos microclimas dentro da mesma região bioclimática (BARROS *et al.*, 2012).

Para este diagnóstico climático foi desenvolvida a primeira etapa do método de Classificação de Gaussen, ou seja, foram determinados o período seco, através da relação da precipitação pluviométrica com a temperatura do ar, sendo gerados diagramas ombrotérmicos para diversas localidades.

A escolha destes locais foi pautada na existência simultânea de dados de precipitação e temperatura do ar na respectiva estação. Esta condição foi atingida por 14 estações, as quais são listadas a seguir juntamente com o código da estação correspondente, sendo, portanto: 2 no Pará – Marabá (OMM: 82562) e Conceição do Araguaia (OMM: 82861); 3 no Maranhão – Imperatriz (OMM: 82564), Carolina (OMM: 82765) e Balsas (OMM: 82768); 5 no Tocantins – Araguaína (OMM: 82659), Pedro Afonso (OMM: 82863), Palmas (OMM: 83033), Porto Nacional (OMM: 83064) e Taguatinga (OMM: 83235); 1 no Piauí – Bom Jesus do Piauí (OMM: 82975); 2 na Bahia – Ibipetuba (OMM: 83076) e Barreiras (OMM: 83236) e; 1 em Goiás – Posse (OMM: 83332).

Foram utilizados dados de precipitação total e de temperatura do ar obtidos nas estações automáticas e convencionais do INMET supracitadas, totalizando 14 diagramas.

Os diagramas ombrotérmicos, gerados em planilha eletrônica, serão avaliados individualmente a fim de identificar-se o período seco de cada localidade tomando como critério a equação:



$$P \leq 2T \quad (\text{Eq. 12})$$

onde P é a precipitação pluviométrica total [mm] e T a temperatura média do ar [°C].

3.3. Variabilidade Climática

Os fenômenos de escala global El Niño e La Niña, responsáveis pela variabilidade interanual do clima do Brasil, serão discutidos no contexto da climatologia do estado do Tocantins.

Serão avaliados na descrição climática de cada variável meteorológica, condições que apontam para a variabilidade ou para uma anomalia climática, tendo como referência as informações estatísticas de média e de desvio padrão do conjunto de dados analisados.

3.4. Mudanças Climáticas

A temperatura do ar e a precipitação pluviométrica são duas das mais importantes variáveis meteorológicas utilizadas para definir a climatologia do estado do Tocantins neste diagnóstico. Então optou-se por apresentar alguns valores estimados para ambas a partir do Relatório 5 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e discutidos em IPCC (2014).

Durante a descrição climatológica das variáveis meteorológicas, deve-se realizar alguns comentários necessários e contextualizados considerando também as mudanças climáticas prospectadas pelo IPCC.

3.5. Curvas de Intensidade, Duração e Frequência (IDF)

A chuva é caracterizada pelas seguintes variáveis: a altura (lâmina precipitada), a intensidade, a duração e a frequência de excedência. A precipitação máxima, que é uma ocorrência extrema com duração e distribuição temporal e espacial crítica para uma área, são retratadas pontualmente pelas curvas de intensidade, duração e frequência através da precipitação máxima provável (BERTONI e TUCCI, 2000).

As curvas IDF foram geradas para determinados municípios tendo em vista a expressividade econômica e social destes, os quais são: Araguatins, Darcinópolis, Tocantinópolis, Araguaína, Colinas do Tocantins, Pedro Afonso, Campos Lindos, Mateiros, Caseara, Pium, Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Gurupi, Peixe, Dianópolis, Natividade, Arraias, Paraíso do Tocantins, Porto Nacional e Palmas.

A maior parte dos municípios listados possuem estação meteorológica, automática ou convencional, da ANA ou do INMET, localizadas no interior de seu limite geopolítico, observando-se exceção nos municípios de Darcinópolis e Arraias onde, devido à proximidade entre as cidades, foram utilizados os dados das estações de Wanderlândia (OMM: 647001) e Conceição do Tocantins (OMM: 1247000), respectivamente.

Foi constituída a série hidrológica reduzida formada por dados das variáveis precipitação máxima diária mensal e anual, onde foram tomados os valores da maior precipitação registrada em cada mês e em cada ano. Os dados brutos, originalmente submetidos ao controle de qualidade dos órgãos

coletores/gestores, foram inseridos em um banco de dados para tratamento, eliminando-se valores que caracterizavam erros.

Os pressupostos da hidrologia estatística não admitem a existência de erros, pois ela lida com os erros amostrais. Para aplicações da hidrologia estatística, as séries hidrológicas reduzidas devem ter como pré-requisito os atributos de estacionariedade, homogeneidade, aleatoriedade, independência e representatividade (NAGUETTINI e PINTO, 2007).

Considerando-se o tamanho das amostras selecionadas, variando entre 22 e 31 elementos, optou-se por classificá-las, arbitrariamente, como amostras de tamanho médio e por esta razão obteve-se os histogramas de frequência absoluta das séries.

Para a construção dos histogramas, em planilha eletrônica, foram identificados em cada série mensal e anual, de cada estação meteorológica analisada, os valores máximo, mínimo e o total de dados da série, para posteriormente calcular-se o número de classes (NC) a partir da equação da regra de Sturges (NAGUETTINI e PINTO, 2007):

$$NC = 1 + 3,32 \times \log_{10} N \quad (\text{Eq. 13})$$

onde N é o tamanho da amostra, ou seja, o total de dados da série. Ressalta-se que o valor encontrado para o NC foi arredondado para o inteiro mais próximo.

Na sequência foram calculadas as amplitudes dos dados, efetuando-se a diferença entre maior e o menor valor da série. Então, pode-se calcular a largura do intervalo de cada classe, pelo quociente entre a amplitude e o NC (valor arredondado).

O agrupamento das observações em classes com largura variável foi realizado pela contagem do número de ocorrência em cada classe, definindo-se, assim, a frequência absoluta dos dados em cada classe, obtendo-se os respectivos histogramas de cada uma das variáveis hidrológicas em estudo.

Utilizou-se planilha eletrônica para realizar cálculos de estatísticas descritivas amostrais, sendo elas: média (\bar{x}), mediana (Md), desvio padrão (s), variância (s^2), coeficiente de variação (CV) e coeficiente de assimetria (g). Os valores obtidos representam medidas de posição ou de tendência central, utilizados, na estatística, para resumir em um único valor o conjunto de dados observados.

Através do Teste de Aderência Qui-quadrado (χ^2) foi constatado que os dados se ajustavam melhor a Distribuição de Probabilidade Gama 2P (dois parâmetros) cujas equações, da Função de Distribuição de Probabilidade (FDP) e dos parâmetros β e ν , são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3. Equações da FDP Gama 2P e dos parâmetros β e ν .

Elemento	Equação	Número da equação
FDP	$f(x) = \frac{1}{\beta^\nu \Gamma(\nu)} x^{\nu-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$	(14)
Parâmetro β	$\beta = \frac{s^2}{\bar{x}}$	(15)
Parâmetro ν	$\nu = \frac{(\bar{x})^2}{s^2}$	(16)

Fonte: Mello e Silva (2013).

Aplicando-se a FDP Gama 2P a cada uma das séries foram obtidas as probabilidades de excedência das precipitações diárias observadas.



Para o estudo de chuvas intensas ou extremas, tão relevantes para gestão de recursos hídricos, adotou-se os tempos de retorno (TR) de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos. A partir destes TRs obteve-se as probabilidades de excedência correspondentes, calculadas pela equação a seguir:

$$P(X > x) = \frac{1}{TR} \quad (\text{Eq. 17})$$

Através de um processo iterativo da planilha eletrônica obteve-se os valores de precipitação estimada segundo a distribuição Gama 2P.

Foi aplicado o método de desagregação da precipitação estimada para obter-se a intensidade da precipitação para diferentes durações do evento de chuva. As durações consideradas foram de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos sendo que os coeficientes de desagregação são os mesmos adotados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em 1979 de acordo com Bertoni e Tucci (2000). Após, foi possível gerar os gráficos das curvas IDF onde são confrontados dados de intensidade da precipitação com diferentes durações a partir de determinado tempo de retorno.

Com base nas relações entre intensidade, duração e frequência das precipitações intensas, neste caso a frequência representando o tempo de retorno, obteve-se uma família de curvas IDF para cada variável hidrológica, possibilitando a obtenção de uma equação de intensidade da precipitação, conforme segue:

$$I = \frac{KTR^a}{(t + b)^c} \quad (\text{Eq. 18})$$

onde, I é intensidade em mmh^{-1} , TR é o tempo de retorno em anos, t é a duração da chuva em minutos, K, a, b e c são os coeficientes da equação IDF (parâmetros característicos de cada local).

Da aplicação da Equação 18 é possível estimar-se a intensidade da precipitação de qualquer duração considerando-se qualquer tempo de retorno.

Diante do volume de informações hidrológicas geradas foram criados mosaicos dos gráficos, com 12 meses de dados, para cada uma das variáveis hidrológicas do espectro mensal.

3.6. Avaliação Agrometeorológica

Com o conhecimento das relações entre solo e atmosfera e das diversas espécies cultivadas é possível a obtenção de informações mais precisas acerca da influência do tempo e do clima no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade das culturas (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009). O clima é o primeiro aspecto a ser considerado para a definição do tipo de cultura que pode ser explorado numa certa região, da época mais adequada ao cultivo, do nível de produtividade que pode ser esperado e do tipo de sistema agrícola a ser adotado. Porém são as condições do tempo num dado ano que irá controlar o sucesso da cultura, definindo: o momento mais adequado para as práticas agrícolas; o nível de produtividade realmente obtido; e, as medidas a serem adotadas para a minimização dos riscos. As principais variáveis meteorológicas que afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas são chuva, temperatura do ar e radiação solar (HOOGENBOOM, 2000; e SENTELHAS e MONTEIRO, 2009), além disso, existe também a influência do fotoperíodo, direção e velocidade do vento, e a umidade do ar e do solo.

O regime de chuvas de uma certa região vai definir qual o período de plantio e de colheita para cada cultura. A chuva é a precipitação na forma líquida e quando ela não ocorre de maneira contínua no período chuvoso (ocorrência de veranicos) pode acarretar em queda de rendimento dos cultivos. A temperatura é outra variável importante para a análise agrometeorológica, pois a temperatura do ar e do solo afeta todos os processos de crescimento das plantas. Todos os cultivos possuem limites térmicos mínimos, ótimos e máximos para cada um de seus estágios de desenvolvimento.

A radiação solar é de vital importância agrícola e é considerada a fonte de energia para a fotossíntese e para a evapotranspiração das plantas. Pode ser dividida entre radiação direta (fração da radiação que não interagiu com a atmosfera) e radiação difusa (fração da radiação que interagiu com os constituintes da atmosfera e foi re-irradiada em todas as direções). Além disso, determina as características térmicas do ambiente: temperatura do ar e do solo e duração do dia ou fotoperíodo. O fotoperíodo pode ser definido como o intervalo entre o nascer e o pôr do sol e a resposta da planta ao fotoperíodo é denominada fotoperiodismo.

A água, em todas as suas formas, é um elemento essencial para o crescimento dos vegetais e para a produção de todos os cultivos. A umidade do solo é a fonte de água significativa para a lavoura e o estado de umidade do solo é controlado pela precipitação, pela taxa de evaporação e pelas características do solo. Tal suprimento de umidade pode variar desde o ponto de murchamento, quando não há água disponível para o uso vegetal, até a capacidade de campo, quando o solo fica completamente saturado de umidade. Quando a umidade no solo é excessiva, todos os seus poros são completamente preenchidos de água, predominando o encharcamento. Nesta condição, o movimento livre do ar dentro do solo fica impedido podendo se formar compostos tóxicos para as raízes das plantas.

Desse modo, o conhecimento da disponibilidade hídrica da região e da demanda hídrica para cada fase fenológica das culturas presentes, juntamente com os coeficientes de cultura (K_c) e as evapotranspirações das culturas (ET_c) são primordiais para tomada de decisões, como inserir a prática agrícola da irrigação para aumentar a produtividade da cultura.

O vento é definido como o ar em movimento. Pode ser benéfico quando constitui-se num agente eficiente na dispersão de plantas. Entretanto, pode também causar danos físicos às culturas, favorecendo também um alto índice de transpiração e conseqüentemente ressecamento da planta. Ventos intensos são definidos como ventos com velocidades superiores a 75 quilômetros por hora [kmh^{-1}], podendo danificar a lavoura e favorecer a erosão do solo quando a velocidade exceder certo valor-limite, crítico para um dado ambiente. Assim como o vento, existem outras variáveis meteorológicas que dependendo da sua magnitude ou intensidade podem ocasionar eventos adversos.

As adversidades climáticas configuram-se como a ocorrência de eventos extremos para uma determinada região e que causam prejuízos econômicos e de vidas humanas. No setor agrícola as que mais evidenciam perdas de produtividade são: granizo; chuva intensa; chuva excessiva ou excesso hídrico; geada; seca fora de época; veranico e vento intenso (ventanias e vendavais).

A chuva é definida como intensa se tal precipitação líquida for igual ou superior a 100mmh^{-1} (CUNHA, 1998). A chuva excessiva ou excesso hídrico prolongado pode limitar o crescimento, reduzir a produtividade e aumentar a suscetibilidade a doenças e pragas de um cultivo, além de encharcar o solo, ocasionando situações de má drenagem e má aeração do solo prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular como já mencionado anteriormente. Granizo é a forma sólida da precipitação e ocorre quando as gotas encontram camadas da atmosfera de baixíssimas temperaturas, congelando-



se e precipitando. O fenômeno da geada ocorre se a temperatura do ar, em contato com o solo, ou num nível mais elevado, estiver abaixo de 0°C e são desconhecidas nos trópicos, exceto em áreas montanhosas isoladas, entretanto comuns na região temperada e nas áreas subtropicais.

Existem quatro tipos de secas (Wilhite e Glantz, 1985): a seca meteorológica, a seca agrícola, a seca hidrológica e a seca econômica. A seca meteorológica ocorre quando as precipitações ficam abaixo das normais esperadas e sua análise deve levar em consideração a região em que ocorre, tendo em vista que diferentes localidades podem apresentar regimes pluviométricos muito distintos. A seca agrícola geralmente ocorre quando o suprimento de umidade armazenada no solo não é suficiente para atender às necessidades hídricas de demanda das plantas. A seca hidrológica é observada diante da redução do nível médio de água dos reservatórios superficiais e subsuperficiais, decorrente de prolongada diminuição dos volumes pluviométricos precipitados que impactam o ciclo hidrológico. A seca econômica, ou socioeconômica, está associada ao efeito combinado dos impactos naturais e sociais da falta de água como consequência do desequilíbrio entre fornecimento e consumo da água, afetando diretamente as populações.

Como já mencionado, o veranico ocorre no período chuvoso (para regiões com as duas estações bem definidas: chuvosa e seca) e são no mínimo cinco dias consecutivos de chuva inferior a 1mm. Com o conhecimento de eventos adversos que podem ocorrer sobre a região pode-se prevenir a perda de produtividade com as técnicas mais apropriadas para cada adversidade climática e tomar decisões sobre o tipo de cultura.

Entretanto, para um bom planejamento agrícola, se faz necessário gerar o Zoneamento Agroclimático. Segundo Sentelhas e Monteiro (2009), o Zoneamento Agroclimático é a determinação da aptidão climática de uma determinada região, definindo a aptidão de cada área para o cultivo de determinada espécie de interesse agrícola, considerando as exigências agroclimáticas dos cultivos e as informações macroclimáticas.

As culturas analisadas neste diagnóstico climático foram divididas em culturas permanentes e temporárias. As culturas permanentes são conhecidas como culturas de longo ciclo vegetativo, que permite colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio. Já as culturas temporárias são culturas de curta ou média duração geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessita de novo plantio para produzir. Para o estado do Tocantins foram considerados os cultivos de banana, caju, coco da baía, todas essas permanentes, e abacaxi, arroz, cana-de-açúcar, soja, milho, sorgo, feijão e melancia, como culturas temporárias. Cada uma dessas culturas possui uma fase fenológica com temperatura crítica ótima, mínima e máxima e com uma demanda hídrica específica que serão descritas a seguir e detalhadas nos resultados que serão apresentados:

- Banana

A bananeira é um cultivo típico dos trópicos, que se desenvolve bem com calor constante, boa distribuição de chuvas e umidade elevada. Para melhores rendimentos da bananeira é necessário que a umidade do ar seja pelo menos de 60%, a do solo acima de 70%, boa taxa de luminosidade e temperatura ambiente entre 20°C e 29°C (COELHO, DONATO e ANDRADE NETO, 2009). As três fases fenológicas da bananeira são: crescimento vegetativo, floração e crescimento dos frutos. Segundo a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Aquicultura do Estado de Tocantins - SEAGRO (2019a), o cultivo da banana se adapta a regiões com temperaturas que variam entre 15°C e 35°C, pluviosidade média de 100mm por mês para os cultivos sem irrigação, ventos abaixo de 30kmh⁻¹, solos

com no mínimo 1m de profundidade, fertilidade natural alta e declividade abaixo de 8%. Em condições de sequeiro os plantios podem ser feitos no final da estação seca e início da estação chuvosa, já sob condições de plantios irrigados é recomendável estabelecer calendário de plantio que possa melhorar o escalonamento da produção durante o ano (MATOS *et al.*, 2019).

- Caju

Apesar do caju ser uma das culturas mencionadas como de interesse neste trabalho, se obteve pouquíssimas informações na base de dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE e isso limitou a avaliação agrometeorológica desse cultivo. Por isso, foram feitos levantamentos dos dados do Censo Agropecuário de 2006 e 2017 do caju e assim foi possível descrever seu desenvolvimento no estado do Tocantins, com resultados discutidos posteriormente em capítulo adequado. O cajueiro é originário de ambientes com temperaturas altas e com pouca amplitude térmica, tendo o melhor desenvolvimento e frutificação da planta com temperaturas no intervalo de 24°C a 27°C. Segundo Ramos *et al.* (1996), o cajueiro é cultivado em faixas de 500mm a 4.000mm de chuva por ano, em que é explorado economicamente em regime de sequeiro. Entretanto, para uma boa produtividade do caju é necessário que sejam atendidas as seguintes condições atmosféricas: sazonalidade da precipitação, com a marcada ocorrência de um período seco (junho a setembro), e totais anuais entre 1400mm e 1600mm, concentrados entre outubro e maio, e umidade relativa do ar variando entre 60% e 85% (RAMOS *et al.*, 1996).

- Coco da baía

O coco da baía pode ser chamado também de coco da praia, coco da Índia ou simplesmente coco. Existem fortes indícios que são originários da região asiática e encontra as melhores condições para seu desenvolvimento entre as latitudes de 20°N a 20°S. O regime pluvial ideal para a produção do coco é com precipitação anual de 1.500mm, e com pluviosidade mensal nunca inferior a 130mm. Um período de 3 meses com menos de 50mm de chuva por mês é considerado prejudicial ao coqueiro, e as plantas podem ter a produtividade afetado por mais 30 meses após um prolongado período de seca (FONTES e FERREIRA, 2006). Para melhor rendimento, necessita de muita luminosidade, com temperatura média de 27°C e oscilações diurnas de até 7°C, sem grandes variações diárias de temperatura, clima quente e úmido, solo leve e com boa drenagem e que facilitem o crescimento do sistema radicular até 1m de profundidade. Longos períodos de estiagem são fatores limitantes para o desenvolvimento da cultura. As fases fenológicas do coqueiro são: germinação da semente, desenvolvimento da plântula (fase jovem), desenvolvimento da folha (fase adulta), desenvolvimento da inflorescência (fase reprodutiva) e desenvolvimento do fruto (fase reprodutiva) (PASSOS *et al.*, 2009).

- Abacaxi

A disponibilidade hídrica é um fator mais limitante para o rendimento do abacaxizeiro do que a temperatura, sendo que varia ao longo do ciclo da planta, dependendo do seu estágio de desenvolvimento e das condições de umidade do solo. A precipitação entre 1.200mm a 1.500mm por ano e a alta luminosidade de 2.500h a 3.000h por ano são as mais propícias para o desenvolvimento dessa cultura. Baixa luminosidade retarda o crescimento dos frutos. Segundo Cunha *et al.* (2009) e Sanford (1962), o crescimento e o desenvolvimento do abacaxizeiro são bastante influenciados pela temperatura, estando a faixa ótima, para o crescimento das raízes e das folhas, entre 22°C e 32°C, mais especificamente, entre 29°C e 32°C. As regiões mais favoráveis ao cultivo dessa planta ficam localizadas entre a faixa de latitude de 25°N e 25°S. Segundo a SEAGRO (2019b), de maneira geral, o ciclo do abacaxi é de aproximadamente 18 meses, dependendo da região produtora e das práticas



culturais durante o desenvolvimento vegetativo. Esses ciclos do abacaxizeiro no Tocantins são cultivados em dois regimes, de irrigação e de sequeiro. No regime irrigado, a fase de plantio ocorre entre setembro e outubro, a fase de indução floral ocorre entre julho e setembro do ano seguinte e a colheita de dezembro a fevereiro. Já para o regime sequeiro, a fase de plantio ocorre entre outubro e novembro, a fase de indução floral entre outubro e novembro do ano seguinte e a colheita de março a maio.

- Melancia

A melancia se adapta melhor a clima quente e seco, temperatura variando entre 25°C e 30°C e precipitação média em torno de 500mm por ciclo (SEAGRO, 2019c). A temperatura ideal para a germinação da melancia é entre 21°C e 35°C, já a faixa para desenvolvimento ótimo é entre as temperaturas médias de 23°C a 28°C. Entretanto, temperaturas muito elevadas e ventos fortes podem prejudicar o rendimento desse cultivo na fase de formação e enchimento dos frutos, acarretando a ruptura da casca nos pontos mais fracos (OLIVEIRA, 2013).

Segundo a SEAGRO (2019c), o estado do Tocantins é o segundo estado do país na produção de melancia, com destaque para os municípios de Lagoa da Confusão e Formoso do Araguaia. Além desses, o município de Porto Nacional também vem ganhando proeminência neste cultivo através do projeto Hidroagrícola São João. Em condições de sequeiro, a época mais recomendável para o plantio da melancia no Estado é entre junho e agosto e sob condições de irrigação, entre agosto e março. A colheita da melancia é realizada aproximadamente 65 a 75 dias após o plantio, dependendo da cultivar e do clima. Geralmente a colheita começa entre 35 e 45 dias após a abertura das flores.

- Cana-de-açúcar

O ciclo da cana-de-açúcar pode ser dividido em quatro fases características: brotação e emergência, estabelecimento e perfilhamento, crescimento intenso e maturação (CÂMARA, 1993). O fotoperíodo é essencial na indução do florescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, aumentando o diâmetro e alongação do colmo, quando tiver duração entre 10 a 14 horas, entretanto, retarda o comportamento quando ultrapassa 16 horas (RODRIGUES, 1995). Em relação a temperatura, de uma maneira geral, valores inferiores a 19°C e superiores a 35°C podem prejudicar o desenvolvimento dessa cultura. O consumo hídrico é diferente para cada um dos estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Os principais fatores climáticos associados com a produtividade de cana-de-açúcar descritos por Silva *et al.* (2016) são: temperatura do ar, umidade e precipitação. As condições ideais são de temperatura do ar entre 19°C e 32°C, precipitação média anual entre 1.500mm e 2.500mm, e umidade relativa entre 80% a 85% na fase de alongamento da cana e um valor moderado de 45% a 65% na fase de amadurecimento da cana. Segundo Marin *et al.* (2009) a cana-de-açúcar é uma cultura de ciclo longo (superior a 1 ano) e o estresse hídrico é comum, então é fundamental escolher o melhor cultivar e as práticas de gestão apropriadas, procurando a máxima exploração dos recursos naturais. Logo, é necessário adequar os períodos de estresse hídrico de forma a minimizá-lo nas fases críticas de crescimento da cultura.

- Arroz

O arroz pode se adaptar a diversas condições climáticas e possui três fases distintas: fase vegetativa, reprodutiva e maturação dos grãos. A deficiência hídrica interfere em todos os processos fisiológicos e, por isso mesmo, tem acentuado efeito sobre a produção de fitomassa e do rendimento de grãos (HEINEMANN, STONE e SILVA, 2009a). O cultivo do arroz possui temperaturas críticas ótima, mínima

e máxima para cada fase fenológica, sendo a ótima para seu desenvolvimento entre 20°C e 35°C (YOSHIDA e PARAO, 1976). A semeadura do arroz precisa ocorrer no início do período chuvoso, especialmente no estado do Tocantins, com estabelecimento da lavoura até 20 de dezembro, preferencialmente, pois, caso ocorra em período mais avançado, as chuvas abundantes e características da região, podem dificultar a operação de plantio. Segundo Santiago *et al.* (2013), os elementos climáticos que mais influenciam o cultivo do arroz são o fotoperíodo, a radiação solar, a precipitação pluvial e a temperatura do ar. O fotoperíodo, número de horas de sol, ideal é de 10 horas (SANTIAGO *et al.*, 2013). Similar a outras culturas agrícolas a radiação solar é um fator importante em diversas fases do cultivo deste grão, principalmente na fase reprodutiva e de maturação, e a precipitação pluvial juntamente com a evapotranspiração são essenciais para considerar a disponibilidade e consumo de água necessária à produção (SANTIAGO *et al.*, 2013).

- Soja

Os estádios de desenvolvimento da soja são divididos em vegetativos e reprodutivos, designados pelas letras V e R respectivamente, e tais letras sucedidas por números identificam momentos específicos de cada estágio, com exceção do estágio vegetativo de emergência (VE) e do estágio vegetativo cotilédone (VC). A fase vegetativa começa em VE e vai até o estágio vegetativo de número de nós (Vn). Já a fase reprodutiva varia de R1 até R9, que corresponde, respectivamente, ao início da floração e maturidade a campo. A temperatura ideal para o desenvolvimento da soja é de aproximadamente 30°C e essa cultura se adapta bem em regiões cujas temperaturas variam entre 20°C e 30°C. A disponibilidade hídrica é importante em todas as fases de desenvolvimento da soja, porém em dois períodos são cruciais para o rendimento dessa lavoura: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (FARIAS, NEUMAIER e NEPOMUCENO, 2009).

- Milho

Assim como a soja, os estádios do milho são divididos em vegetativos e reprodutivos e são seguidos de números que também representam estádios específicos, com exceção de VE e o estágio vegetativo de pendoamento (VT). O estresse hídrico pode ocasionar redução no rendimento de grãos, principalmente se ocorrerem entre duas semanas antes e duas semanas após o espigamento (R1) (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2009). Os principais fatores meteorológicos limitantes para o desenvolvimento do milho são: disponibilidade hídrica, temperatura do ar, radiação solar e fotoperíodo. O cultivo de primeira safra no estado do Tocantins é realizado nas regiões de fronteira com os estados do Maranhão e Bahia, e, nas demais regiões produtoras, o cultivo predominante é o de segunda safra (BORGHI *et al.*, 2015). Há necessidade de adequação apenas em termos das condicionantes hídricas, que por sua sazonalidade ou obrigará o pousio do campo ou exigirá um sistema de irrigação para a manutenção das lavouras durante o período seco, entre junho e outubro. Entre outras questões levantadas por Bergamaschi e Matzenauer (2009), destaca-se os cenários de mudanças climáticas que se caracterizam, por elevação das temperaturas noturnas, com provável impacto negativo sobre o potencial produtivo do milho, especialmente em regiões tropicais. O aumento de chuvas intensas, com potencial para a ocorrência de granizos, pode, também, representar grande impacto na produtividade deste grão. Segundo Kiniry (1991), o crescimento máximo da cultura ocorre em ambientes com temperatura entre 26°C e 34°C, com limites extremos de 8°C e 44°C. Sans e Santana (2002) afirmam que, da fase de germinação até a maturação a temperatura do ar ideal deve estar em torno de 25°C e valores abaixo de 15°C na fase de maturação pode ocasionar retardamento do desenvolvimento.

- Sorgo



O sorgo é uma planta de origem tropical, bastante sensível ao fotoperíodo e a baixas temperaturas do ar. Para maior rendimento desse cultivo as temperaturas médias devem ser superiores a 21°C, a temperatura ótima para o crescimento é de 33°C a 34°C (MAGALHÃES, DURÃES e RODRIGUES, 2008). É um cultivo resistente ao déficit hídrico e o excesso de umidade no solo, mais do que outros cereais, com boa resistência em climas quentes e longos períodos de seca. Segundo Landau e Sans (2008) as principais variáveis meteorológicas que influenciam na produtividade do sorgo são: temperatura do ar, radiação solar, precipitação e a disponibilidade de água no solo. Possui três fases de desenvolvimento: fase do crescimento da cultura (EC1), fase da iniciação da panícula até o florescimento (EC2) e fase da floração a maturação fisiológicas (EC3).

- Feijão

Assim como o milho e a soja, suas fases também são representadas pelas: vegetativa e reprodutiva, seguida por números que identificam a etapa de desenvolvimento da planta. A fase vegetativa começa em V0 com a germinação e vai até o estágio vegetativo V4 (Terceira folha trifoliolada aberta). Já a fase reprodutiva varia de R5 até R9, que corresponde, respectivamente, ao início da floração (pré-floração) e maturação (OLIVEIRA *et al.*, 2013). O feijão pode ser cultivado em várias regiões com diferenças térmicas entre 10°C e 35°C. Entretanto, para um melhor rendimento, as temperaturas mais adequadas variam entre 17°C e 25°C. Além disso, o rendimento do feijoeiro é afetado pela condição hídrica do solo, e a deficiência hídrica pode reduzir a produtividade em diferentes proporções a depender da fase do ciclo da cultura em que ocorrer (HEINEMANN, STONE e SILVA, 2009b). A produtividade do feijão, segundo Ferreira *et al.* (2003), é influenciada, principalmente pelos seguintes fatores climáticos: radiação solar, precipitação pluvial e temperatura.

O estado do Tocantins é conhecido como uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil, ele faz parte da região do MATOPIBA, que se trata da região que compreende as áreas agrícolas nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Segundo (BORGHI *et al.*, 2015) alguns produtores já iniciaram a modalidade de cultivo Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), também conhecido como sistema agrossilvipastoril, e os adeptos desta modalidade de cultivo encontram-se bastantes satisfeitos. Existem no Estado o sistema de plantio direto (SPD), além do ILPF e outras modalidades: ILF Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou sistema silviagrícola e Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou sistema agropastoril.

Os resultados obtidos neste projeto serão analisados tomando como ponto de conexão das informações os municípios listados, escolhidos por sua expressividade agrícola no estado do Tocantins, as quais são: Araguatins, Darcinópolis, Tocantinópolis, Araguaína, Colinas do Tocantins, Pedro Afonso, Campos Lindos, Mateiros, Caseara, Pium, Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Gurupi, Peixe, Dianópolis, Natividade, Arraias, Paraíso do Tocantins, Porto Nacional e Palmas.

Para cada município foram extraídas as informações relativas à área colhida (em hectare [ha]), quantidade produzida (em tonelada [t] ou mil frutos) e o rendimento médio da produção (em quilogramas por hectare [kg ha⁻¹]) das 11 principais culturas agrícolas, temporárias e permanentes, listadas anteriormente. Estas informações foram obtidas da pesquisa de Produção Agrícola Municipal (PAM) do banco de dados do IBGE para o período de 2000 a 2018 com dados anuais para gerar a avaliação agrometeorológica sobre cada cultivo para esse período. A frequência anual das informações do PAM possibilita a comparação e facilita a identificação da influência meteorológica sobre a produtividade dos cultivos escolhidos. A cultura do caju foi a única que fez uso dos dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017 do IBGE, pois não constam informações de produção do caju no PAM.

Após a aquisição dos dados foram geradas tabelas do estado do Tocantins com as áreas colhidas [ha], as quantidades produzidas [t ou mil frutos] e o rendimento médio da produção [kg ha^{-1}] que é a razão entre a quantidade produzida [t] pela área colhida [ha] de cada uma das culturas agrícolas indicadas, apresentando-se os valores correspondentes a cada município estudado, essa última sendo a informação mais importante para essa análise. Através desse dado é possível entender como as variáveis meteorológicas influenciaram o enchimento de grãos e o desenvolvimento da produção de cada cultura. Tais dados serão avaliados e os resultados de área colhida, quantidade produzida e rendimento médio serão confrontados de forma analítica com informações das variáveis meteorológicas produzidas para este diagnóstico climático.

Serão contextualizadas as condições climáticas mais indicadas para cada uma das culturas em estudo, estabelecendo-se a duração e a frequência das variáveis analisadas em conformidade com as culturas temporárias e permanentes. Sempre que pertinente serão abordados os impactos de fenômenos que provocam a variabilidade e anomalias climáticas no contexto das produções agrícolas estudadas.

As variáveis meteorológicas a serem analisadas são derivadas dos elementos climáticos precipitação, temperatura, radiação solar e umidade, as quais são: números de dias de chuva, duração do período de chuva, ocorrência de veranicos, e índice de seca.



4. Resultados

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados que foram obtidos a partir do tratamento e processamento dos elementos meteorológicos e que geraram um grande volume de informações de variáveis meteorológicas e hidrológicas. As discussões apoiam-se em dados técnico-científicos.

O estado do Tocantins possui 139 municípios que se distribuem em dez Regiões Programa, a saber: Central, Centro- Oeste, Extremo Norte (Bico do Papagaio), Leste (Jalapão), Nordeste, Noroeste, Norte, Sudeste, Sudoeste (Ilha do Bananal) e Sul, segundo regionalização definida pela Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) em SEPLAN (1997 *apud* SEPLAN, 2016). Será utilizada esta regionalização para a melhor compreensão e adequação das discussões a seguir.

4.1. Análise climática

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (em inglês: *World Meteorological Organization – WMO*), em seu boletim técnico WMO nº 100 (WMO, 2011), o clima de uma região em um período específico pode ser descrito em termos estatísticos, descrevendo-se as tendências centrais e variabilidades de elementos relevantes como temperatura, precipitação, pressão atmosférica, umidade e ventos, ou através de combinações destes elementos como evapotranspiração, índices de umidade e outros. Trata-se da identificação de padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com as superfícies durante um longo período de tempo. Portanto, procura-se explicar como a sociedade e a natureza se relacionam, pressupostos básicos para a compreensão das diferentes paisagens do Planeta, possibilitando uma intervenção mais consciente na organização do espaço (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) os elementos que constituem o clima são três: a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica; mas Ayoade (2006) acrescenta a precipitação, a velocidade e direção dos ventos e a quantidade de nuvens. Estes elementos variam espacial e temporalmente pela influência dos fatores geográficos os quais são: a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação e as atividades humanas. Porém a circulação e a dinâmica atmosférica sobrepõem-se aos elementos e fatores, imprimindo ao ar uma permanente movimentação e alteração das características atmosféricas.

Os fatores climáticos são responsáveis por significativas alterações nos elementos climáticos, e podem ser subdivididos em fatores internos e externos. Como fatores climáticos externos pode-se citar: as flutuações na quantidade de energia solar emitida, as variações na órbita terrestre e no eixo de rotação, o aumento ou diminuição do dióxido de carbono atmosférico, as variações na quantidade de poeira na atmosfera e ainda as modificações nas características da superfície dos continentes e dos oceanos. Já como fatores internos são listados: a periodicidade e as anomalias da temperatura da superfície oceânica, alterações na salinidade dos oceanos e a inércia do sistema climático (VIANELLO e ALVES, 2000).

Observa-se pelos conceitos apresentados que a dinâmica atmosférica, através da circulação em diferentes escalas espaciais e temporais, interagem com os elementos e os fatores climáticos, alterando-os. Logo, constata-se a importância de descrever a climatologia dos movimentos

atmosféricos na América do Sul e no estado do Tocantins, para só então avançar para a apresentação dos resultados e discussão das variáveis meteorológicas.

Porém, antes de tudo apresenta-se uma breve contextualização geográfica do estado do Tocantins, a fim de subsidiar o entendimento dos elementos climáticos tratados neste diagnóstico, através da integração dos aspectos gerais do clima, da dinâmica atmosférica e do próprios elementos climáticos.

4.1.1. Contextualização geográfica geral do estado do Tocantins

Os elementos que predominantemente constituem o clima são: a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a pressão atmosférica; a precipitação pluviométrica, a velocidade e direção dos ventos e a quantidade de nuvens, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) e Ayoade (2006). Estes elementos variam no espaço e no tempo por influência de fatores geográficos como a latitude, altitude, maritimidade/continentalidade, vegetação, hidrografia e atividades humanas.

O ar se movimenta constantemente e, conseqüentemente, altera as características termodinâmicas (temperatura, umidade e pressão) da atmosfera. A circulação do ar apresenta diferentes tamanhos (escala espacial) e tempos de duração (escala temporal), observando-se a interação entre as diversas circulações atmosféricas, que podem ser classificadas como microescala, mesoescala e macroescala. Segundo Ayoade (2006), é a circulação geral (escala global), aquela que representa o escoamento médio do ar em torno do globo, que determina o padrão de climas do mundo, porém este padrão também é influenciado por circulações de escalas menores. Vianello e Alves (2000), Ynoue *et al.* (2017), também Ayoade (2006) e outros autores, descrevem a classificação das circulações atmosféricas em diferentes escalas, todas inseridas na circulação geral, como segue, resumidamente: na microescala observa-se os vórtices turbulentos, com dimensão de centímetros a algumas dezenas de metros e duração de segundos até algumas horas, decorrentes do aquecimento da superfície terrestre; na mesoescala se encontram os eventos que duram entre alguns minutos até alguns poucos dias e podem ter dimensão espacial de alguns metros até dezenas de quilômetros, como tempestades, tornados, brisas de vale/montanha e marítima/terrestre e algumas tempestades tropicais; e na macroescala, também conhecida como escala sinótica, têm-se os eventos com duração de dias, semanas ou mais, e que variam entre 20km até cerca de 2.000km, por exemplo, furacões, centros de alta e baixa pressão e sistemas frontais.

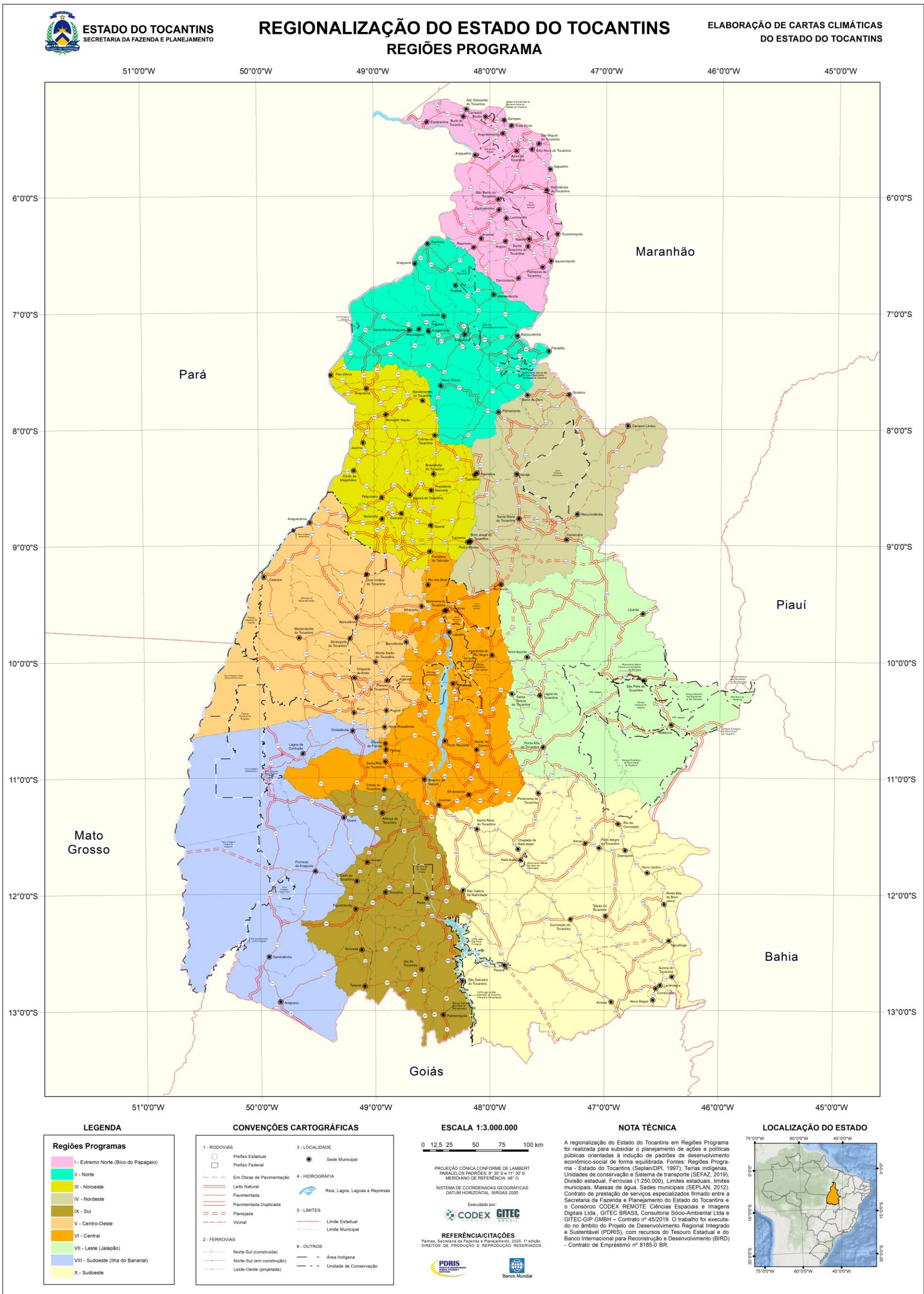
O estado do Tocantins é a mais jovem unidade federativa do Brasil, fundado em 5 de outubro de 1988 pelo Ato das Disposições Constitucionais Transitórias da Constituição Federal de 1988 (SENADO FEDERAL, 1988), localizando-se na porção central do País. Possui a décima maior área territorial dentre as unidades da federação, com 277.466,763km², segundo o portal cidades do IBGE (2020). Tem como divisas os estados de Goiás, Mato Grosso, Pará, Maranhão, Piauí e Bahia. Sua localização geográfica, entre as latitudes de 5°S e 14°S e as longitudes de 45°W e 51°W, lhe conferem grande fornecimento de radiação solar e sua continentalidade favorece a amplitude térmica do ar e dificulta a atuação de circulações atmosféricas de macroescala, prevalecendo as circulações locais (meso e microescala), como as circulações por convecção e de vale/montanha.

O Estado é formado por 139 municípios, distribuídos em 10 Regiões Programa, segundo regionalização definida por SEPLAN (1997), que compreendem: Central, Centro-Oeste, Extremo Norte (Bico do Papagaio), Leste (Jalapão), Nordeste, Noroeste, Norte, Sudeste, Sudoeste (Ilha do Bananal) e Sul. O



mapa a seguir (Figura 6) apresenta a distribuição espacial dessas regiões no Estado do Tocantins e será utilizado para a apresentar algumas várias climáticas no território.

Figura 6. Mapa da Divisão Política Administrativa, com os limites das Regiões Programa.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



No Atlas do Tocantins (SEPLAN, 2012) pode-se verificar que o Estado possui quatro principais domínios geomorfológicos, os quais são: Depósitos Sedimentares Inconsolidados (12,9% do território), localizando-se prioritariamente na região da Ilha do Bananal; Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas (43,9% do território), cobrindo a parte central, norte, leste e boa parte do sudeste do Estado; Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares (24,8% do território), se estendendo de sul a noroeste entre as duas unidades geomorfológicas supracitadas, e apresentando áreas dispersas ao centro e sul do Estado; e Embasamento em Estilos Complexos (18,4% do território), prevalente no sul e sudeste do Tocantins.

O predomínio da orientação meridional dos domínios geomorfológicos presentes do estado do Tocantins, que se reflete na orientação norte-sul dos dois principais rios do Estado, o Tocantins e o Araguaia, e também da maioria das serras e chapadas, impacta significativamente as circulações. Se por um lado as serras da porção central do Estado represam a circulação sinótica de oeste, as chapadas da divisa com a Bahia dificultam o entranhamento da circulação sinótica de leste.

O conjunto de características geológicas representadas pelos domínios geomorfológicos, através do intemperismo, são responsáveis pela diversidade dos solos, cujas classes mais representativas no Estado, segundo a SEFAZ (2019c), são: Plintossolos, Neossolos, Latossolos, Argissolos, Gleissolos, Cambissolos, Nitossolos, Luvissolos, Planossolos, afloramentos de rochas, Chernossolos e dunas. Toda essa diversidade, em parte, se reflete no uso e cobertura da terra, que por sua vez interfere no balanço de energia da superfície, que guarda forte relação com o balanço de energia da atmosfera, com resposta mais imediata nos campos de temperatura do ar, umidade relativa do ar, evaporação, evapotranspiração, nebulosidade e precipitação pluviométrica.

Tocantins é um dos estados que compõem a Amazônia Legal, mais precisamente inserido na subdivisão Amazônia Oriental deste recorte legal, se estendendo sobre as bacias hidrográficas do Rio Araguaia e do Rio Tocantins. Segundo SEMADES (2011), nestas duas principais bacias hidrográficas há 30 sub-bacias, 14 delas pertencendo ao sistema hidrográfico do rio Tocantins, cobrindo 62,3% do território tocantinense, e 16 sub-bacias compõem o sistema hidrográfico do rio Araguaia, cobrindo a porção oeste do Estado (38% do território). Tais características físicas são componentes importantes do ciclo hidrológico, participando como fonte de umidade (direta ou indireta) para atmosfera, propiciando a formação da precipitação pluviométrica e servindo como reservatório e caminho de escoamento da precipitação pluviométrica.

Segundo a SEFAZ (2019b), o relevo do Tocantins se caracteriza pelo predomínio de planícies, cujas altitudes não ultrapassam 500 metros, e sendo comuns planaltos, patamares e depressões com pouca variação de altitude em relação ao nível do mar. Constata-se o decréscimo longitudinal das altitudes, no sentido sul-norte, estando o ponto mais alto do Estado, com 1.340 metros, localizado na serra das Traíras ou das Palmas, no sul do município do Paranã, e a menor altitude, de 90 metros, na confluência dos rios Tocantins e Araguaia, no sul do município de Esperantina. Também predomina o decréscimo latitudinal, no sentido leste-oeste, com maiores altitudes nos chapadões, nas divisas com os estados da Bahia, Piauí e Maranhão, e menores na Planície do Araguaia. O relevo define o topoclima de uma determinada região.

Em termos de temperatura do ar pode verificar-se diversas influências do relevo. As áreas de maior altitude apresentam valores menores de temperatura do ar do que as áreas menos elevadas. Especialmente durante o inverno o ar frio acumula-se nas depressões e nas áreas de baixada,

principalmente em locais circundados por formações rochosas de maior porte (VIANELLO e ALVES, 2000).

Extensas áreas planas são mais favoráveis a formação da convecção, circulação atmosférica local que provoca a elevação do ar quente em contato com a superfície aquecida. Esta circulação, a depender da disponibilidade de umidade, estimula a formação de nuvens que podem resultar em precipitação convectiva. As variações no relevo também proporcionam o levantamento orográfico, que força o vento a subir na atmosfera para ultrapassar a barreira física do terreno. A umidade presente no ar irá condensar e pode ocorrer a formação de nuvens a barlavento da montanha (lado de onde sopra o vento) sendo possível a ocorrência de chuvas intensas neste lado da montanha. Quando o ar desce a sotavento da barreira, fica mais seco e quente do que era antes, podendo fluir por centenas de quilômetros na direção do vento, se o terreno assim permitir (YNOUE *et al.*, 2017). Um sistema de vale convergente, canaliza e acelera o vento, independente da origem da circulação, e esta característica pode ser observada entre a Serra do Estrondo e a Serra do Lajeado, na porção central do Estado, entre a Serra Dourada e a Serra das Caldas no sul do Tocantins, e em tantos outros vales que encaixam a hidrografia do Estado, especialmente na metade leste.

Há três grandes regiões fitogeográficas no Estado, segundo a SEPLAN (2013): Cerrado (60,9% do território tocantinense), Floresta Estacional (16,6%) e Floresta Ombrófila (7,70%). Elas são responsáveis por grande parcela da umidade que é fornecida para a atmosfera, mesmo durante os períodos secos do ano. Ambientes alagados, vegetados e com grandes superfícies líquidas apresentam temperaturas mais estáveis ao longo do tempo, com menor amplitude entre os valores máximos e mínimos, do que ambientes mais secos e com menos vegetação. Centros urbanos são ótimos absorvedores de calor, resultando, frequentemente, em temperaturas médias do ar mais elevadas. Os aspectos específicos de determinado local definem o clima local.

Diversas disciplinas ligadas de um modo geral ao meio ambiente em que se vive podem ser conectadas pela Meteorologia. Tentar entender as transformações que ocorrem neste meio, principalmente, no ar que se respira e no clima no qual se realizam as mais diversas atividades, produtivas ou de lazer, torna-se essencial para identificar possíveis mudanças climáticas. Compreender a variabilidade do tempo e do clima requer o conhecimento de processos básicos, como a interação da energia solar com as superfícies e com o ar, a redistribuição de calor no Planeta, as atividades humanas que alteram a composição da atmosfera e seus efeitos sobre os elementos meteorológicos. Todas estas questões, e outras, são consideradas no decorrer deste material.

4.1.2. Movimentos atmosféricos na América do Sul e no Tocantins

Segundo Vianello e Alves (2000) qualquer tentativa em direção ao entendimento da dinâmica atmosférica sobre uma área deve iniciar-se com uma visão mais global, na qual a localidade de interesse está inserida. Por isso, deve-se, primeiramente, observar o escoamento médio da atmosfera sobre a América do Sul e os oceanos adjacentes.

Sobre os oceanos circunvizinhos, observa-se a presença de anticiclones quase estacionários, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS). Eles são responsáveis, em grande parte, pelas condições de tempo sobre a América do Sul, exercendo forte influência na penetração das massas de ar tropicais úmidas e polares. Variações em suas posições e intensidades modificam-se ligeiramente do verão para o inverno, repercutindo efeitos sobre o continente (VIANELLO



e ALVES, 2000). Segundo Fonzar (1994) a configuração geral e o relevo no interior do continente estimulam a formação de zonas de alta e baixa pressão regionais, e também de linhas de instabilidade tropicais.

A atmosfera sul americana é controlada diretamente por sete centros de ação: o anticiclone dos Açores, o anticiclone da Amazônia ou *Doldrums*, o anticiclone do semifixo do Atlântico Sul, o anticiclone semifixo do Pacífico, o anticiclone migratório Polar, a depressão do Chaco e a depressão do Mar de Weddell. Com exceção do anticiclone semifixo do Pacífico, o Brasil também observa o controle destes centros de ação somados a presença determinante da corrente oceânica do Brasil e da corrente oceânica das Malvinas ao longo de sua costa leste e, da corrente oceânica Sul Equatorial na costa norte (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

As dimensões territoriais e características geográficas da América do Sul, e também do Brasil, lhes conferem condições para a atuação de massas de ar equatoriais, tropicais e polares. Assim, para este diagnóstico climático, a descrição dos movimentos atmosféricos será direcionada para aqueles sistemas que influenciam a atmosfera sobre o estado do Tocantins.

O território tocantinense é influenciado principalmente pelas massas de ar Equatorial continental (mEc), Tropical atlântica (mTa) e, com menor frequência, pela Polar atlântica (mPa). A interação destas massas com sistemas de menor escala temporal e espacial dão origem aos tipos de tempo desse Estado (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). O Tocantins também percebe a atuação da massa Equatorial atlântica (mEa) mas em associação com a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Fonzar (1994) descreve sistemas atmosféricos secundários, que se originam da alteração de sistemas primários como mTa e mEa. Ao norte do Tocantins a autora descreve um Anticiclone Tropical Continental (ATC), mais comum durante o verão, que na maioria das vezes ocorre pela alteração da mTa, porém também surge da penetração da mEa. Ela ainda apresenta o sistema secundário da Baixa do Nordeste (BN) que influencia o tempo na faixa sul do Tocantins, na divisa com Goiás.

A massa Equatorial continental (mEc) tem seu centro de ação localizada na porção centro-ocidental da Planície Amazônica, o que produz uma massa de ar com temperaturas elevadas, principalmente por sua proximidade com a linha do Equador. Mesmo sendo uma massa de ar continental, apresenta a peculiaridade de ser úmida, por originar-se sobre uma superfície densamente florestada e com vasta rede hidrográfica, além do enriquecimento com a umidade oceânica por influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da massa de ar Equatorial do Atlântico Norte (mEa) (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Segundo Nimer (1989), a dinâmica atmosférica, de depressão térmica (zona de baixa pressão atmosférica decorrente do aquecimento), que origina a mEc, lhe empresta o caráter convectivo, que sujeita a umidade específica local a frequente condensação, conferindo a massa de ar características de elevada umidade relativa do ar, formação de grandes cumulonimbus e precipitação pluviométrica abundante.

A máxima atuação da mEc ocorre principalmente durante os meses de verão, período em que a mesma se expande e se desloca mais para sul, em direção ao interior do continente, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007). Então, durante o verão austral, todo o território do Tocantins recebe da corrente de oeste da mEc o ar quente e úmido da Planície Amazônica. Nimer (1989) destaca que a circulação perturbada da corrente de oeste da mEc decresce em importância de norte para sul e de oeste para leste, portanto, as regiões Norte, Noroeste, Centro-oeste e Sudoeste do Tocantins são as mais sujeitas

à influência direta desta massa de ar e de forma mais duradoura. Perturbações associadas a ZCIT ou na forma de ondas de leste podem interferir tanto no posicionamento quanto na intensidade da mEc, promovendo alterações nas condições de tempo da região Norte do Brasil, e, certamente, também do Tocantins (SILVA DIAS e SILVA, 2009).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um sistema atmosférico que designa a convergência dos ventos Alísios, sendo predominantemente oceânico mas que se estende por algumas centenas de quilômetros adentro dos continentes diante de condições comumente favoráveis. Segundo Melo, Cavalcanti e Souza (2009) esta banda de nuvens convectivas é considerada o mais importante sistema gerador de precipitação sobre os oceanos equatoriais e as áreas continentais adjacentes. Durante os meses de março e abril atinge sua posição mais ao sul (em torno de 2°S), tendo papel determinante na estação chuvosa no norte da região Nordeste do Brasil, podendo atingir latitudes de 5°S sob a influência de eventos de escala global como El Niño. As regiões Bico do Papagaio, Norte e Nordeste do Tocantins são as mais frequentemente atingidas pelas nuvens convectivas e precipitações da ZCIT, especialmente entre fevereiro e abril. Estudos de Waliser e Gautier (1993 *apud* MELO, CAVALCANTI e SOUZA, 2009) revelam a presença de sistemas convectivos profundos de grande escala sobre o Tocantins, apesar da baixa frequência, associados a ZCIT, atuando intensamente em quase todo o Estado no mês de janeiro, e com menor intensidade na metade norte do Estado durante o mês de outubro.

Mais umidade e calor são adicionados à atmosfera do Tocantins durante os meses de verão, agora através de correntes de leste proveniente da massa Tropical atlântica (mTa), período em que ela é atraída pelas baixas pressões que se formam sobre o continente aquecido. Ela se origina no centro de altas pressões subtropicais, na região marítima quente do Atlântico Sul e, por isso, apresenta características de temperatura e umidade elevadas (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). A atuação desta massa de ar sobre o Tocantins é limitada, pois esta corrente de leste da mTa, antes de atingir o Jalapão tocantinense, percorre uma longa distância, mudando suas características principalmente ao se deslocar sobre a Bahia, onde se resseca significativamente em decorrência dos constantes efeitos orográficos resultantes das formas do relevo baiano. Durante o verão a mTa torna-se instável na baixa atmosfera devido ao aquecimento de sua base ao entrar em contato com o continente e estimulado por efeitos orográficos. Porém durante o inverno o resfriamento a partir da base torna esta massa de ar mais estável, contribuindo para a ocorrência de bom tempo.

O acúmulo de ar polar (frio e menos úmido) sobre o oceano Atlântico, na altura centro-sul da Patagônia, dá origem à massa de ar polar, de características fria e úmida, formando a massa Polar atlântica (mPa). Atraída pelas baixas pressões das regiões tropicais e equatoriais a massa polar se desloca sobre a América do Sul, percebendo as influências do relevo, e dividindo-se, inicialmente, em dois grandes ramos: do Pacífico e do Atlântico. A umidade característica da mPa é adicionada durante a sua permanência sobre o oceano Atlântico (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Ainda segundo estes autores, ao chegar ao rio da Prata a mPa subdivide-se novamente, agora em dois grandes ramos. Aproveitando-se da calha natural do relevo formada pelos rios da Prata, Paraguai e Paraná, ela adentra o continente produzindo queda na temperatura. Durante o inverno, além das baixas temperaturas, este ramo é responsável pelos reduzidos índices de umidade do ar e pluviosidade no interior do Brasil.

Em condições em que o centro migratório polar (de alta pressão) encontra-se com intensidade expressiva, a mPa consegue avançar até latitudes equatoriais, podendo até ultrapassar a linha do equador, provocando a ocorrência do fenômeno conhecido como friagem sobre a Amazônia, principalmente nas porções sul e oeste (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Pode ser constatada



queda na temperatura do ar também no Tocantins, embora em menor proporção, ou seja, sem efeito perceptível nos campos mensais e anuais da temperatura, pois os efeitos dos fenômenos de friagem são mais evidentes no estado nortista de Rondônia (MARENGO e NOBRE, 2009). Ao se deslocar sobre o continente a mPa se choca com outras massas de ar com características termodinâmicas diferentes das suas (mEc e mTa), por isso, é muito comum ela ser antecedida por um sistema frontal, neste caso uma frente fria.

Cavalcanti e Kousky (2009), ao obter a climatologia da passagem de frentes frias sobre o Brasil no período entre 1979 e 2005, mostram que, na média, entre uma e cinco frentes frias chegam ao Tocantins a cada ano, com menor frequência na parte norte do Estado. Nos limites com os estados de Goiás, principalmente no sudoeste tocantinense, e da Bahia podem chegar até dez frentes frias por ano. Os pesquisadores não observaram relação entre maior ou menor número de frentes frias e os eventos de El Niño ou La Niña para a região do Tocantins, porém há uma associação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), aumentando a distribuição e a intensidade da precipitação na metade sul do Estado um ou dois dias após a passagem da frente fria. Segundo Nimer (1989), o avanço da frente fria até latitudes próximas do equador ocorre, geralmente, quando há duas passagens de sistemas frontais sucessivos no sul do Brasil, cujo resfriamento ambiental promovido pela massa polar que acompanha o primeiro sistema frontal torna as condições mais favoráveis ao avanço do segundo.

Quando observa-se outros fenômenos de escala sinótica atuantes no Tocantins, além das frentes frias, identifica-se a influência no padrão da precipitação pluviométrica pelos efeitos dos Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), principalmente quando estes se originam sobre o continente. O Estado é atingido pela periferia oeste destes vórtices ciclônicos, que, segundo Ferreira, Ramírez e Gan (2009), formam-se nos meses de primavera, verão e outono, atuando com mais frequência entre os meses de dezembro a fevereiro, promovendo a formação de nuvens e a ocorrência de precipitação em todo o território tocantinense, porém de forma pouco expressiva nas regiões Sul, Sudeste e Leste do Estado. Os efeitos do VCAN são potencializados quando associados a outros sistemas meteorológicos de verão como a ZCAS e a Alta da Bolívia (AB).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um sistema meteorológico típico de verão que se caracteriza por uma faixa de nebulosidade com orientação noroeste-sudoeste, cuja área de atuação engloba o centro-sul da Amazônia e as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, podendo atingir também o centro-sul da Bahia, conforme Carvalho e Jones (2009). Estes autores mostram que todo o estado do Tocantins pode ser atingido pelas precipitações convectivas quase estacionárias, porém as regiões Centro-Oeste, Sudoeste, Sul e Sudeste são as mais impactadas. A maior duração na atividade do sistema ZCAS revela indícios de dependência com as fases quentes do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), ou seja, com o El Niño.

Ao diminuir as dimensões dos fenômenos atmosféricos, tanto em escala espacial quanto temporal, constata-se a formação de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) com durações variadas no Tocantins e podendo ocorrer em todas as regiões (SILVA DIAS, ROZANTE e MACHADO, 2009), e a formação de Linhas de Instabilidade Continental (LICON), que de acordo com Cohen *et al.* (2004) se originam à leste do Pará e noroeste do Tocantins devido ao contraste entre a vegetação e as áreas desmatadas. Estes dois sistemas meteorológicos de mesoescala, CCM e LICON, se caracterizam por um ambiente favorável a ocorrência de precipitações convectivas intensas e rápidas, muitas vezes acompanhadas por fortes ventos, granizo e descargas elétricas.

Vale ressaltar que o Tocantins localiza-se em uma área de transição entre vários sistemas de escala sinótica que definem o tempo e o clima das regiões Norte e Nordeste do Brasil, e por isso, as partes norte e leste do território tocantinense podem experimentar as condições prevaletentes da região Nordeste e, a parte oeste as condições características do centro-sul amazônico.

4.1.3. Precipitação pluviométrica

A precipitação é uma variável que tem como principal característica a marcante variabilidade espacial e temporal, ou seja, muitas vezes observa-se chuva em um determinado local e apenas algumas dezenas de metros dali pode-se não perceber chuva qualquer, o mesmo sendo percebido em termos de tempo cronológico, em uma hora chove e na seguinte não. A complexidade de sua distribuição se deve a influência de diversos fatores climáticos como topografia, distância de corpos hídricos, deslocamento e caráter das massas de ar, entre outros (AYOADE, 2006). Conforme expõe Barry e Chorley (2013), após um grande levantamento de dados do programa do satélite *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM) do período entre 1998 e 2006 foram identificados três regimes diurnos de precipitação, sendo de interesse para Tocantins o regime continental, com um pico de pluviosidade às 15:00 e 18:00 horas local e com grandes volumes acumulados.

O estado do Tocantins apresenta valores acumulados anuais de precipitação pluviométrica variando entre 1152mm e 1920mm, como observa-se na Figura 7. Mapa da Precipitação Pluviométrica anual no Tocantins, **total acumulado, do período 1990 - 2019**.

A região programa do Sudeste possui os menores valores de precipitação de todo o Estado, concentrada em um pequeno bolsão entre os municípios de Paranã, Conceição do Tocantins e Arraias. Esta Região situa-se entre as mais elevadas barreiras físicas do Estado, o que dificulta o avanço da circulação sinótica de leste da mTa e também da ZCAS. Portanto, a precipitação ali, se deve, principalmente, a sistemas meteorológicos como a ZCIT e a corrente de oeste da mEc, que chegam a esta Região bastante enfraquecidas, e ao sofrerem as influências da circulação local provocam precipitações convectivas. Baixos valores anuais de chuva também são constatados na tríplice divisa entre os estados do Tocantins, Bahia e Piauí, com totais inferiores a 1280mm, porção que constitui a franja limítrofe com o semiárido nordestino.

Ainda analisando a região Sudeste, onde prevalecem valores de precipitação anual inferiores a 1408mm, observa-se uma área bastante restrita, com o município de Ponte Alta do Bom Jesus ao centro, com precipitação anual acima de 1664mm. Constata-se em SEPLAN (2019c) que esta é uma região de acetuada declividade, favorecendo a formação de nuvens convectivas, com precipitação abundante a barlavento da Serra Geral de Goiás, provavelmente em decorrência da circulação local de vale/montanha. Os dados anuais de precipitação pluviométrica das estações meteorológicas localizadas nesta Região apontam tendência de redução nos acumulados, a partir do comportamento observado entre 1990 e 2019, padrão coerente com os relatórios do IPCC-R5 (IPCC, 2014). Apenas as estações pluviométricas nos municípios de Conceição do Tocantins e de Natividade indicam aumento na precipitação.

O período entre os anos de 1991 e 1993 foi marcado pela ocorrência de dois eventos El Niño, um forte seguido por um evento de fraca intensidade, que comumente ocasiona redução nos totais de chuva no Norte do Brasil. Ao contrário do esperado, no primeiro episódio, observa-se aumento no volume precipitado em todas as estações pluviométricas com registro de chuva da região programa Sudeste,



atingindo valores até 1316,4mm maior em 1992 do que em 1991 na estação do município de Ponte Alta do Bom Jesus. Entretanto, todas as estações pluviométricas da Região, exceto Taguatinga e Ponte Alta do Tocantins, ambas sem registro de precipitação em 1993, apresentaram reduções no volume acumulado de chuva de 1992 para 1993. Em São Valério da Natividade e Paranã observa-se as menores reduções, da ordem de 300mm de um ano para o outro, e as maiores reduções ocorreram em Dianópolis (1302,7mm), Aurora do Tocantins (1422,2mm) e Ponte Alta do Bom Jesus (1606mm). Nenhum outro evento El Niño apresentou resultados de acordo com os descritos em bibliografias técnicas de maneira tão uniforme e intensa quanto o evento 1992/1993, provavelmente devido ao forte evento do ano imediatamente anterior.

Ao analisar o padrão de precipitação diante da ocorrência de eventos La Niña na região Sudeste do Tocantins, que deve resultar em aumento nos volumes anuais de chuva, verifica-se que, de um modo geral, não verificam-se os efeitos esperados em todos os episódios, e nem com o mesmo sinal em todas as estações pluviométricas, acompanhando o observado nos eventos El Niño. Todavia, no episódio 2010/2011, com exceção de Dianópolis, todos os municípios registraram precipitação acima da média climatológica no ano de 2011. O maior desvio foi registrado em São Valério da Natividade (620,4mm) e o menor desvio ocorreu em Porto Alegre do Tocantins (14,6mm).

Nos eventos El Niño 2006/2007 e La Niña 2007/2008, ambos de intensidade moderada, não foi possível a realização da análise, pois as estações pluviométricas desta região Sudeste não possuem registros no ano de 2007, exceto em Pindorama do Tocantins. Os registros desta estação mostram redução no El Niño e aumento na La Niña, com valores da ordem de 700mm.

Os maiores valores acumulados se distribuem amplamente entre os rios Tocantins e Araguaia. Precipitação anual superior a 1792mm são registradas na porção central da região Norte, inserindo-se nos limites municipais de Santa Fé do Araguaia, Aragominas, Muricilândia e Carmolândia. A região Centro-Oeste apresenta a mais vasta área com precipitação anual superior a 1792mm, com grande porção sobre a unidade de conservação da Parque Estadual do Cantão. Na região do Extremo Norte do Tocantins também se identifica uma área com precipitação anual elevada, superior a 1664mm, que abrange o território dos municípios de São Sebastião do Tocantins, Esperantina e Buriti do Tocantins, localizados nas divisas com o Maranhão e o Pará. Toda a metade oeste do Tocantins sofre a influência de diversos sistemas meteorológicos produtores de chuvas abundantes, citando-se a circulação de oeste da mEc, ZCIT, ZCAS, LICON e VCAN, todos com atuação predominantemente entre os meses de outubro a abril.

A prevalência dos maiores acumulados de chuva na parte oeste e norte do Tocantins tem relação mais estreita com corrente de oeste da mEc, cuja combinação de umidade e temperatura elevada desta massa de ar estimula a produção de chuva. O relevo é outra condicionante importante, promovendo o represamento da umidade proveniente da região Amazônica à oeste da Serra do Estrondo e à oeste da Serra do Lajeado que, mesmo com altitudes não muito acentuadas, dificultam o avanço da corrente de oeste da mEc. A topografia encontrada por tal circulação atmosférica, que chega ao Tocantins com menor potência por causa da interação (atrito e evaporação) com a densa floresta amazônica em seu caminho, propiciam a ascensão do ar úmido restante pela força orográfica e, conseqüentemente, a formação de precipitação convectiva.

Analisando-se os dados anuais de precipitação pluviométrica da região Norte do Tocantins entre os anos de 1990 e 2019 verifica-se, em acordo com os dados divulgados pelo IPCC-R5 (IPCC, 2014), a

tendência de redução nos volumes anuais de precipitação, exceto a estação localizada em Muricilândia que mostra a tendência de aumento nas chuvas. Nesta Região observa-se muitas estações com muitos anos de falhas, condição que prejudica a análise dos efeitos provocados pelos fenômenos ENOS. Dos eventos El Niño registrados, verifica-se a concordância da influência esperada sobre a precipitação da maioria dos eventos e estações que possuem dados, ou seja, redução nos volumes anuais de precipitação de um ano para o outro. Destaca-se os episódios de El Niño de 1997/1998 (forte), 2002/2003 e 2009/2010 (ambos moderado), cuja redução nos valores acumulados no último ano de cada episódio são percebidos em praticamente todos os municípios, constatando-se que no último episódio (2009/2010) os efeitos foram mais severos. Os eventos La Niña também retornaram os efeitos esperados em quase a totalidade das estações pluviométricas do Norte do Estado, ou seja, aumento na precipitação anual. Dos episódios registrados entre 1990 e 2019, os quais ocorreram nos anos 1998/1999; 1999/2000; 2007/2008; 2010/2011; e 2017/2018, o penúltimo (2010/2011) apresentou os efeitos mais pronunciados de uma maneira geral, ou seja, o aumento na quantidade de chuva foi mais acentuada e atingiu uma quantidade maior de municípios da Região.

A série histórica de precipitação da região programa Centro-Oeste, dos anos de 1990 a 2019, composta por um conjunto de 9 estações pluviométricas, mostra tendência de decréscimo dos volumes acumulados anualmente, corroborando as informações do IPCC-R5 (IPCC, 2014). As falhas de dados da série amostral observadas até 1993 dificulta a análise de desvios decorrentes dos fenômenos ENOS. A variabilidade ocasionada pelo eventos El Niño é bem evidente nos episódios de intensidade moderada observados em 2006/2007 e 2009/2010. No primeiro deles a maior redução foi registrada no município de Marianópolis (955,6mm) e o menor desvio constata-se em Abreulândia (131,8mm). No segundo episódio os maiores e menores desvios foram registrados nas estações pluviométricas denominadas Pium (1115,1mm) e Cangussu (278,9mm), respectivamente, ambas situadas no município de Pium. Quanto aos eventos La Niña, percebe-se na série histórica que os desvios de sinal positivo são detectados em praticamente todos os municípios da Região em todos os episódios. Os desvios são bastante significativos, com destaque para aumento na precipitação pluviométrica anual de um valor de 1568,6mm registrado na estação de Paraíso do Tocantins durante o episódio de La Niña fraca do ano hidrológico 1998/1999, o que possibilitou que o município registrasse um valor de precipitação total anual de 2873,3mm no ano de 1999 (em 1998 fora 1304,7mm).

Os dados de 1990 a 2019 apontam a tendência de redução das chuvas em três das quatro estações pluviométricas que se situam na região programa Extremo Norte do Tocantins, a única que apresenta aumento nos volumes anuais é a estação de São Sebastião do Tocantins. Este comportamento sugere a ocorrência de mudanças climáticas na Região, em acordo com evidências apontadas pelo IPCC-R5 (IPCC, 2014). Verifica-se em todas as estações pluviométrias a variabilidade climática em torno da média decorrentes dos fenômenos ENOS. Apenas o evento El Niño de 1997/1998 (forte intensidade) apresenta o comportamento esperado, de redução nos volumes precipitados, em todas as estações desta Região, sendo o desvio máximo registrado na estação de Ananás (414,3mm) e o mínimo em São Sebastião do Tocantins (58,5mm). Nos demais episódios El Niño, ou os resultados não são compatíveis com a variabilidade associada à este evento, ou verifica-se falhas nos dados durante a ocorrência dos episódios que impediram a análise. Em decorrência de eventos La Niña observa-se o aumento da precipitação anual, porém, não em todos os episódios e nem em todas as estações. Falhas de dados foram detectadas no episódio de 2007/2008. Nos episódios de 1998/1999 e 2010/2011 foram os que apresentaram o maior número de estações com os efeitos característicos de La Niña, verificando-se que no primeiro episódio, classificado como de fraca intensidade, os desvios positivos variaram entre



494,9mm e 753,8mm, mas com redução na precipitação total anual na estação de Tocantinópolis, sendo este o eventos de maior repercussão na Região.

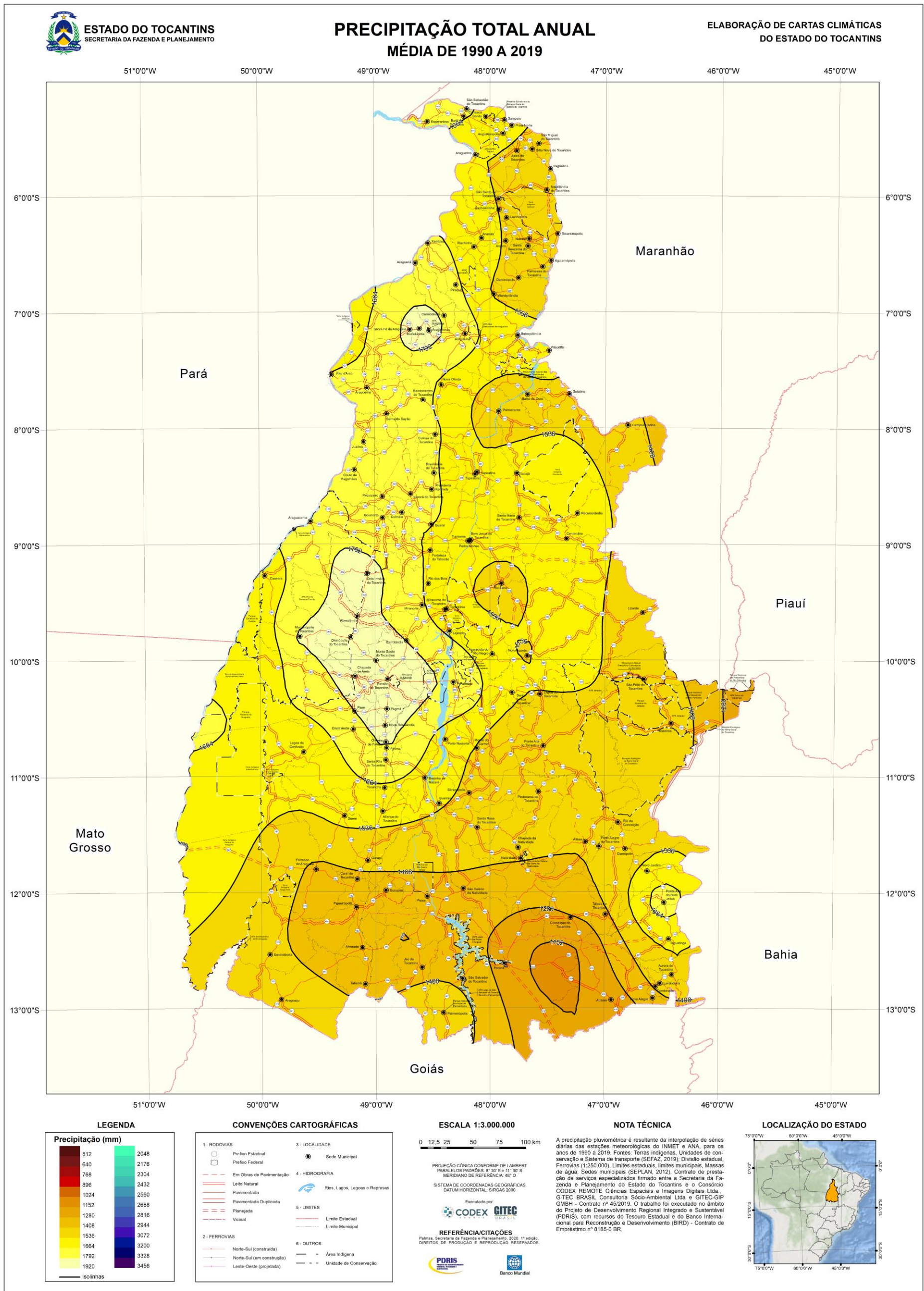
Quando analisa-se o comportamento temporal da série histórica de precipitação total anual do período entre 1990 e 2019 das demais estações pluviométricas do Tocantins, verifica-se que a maioria apresenta tendência de diminuição dos valores acumulados, em acordo com o IPCC (2014). Comportamentos adversos são identificados nas estações localizadas nos municípios de: Pedro Afonso, no Nordeste do Estado; Tupiratins e Fortaleza do Tabocão, ambas no Noroeste; Fátima e Porto Nacional, na região Central; e Dueré, Formoso do Araguaia, Araguaçu e Sandolândia, no Sudoeste do Estado.

O episódio de 2009/2010 do El Niño se caracterizou como o evento com a maior distribuição espacial, em território tocantinense, de desvios negativos de precipitação acumulada, ou seja, redução no volume de chuva de 2009 para 2010. Durante este episódio, o município de Palmeirópolis localizado no Sul do Tocantins, cuja média climatológica de precipitação anual é de 1565mm, registrou valores de 3451,8mm e 1087,5mm nos anos de 2009 e 2010, respectivamente, dados que refletem uma redução de 2364,3mm no total acumulado de um ano para outro, sendo este o maior desvio registrado no Estado durante este episódio de El Niño moderado.

O evento La Niña que afetou significativamente todo o Tocantins, foi o episódio de intensidade moderada dos anos 2010/2011. A região Sudoeste foi duramente impactada com desvios positivos de 208mm, registrado em Dueré, até 1363,11mm em Lagoa da Confusão, cujos valores climatológicos, segundo este diagnóstico, são de 1590,15mm e 1648,36mm respectivamente. Na última estação pluviométrica, denominada Próximo Barreira da Cruz, no município de Lagoa da Confusão a precipitação total acumulada no ano de 2010 foi de 1304,3mm e no ano de 2011 foi de 2667,41mm.

Lembra-se que, segundo Grimm (2009), as anomalias de precipitação pluviométrica observadas no Norte do Brasil decorrentes dos fenômenos El Niño e La Niña podem ser alteradas por variabilidades advindas de modificações na temperatura da superfície do oceano Atlântico, que alteram o posicionamento da ZCIT e da ZCAS.

Figura 7. Mapa da Precipitação Pluviométrica anual no Tocantins, total acumulado, do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



A predominante participação da mEc como o sistema atmosférico definidor da climatologia da precipitação sobre o Tocantins fica evidente no mosaico da Figura 8. Nesta última encontram-se os totais acumulados mensalmente, mostrando o caráter temporal da precipitação. Claramente não há uma distribuição uniforme ao longo do ano, pelo contrário, são identificados dois períodos distintos, um período seco, que abrange os meses de maio a setembro e, um período chuvoso, abarcando o intervalo entre os meses de novembro até abril.

Durante o período chuvoso, especialmente nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, muitos sistemas meteorológicos influenciam o tempo sobre o Tocantins, a se destacar: a corrente de oeste da mEc nas metades oeste e norte do Estado; a ZCAS na metade sul; a corrente de leste da mTa nas metades leste e sul tocantinenses; o VCAN e a ZCIT em todo o território tocantinense; e também a LICON na metade oeste do Tocantins.

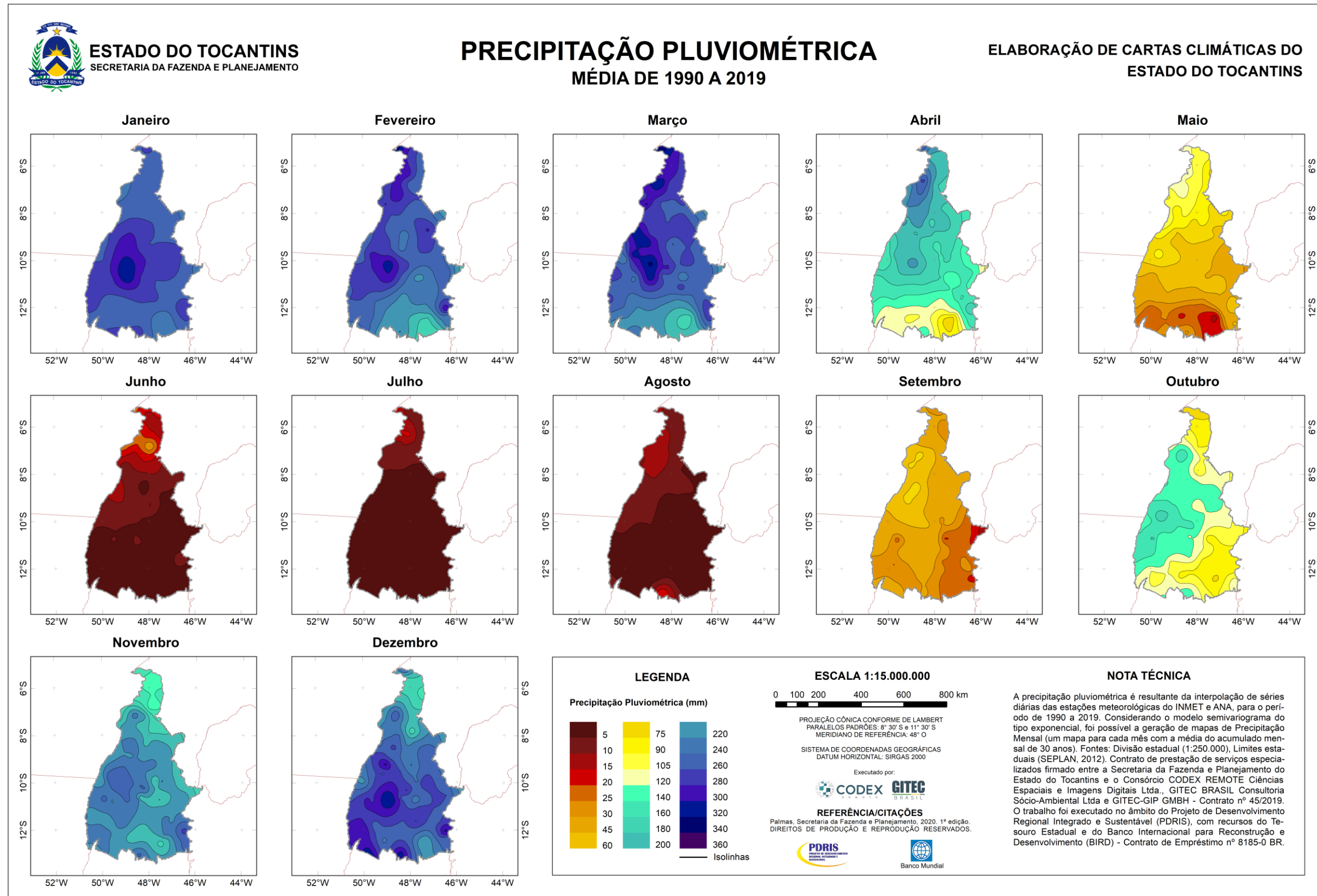
O trimestre mais seco ocorre em junho/julho/agosto indicando que a climatologia da precipitação deste Estado está muito alinhada àquela esperada para a porção sul da Amazônia, conforme Marengo e Nobre (2009). Neste período do ano a mTa encontra-se mais estável por causa do resfriamento basal decorrente do contato com o continente mais resfriado se comparado com a temperatura da superfície do oceano que a origina. Esta condição de estabilidade favorece a ocorrência de longos períodos de tempo bom, com céu claro e tempo seco.

Mesmo com tão clara conexão com as condições amazônicas, identifica-se regiões muito secas, por exemplo as regiões Sudeste, Sul e Sudoeste, que avançam primeiro para o período mais seco do ano, permanecem em torno de sete meses com totais acumulados inferiores a 90mm dos aproximados 1500mm esperados para todo o ano. Neste trimestre observa-se acumulados de até 20mm na região Norte provavelmente em decorrência de LICONs que provocam chuvas convectivas abundantes, rápidas, comumente associadas com ventos fortes, queda de granizo e descargas elétricas. Outro destaque neste período seco do ano é a região Sul, onde observa-se valores de precipitação acumulada, somente no mês de agosto, de até 25mm, período de maior chegada de frentes frias que se caracterizam pela ocorrência de chuvas.

No mês de janeiro observa-se uma maior uniformidade na distribuição espacial da chuva, pois este é um mês em que o maior número de sistemas meteorológicos atuam sobre Tocantins. Apesar das diversas origens, tais sistemas provocam acumulados de chuva quase iguais em todo o território.

A uniformidade, agora de baixa precipitação mensal, observada no mês de julho, está relacionada com o baixíssimo número de sistemas meteorológicos de macro e mesoescala atuantes no Estado neste mês, destacando-se a atuação da mTa estável. Predominam os efeitos convectivos, de circulação local, porém sem umidade suficiente para provocar chuvas expressivas em todas as Regiões-Programa.

Figura 8. Mosaico com mapas da Precipitação Pluviométrica mensal no Tocantins, total acumulado, do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.1.4. Temperatura do ar

O Sol é a principal fonte de energia de nosso Planeta. Os movimentos naturais de rotação e translação da Terra promovem um recebimento diferenciado de energia solar em escala sazonal e diária. Tais movimentos associados a forma da Terra e as diversas feições do relevo e de cobertura do solo irão impor efeitos variados no campo de temperatura do ar, que serão discutidos na sequência.

A influência mais nítida do fornecimento de energia sobre o campo de temperatura é percebida pelo movimento de rotação da Terra. Este possibilita que uma face do Planeta esteja iluminada pelo Sol, conseqüentemente aquecida, e a outra face se encontre obscurecida, portanto, se resfriando, produzindo, assim, o ciclo diurno entre o dia e à noite (VAREJÃO-SILVA, 2006). Cabe ressaltar que a temperatura do ar é a resposta da atmosfera ao balanço de radiação, isto é, resulta da radiação líquida (diferença entre as radiações solar e terrestre), e não apenas da radiação solar.

O outro movimento terrestre, a translação, resultará em efeitos mais duradouros, definindo as quatro estações do ano: primavera, verão, outono e inverno. A quantidade de energia que chega do Sol irá mudar, para mais e para menos, por causa da maior proximidade da Terra ao Sol no solstício de dezembro e maior distanciamento no solstício de junho. Estas duas posições marcam o início de duas estações do ano, o verão no Hemisfério Sul (HS) e inverno no Hemisfério Norte (HN) em decorrência do solstício de dezembro e, o inverno no HS e verão no HN pela passagem do solstício de junho. As estações de primavera e outono, no Hemisfério Sul (Austral), têm início com a ocorrência do equinócio de setembro e março, respectivamente. No Hemisfério Norte (Boreal) é o contrário, em setembro começa o outono e em março a primavera (YNOUE *et al.*, 2017).

A órbita do movimento de translação somada a inclinação do eixo imaginário e a forma da Terra promove a diferenciação temporal e espacial na quantidade de radiação solar incidente sobre o Planeta, afetando o campo de temperatura do ar. Vários fatores geográficos podem ser combinados de maneira a explicar os diversos padrões de temperatura do ar citando-se: latitude, altitude, padrões de circulação atmosférica, continentalidade/maritimidade, correntes oceânicas, relevo, cobertura do solo, fontes antrópicas e outras condições locais. Tais combinações e seus efeitos serão discutidas no descrever dos resultados.

Varejão-Silva (2006) descreve que as temperaturas extremas, dado um intervalo de tempo, são também conhecidas como temperaturas mínima e máxima desse mesmo intervalo. Quando o intervalo é de 24 horas tem-se apenas um valor de máxima e de mínima. Para períodos maiores (de um mês, um ano, etc.) adota-se as expressões “máxima absoluta” e “mínima absoluta” para destacar o maior e o menor valor de temperatura daquele período, e é comum obter-se os correspondentes valores médios, “temperatura máxima média” e “temperatura mínima média”. Segundo este autor, a amplitude térmica é a diferença entre as temperaturas extremas observadas em um dado período (dia, mês, etc.).

O momento (cronológico) em que ocorrem os valores mínimos e máximos da temperatura do ar tem relação direta com a radiação solar incidente sobre a região de análise. A temperatura mínima diária, geralmente, acontece próximo ao nascer do Sol, e cerca de um ou dois meses depois do menor recebimento de energia solar quando observada a escala anual. A temperatura máxima, em geral, é registrada cerca de duas horas depois da culminação do Sol quando observa-se a escala diária, e até

dois meses após o maior recebimento de energia solar ao analisar-se a escala anual. A expectativa quanto aos horários prováveis de ocorrência das temperaturas extremas (mínima e máxima) pode ser alterada por fenômenos atmosféricos que perturbem o estado prevalecente da atmosfera (VAREJÃO-SILVA, 2006), porém, em termos anuais é pouco provável que seja observado mudanças expressivas quanto ao mês de ocorrência das temperaturas extremas. No Tocantins, por causa de sua localização geográfica, a defasagem temporal entre a temperatura mínima do ar e o mínimo da radiação solar estará associado ao solstício de junho, enquanto o atraso entre a temperatura máxima e o máximo de recebimento da energia solar se relaciona mais fortemente com o equinócio de setembro.

Em Varejão-Silva (2006) ainda tem-se que a temperatura média diária do ar geralmente é chamada de “temperatura compensada” quando obtida nas estações meteorológicas convencionais da rede oficial, computada pela Equação 19. Quando a estação é automática tem-se apenas os valores de temperatura instantânea, máxima e mínima de cada hora, então a temperatura média é obtida pela média aritmética simples dos valores de máxima e de mínima.

$$t_{méd} = \frac{2t_{00} + t_{12} + t_{máx} + t_{mín}}{5} \quad (\text{Eq. 19})$$

onde t_{00} e t_{12} referem-se as temperaturas observadas às 00 e às 12 TMG, $t_{máx}$ é a temperatura máxima e $t_{mín}$ a temperatura mínima.

A temperatura do ar influencia sobremaneira os mais variados seres vivos, desde plantas nativas, culturas agrícolas, produção animal, vida selvagem e o ser humano. A sensação térmica é o efeito decorrente da forma como a temperatura é sentida pelos organismos vivos, e difere daquela medida no ambiente. Equações foram desenvolvidas para quantificar a sensação térmica, e para calculá-la são considerados parâmetros como temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. Para regiões tropicais a umidade é o parâmetro mais significativo para a obtenção do índice de desconforto (ID), do qual constata-se: $ID < 21^{\circ}\text{C}$ – sensação de bem estar; $21^{\circ}\text{C} < ID < 29^{\circ}\text{C}$ – parte crescente da população sente desconforto; $ID > 29^{\circ}\text{C}$ – ampla sensação de forte desconforto (YNOUE *et al.*, 2017).

Acentuadas variações, ou oscilações, da temperatura do ar são associadas à diversas escalas espaciais e temporais, e a depender da aplicação pode ser mais ou menos importante. Por exemplo, segundo Varejão-Silva (2006), oscilações quase instantâneas, que decorrem da turbulência mecânica e da convecção, não são relevantes para a climatologia, porém são muito importantes no âmbito da agrometeorologia e da micrometeorologia.

O ciclo diurno da temperatura do ar, tão importante para as atividades humanas cotidianas e as atividades agrícolas, está associado à variação da radiação no decorrer de 24 horas, ou seja, a temperatura do ar (e também do solo) varia de acordo com a posição do Sol acima do horizonte. Os processos que determinam a sazonalidade da temperatura do ar são os mesmos que produzem as oscilações diurnas, porém com magnitudes diferentes. O ciclo diário é muito mais curto que ciclo anual o que acarreta amplitude diurna da temperatura do ar relativamente grande em algumas regiões. Assim, a amplitude térmica diária, geralmente é muito maior nas regiões tropicais do que em outras faixas latitudinais do Planeta, como afirmam Varejão-Silva (2006) e Ayoade (2006), ou seja, o contraste de temperatura entre dia e noite é normalmente maior do que a diferença entre o inverno e o verão.

Os autores Ayoade (2006) e Ynoue *et al.*, 2017 mostram que a amplitude diurna da temperatura do ar é maior sobre o continente do que sobre o oceano, por efeito da continentalidade, cuja superfície sólida atinge temperaturas mais elevadas, e mais rapidamente, do que a superfície líquida dos oceanos.



Também apontam a cobertura de nuvens e a quantidade de umidade do ar como influenciadores da amplitude térmica. Exemplificando, as nuvens reduzem a amplitude, pois elas refletem a radiação solar para o espaço, diminuindo a insolação durante o dia e conseqüentemente a absorção de radiação pela superfície, e, à noite, as nuvens – ou apenas uma atmosfera com maior teor de umidade - absorvem e (re)irradiam grande parte da radiação terrestre, diminuindo o resfriamento da superfície e conseqüentemente do ar em contato com esta superfície. A velocidade do vento também influencia, tendo-se em dias com ventos calmos maior amplitude térmica, pois há menor troca de calor entre as camadas de ar. Nos desertos a grande amplitude diurna se deve ao fato de que tanto o solo como o ar são muito secos. Áreas cobertas por vegetação apresentam baixa condutividade térmica e albedo elevado e, geralmente, maior umidade relativa, o oposto das áreas urbanas, por isso observa-se menor amplitude térmica em áreas vegetadas e maior amplitude nas cidades. Nas áreas mais secas da zona tropical, a amplitude diurna é tão grande que afeta a vida vegetal e animal.

Ao se analisar o ciclo anual da temperatura do ar verifica-se que as amplitudes anuais são menores na zona tropical, particularmente sobre superfícies hídricas, por isso Ayoade (2006) afirma que as variações sazonais da temperatura aumentam com a latitude e com o grau de continentalidade.

A variação espacial da temperatura do ar é normalmente mostrada sobre uma carta ou mapa por meio de isotermas, que são linhas que conectam pontos com temperaturas iguais. De acordo com Varejão-Silva (2006), são comuns a confecção de mapas climatológicos contendo isotermas médias, referentes à temperatura do ar próximo da superfície terrestre corrigidas ou não do efeito da altitude. Os mapas de isotermas apresentadas neste diagnóstico foram produzidas aplicando-se a correção do efeito da altitude.

a) Temperatura mínima

A temperatura mínima do ar em geral ocorre próxima ao nascer do Sol. Mas, conforme Varejão-Silva (2006), a expectativa quanto aos horários prováveis de ocorrência destes mínimos pode ser alterada por fenômenos atmosféricos que perturbem a condição normal da atmosfera.

Como discutido anteriormente a presença de nuvens impede o resfriamento noturno, elevando as temperaturas mínimas momentaneamente. Quanto mais seco estiver o ar maior será a quantidade de radiação terrestre perdida para o espaço e, conseqüentemente, menor será a temperatura mínima naquela ocasião. Em ambientes vegetados as temperaturas durante a noite e a madrugada tendem a ser mais altas devido à considerável evapotranspiração das plantas. Nas proximidades de corpos hídricos e sobre as superfícies líquidas e muito úmidas a temperatura mínima também tende a ser mais alta, por causa da evaporação da água e do efeito termorregulador deste elemento (maior calor específico que a terra).

O campo de Temperatura Mínima Média Anual do estado do Tocantins é apresentado na Figura 9, onde observa-se que os valores variam entre 16 e 23°C em todo o Estado.

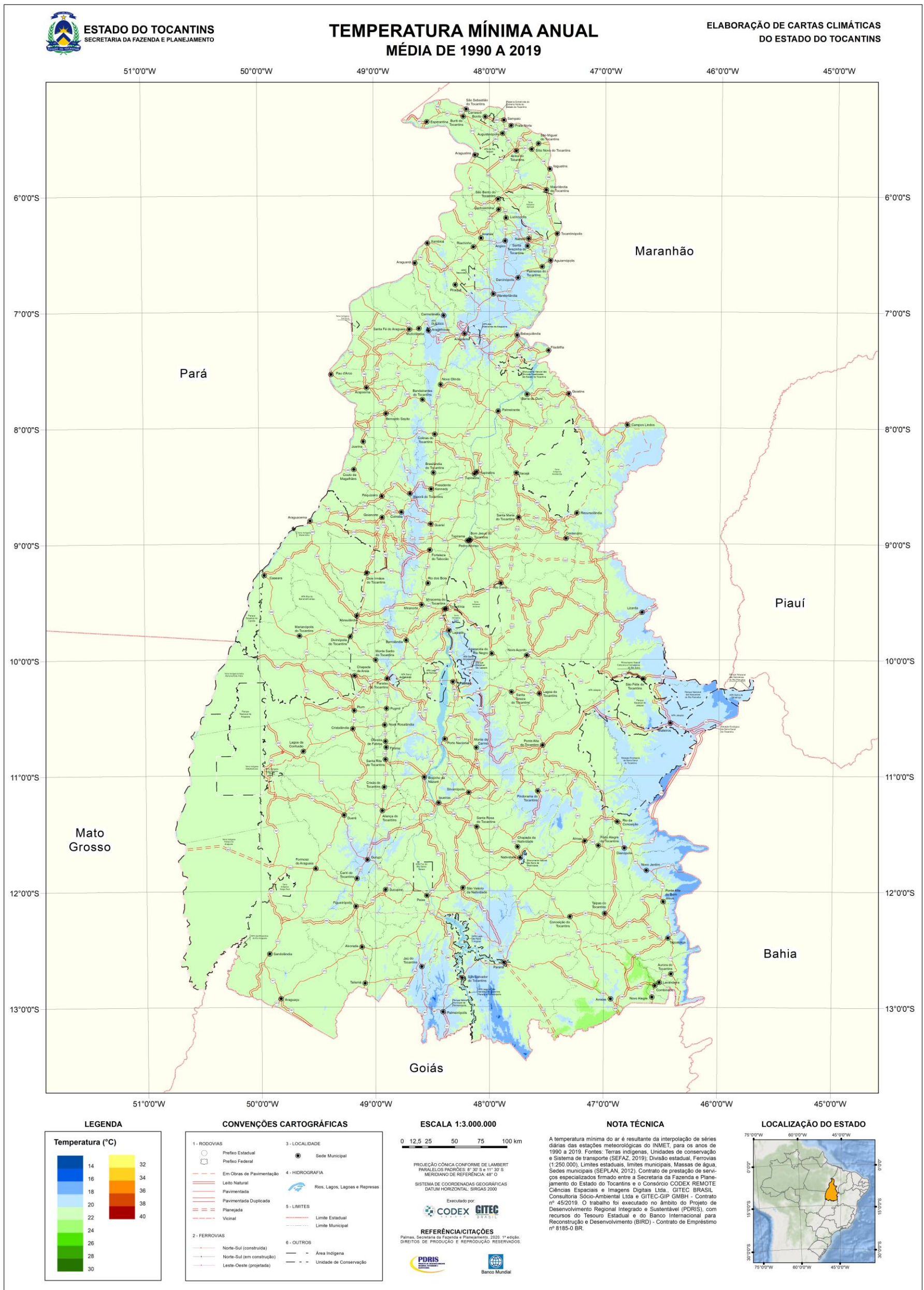
Prevalece o controle da altitude sobre os valores de temperatura mínima no Tocantins. O menor valor registrado é de 16°C e se concentra nas partes mais elevadas da Serra Dourada, da Serra das Caldas

e da Serra das Palmas, todas localizadas no extremo sul do Estado. As chapadas da Serra Geral de Goiás também registram valores mínimos baixos, de até 19°C, quando comparado com os valores observados na maior parte do Estado.

Outro controle marcante combina os efeitos da baixa altitude e a presença de corpos hídricos, que dificultam o resfriamento, resultando em áreas com as maiores temperaturas mínimas, cujo valor pode chegar aos 23°C. Esta combinação fica evidente nas zonas de inundação da Ilha do Bananal e nas calhas dos rios Tocantins e Araguaia e demais hidrografias. Uma única zona de temperatura entre 22°C e 23°C não se enquadra nesta combinação, citando-se uma ampla área da região Sudeste do Estado. Ali, provavelmente a combinação de altitude intermediária, fitoecologia de savana (cerrado) e a porosidade do plintossolo dominante da área, estes dois últimos com maiores valores de albedo, propiciam o aquecimento e manutenção do calor do solo e, conseqüente, dificultam a queda da temperatura do ar.



Figura 9. Mapa da Temperatura Mínima Anual no Tocantins, dada em graus Celsius [°C]. Média do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

Por se tratar de um valor médio, as variabilidades espaciais retratadas na Figura 9 evidenciam os efeitos decorrentes de fatores climáticos muito persistentes, como latitude, altitude, relevo, hidrografia e até mesmo uso e cobertura do solo. Para observar os efeitos de outros fatores, menos permanentes, sobre o campo de temperatura mínima analisa-se a Figura 10, das Temperaturas Mínimas Médias Mensais do estado do Tocantins.

Analisando-se a série histórica de temperatura mínima do ar, média anual, do Tocantins, constata-se que esta variável apresenta tendência de aumento dos valores médios anuais, comportamento que indica mudanças climáticas segundo estudos divulgados pelo IPCC (2014). Treze das 15 estações meteorológicas em funcionamento no Estado apresentam o comportamento compatível com aquecimento. A estação meteorológica localizada no município de Paranã apresentou tendência de redução da temperatura mínima do ar. Não foi possível realizar a análise sobre os dados da estação de Dianópolis pois a mesma possui apenas dois anos de registros desta variável meteorológica, dificuldade também observada para a análise de variabilidade climática.

Os fenômenos ENOS são reconhecidos como grandes responsáveis pela variabilidade climática sobre o Norte do Brasil, mas não são os únicos. Seus efeitos são estudados a muitas décadas e amplamente entendidos pela comunidade científica. A partir da série histórica de média anual da temperatura mínima do ar adotada para a elaboração deste diagnóstico climático, que compreende dados entre os anos de 1990 e 2019, serão analisadas as influências dos eventos El Niño e La Niña registrados durante o período da série.

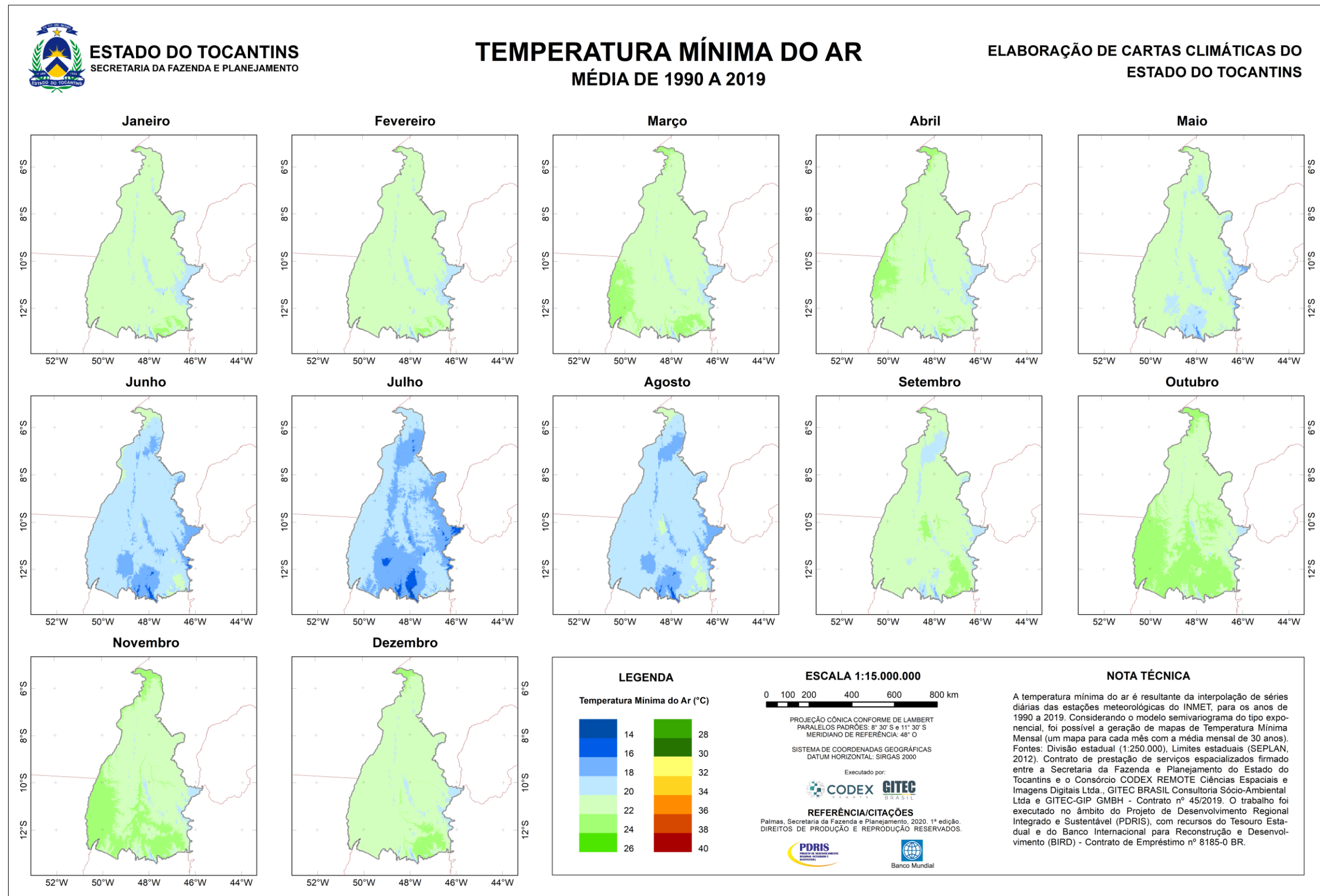
De maneira geral, verifica-se que as regiões-programa Nordeste, Central, Sudeste, Sul e Sudoeste apontam indícios de serem mais sensíveis aos efeitos de La Niña do que de El Niño. Guimarães e Reis (2012), ao estudar o impactos do fenômenos ENOS sobre a temperatura no Brasil, verificaram que a região Amazônica é menos afetada por tal fenômeno. As regiões-programa Extremo Norte e Norte do Tocantins são as que mais se aproximam das condições amazônicas, justificando os menores efeitos decorrentes dos eventos El Niño e La Niña.

Todas as regiões do Tocantins com disponibilidade de dados mostraram comportamentos atípicos em pelo menos um episódio de El Niño e de La Niña, exceto a região programa Sudoeste, na qual tal conformidade (aquecimento em El Niño e resfriamento em La Niña) pode estar associada ao tamanho restrito da série histórica do local (12 anos). Deve-se destacar o episódio de El Niño de 1997/1998 de forte intensidade, que provocou os maiores aumentos de temperatura mínima do ar em todas as regiões onde foi possível a análise, exceto no Extremo Norte e Sudoeste, com protagonismo da estação de Taguatinga, localizada na região Sudeste, onde a temperatura mínima média anual do ano de 1998 foi 1,02°C maior do que e 1997. Em relação ao evento de La Niña o destaca foi registrado no episódio de 2017/2018, sendo observada a maior anomalia de temperatura mínima do ar na estação meteorológica do município de Peixe, no Sul do Estado, em que a média anual da T_{\min} de 2018 foi 1,57°C menor que a de 2017, cujos valores anuais registrados foram de 24,34°C em 2017 e 22,77°C em 2018.

Segundo Guimarães e Reis (2012), eventos de intensidade moderada de El Niño e La Niña apresentam baixos impactos sobre as condições térmicas brasileiras e as anomalias provocadas por eventos El Niño são mais expressivas do que as provocadas pelos eventos de La Niña.



Figura 10. Mosaico com mapas de Temperatura Mínima Mensal no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média mensal do período 1990 – 2019.



Fonte: elabora o do autor, 2020.

Constata-se, mais uma vez, o marcante efeito do controle exercido pela altitude sobre o campo de temperatura mínima mensal do Tocantins. Pode-se identificar valores inferiores a 19°C em praticamente todos os meses do ano nas chapadas da Serra Geral de Goiás e também nos pontos mais elevados da Serra do Lajeado, Serra Dourada, Serra das Caldas e Serra das Palmas, exceto no mês de outubro.

O equinócio de setembro marca o momento em que o Sol em seu “movimento aparente” cruza a linha do equador em direção ao Trópico de Capricórnio (23,5°S), então, durante o mês de outubro o Sol culmina a pino ao meio-dia solar no Tocantins, resultando em maior fornecimento de radiação solar. Este efeito da verticalidade da radiação solar incidente vai se acumulando, e a resposta aparece no valores ligeiramente maiores na temperatura mínima do ar, principalmente nos pontos mais elevados das serras supracitadas, cujos valores variam entre 20°C e 21°C. Com a aproximação do verão austral a Terra também se aproxima continuamente do periélio (menor distância Terra-Sol), em sua órbita em torno do Sol, se revertendo em maior radiação solar incidente sobre a Terra, acentuando o aquecimento no mês de outubro. Este padrão de aquecimento é percebido em todas as regiões do Estado, sendo registrados em outubro os maiores valores de temperatura mínima média do ar, variando entre 20°C e 25°C. O efeito não se repete tão intensamente em outros meses por causa da localização do Estado entre as latitudes de 5°S e 15°S, mas em setembro já se verifica algum aquecimento, especialmente na região Sudeste tocantinense.

Tocantins localiza-se em uma faixa latitudinal tropical, não se observando a incursão de massas de ar frio com frequência e intensidade suficiente para impactar significativamente o campo de temperatura mínima média, por isso tamanha uniformidade dos valores. O único local que apresenta indícios da advecção de ar frio sobre o Estado, no mês de julho, é na região Sul, onde o relevo também favorece o acúmulo do ar frio do topo das serras no vale entre a Serra Dourada e a serras das Caldas e das Palmas, como efeito da circulação local de vale-montanha.

Nestas serras também detecta-se os menores valores médios mensais de temperatura mínima de todo o Estado, de até 14°C, no trimestre junho-julho-agosto. Este comportamento, bem como os valores mais baixos do ano também registrados em outras regiões tocantinenses, evidencia o efeito da continentalidade a que Tocantins está submetido. Durante o inverno austral, momento em que a quantidade de radiação solar incidente diminui, as áreas continentais se resfriam mais rapidamente e mais acentuadamente do que os oceanos e áreas adjacentes sobre a mesma latitude.

O mês de julho se caracteriza por ser o mês de maior domínio espacial do frio no Tocantins, compatível com o atraso de um mês do momento de menor recebimento de energia solar como descreve Varejão–Silva (2006). Lembra-se que esta redução no fornecimento de energia está associada ao solstício de junho (inverno austral). Outro fato que corrobora para esta condição mais fria é a passagem da Terra pelo afélio, ponto da órbita terrestre mais distante do Sol, que segundo Barry e Chorley (2013), atualmente, ocorre no dia 4 de julho.

Destaca-se a Normal Climatológica 1981-2010 do INMET (INMET, 2018) a temperatura mínima absoluta do estado do Tocantins foi registrada no mês de agosto dos anos de 1986 e 1988, com valor de 11,3°C, na estação localizada no município de Araguaína. Nesta mesma estação, observando os dados de 1990 a 2019 foi possível constatar um aumento da temperatura mínima absoluta, cujo valor mínimo absoluto para o período foi de 13,1°C em julho de 2011.



b) Temperatura máxima

Segundo Varejão-Silva (2006) o valor máximo da temperatura do ar ocorre cerca de duas horas depois da culminação do Sol, considerando o ciclo diário e situações atmosféricas normais. Em escala anual o valor máximo ocorre um ou dois meses depois do máximo de energia solar ser registrado, assim a localização geográfica do Tocantins, condiciona a defasagem temporal da temperatura máxima do ar à passagem do equinócio de setembro. Em latitudes austrais maiores é coerente a associação com o solstício de dezembro. Os mesmos fatores que controlam o padrão de temperatura mínima do estado do Tocantins se mostram atuantes também para a temperatura máxima média anual, como pode ser observado na Figura 11. Os valores médios variam entre 28°C e 35°C em todo o Estado, com a maior parte de seu território apresentando valores de $T_{\text{máx}}$ entre 32°C e 33°C. É marcante o controle exercido pela altitude, com valores entre 30°C e 31°C sendo registrados em partes de altitude intermediária. Nos pontos mais altos, com altitude superior a 800 metros, da Serra Geral de Goiás, Serra Dourada, Serra das Caldas e Serra do Belo Horizonte a temperatura máxima média varia entre 28°C e 29°C.

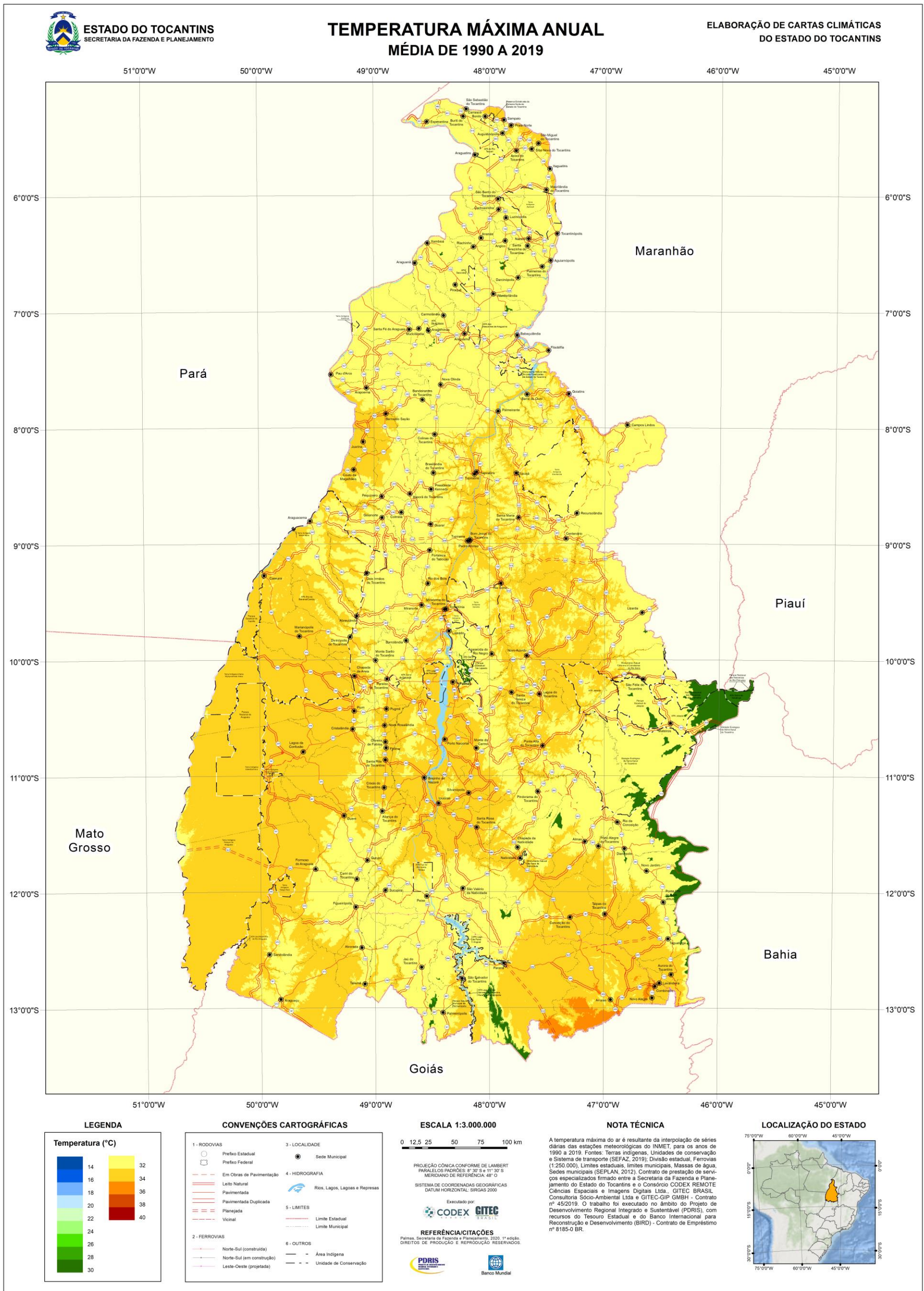
Cabe ressaltar que no município de Arraias, sul da região Sudeste do Tocantins, há altitudes maiores que 800m na Serra do Bom Despacho e na Serra Branca de Arraias, porém elas estão envolvidas em um bolsão com os maiores valores máximos médios do Estado (34°C e 35°C). O controle exercido por esta condição local prevalece sobre o controle da altitude, e, assim, a temperatura máxima média anual, mesmo nos pontos mais altos, não são inferiores a 30°C. Já havia se verificado que nesta região a temperatura mínima média do ar também mostrava-se maior, sendo atribuído a fatores locais (altitude intermediária e tipos de vegetação e solo) as causa das temperaturas mais elevadas.

Repara-se que na margem leste do lago da represa do Lajeado também observa-se uma área com valores de $T_{\text{máx}}$ entre 34°C e 35°C. Este padrão provavelmente se justifica pela presença de dois dos maiores e mais urbanizados municípios do Estado, Palmas e Porto Nacional. Ambos também apresentam vastas áreas destinadas a agropecuária, o que resulta em cobertura vegetal temporária e menos densa, e estão localizados no bioma Cerrado segundo SEPLAN (2007), condições que favorecem o aumento da temperatura do ar.

Com excessão da estação meteorológica situada no município de Araguatins, todas as demais apresentam tendência de aumento da média anual de temperatura máxima do ar, sugerindo a ocorrência de mudanças climáticas conforme discutido pelo IPCC (2014). A série histórica contempla os anos de 1990 e 2019, entretanto, verifica-se diferenças entre o tamanho das séries das 15 estações meteorológicas localizadas no Tocantins, sendo o caso mais grave no município de Dianópolis que possui somente dois anos de registro, portanto, não utilizada.

Percebe-se que a maior parte das estações registram aumento da $T_{\text{máx}}$ no transcorrer dos episódios de El Niño, e queda nos episódios de La Niña. Diante dos dados disponíveis verifica-se que o evento El Niño 2009/2010, classificado como moderado, apresentou anomalias positivas muito expressivas em todo o Tocantins, com valores que variaram entre 0,36°C (em Porto Nacional) e 1,64°C (em Formoso do Araguaia) a mais na $T_{\text{máx}}$ de 2010 quando comparada com a $T_{\text{máx}}$ de 2009. Quanto a La Niña, o episódio de 2010/2011 de intensidade moderada, mostra efeitos abrangentes e intensos em todo o Estado, com robusta queda na temperatura de um ano para outro, verificando-se valores de anomalia negativa entre 0,57°C (em Paranã) e 1,84°C (em Porto Nacional), sendo registrado anomalia positiva com valor de 0,43°C no município de Taguatinga.

Figura 11. Mapa da Temperatura Máxima Anual no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



Ao analisar o comportamento, no decorrer do ano, da temperatura máxima média mensal, apresentado na Figura 12, verifica-se que os valores variam entre 26°C e 39°C em todo o território tocantinense, cuja amplitude de 13°C se assemelha à observada para a temperatura mínima média mensal que é de 11°C.

Destaca-se o valor de temperatura máxima absoluta de 41,2°C obtida da Normal Climatológica 1981-2010 do INMET (INMET, 2018), registrado em setembro de 2010 na estação meteorológica de Palmas. O mesmo valor é registrado na estação de Porto Nacional também no mês de setembro mas nos anos de 2004 e 2010. Estes dados de Normal Climatológica são compatíveis com o verificado no mapa anual de temperatura máxima do ar, que evidencia a região Central contendo uma das porções mais quentes do Estado.

Avaliando o período de 1990 a 2019 foi registrado, na estação de Palmas, um valor de temperatura máxima absoluta de 41,6°C em outubro de 2017, o que representa um valor superior ao encontrado na Normal Climatológica 1981-2010 do INMET, compatível com o comportamento de aumento da temperatura já discutido para o valor de temperatura mínima absoluta.

Com o Sol incidindo à pino a partir do equinócio de setembro, este mês mostra-se como o mais quente no Estado, com valores entre 32°C e 39°C. Conforme discussões anteriores deve-se observar um atraso entre o mês mais quente e o mês de maior recebimento de energia solar. Porém a localização geográfica do Tocantins propicia uma menor defasagem entre o mês de maior temperatura máxima e o equinócio de setembro, quando comparada à defasagem entre o mês de registro das menores temperaturas mínimas (em julho) e o solstício de junho. As pequenas defasagens observadas no Tocantins evidencia o efeito da continentalidade, segundo Barry e Chorley (2013). Os diferentes tempos de defasagem observados para a temperatura mínima e para a temperatura máxima podem ser explicados pelo fato do ar ser aquecido pela radiação de onda longa emitida e refletida por diversas fontes (superfície, gases atmosféricos, nuvens etc.) e, resfriado somente pelo contato com a superfície que também se resfria durante a noite (BARRY e CHORLEY, 2013).

No trimestre agosto-setembro-outubro são registrados valores superiores a 36°C que, quando comparado aos valores obtidos em escala anual, supera o valor médio anual da temperatura máxima do Estado, que chega aos 35°C.

Entre os meses de dezembro a março observa-se o predomínio de valores médios mensais entre 30°C e 31°C em ampla área do Estado, fazendo deste o período com os menores valores desta série histórica de temperatura máxima média mensal. Nas partes altas das serras tocantinenses são frequentemente observados valores entre 26°C e 29°C. A condição que melhor justifica o registro desses valores é a maior formação de nuvens decorrente da atuação dos diversos sistemas meteorológicos sobre o Tocantins neste período, que limitam a quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre dificultando o aquecimento do ar.

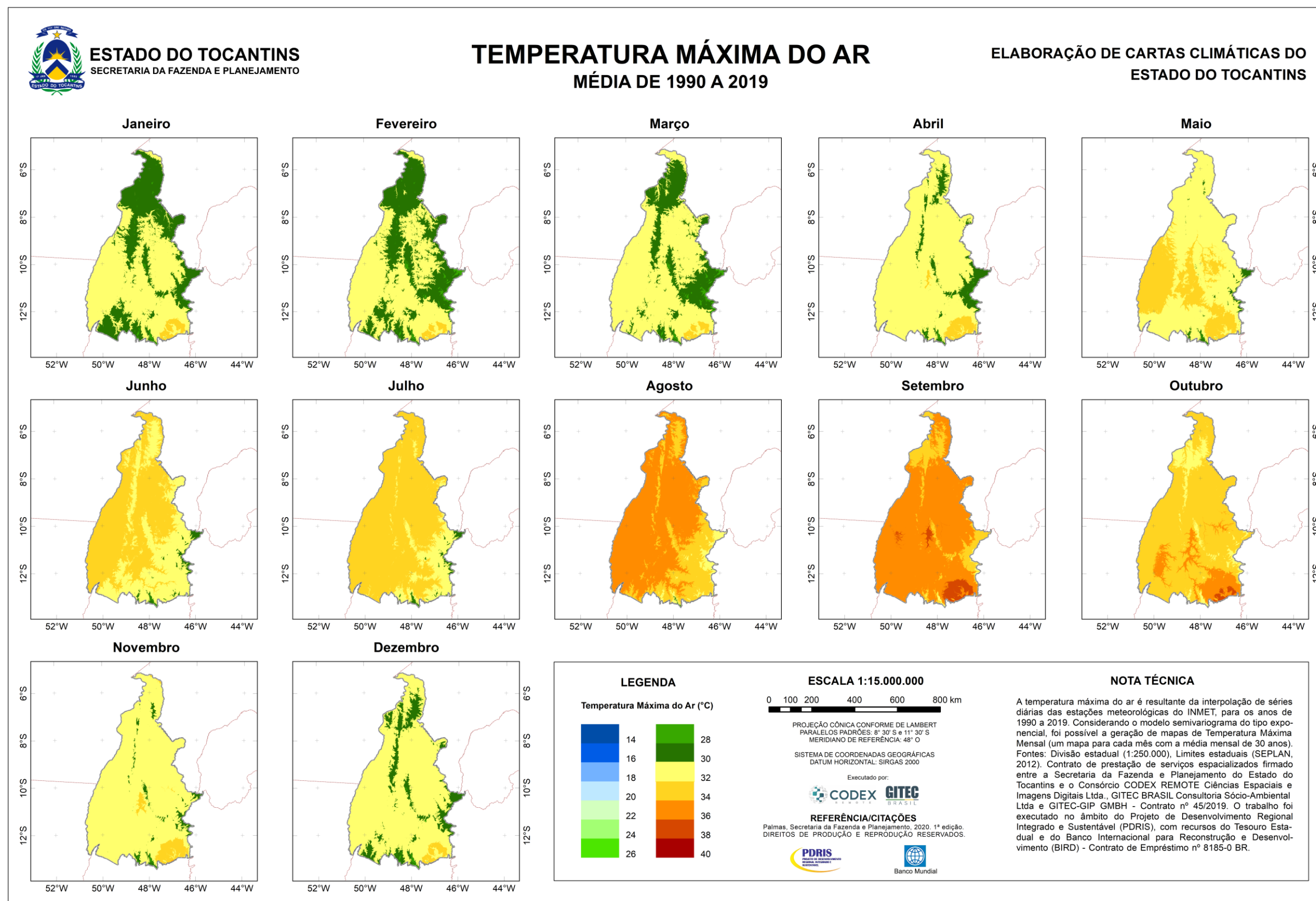
A partir de abril observa-se uma rápida expansão das áreas territoriais mais aquecidas, começando pela metade sudoeste do Tocantins. Duas condições justificam esse padrão: primeiro a ocorrência do equinócio de março, com maior fornecimento de energia solar incidindo perpendicularmente; na sequência o aquecimento é reforçado com a redução da nebulosidade

diante da desintensificação de alguns dos sistemas atmosféricos que predominam durante o verão austral como a corrente de oeste da mEc, a ZCAS e a ZCIT, e o aumento da estabilidade da mTa.

Naturalmente os corpos hídricos apresentam maior capacidade de absorção e armazenamento de energia devido ao elevado calor específico da água. Esta característica está bem marcada nos mapas desta Figura 12 em análise. Quando combinada com a baixa altitude, observa-se claramente que o lago formado no rio Tocantins pela represa da Usina Hidrelétrica (UHE) Luiz Eduardo Magalhães (UHE do Lajeado), inserido na Depressão do Médio Tocantins, apresenta temperatura máxima média ligeiramente superior à sua vizinhança em praticamente todos os meses do ano. Enquanto na área de proteção ambiental do lago da UHE de Peixe Angical, no Sul do Estado, o efeito da altitude do local se opõe ao controle do corpo hídrico, e por isso esta área não se destaca das demais nos mapas mensais de temperatura máxima do ar.



Figura 12. Mosaico com mapas de Temperatura Máxima Mensal no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média mensal do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.
Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

c) Temperatura média

Na Figura 13 é apresentado o mapa da Temperatura Média Anual do estado do Tocantins, cujos valores variam entre 20°C e 27°C. Esta variável meteorológica apresenta características de influência de fatores muito abrangentes, a maioria deles relacionados com a posição geográfica do local. No caso do Tocantins a altitude, a latitude e a continentalidade são os fatores prevalentes no controle da temperatura média anual do ar, com domínio evidente da altitude.

Áreas muito restritas da Serra das Palmas, com altitude superior a 1200 metros, registram temperaturas médias anuais entre 20°C e 21°C. Na sequência, temperaturas médias entre 22°C e 23°C são registradas nas partes elevadas do Estado, com altitude maiores que 900 metros, a citar: Serra Geral de Goiás, Serra Dourada, Serra das Palmas, Serra das Caldas, Serra do Belo Horizonte, Serra do Bom Despacho e Serra de Arraias. Nos locais de altitude intermediária, entre 300 e 900 metros, tanto das serras supracitadas quanto nas Serra do Estrondo e serras das regiões Norte e Extremo Norte, prevalecem valores médios entre 24°C e 25°C. Nas demais regiões, onde há altitude inferior a 300 metros tem-se temperaturas médias anuais variando entre 26°C e 27°C.

Lembra-se que os limites físicos estabelecidos para cada classe de temperatura não representam fielmente as condições reais, assim como os valores de altitude utilizados para balizar a descrição. Deve-se, sim, pensar que existe uma faixa de transição entre cada classe, e que condições locais do momento deslocam os limites em uma ou outra direção, quando estas informações forem adotadas para aplicações reais.

Segundo informações do IPCC-R5 (IPCC, 2014) o estado do Tocantins deve perceber os impactos de mudanças climáticas através do aumento da temperatura do ar. De fato, as estações meteorológicas espalhadas pelo Estado apontam elevação nos valores de temperatura média do ar, da ordem de 1°C, quando analisada a série histórica de 1990 a 2019, o mesmo sendo percebido também em séries menores, com dados a partir de 2005. Somente a estação de Araguatins, localizada na região programa Bico do Papagaio, cuja série histórica é composta por apenas 10 anos de dados (2009-2019), mostra tendência de decréscimo da temperatura média do ar. Efetuar esta análise torna-se mais impreciso com a variável temperatura do ar do que quando se utiliza a variável precipitação pluviométrica, pois a quantidade de estações pluviométricas é expressivamente superior à quantidade de estações meteorológicas que coletam dados de temperatura do ar. Tanto a quantidade de estações quanto o tamanho das séries históricas, também, comumente, superiores para a precipitação, impactam significativamente nos resultados quando se requer análises de longo prazo, sendo tão melhor e mais preciso quanto maior o número de estações e maior o tamanho das séries históricas.

Para a análise da variabilidade climática a qualidade da série histórica é determinante, ou seja, a continuidade dos dados. Uma série sem falhas, aponta um panorama mais realístico e preciso. Em todas as regiões-programas do Tocantins que possuem estações meteorológicas, a citar: Extremo Norte, Norte, Nordeste, Central, Sudeste, Sul e Sudoeste; verifica-se séries com falhas recorrentes, situação que dificulta a avaliação dos efeitos advindos da ocorrência dos fenômenos ENOS. Lembra-se que os maiores impactos quanto a temperatura do ar são percebidos, principalmente, nos meses de junho, julho e agosto, no Norte e Nordeste do Brasil, sendo associado ao El Niño temperaturas mais elevadas e à La Niña temperaturas mais baixas.

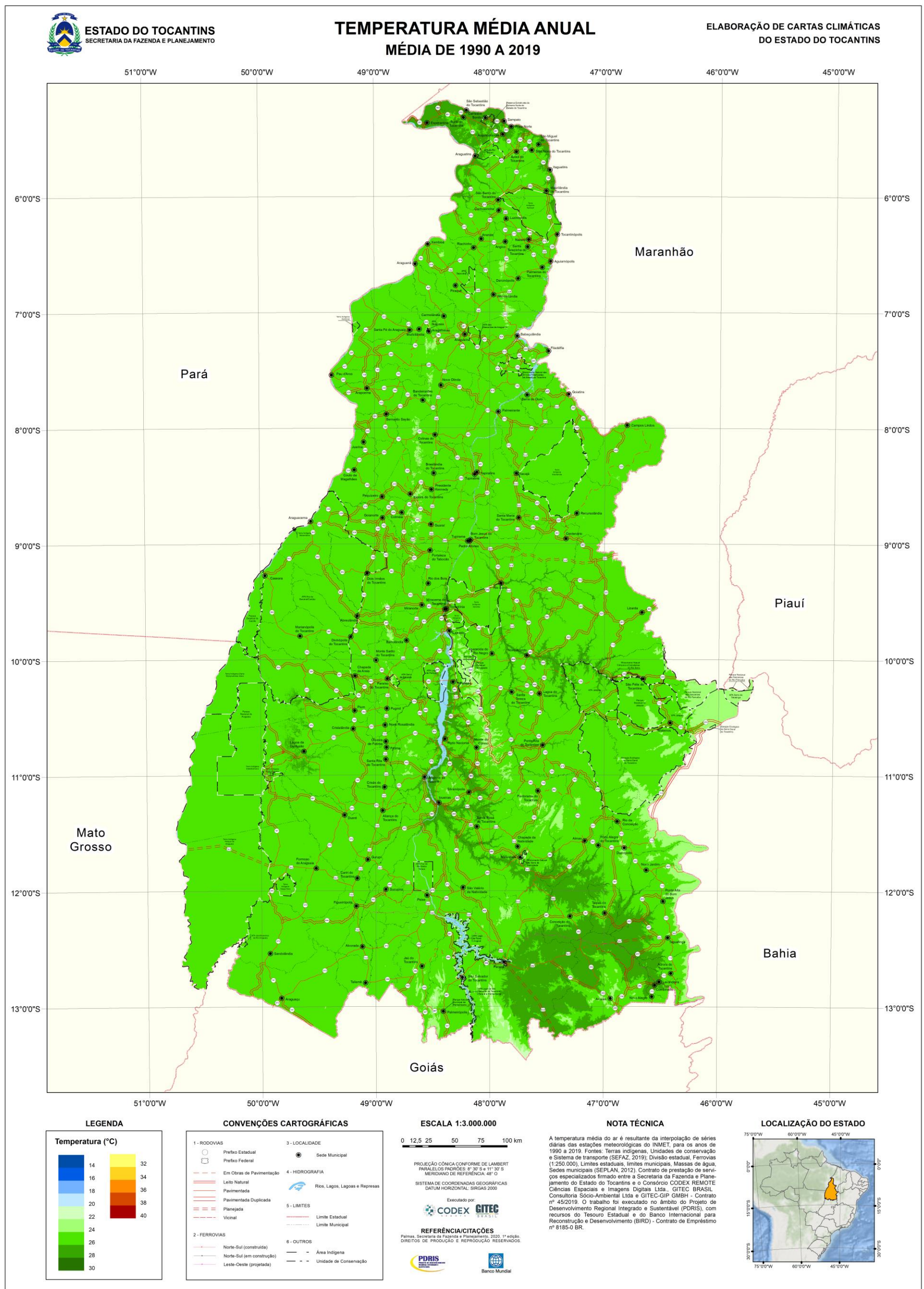
Considerando os anos entre 1990 e 2019, verifica-se a ocorrência de sete eventos El Niño, onde prevalece o aumento na temperatura média anual durante os episódios na maioria das estações em



que foi possível efetuar a análise (série sem falhas durante o evento). As estações meteorológicas de Araguaína (na região programa Norte), Pedro Afonso (Nordeste) e Peixe (Sul), são as únicas que possuem a série histórica 1990-2019 completa, e destas somente Pedro Afonso indicou aquecimento em todos os episódios El Niño registrados. No último episódio registrado (2015/2016), das 15 estações meteorológicas do Tocantins, 14 puderam ser analisadas quanto a variabilidade climática (com falha apenas em Dianópolis), e somente as estações localizadas nos municípios de Araguaína e Porto Nacional apontaram comportamento atípico para a temperatura do ar, ou seja, apresentaram resfriamento durante o evento El Niño forte de 2015/2016.

Comumente, são observados resfriamentos em decorrência de eventos La Niña. Ainda no período 1990-2019 foram registrados cinco eventos La Niña, um de fraca intensidade (1998/1999) e os demais de moderada intensidade. As estações localizadas na região programa Central, apresentam o maior número de registros de efeitos atípicos, ou seja, aquecimento, durante a ocorrência das La Niñas 1999/2000, 2007/2008 e 2017/2018, e o mesmo sendo também constatado na estação de Araguaína (OMM:82659, região programa Norte) no evento de 1999/2000. Entretanto, de um modo geral, observou-se redução da temperatura média do ar no Tocantins em decorrência dos eventos La Niña.

Figura 13. Mapa da Temperatura Média Anual no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



O mosaico com os mapas da Temperatura Média Mensal resultantes deste estudo é apresentado na Figura 14. Continua evidente o controle exercido pela altitude em todo o Estado, com menores valores registrados nas partes mais elevadas e maiores valores predominantemente associados as mais baixas altitudes. Ao longo do ano os valores variam entre 22°C e 31°C no Tocantins.

Os mapas da Figura 14 mostram dois ciclos de crescimento e decréscimo da temperatura média. Segundo Varejão-Silva (2006) é comum em muitas localidades se observar dois máximos de temperatura média mensal, sendo um deles secundário. No Tocantins os máximos se apresentam em setembro, mais intenso, e no mês de maio, um máximo secundário, menos intenso. Este padrão revela a interferência de outros fatores além dos efeitos do saldo de energia. A defasagem entre o aumento da temperatura média mensal devido a passagem do equinócio de março é maior do que a defasagem pela passagem do equinócio de setembro. Correlacionando com o comportamento da temperatura máxima do ar lembra-se que, os maiores valores de temperatura máxima do ar ocorrem durante o inverno austral, facilitando o aumento da temperatura média mensal no mês de setembro.

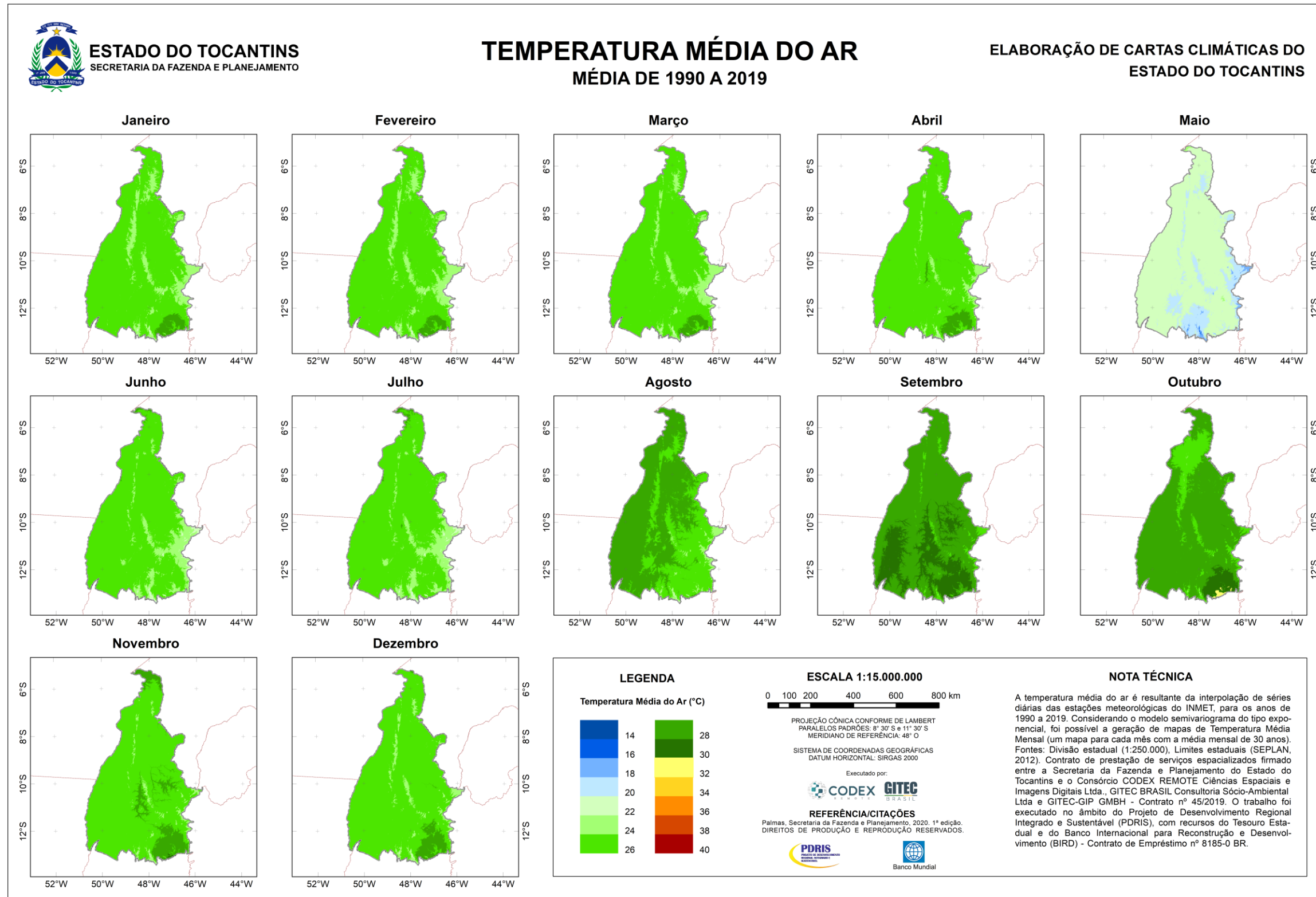
No trimestre agosto-setembro-outubro constata-se o deslocamento dos maiores valores de temperatura média mensal acompanhando o movimento aparente do Sol para latitudes maiores, de norte para sul. Assim, percebe-se o aquecimento sendo intensificado no Extremo Norte em agosto, se espalhando para todo o Estado em setembro (mês do equinócio) e se potencializando em outubro, principalmente na região Sudeste. Do ponto de vista de cobertura territorial, o período mais “frio” ocorre nos meses de janeiro e fevereiro, meses com muita cobertura de nuvens, e o mais “quente” nos meses de setembro e outubro.

As mudanças no campo de temperatura média nos meses de janeiro e fevereiro são quase imperceptíveis, momento, este, em que a mEc apresenta-se bem atuante sobre todo o Tocantins, bem como outros sistemas bastante persistentes como a ZCAS, o VCAN e a corrente de leste da mTa. O fornecimento adicional de umidade e o provável incremento na nebulosidade explicam o comportamento uniforme.

Os picos mais elevados das serras tocantinenses apresentam frequentemente valores entre 22°C e 23°C. No período entre janeiro e março tais valores são justificados pela redução da energia solar incidente por causa do aumento da nebulosidade, já nos meses de junho e julho é o resfriamento noturno intenso (por não apresentar cobertura de nuvens) que reduz a temperatura média destes locais.

Os maiores valores de temperatura média, entre 30°C e 31°C, são registrados na região Sudeste do Estado durante o mês de outubro. Os motivos desse comportamento correspondem a combinação dos fatores locais que potencializam a temperatura máxima mensal, descritos anteriormente, como a cobertura vegetal, tipo de solo e configuração do relevo que afetam a circulação do ar e o fornecimento de energia para atmosfera.

Figura 14. Mosaico com mapas de Temperatura Média Mensal no Tocantins, dada em grau Celsius [°C]. Média mensal do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.1.5. Umidade relativa do ar

Na atmosfera, até 4% de seu volume pode ser ocupado pelo vapor d'água (água em estado gasoso). Apesar de um percentual tão baixo, este elemento meteorológico é de extrema importância para os processos e fenômenos que se produzem na atmosfera. Desempenha um papel termorregulador, absorvendo a radiação solar (onda curta) e terrestre (onda longa) na atmosfera, é essencial para a formação e evolução das nuvens e precipitações, e é o principal meio de transporte e transformação de calor latente (AYOADE, 2006).

No setor agrícola, a presença do vapor d'água na atmosfera condiciona a ocorrência e controle de pragas/moléstias em vegetais e animais; determina a qualidade, a condição de armazenamento e conservação de produtos agrícolas, e o conforto animal (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2007).

Segundo Varejão-Silva (2006) a umidade relativa é uma das formas de se avaliar a quantidade de vapor d'água presente em uma porção da atmosfera. Esta variável, medida em percentual [%], evidencia a porcentagem de vapor d'água presente em determinada porção da atmosfera diante da quantidade que aquela atmosfera poderia conter.

A umidade relativa do ar pode variar por três processos, ou adicionando/removendo vapor d'água na atmosfera; ou diminuindo/aumentando a temperatura do ambiente; ou ainda pela ocorrência concomitante de ambos (YNOUE *et al.*, 2017). Há diversas fontes de umidade e de calor (que alteram a temperatura) e muitas delas englobando as características de cobertura da superfície (mais/menos úmida ou quente), porém a circulação atmosférica é o principal meio de transferência de calor e umidade de um lugar para outro.

Assim, existe uma relação inversa entre a umidade relativa e a temperatura do ar, e este comportamento deve ser percebido nos resultados obtidos neste diagnóstico climático. Deve-se sempre ter em mente que variações no comportamento padrão podem ser observados como efeito de perturbações locais e momentâneas.

O mapa da Umidade Relativa do Ar Anual da Figura 15, mostra a distribuição espacial desta variável meteorológica sobre o estado do Tocantins. Os valores são dados em porcentagem e apontam a quantidade média anual da umidade relativa do ar observada sobre o território tocantinense. Os valores variam entre 55% e 80%, com os menores valores (55% a 60%) ocupando a menor porção territorial do Estado localizada na região Leste, e a classe mais predominante no Estado tem valores entre 65% e 70%. Uma combinação da fitoecologia local e a influência da circulação sinótica sobre o padrão de umidade anual no Tocantins é evidente. Vale ressaltar que, conforme esperado, a metade noroeste do Estado tem padrão de umidade relativa do ar que se aproxima das condições amazônicas e a metade sudeste tem maior proximidade com as condições do Nordeste do Brasil, mais precisamente do sertão nordestino.

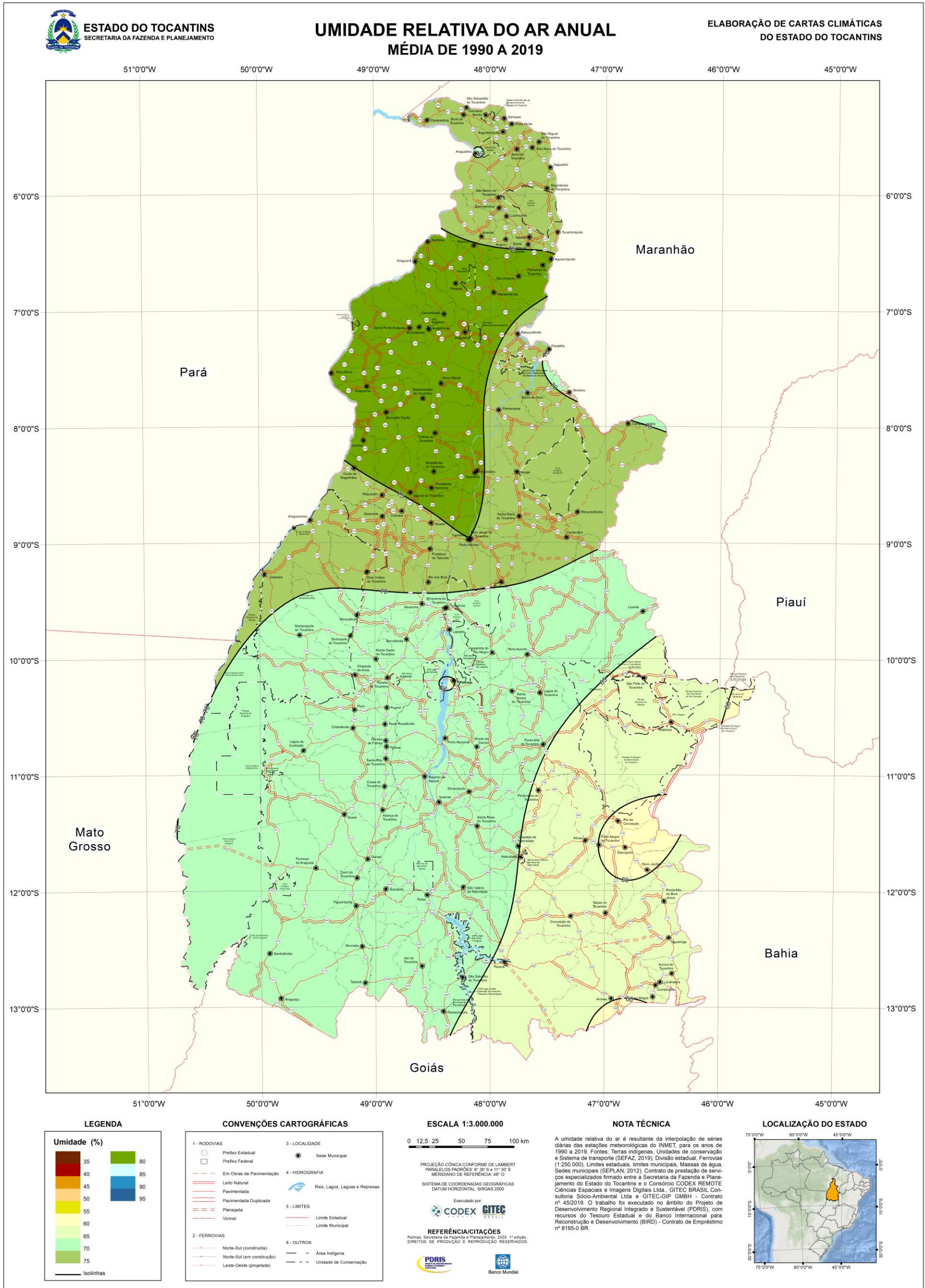
Os altos valores (75% a 80%) encontrados nas regiões Norte e Noroeste são compatíveis com a presença de formações florestais e a atuação da corrente de oeste da mEc, ZCIT e VCAN. Estes sistemas atuam intensamente na metade norte do Tocantins e permitem a ocorrência de precipitações abundantes durante um longo período do ano, auxiliando na manutenção das florestas ombrófilas nesta porção tocantinense. Deve-se ressaltar que a umidade das florestas está relacionada com a quantidade de evapotranspiração (que será discutida adiante) e aumenta com a densidade da vegetação presente.

Os índices de umidade relativa observados nas regiões Sudeste e Leste, com valores menores que no restante do Estado, sugerem o enfraquecimento dos sistemas atmosféricos atuantes sobre o Tocantins quando atingem estas Regiões. Parte das limitações são impostas pelo relevo, que dificulta o avanço de sistemas atmosféricos que se deslocam de sul e de leste, e pela predominante vegetação de cerrado e restrita presença de áreas úmidas. A melhor fonte de umidade para estas Regiões seria a corrente de leste da mTa, originalmente quente e úmida, porém ao se deslocar sobre a Bahia esta corrente perde grande parte da umidade e seu calor aumenta, induzindo à valores de umidade relativa do ar entre 55% e 65%.

Na faixa que corta o Estado de sudoeste à nordeste observa-se a presença de amplas áreas úmidas e inundáveis por longos períodos como na Ilha do Bananal e nas margens do Médio Tocantins. Tais condições locais, somadas a influência da ampla gama de sistemas atmosféricos (mEc, ZCAS, ZCIT, VCAN e até frentes frias), que podem elevar a umidade praticamente o ano inteiro, resultam em um incremento de umidade na atmosfera que se reflete nos valores médios entre 65% e 70%.



Figura 15. Mapa da Umidade Relativa do Ar Anual no Tocantins, dada em porcentagem [%]. Média do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Quando analisa-se a Figura 16, que apresenta o mosaico de mapas da Umidade Relativa do Ar Mensal do Tocantins, verifica-se uma ampla faixa de valores registrados, entre 35% e 95%. Essa amplitude se deve as diferentes influências decorrentes dos controles já citados na análise em escala anual, agora acrescidos da variabilidade aplicada a esses controles no transcorrer do ano.

Cabe destacar que a umidade relativa do ar tem relação inversa com o campo de temperatura, ou seja, observa-se menores índices de umidade relacionados à maiores valores de temperatura do ar e vice-versa. Sendo a evaporação da água do solo e das superfícies líquidas uma fonte de transferência de vapor d'água para a atmosfera, então locais mais chuvosos oferecem melhores condições para maiores índices de umidade. Como a evaporação depende diretamente do suprimento de energia solar, a umidade relativa do ar também dependerá desta variável. Resumidamente, conclui-se que a umidade relativa do ar próximo à superfície terrestre será definida por parâmetros pontuais, como será constatado na discussão a seguir.

O comportamento médio anual da umidade relativa do ar não apresenta correlação clara com a distribuição espacial da precipitação, entretanto, a distribuição temporal, em escala mensal, de ambas, apresenta fortes indícios correlativos. Para as duas variáveis os meses entre dezembro e abril apresentam valores mais elevados, decaindo no período entre junho e setembro. Este padrão temporal se justifica pela coincidência dos principais fatores ambientais que controlam o padrão comportamental de ambas, principalmente das circulações atmosféricas decorrentes da atuação da mEc, mTa, ZCIT e ZCAS.

Nos meses de janeiro e fevereiro a distribuição espacial das classes de umidade relativa varia predominantemente no sentido noroeste-sudeste. Os maiores índices de umidade ocorrem na região Norte do Tocantins, cujos valores variam entre 80% e 90%, onde se observa a expressiva atuação da mEc e VCAN, devendo-se destacar também a vasta presença de Floresta Ombrófila nesta região. Nestes meses a parte central do Estado registra valores entre 80% e 85%, regiões em que se observa atuações menos expressivas (como menor intensidade) de sistemas atmosféricos relacionados com a mEc e ZCIT e predomínio de Cerrado. Na região Sudeste os valores variam entre 70% e 80%, região com grande presença de Cerrado e predomínio de circulações atmosféricas locais.

No mês de março praticamente a totalidade do território tocantinense possui umidade relativa entre 80% e 85%. Este padrão reflete a crescente participação da temperatura do ar como controladora da umidade relativa, em detrimento do controle da precipitação. Entretanto, por sua localização geográfica, as variações de temperatura do ar no Tocantins estão muito associadas a atuação de sistemas atmosféricos causadores de precipitação, e neste mês de março a ZCIT normalmente encontra-se em sua fase mais expressiva, contribuindo para o aumento da nebulosidade e resfriamento em todo o Estado, combinando-se com a atividade da mEc, mTa, VCAN e ZCAS.

A partir de abril percebe-se a progressiva redução nas quantidades de umidade relativa do ar, regida pela redução expressiva da precipitação e aumento contínuo da temperatura do ar. Em setembro, mês com menor umidade, e também de maior temperatura máxima do ar, os valores variam entre 70% na região Norte e avançando quase uniformemente para valores de 35% nas regiões Sudeste e Leste.

Conforme esperado os valores de umidade relativa do ar estão melhor correlacionados, de forma inversa com o campo de temperatura do ar, do que com os campos de precipitação ou de radiação solar. Porém, verifica-se que as características da superfície são mais dominantes do que qualquer variável atmosférica. Resgatando o fato da umidade das florestas estar relacionada com a

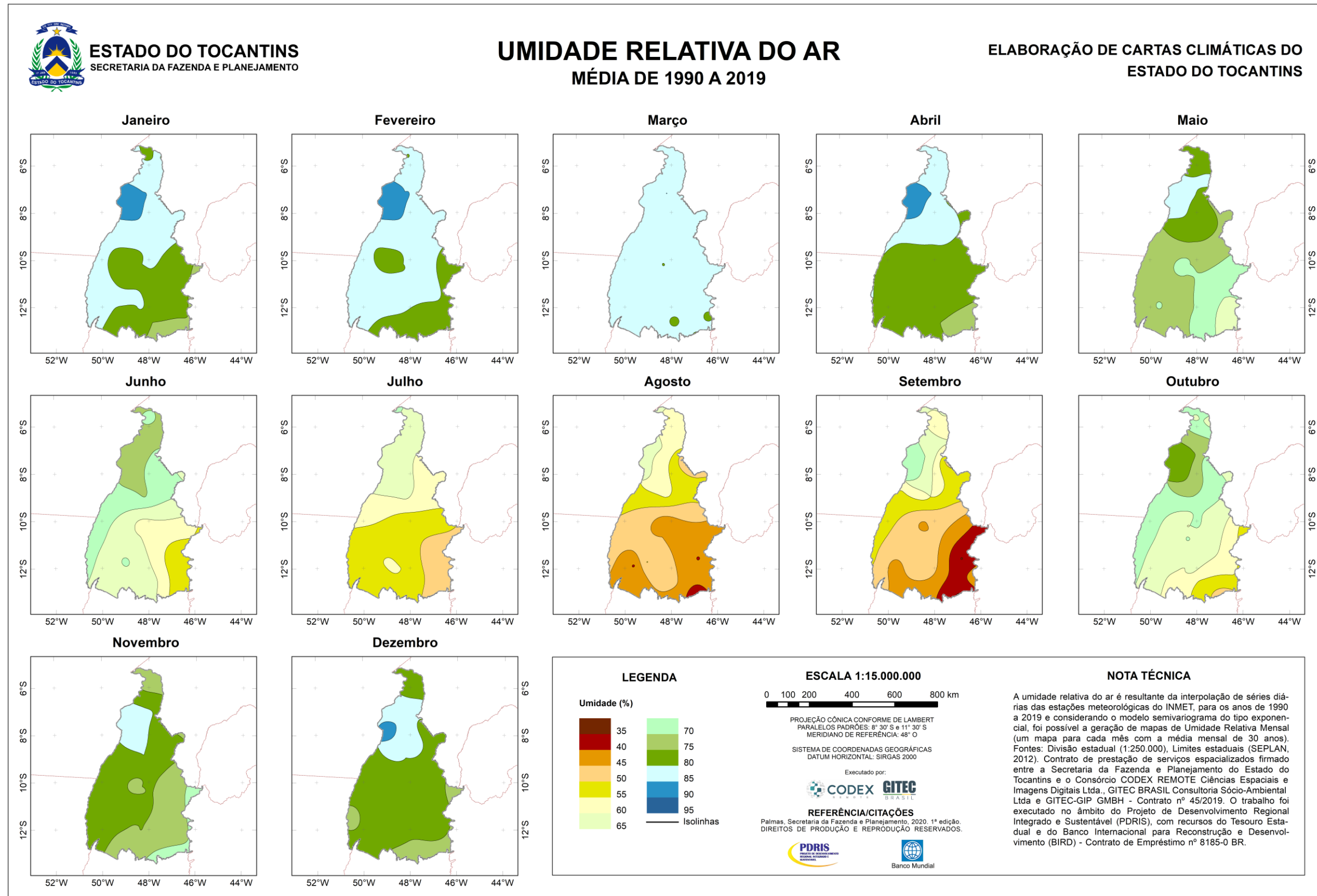


evapotranspiração, destaca-se que a umidade relativa dentro de florestas aumenta de 3% a 10% em comparação com ambientes externos à floresta, especialmente nos meses de verão, que no Tocantins são quentes e chuvosos (BARRY e CHORLEY, 2013). Por isso observa-se que as regiões Norte, Noroeste e Extremo Norte, com remanescentes de floresta ombrófila e de floresta estacional, mostram-se quase na totalidade dos meses com valores de umidade relativa mais elevados que o restante do Tocantins.

Quando a umidade relativa do ar encontra-se entre 40% e 70%, as condições mostram-se confortáveis para o ser humano segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS). Entretanto, valores extremos de umidade relativa do ar podem ser danosos à saúde humana, sendo necessária a tomada de decisões adequadas à proteção da população. Umidade relativa do ar acima de 70%, se torna desconfortável e até perigoso, pois afeta o mecanismo de controle da temperatura corporal exercido pela transpiração. Quanto mais elevada estiver a temperatura e maior o índice de umidade do ar, mais lento será a evaporação do suor, que auxilia à dissipação do calor e o resfriamento do corpo.

No outro extremo têm-se os valores inferiores a 40%, que predominam no Tocantins nos meses de julho e agosto. Esta é uma condição mais perigosa, pois são combinados a condição desfavorável à dispersão de poluentes e o maior risco de ocorrência de queimadas, que agravam o ressecamento das mucosas das vias aéreas favorecendo as crises de asma e infecções virais e bacterianas. Problemas oculares e alergias também são comuns em períodos de baixa umidade relativa do ar, por causa do sangue mais denso diante da desidratação. Dor de cabeça, rinites alérgicas, sangramento nasal, garganta seca e irritada, sensação de areia nos olhos que ficam vermelhos e congestionados, ressecamento da pele, cansaço e outros, são sintomas frequentemente observados em períodos com umidade relativa do ar inferior a 30% (VARELLA, 2020). Conforme a OMS, quando os índices de umidade relativa do ar ficam entre 30 e 21% é considerado Estado de Atenção, entre 20 e 12% (Estado de Alerta) e abaixo de 12% (Estado de Alerta Máximo).

Figura 16. Mosaico com mapas de Umidade Relativa do Ar Mensal no Tocantins, dada porcentagem [%]. Média mensal do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.1.6. Evaporação

Para que ocorra a evaporação é primordial uma fonte de energia e uma superfície que tenha suprimento de umidade; a pressão de vapor do ar deve estar abaixo do valor absoluto, ou seja, a umidade relativa do ar deve ser inferior a 100%; e deve haver algum vento para que o conteúdo evaporado seja removido do local e assim o processo prossiga (BARRY e CHORLEY, 2013).

Destas considerações conclui-se que a variabilidade atribuída ao recebimento da energia proveniente do Sol terá um papel importante no padrão comportamental da evaporação, com proporcionalidade direta, quanto maior a quantidade de energia recebida, maior será a evaporação. Em termos de distribuição espacial, e considerando características presentes no Tocantins, deve-se verificar maior evaporação em locais florestados, ou também sobre as áreas úmidas e alagáveis. Estes aspectos podem sofrer alterações quando interferidos por fatores dominantes locais e/ou momentâneos como a atuação de sistemas atmosféricos de escala sinótica ou mesmo circulações locais persistentes. Barry e Chorley (2013) lembram que sobre a terra, a evaporação anual pode ser equacionada da seguinte forma: 52% decorre da evaporação da transpiração, 28% da evaporação da umidade do solo e 20% da evaporação da água da chuva interceptada pelas superfícies.

O mapa da Evaporação Anual do Tocantins é dado na Figura 17. Nesta observa-se a distribuição espacial da referida variável, valores médios anuais dados em milímetros. O Estado tem valores de evaporação variando entre 1190mm e 2380mm, aumentando progressivamente no sentido noroeste-sudeste.

Os menores valores de evaporação, entre 1190mm e 1360mm, ocorre sobre uma superfície localizada na parte noroeste do Estado, onde há predomínio da fitoecologia denominada Savana com vegetação de Cerrado e onde a área úmida do rio Araguaia se restringe significativamente. Os mesmos níveis de evaporação também foram registrados no extremo oeste da região Bico do Papagaio, onde prevalece a cobertura vegetal de Floresta Ombrófila, entretanto, nesta região a redução da evaporação provavelmente se deve a constante saturação de umidade do ar atmosférico. Estes valores são compatíveis com as condições observadas na Região Amazônica conforme a Normal Climatológica 1981-2010 do INMET (INMET, 2018). O presente diagnóstico climático do estado do Tocantins mostra que estas duas regiões possuem valores anuais muito semelhantes em muitas das variáveis atmosféricas que determinariam a evaporação. Ambas apresentam temperaturas elevadas, umidade relativa elevada, o segundo maior índice de precipitação do Estado, a maior cobertura de nuvens e menor radiação solar global (estes últimos discutidos mais adiante).

Valores entre 1360mm e 1530mm espalham-se numa grande área que se estende da região Centro-Oeste até a Nordeste, e alastra-se pelo Extremo Norte. Nesta área constata-se uma maior ocorrência e distribuição de florestas Estacionais e Ombrófilas, principalmente nas porções oeste e norte. Na porção leste observa-se o alargamento da rio Tocantins por causa da barragem da UHE do Estreito. Há indícios de que a circulação local dos ventos interfere no comportamento da evaporação nesta parte do Estado, considerando a uniformidade entre as variáveis atmosféricas mesmo em superfícies com distintas coberturas do solo e topografias diferenciadas.

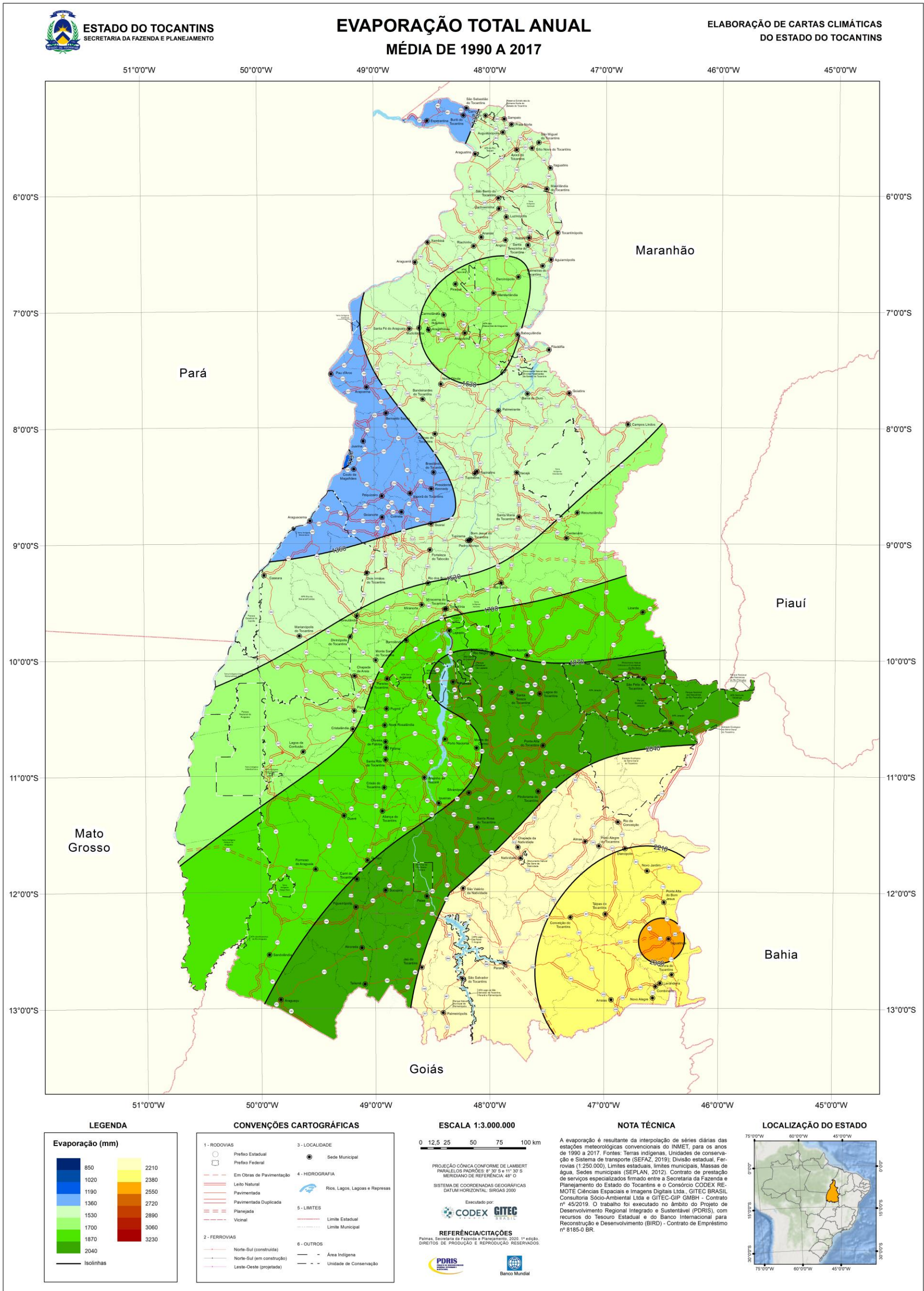
Observa-se a ocorrência de faixas de crescente taxa de evaporação, com orientação sudoeste-nordeste, avançando em direção da região Sudeste, cujos valores variam entre 1530mm e 2040mm. Mais uma vez não há clara relação entre radiação solar global, que seria a fonte de energia para a ocorrência da evaporação, tão pouco com as formas do relevo ou a cobertura do solo. Porém com o

campo de umidade pode-se verificar alguma correlação, uma vez que as três faixas de evaporação estão inseridas quase que totalmente em uma área com o mesmo valor de umidade relativa do ar (65% a 70%), que apresenta a mesma orientação sudoeste-nordeste, e tal correlação se deve ao fato de que quanto menor a umidade relativa mais fácil evaporar.

Na região Sudeste do Tocantins observa-se valores bem expressivos de evaporação, com totais anuais entre 2210mm e 2550mm. Segundo Barry e Chorley (2013) os mais elevados valores anuais globais de evaporação (1500mm), valor médio em faixas de latitude (média zonal), são observados sobre os oceanos tropicais nos cinturões dos ventos Alísios e também nas áreas continentais equatoriais em resposta à elevada radiação solar incidente e da presença de exuberantes florestas. A região Sudeste se insere na porção de menor umidade relativa, maiores temperaturas e maior radiação solar incidente de todo o Tocantins, além de contar com a presença de florestas Estacionais Deciduais e Semideciduais e Cerrado, densa rede de drenagem e relevo que favorece o estabelecimento da circulação local de vale-montanha, recirculando a umidade fornecida pela vegetação e pelos cursos d'água, estimulando diariamente a evaporação.



Figura 17. Mapa da Evaporação Anual no Tocantins, dada em milímetro [mm]. Média do período 1990 – 2017.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

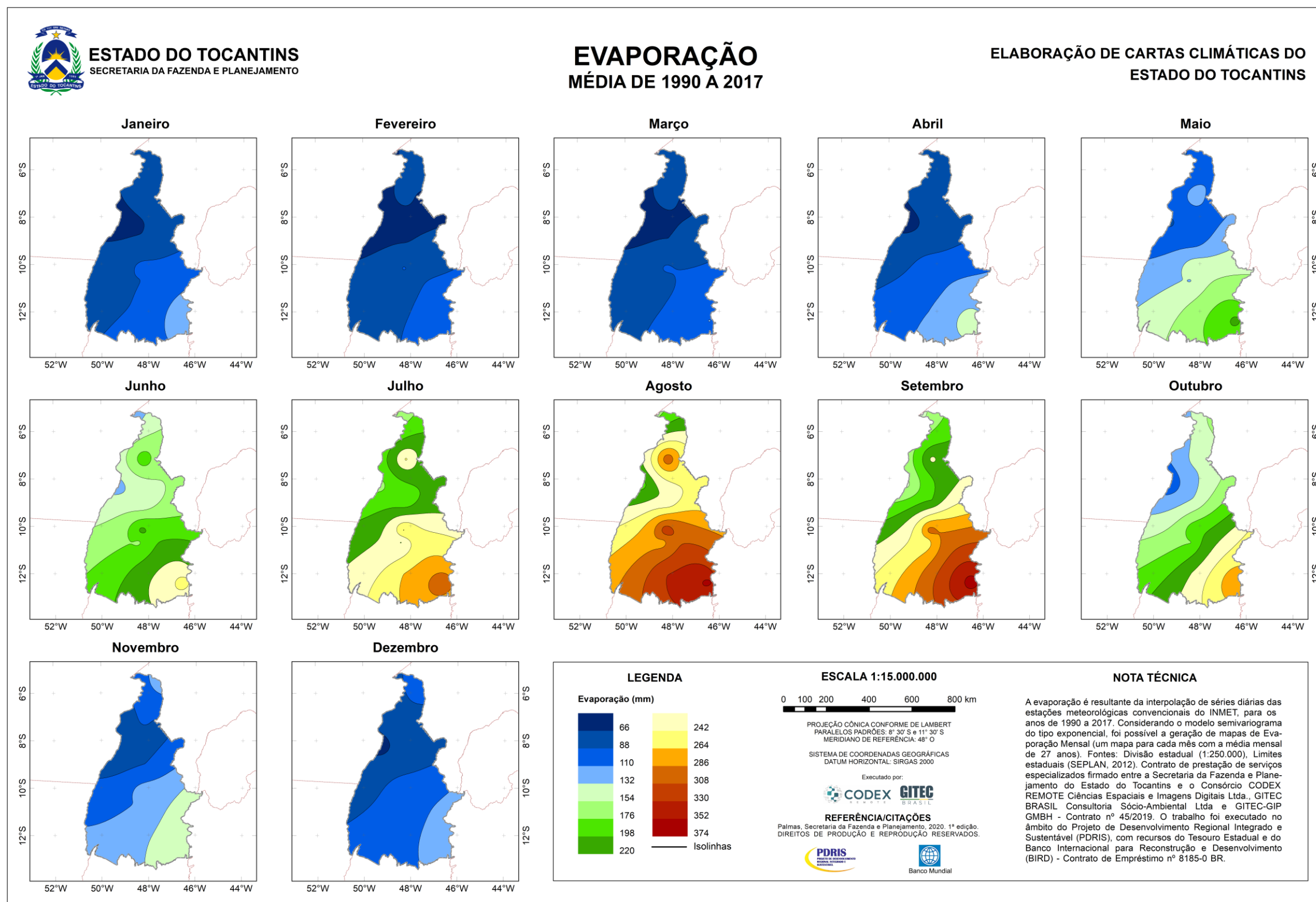
A Figura 18 traz o mosaico com os mapas da Evaporação no estado do Tocantins, onde são apresentados os valores médios de evaporação para cada mês do ano. Percebe-se que a distribuição temporal desta variável segue o mesmo padrão já identificado para a precipitação pluviométrica e para a umidade relativa do ar. Esperava-se este comportamento uma vez que o padrão da evaporação tem os mesmos controles das duas variáveis correlatas. Destaca-se a semelhança no padrão temporal entre as variáveis, pois em termos quantitativos a evaporação tem comportamento inversamente proporcional a precipitação e umidade relativa, ou seja, nos meses em que se verificam os maiores valores de precipitação e de umidade constata-se os menores valores de evaporação, e vice-versa.

Desta forma, o trimestre janeiro-fevereiro-março possui os menores valores de evaporação, com dados variando entre 40mm na região Norte e crescendo uniformemente em direção ao Sudeste até atingir valores de 110mm. A partir de abril percebe-se a aceleração no ritmo de crescimento dos níveis evaporativos, conferindo um aumento no número de classes a cada mês avançado, com a situação evoluindo até setembro. Neste mês a distribuição espacial continua apresentando um padrão de faixas com alinhamento sudoeste-nordeste. Os menores valores ainda estão numa estreita faixa no noroeste do Estado, com valores mínimos de 154mm, se distribuindo até o extremo Sudeste com valor máximo de 374mm.

Em todos os meses percebe-se a forte participação das variações no fornecimento de energia solar na dinâmica mensal da evaporação sobre o Tocantins. Tal variabilidade se deve em parte pelo movimento aparente do Sol e, em uma parcela bem menor, pela variação na cobertura de nuvens sobre o Estado. Também fica clara a transição sazonal entre as condições amazônicas, que prevalecem entre os meses de outubro a abril, e as condições prevaletentes no sertão nordestino entre maio e setembro.



Figura 18. Mosaico com mapas de Evaporação no Tocantins, dada em milímetro [mm]. Média mensal do período 1990 – 2017.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.1.7. Nebulosidade

A nebulosidade é a fração do céu (abóbada celeste) que se encontra encoberta por nuvens em um momento específico de observação. Tal fração é indicada em oitavos ou em décimos encoberto, devendo ser informada qual das escalas está sendo usada. As estações meteorológicas convencionais do INMET registram em décimos (VAREJÃO-SILVA, 2006). Para que ocorra a formação de nuvens é necessário um mecanismo de levantamento das parcelas de ar úmidas e instáveis (YNOUE *et al.*, 2017).

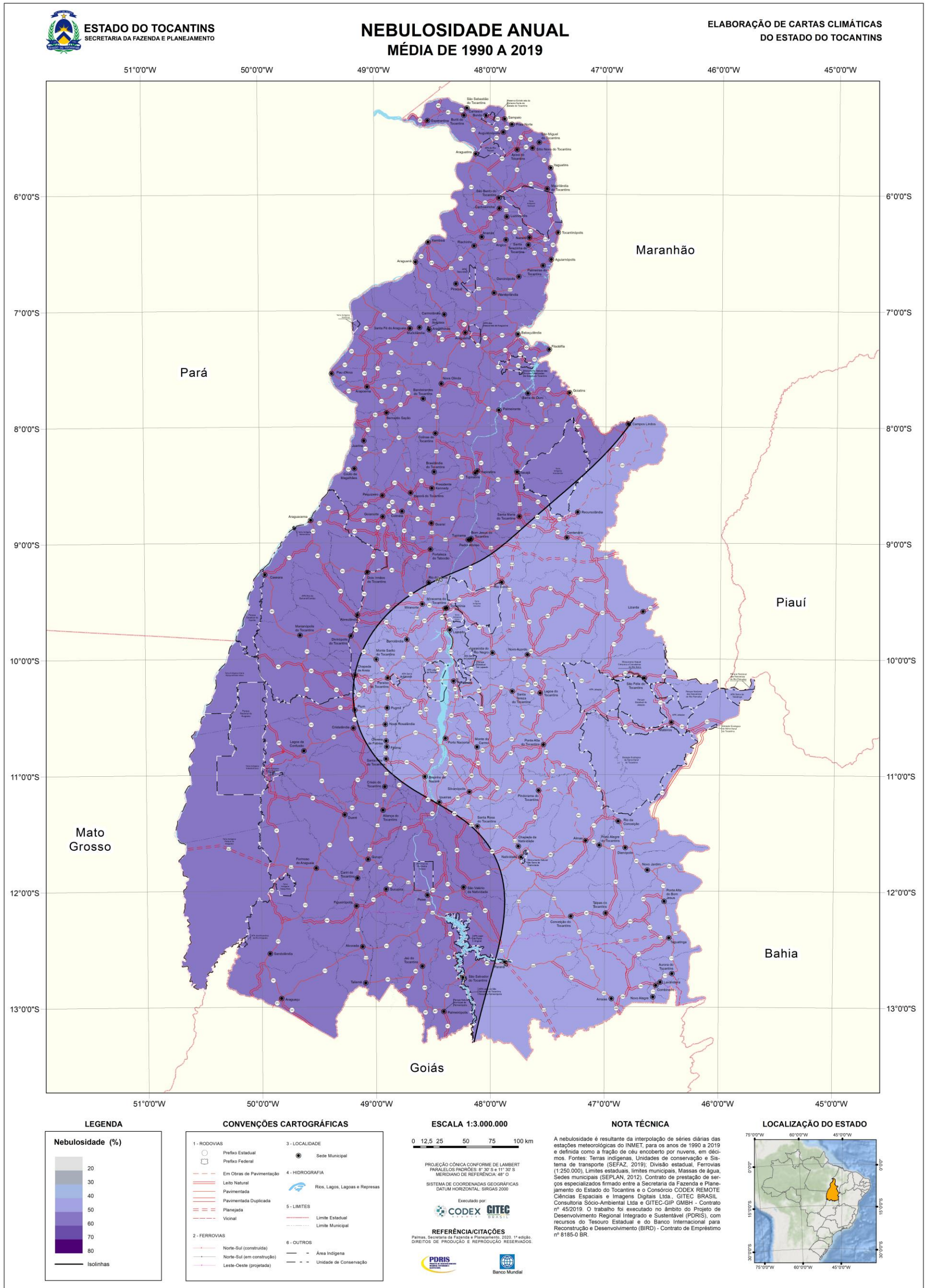
A média da nebulosidade observada no Tocantins no período entre os anos de 1990 e 2019 está apresentada na Figura 19. Neste mapeamento a variável em questão é dada em porcentagem, que representa o décimo de céu encoberto pela nebulosidade, ou seja, 10% = 1/10, 50% = 5/10, e, assim, sucessivamente.

Pode-se observar que o Estado está dividido em duas faixas de nebulosidade, na porção leste de 40% a 50% do céu permanece encoberto em termos de média anual e, na faixa oeste de 50% a 60% em média. Seu posicionamento continental e o tipo de vegetação prevalecente no Estado não oferecem condições abundantes de disponibilidade de umidade para atmosfera, e sem umidade não há nuvens.

A maior cobertura de nuvens no oeste e norte do Tocantins apontam à atuação dos sistemas atmosféricos mEc, Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Linhas de Instabilidade Continental (LICON) e frentes frias os quais, alguns provocam um incremento expressivo na umidade e calor da região estimulando a formação de nuvens, enquanto outros apenas transportam a nebulosidade até o Estado. Na faixa leste do Tocantins a corrente de leste da mTa é a principal influenciadora, fornecendo alguma umidade para este local e proporcionando a formação de nuvens, porém em proporções menores devido ao ressecamento desta massa de ar enquanto avança sobre a Bahia. Deve-se lembrar que com exceção da LICON todos os demais sistemas atmosféricos também atuam frequentemente no leste, porém com intensidade bastante reduzida, mantendo a influencia prevalecente da corrente de leste da mTa.



Figura 19. Mapa da Nebulosidade Anual no Tocantins, dada em porcentagem [%]. Média do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

O controle exercido pelos sistemas atmosféricos citados fica mais evidente ao analisar a distribuição temporal da nebulosidade sobre o Tocantins, acompanhando a Figura 20. A maior cobertura de nuvens se concentra nos períodos em que prevalece a atuação da maioria dos sistemas, de dezembro a março, predominantemente sobre a faixa oeste, a destacar-se a corrente de oeste da mEc, da corrente de leste da mTa, ZCAS, ZCIT e VCAN.

A atuação da ZCAS tem início em novembro, quando se detecta o aumento na cobertura de nuvens na região Sul do Tocantins, cujos valores de nebulosidade encontram-se entre 70% e 80%. A porcentagem de cobertura de nuvens sobre esta área tocantinense de maior influência da ZCAS permanece inalterada até o mês de março, entretanto observa-se alguma alteração nas dimensões das áreas de nebulosidade. Estes resultados coincidem com os discutidos por Carvalho e Jones (2009) que citam o enfraquecimento da atividade convectiva profunda da ZCAS em meados de março e começo de abril nas regiões tropicais.

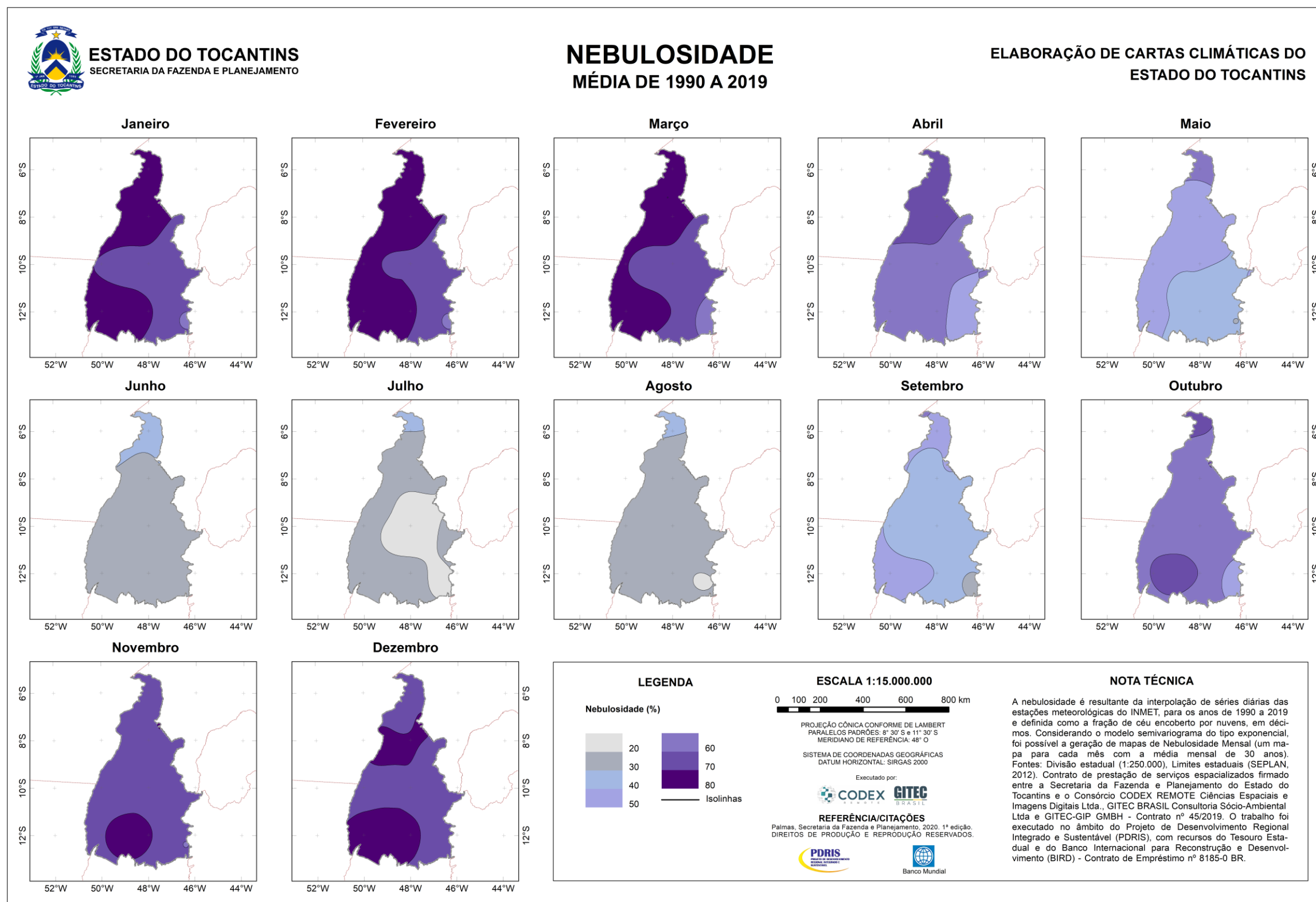
Situação semelhante é observada nas regiões tocantinenses do Noroeste, Nordeste, Norte e Extremo Norte, onde os valores de cobertura de nuvens variam entre 70% e 80% entre dezembro e março. Nota-se que no mês de dezembro as áreas mais influenciadas pela mEc e pela ZCAS estão separadas, e elas vão se aproximando continuamente com o fortalecimento e expansão destes sistemas, bem como de outros que também dominam estas regiões (VCAN e ZCIT), alcançado a máxima sobreposição no mês de fevereiro.

Outros sistemas meteorológicos contribuem para o aumento na quantidade de nuvens sobre o Tocantins, atingindo regiões diferentes em períodos diferentes do ano. O VCAN mostra-se mais ativos entre os meses de dezembro a fevereiro. A presença de sistemas convectivos profundos associados a ZCIT aparece na forma do aumento na cobertura de nuvens nas regiões Noroeste, Norte e Extremo Norte entre os meses de outubro e abril.

No trimestre junho-julho-agosto a quantidade de nuvens no céu reduz drasticamente, com percentuais inferiores a 30% na maior parte do Estado, evidenciando a baixa frequência do controle de sistemas sinóticos de tempo prevalentes no inverno austral, como a passagem de frentes frias. No Extremo Norte do Tocantins a corrente de oeste da mEc ainda mostra uma pequena influência. Mais uma vez, lembra-se que neste período do ano a mTa torna-se mais estável, condição desfavorável a formação de nuvens.



Figura 20. Mosaico com mapas de Nebulosidade no Tocantins, dada em porcentagem [%]. Média mensal do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.1.8. Insolação

A insolação é definida como a duração do brilho solar, expressa em horas ou décimos em que a luz do Sol chega até a superfície da Terra sem interferência de nuvens (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Assim, os resultados de insolação devem ser inversamente proporcionais aos resultados observados na análise da nebulosidade, ou seja, maior nebulosidade, menor insolação. Ressalta-se que condições específicas do local e do momento imprimem alterações no padrão esperado, deste modo, o mapeamento da insolação não representará o “negativo perfeito” da nebulosidade, e sim uma correlação evidente.

O principal motivo para um resultado diferente daquele que parece óbvio, quando se compara os campos de nebulosidade e de insolação, é a maneira como o registro destas variáveis é efetuado. A primeira consiste de uma análise subjetiva do observador, obviamente, treinado para isto, e a segunda variável é o resultado da soma de todos os seguimentos queimados e/ou crestados no gráfico do heliógrafo. Então, um observador meteorológico pode identificar a presença de nuvens no céu, mas elas não necessariamente estão na porção da abóbada celeste que causaria sombreamento sobre o instrumento de medição da insolação, sendo esta devidamente registrada.

Na Figura 21 é possível analisar o comportamento médio anual da Insolação Total sobre o estado do Tocantins. Nela percebe-se que o total anual de horas de brilho solar varia entre 2000 horas e 2600 horas.

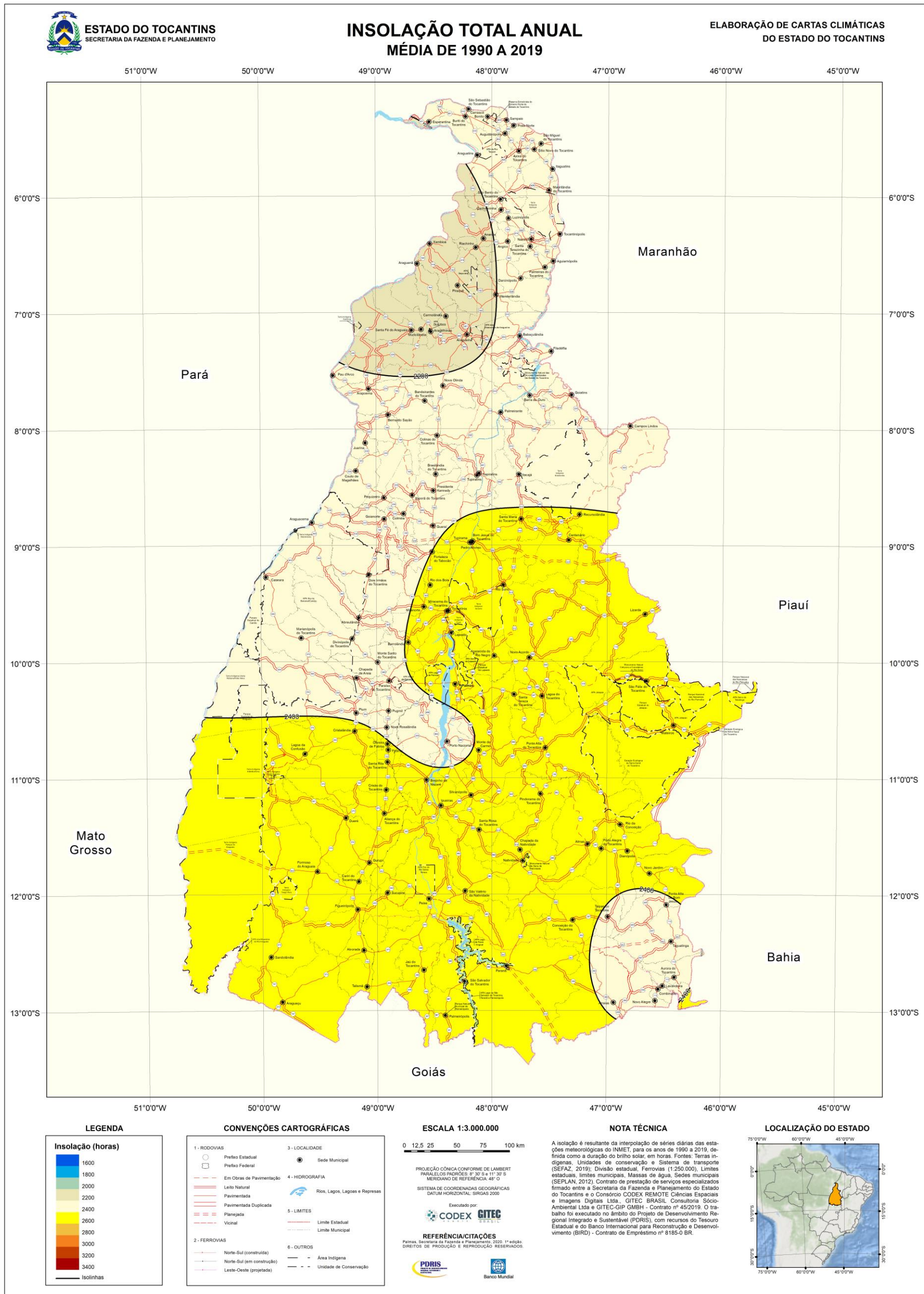
Na grande área que cobre totalmente as regiões Sudoeste, Sul e Leste e parcialmente as regiões Sudeste e Central, são registrados os maiores valores de insolação do Estado, entre 2400 horas e 2600 horas. Este resultado está compatível com o campo de nebulosidade discutido anteriormente, e ambos são condizentes com a atuação mais enfraquecida de todos os sistemas atmosféricos no Tocantins.

Depois têm-se as áreas com insolação total anual entre 2200 horas e 2400 horas, em uma faixa que se estende da região Centro-Oeste, cobre a região Nordeste e avança até o Bico do Papagaio, e ainda numa porção restrita ao sudeste da região Sudeste. Com exceção da porção Sudeste, estes valores de insolação estão na área em que a maioria dos sistemas atmosféricos atuam ativamente e por longos períodos, devendo-se ressaltar a marcante influência da mEc, VCAN e ZCIT para a formação de nuvens.

Sobre a região Norte os valores variam entre 2000 horas e 2200 horas, sendo esta a região de menor insolação do Estado. A marcante atuação da mEc, VCAN, ZCIT e também da LICON, determinam a formação de nuvens e, conseqüentemente, influenciam no campo de insolação.



Figura 21. Mapa da Insolação Total Anual no Tocantins, dada em horas. Média do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

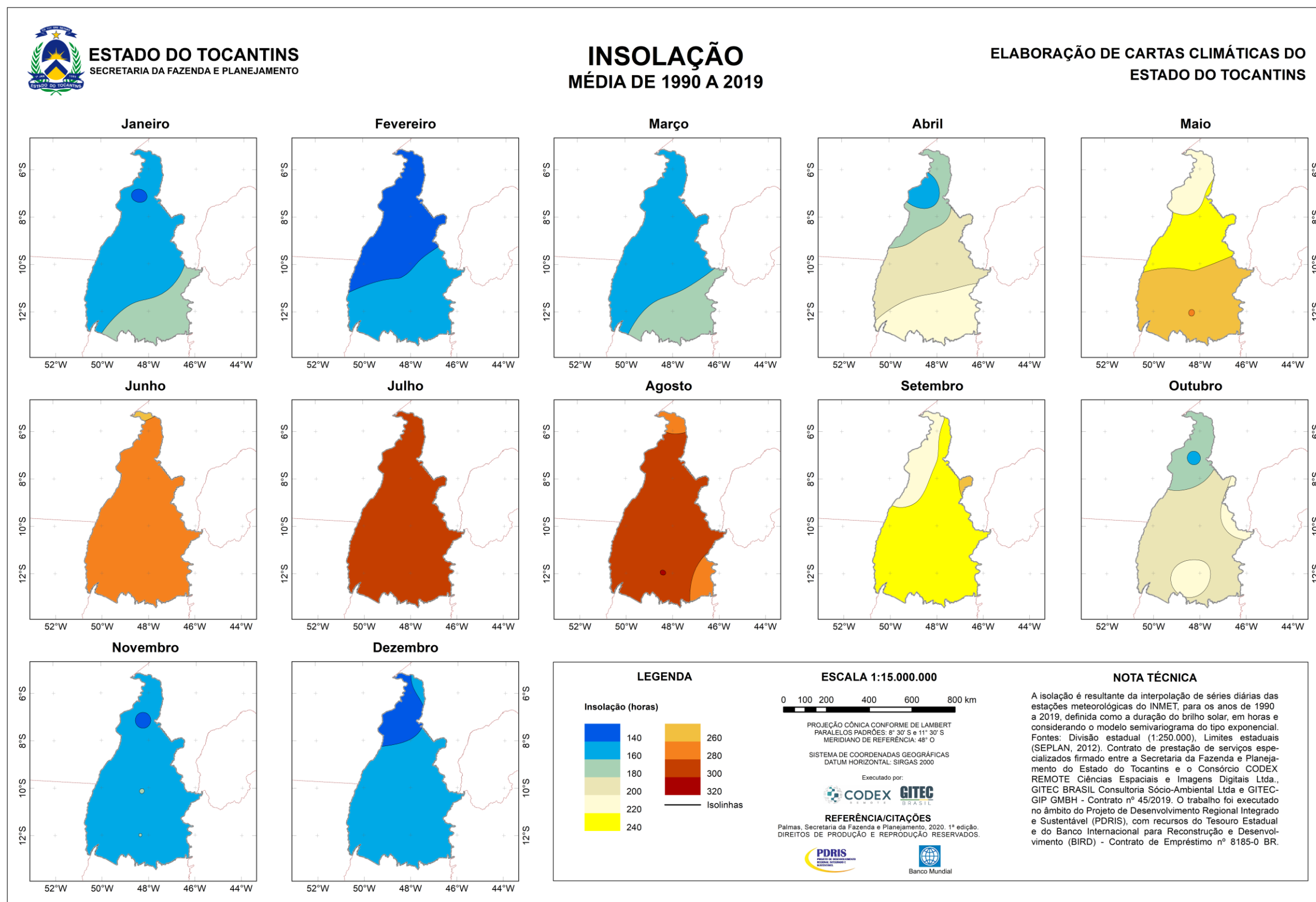
Ao analisar-se a distribuição temporal, de escala mensal, da insolação sobre o Tocantins (Figura 22), constata-se que ao longo do ano os valores desta variável climática variam entre 120 horas e 320 horas.

Constata-se que no trimestre junho-julho-agosto ocorrem os maiores valores de insolação, entre 260 horas e 300 horas, sem muita variação espacial, exatamente como esperado. Neste trimestre poucos sistemas atmosféricos atuam sobre o Estado, a citar-se a passagem de frente frias esporádicas e a fase estável da mTa. Então, a formação de nuvens, que poderia diminuir a insolação, se deve a restritas fontes superficiais de vapor d'água (evaporação e evapotranspiração) e circulações locais que elevam esse vapor na atmosfera e o expõem a condições favoráveis à condensação. Destaca-se a uniformidade da insolação em todo o Estado durante esse trimestre, o que fornece indícios de que o mesmo tipo de sistema atmosférico, neste caso a circulação local, tem influência predominante no comportamento da insolação.

Os menores valores de insolação, entre 120 horas e 180 horas mensais, são registrados entre os meses de novembro e fevereiro, sendo a porção norte do Estado a menos insolarada, período esse em que os sistemas atmosféricos produtores de nuvens estão mais ativos e em maior número.



Figura 22. Mosaico com mapas de Insolação no Tocantins, dada em horas. Média mensal do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.1.9. Radiação Solar Global

Considerando um determinado instante e local, a energia solar que atinge a superfície terrestre é chamada de radiação solar global (R_s), formada por dois componentes. A radiação direta é a fração da radiação global que chega ao topo da atmosfera, e a radiação difusa corresponde a fração da radiação global que atravessa a atmosfera, interagindo com seus constituintes e que é espalhada em todas as direções (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Tomando os conceitos apresentados é possível inferir que a latitude irá exercer um papel determinante no padrão da radiação solar global, uma vez que latitudes diferentes recebem quantidades diferentes de radiação solar. Os constituintes atmosféricos, principalmente o vapor d'água e as nuvens, provocam um efeito atenuador nos valores da radiação solar global, quando presentes. Quanto mais espessa e contínua for a cobertura de nuvens maior será a resistência imposta à penetração da radiação solar. Estes elementos e fatores meteorológicos são discutidos em Barry e Chorley (2013) que, também, cita um exemplo do impacto de um eclipse solar total sobre a radiação solar global de escala diária.

Entre os anos de 1961 e 1990, conforme Barry e Chorley (2013), a radiação solar global recebida no planeta Terra diminuiu 4%, e o fenômeno foi denominado “escurecimento global”, sendo atribuído a maior absorção da radiação solar direta por aerossóis (carbono negro) e reflexão (por sulfatos, nitrato e poeira). Na década de 1990 a quantidade de radiação se recuperou, marcando o período de “clareamento global”, como resultado a diminuição de aerossóis. Este é um exemplo dos efeitos que mudanças na qualidade do ar podem ocasionar na quantidade de radiação solar que chega até determinado local. Uma análise de distribuição temporal de uma série histórica longa pode apontar tais efeitos.

O mapa da Radiação Solar Global apresentado na Figura 23 mostra a distribuição espacial da variável sobre o estado do Tocantins. Nela observa-se o domínio da latitude sobre o padrão da distribuição espacial, praticamente em faixas com orientação sudoeste-nordeste, compatível com o campo de nebulosidade, pois uma cobertura espessa e contínua de nuvens forma uma barreira significativa à radiação solar incidente. O Estado experimenta valores médios anuais entre 1300KJm^{-2} e 1700KJm^{-2} .

A menor quantidade de radiação solar global se concentra numa pequena área no Centro do Estado, que é rica em fontes de vapor d'água para atmosfera, cujos valores anuais registrados estão em média entre 1300KJm^{-2} e 1400KJm^{-2} .

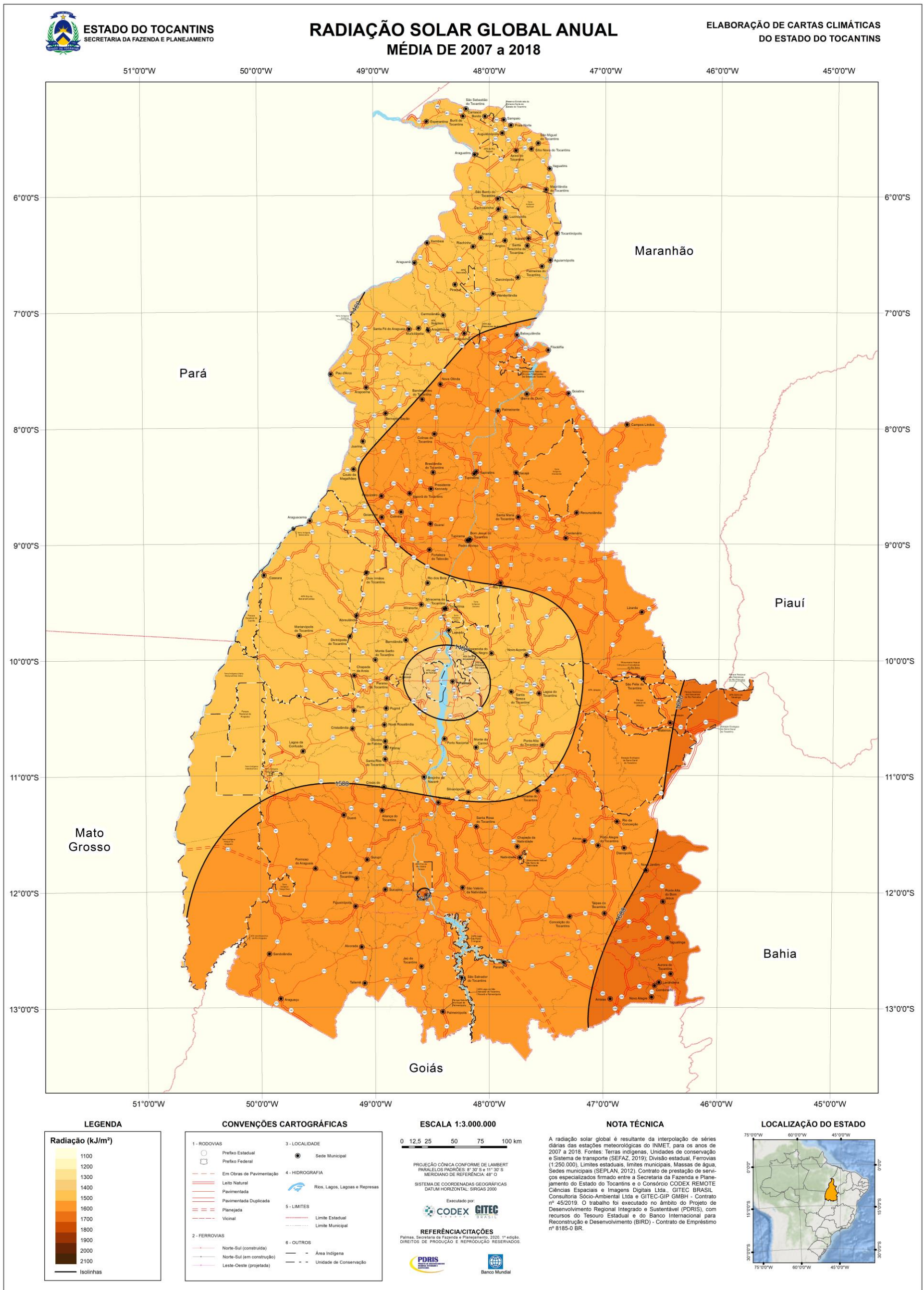
Na faixa que engloba o Centro-Oeste, Centro, Noroeste, Norte e Extremo Norte se espalham valores anuais entre 1400KJm^{-2} e 1500KJm^{-2} . Nestas áreas observa-se o maior percentual anual de nebulosidade o que corresponde à menores valores de radiação solar direta e difusa, contribuindo para menores valores de radiação solar global.

Na faixa seguinte, que se estende do Sudoeste ao Nordeste, passando pelo Sul, Sudeste e Leste, os valores variam de 1500KJm^{-2} a 1600KJm^{-2} . O aparente deslocamento do Sol é relativamente rápido durante sua passagem pelo equador, mas sua velocidade diminui quando alcança os trópicos, como afirma Barry e Chorley (2013). Entre as latitudes de 6°N e 6°S o Sol se mantém quase verticalmente a pino por apenas 30 dias durante os equinócios de primavera e de outono, enquanto, entre as latitudes entre $17,5^\circ$ e $23,5^\circ$ a radiação incide quase verticalmente por 86 dias consecutivos. Então, pode-se inferir que as áreas mais ao norte do Tocantins tem menos tempo de Sol a pino para acumular energia, do que as porções mais ao sul do Estado. Soma-se aos efeitos da latitude o menor percentual de cobertura de nuvens desta faixa do Sudoeste ao Nordeste tocantinense.



Em uma estreita faixa situada no extremo leste das regiões Sudeste e Leste do Tocantins observa-se os maiores valores registrados de radiação solar global, entre 1600KJm^{-2} e 1700KJm^{-2} . Nestas áreas predominam os menores percentuais anuais de nebulosidade, que, considerando o enfraquecimento dos sistemas atmosféricos que atuam neste região, pode-se supor que são nuvens menos espessas e mais esparsas. Somando-se os efeitos de latitude, mais próximas do Trópico de Capricórnio, já comentados anteriormente, o resultado são os maiores valores de radiação solar global do estado do Tocantins.

Figura 23. Mapa da Radiação Solar Global Anual no Tocantins, dada em [KJm⁻²]. Média do período 2007 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



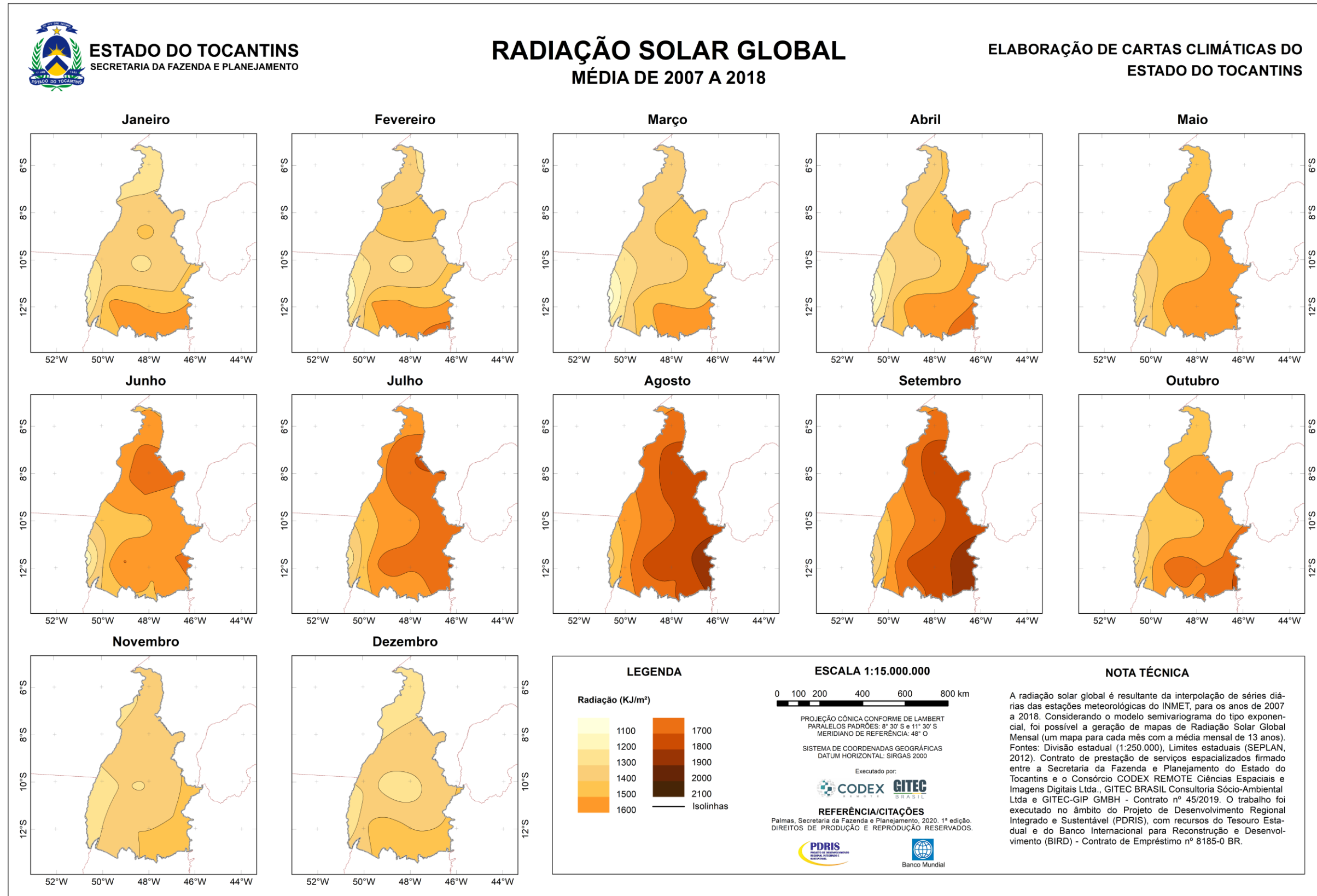
Nos mapas de radiação solar global que compõem o mosaico da Figura 24 é possível acompanhar o comportamento temporal da variável ao longo do ano e também a distribuição espacial em cada um dos meses.

Identifica-se os maiores valores sendo registrados entre a ocorrência dos equinócios de março (outono) e de setembro (primavera), com padrão crescente de um para outro, respectivamente. Este comportamento se deve ao movimento aparente do Sol, em sua passagem pela linha do equador. Durante o inverno austral, o Tocantins experimenta o período mais seco do ano e também a menor cobertura de nuvens, o que resulta em aumento progressivo nos valores de radiação solar global. 1000KJm^{-2} e 1900KJm^{-2} . Setembro apresenta os maiores valores, entre 1200KJm^{-2} e 1900KJm^{-2} , período em que também ocorre grande amplitude entre os valores.

Observa-se que entre novembro e março os valores são menores que entre os equinócios, padrão justificado pela maior presença de nuvens e maior conteúdo de umidade na atmosfera tocantinense diante da grande quantidade de sistemas atmosféricos produtores de nuvens e precipitação atuantes no Estado. A amplitude de valores mensais encontra-se entre os limites de 1000KJm^{-2} e 1700KJm^{-2} . No mês de novembro observa-se a menor variação espacial da radiação solar global, com valores variando entre 1200KJm^{-2} e 1500KJm^{-2} , enquanto em março é observada grande variação espacial e grande amplitude entre os valores de radiação, entre 1000KJm^{-2} e 1600KJm^{-2} .

O limite inferior é observado sobre a Ilha do Bananal no transcorrer de todo o ano, com valores abaixo de 1100KJm^{-2} . Mesmo nos meses de agosto e setembro, de maior radiação solar global no Tocantins, esta região tem valores inferiores a 1200KJm^{-2} . Esta região alagável apresenta condições para a constante adição de vapor d'água na atmosfera local, mesmo nos períodos de seca, o que dificulta a penetração da radiação solar resultando em menores valores para a variável em análise.

Figura 24. Mosaico com mapas de Radiação Solar Global no Tocantins, dada em [KJ.m⁻²]. Média mensal do período 2007 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.1.10. Evapotranspiração de referência

A quantidade de água removida da superfície terrestre a partir da evaporação da água líquida e da transpiração dos seres vivos é expressa em milímetros pela evapotranspiração. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) criou o conceito de evapotranspiração de referência (ET_0), que tem como objetivo estudar a demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo de cobertura vegetal. Portanto, esta é uma importante variável no ciclo hidrológico, sendo muito útil no monitoramento de secas e na previsão de safras das culturas agrícolas.

Essa variável meteorológica é obtida a partir de uma equação que representa de maneira simplificada o fluxo de calor latente e sensível a partir de uma superfície úmida combinada com o balanço de energia nesta superfície. Por se tratar do processo de evaporação tanto da água líquida disponível na superfície quanto da transpiração das plantas, a evapotranspiração será afetada pelos mesmos fatores que afetam a evaporação (radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento) combinados com o tipo de solo e de vegetação que compõem o cenário em análise.

Uma analogia discutida por Collischonn e Dornelles (2015) possibilita uma melhor compreensão dos resultados. Eles comparam a equação para a determinação da ET_0 , apresentada na Equação 3, com um circuito elétrico, em que o fluxo evaporativo equivale a corrente, déficit de vapor do ar corresponde a diferença de potencial, e a combinação de resistência superficial e resistência aerodinâmica tem o papel equivalente ao da resistência elétrica. Considerando a resistência superficial como a combinação dos efeitos resultantes da presença da vegetação, então pode-se assumir que mudanças na umidade do solo provocam mudanças na transpiração pelas plantas, afetando a resistência superficial. Mudanças na temperatura do ar e na velocidade do vento afetam a resistência aerodinâmica.

Então, se por um lado o método de Penman-Monteith/FAO não considera a cobertura vegetal, a ET_0 obtida por este método mostra-se muito correlacionada com as características pedológicas predominantes do local. O mapa de solos da SEFAZ (2019c) apresenta, de maneira genérica, uma organização meridional das classes de solos, com predomínio de Argissolos, Neossolos, Latossolos e Plintossolos.

Através da análise da distribuição espacial sobre o Tocantins da evapotranspiração de referência, disponibilizada no mapa da Figura 25, é possível identificar-se que, predominantemente, as classes também tendem a um alinhamento quase meridional, exceto no Extremo Norte do Estado.

Outra consideração importante que explica a distribuição da ET_0 sobre o Tocantins está relacionada com a energia disponível para a evapotranspiração. Essa depende da energia solar que chega à Terra e da energia que resulta de todas as interferências impostas à radiação solar incidente, como: reflexão ou bloqueio pela atmosfera; reflexão e irradiação pela superfície terrestre; e absorção pelo solo. Todas essas energias são representadas, em algum grau, pelos campos das variáveis climáticas insolação e radiação solar global. Os dados de insolação apresentam interferência direta da presença de nuvens, enquanto a radiação solar global é dominada pela radiação incidente sobre a superfície após todos os bloqueios e desvios advindos da atmosfera. O efeito provocado pela latitude sobre a distribuição da radiação solar global origina um alinhamento bastante semelhante ao observado aqui, na evapotranspiração de referência.

Grande parte das regiões Sudeste e Leste possuem evapotranspiração variando entre 1210mm e 1410mm anuais, com maiores valores se concentrando na metade leste das regiões citadas. A

acentuada radiação solar global combinada com elevadas temperaturas, menor teor de umidade, relevo que estimula a circulação atmosférica local, tipos de solo e vegetação de Cerrado são favoráveis à maior evapotranspiração anualmente.

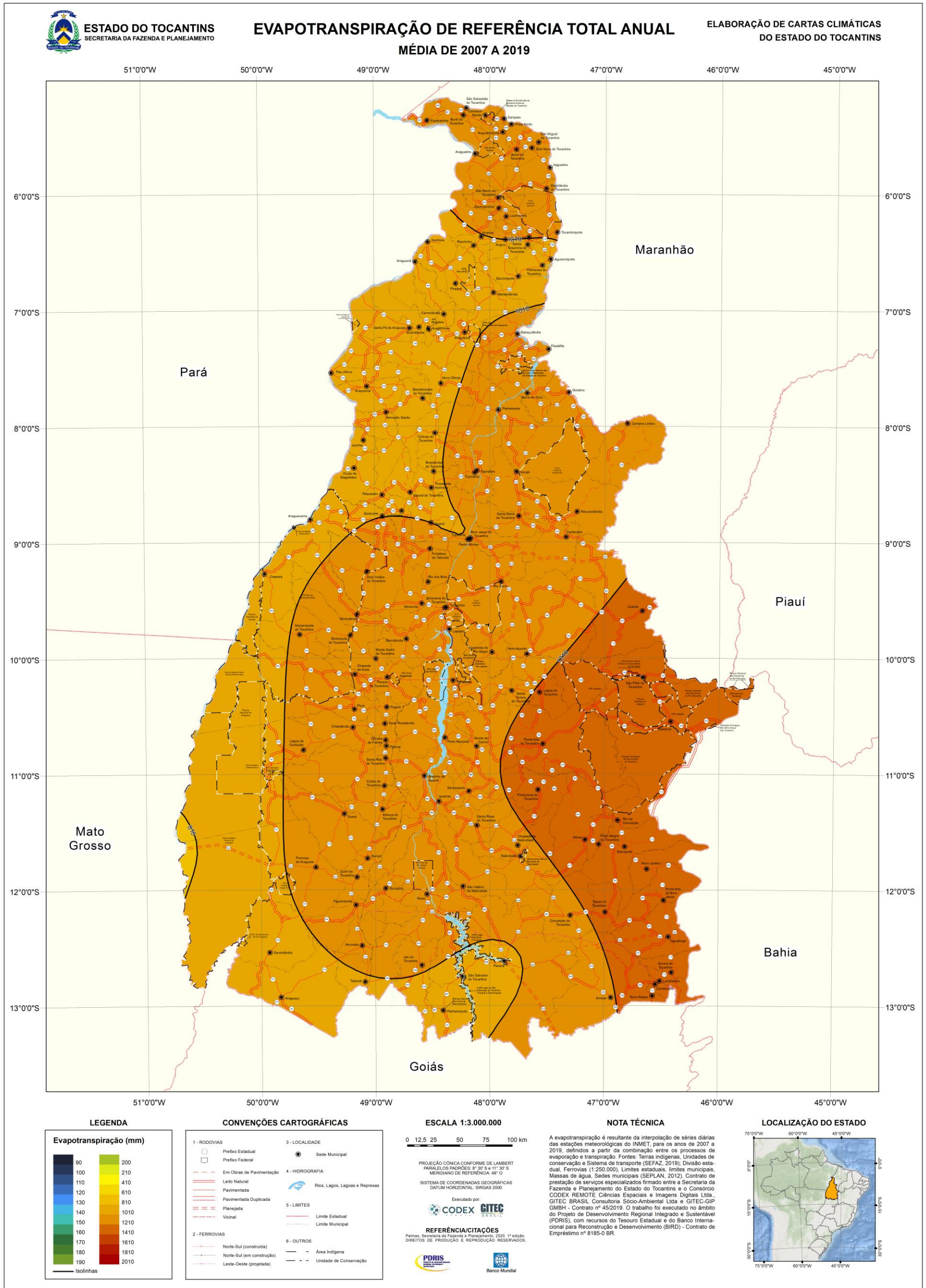
Com valores evaporimétricos entre 1010mm e 1210mm observa-se uma larga faixa central que se estende de norte a sul, incluindo quase a totalidade das unidades geomorfológicas das Depressões do Alto e Médio Tocantins. Não é possível atribuir os valores à influência de algum fator especificamente, pois observar-se dentro desta região comportamentos distintos da mesma variável climática, ou seja, áreas com maior e outras com menor umidade, áreas mais quentes outras menos quentes, áreas com maior e outras com menor radiação solar, e assim com outras variáveis. Porém identifica-se a predominância da fitoecologia de savana em toda essa faixa central, inclusive percebendo-se uma feição de cunha dos limites da faixa em direção do município de Pedro Afonso, podendo-se associar esta feição a presença de uma grande área florestada nos municípios de Presidente Kennedy e Guaraí (à oeste, mas fora da faixa em análise).

Na sequência, com evapotranspiração de referência entre 810mm e 1010mm, identifica-se praticamente toda a faixa oeste do Tocantins, se estendendo de norte a sul, cobrindo, também, a parte sul da Depressão do Alto Tocantins. Observa-se uma pequena área no extremo oeste do Parque do Araguaia, na divisa com o Mato Grosso, onde a evapotranspiração varia entre 610mm e 810mm. Nestas áreas a umidade do ar é um pouco maior, o que dificulta a evaporação e certamente diminui a evapotranspiração no local, e se encontram os maiores totais anuais de precipitação. Aqui também se localizam os maiores aglomerados de floresta ombrófila do Estado. Barry e Chorley (2013) afirmam que estimativas sugerem que na floresta tropical amazônica, após uma chuva, até 80% do saldo de radiação, ou seja, a diferença entre ganhos e perdas de energia, estão envolvidas na evapotranspiração.



GOVERNO DO TOCANTINS

Figura 25. Mapa da Evapotranspiração de Referência Total Anual no Tocantins, dado em milímetros [mm]. Média do período 2007 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Para acompanhar o comportamento temporal da Evapotranspiração de Referência no estado do Tocantins será analisada a Figura 26. Observa-se que a evapotranspiração apresenta um padrão crescente entre os equinócios de março (outono) e de setembro (primavera), se propagando de leste para oeste. Até junho o aumento da evapotranspiração é lento, porém se acelera significativamente entre julho e setembro, somatizando os efeitos causados pelo movimento aparente do Sol entre o equador e os trópicos e pela redução do vapor d'água na atmosfera, após o trimestre seco junho-julho-agosto. Este comportamento é coerente com o padrão temporal observado na análise da radiação solar global.

A partir de outubro, o potencial evaporativo regride, começando pela região Norte e progredindo rapidamente para as demais regiões no mês seguinte. Uma relação indireta é percebida neste período, e tem efeito negativo sobre evapotranspiração de referência, a partir de outubro observa-se o contínuo aumento na quantidade de nuvens, resultando em redução na temperatura do ar, e maior conteúdo de umidade na atmosfera tocantinense decorrente do transporte das circulações da mEc, principalmente, e da mTa.

Entre novembro e março poucas mudanças são percebidas, tanto na distribuição espacial da evapotranspiração quanto em termos quantitativos, cujos valores variam entre 90mm e 150mm. Tal estacionariedade está associada indiretamente a quantidade de nuvens, que praticamente não varia neste período, resultando em menor radiação solar global e diminuindo a energia disponível para o processo de evapotranspiração, e também reduzindo a temperatura do ar. Em se tratando do período chuvoso no Tocantins, observa-se também elevados índices de umidade que contribuem para menores valores evapotranspirados.

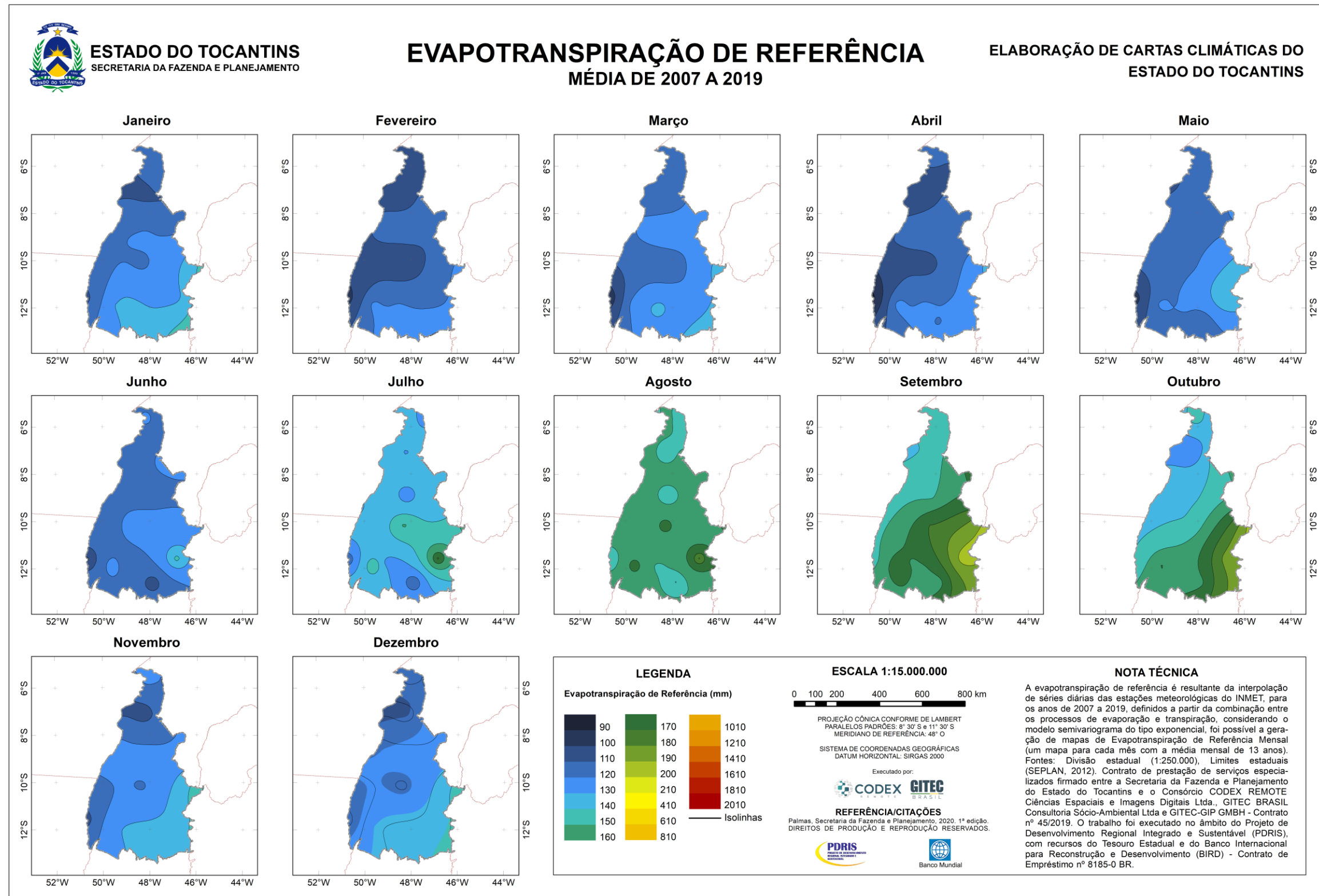
Deve-se destacar que segundo Allen *et al.* (1998) o valor da evapotranspiração de referência calculado pela Equação 3 corresponde a uma estimativa da evapotranspiração de um determinado tipo de vegetação, como a grama com altura específica e suprimento de água estável e adequado, então, esta variável também pode ser chamada de evapotranspiração potencial de referência. Ao considerar-se o caso em que a grama não tenha suprimento ideal de água, a evapotranspiração percebida será inferior ao valor estimado pela equação.

Macena *et al.* (2008), em estudo climatológico do bioma Cerrado, ressaltam a importância de dados de evapotranspiração nos mais variados campos científicos que tratam dos problemas de manejo de água neste bioma, tais como: zoneamento agrícola, planejamento, construção e operação de reservatórios de água e sistemas de irrigação e drenagem.



GOVERNO DO TOCANTINS

Figura 26. Mosaico com mapas da Evapotranspiração de Referência mensal no Tocantins, dado em milímetros. Média mensal do período 2007 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

4.1.11. Número de dias de chuva

Como já comentado anteriormente, a precipitação é umas das variáveis meteorológicas de maior variabilidade espacial e temporal. Sua complexa distribuição se deve a influência de diversos fatores climáticos como topografia, distância de corpos hídricos, deslocamento e caráter das massas de ar, entre outros (AYOADE, 2006). Como pode ser acompanhada na **Figura 7**, discutida anteriormente, o estado do Tocantins apresenta valores acumulados anuais de precipitação variando entre 1152mm e 1920mm, concentrados, basicamente entre novembro e abril. Entretanto, como afirmam Macena *et al.* (2008) a simples média anual da precipitação não se constitui um bom indicador do regime pluviométrico, devendo-se lançar mão de outras variáveis correlacionadas.

Compreender, somente, quanto, quando e onde chove pode não ser suficiente. Muitas atividades econômicas são afetadas de forma direta pela irregularidade temporal das chuvas. Por exemplo, a chuva não afeta, diretamente, nenhum processo metabólico das plantas, porém, períodos com chuvas excessivas podem reduzir a oxigenação dos solos, diminuindo a atividade radicular e a absorção de água e nutrientes, levando à redução de produtividade das culturas (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009). Outro exemplo vem da gestão dos recursos hídricos, do ponto de vista da gestão da drenagem urbana, a qual deve efetuar o manejo no tempo e no espaço do escoamento gerado pela precipitação, a fim de minimizar danos à sociedade e ao ambiente (TUCCI, 2012).

Sendo assim, é extremamente importante a gestão da água, quer nos períodos de abundância deste recurso ou no período de escassez. A gestão eficiente exige o conhecimento do comportamento das águas, do ciclo hidrológico, por isso a necessidade de saber por quantos dias há registro de chuva superior a 1mm.

A fim de entender o comportamento anual da distribuição espacial do número de dias de chuva, sobre o Tocantins, analisou-se os resultados apresentados na Figura 27. Os valores variam entre 58 e 108 dias distribuídos em todo o Estado, cuja linha de crescimento apresenta orientação sudeste-noroeste. Deve-se destacar aqui, que estes resultados não devem ser interpretados como se o total de número de dias tivesse ocorrido consecutivamente, por exemplo, 58 dias consecutivos com chuva acima de 1mm (sem pausa), e sim que ocorreram 58 dias de chuva acima de 1mm durante todo o ano.

A faixa sul, próximo à Goiás, possui as menores quantidades de dias de chuva superior a 1mm, apresentando entre 58 e 78 dias. Este padrão é justificado pelo enfraquecimento dos sistemas atmosféricos que influenciam o clima nesta região (mEc, mTa, VCAN, ZCAS, ZCIT e frentes frias), todos amplamente já discutidos. Verifica-se que a parte centro-oeste do Estado possui a maior quantidade de dias com chuva, variando de 98 a 108 dias, sendo explicado pela atuação, principalmente, dos seguintes sistemas: corrente de oeste da mEc, ZCIT, VCAN e LICON.

Pode-se identificar total correlação entre o campo de número de dias de chuva e o campo da precipitação total, ambos em escala anual, pois a primeira é totalmente dependente da segunda, e as condicionantes são predominantemente as mesmas. Algumas pequenas divergências são atribuídas à características da superfície, pois o relevo influencia significativamente o local de ocorrência da precipitação.

Mudanças climáticas que resultem em alterações no padrão médio da precipitação pluviométrica provavelmente irão alterar também o número de dias de chuva. A série histórica de 1990 a 2019 aponta para a tendência de diminuição do número anual de dias de chuva em 45 das 74 estações pluviométricas situadas no Tocantins, ou seja, em 60,8% das estações do Estado. As outras 29



estações (39,2%) apresentam tendência de aumento no número anual de dias de chuva. O último relatório do IPCC (2014) descreve as mudanças climáticas que estão sendo observadas em diversas partes do Planeta, sendo Tocantins inserido nas áreas onde verifica-se a redução nos índices pluviométricos. Embora o IPCC não apresente discussões sobre a variável número de dias de chuva, é plausível esperar alterações semelhante àquelas identificadas na variável precipitação pluviométrica.

A região programa Sul é a que apresenta o maior percentual de estações com tendência de diminuição do número anual de dias de chuva, efeito registrado em todas as estações pluviométricas da região, seguida da região programa Extremo Norte com 80% das estações com registro de tal redução e na sequência observa-se o mesmo comportamento em 76,9% das estações pluviométricas da região programa Sudeste. As demais regiões-programa do Tocantins tem os seguintes percentuais de redução do número anual de dias de chuva: Noroeste (71,4%), Nordeste e Sudoeste (ambas 62,5%), Norte (44,4%), Central (42,9%), Leste (40%) e Centro-Oeste (37,5%).

A grande variação de um ano para o outro do número de dias de chuva torna a avaliação do impacto da variabilidade climática em decorrência dos fenômenos ENOS muito mais complexa. Entretanto, constata-se, de um modo geral, diminuição do número anual de dias de chuva em eventos El Niño e aumento em La Niña.

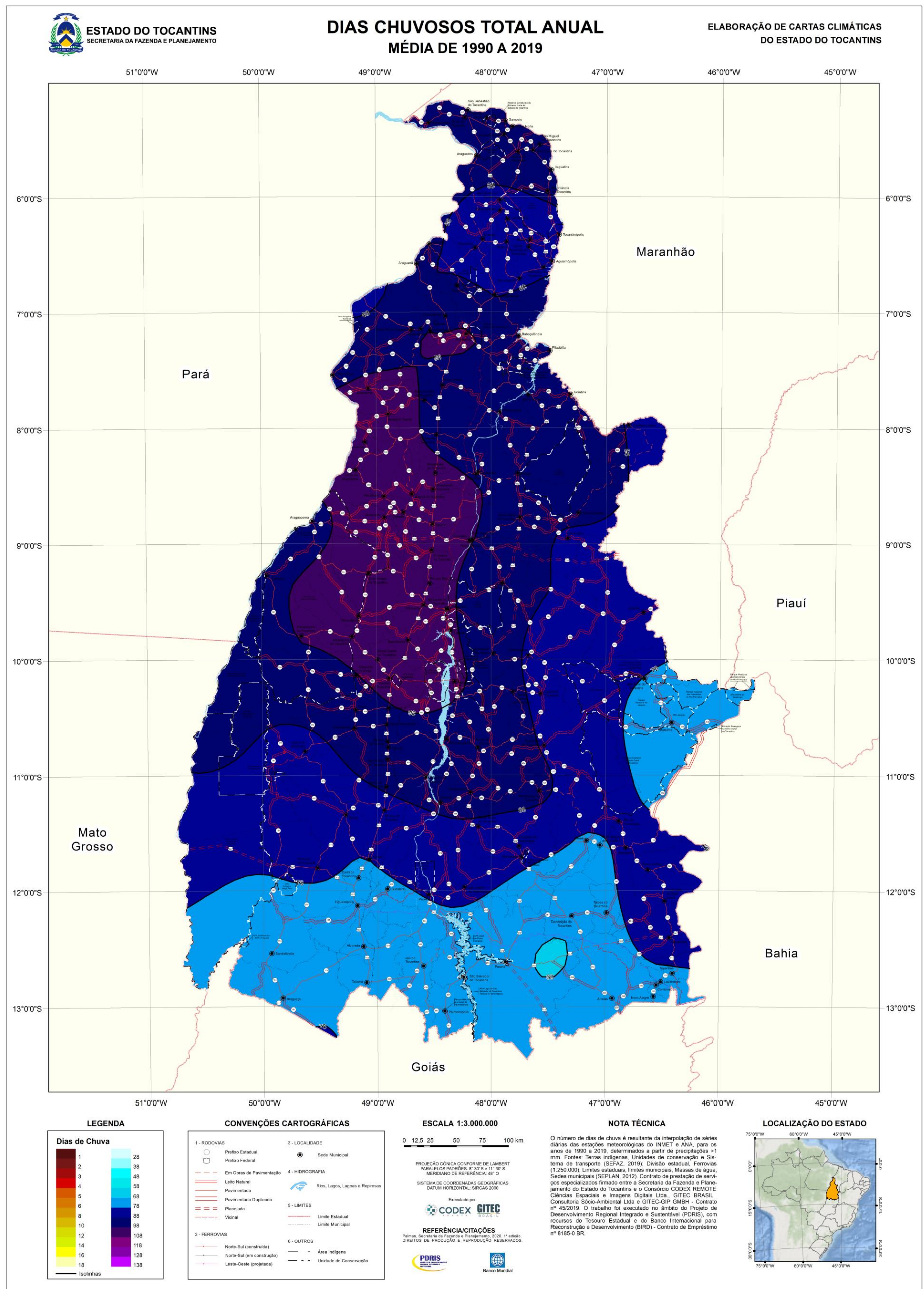
Dois eventos de El Niño se destacam dos demais durante o período entre 1990 e 2019. Todas as regiões do Tocantins apresentaram diminuição no número de dias de chuva no ano de 2007 se comparados aos dados de 2006, durante o El Niño moderado de 2006/2007. Neste foram observados até 70 dias a menos de chuva em 2007 na estação pluviométrica de Araguatins, 69 dias a menos em Tabocão e 60 dias a menos de chuva em Alvorada. O mesmo efeito foi percebido de forma abrangente em todo o Estado no episódio 2009/2010, quando a estação pluviométrica Porto Lemos, no município de Santa Fé do Araguaia, registrou 50 dias a menos de chuva em 2010, 70 dias a menos na estação Porto Gilândia, em Monte do Carmo, e 72 dias a menos de chuva na estação pluviométrica Taquarussu do Porto, em Palmas.

Durante os eventos La Niña foram observados aumento no número de dias de chuva de um ano para o outro, no decorrer dos diversos episódios registrados entre 1990 e 2019. Todas as regiões do Estado registraram o aumento no número de dias de chuva durante os episódios 2010/2011 e 2017/2018, ambos de intensidade moderada, verificando-se 53 dias a mais de chuva em Itacajá no primeiro episódio, e 55 dias a mais na estação pluviométrica de Muricilândia no último episódio.

Cabe destacar que no ano de 1992 as regiões Extremo Norte, Norte, Nordeste, Noroeste e Sudoeste do Tocantins perceberam uma redução expressiva na quantidade de dias de chuva na maioria de suas estações pluviométricas, o mesmo sendo verificado em estações de outras regiões do Estado porém não de forma tão abrangente como nas listadas. Este foi um ano em que um evento forte El Niño (1991/1992) foi sucedido por um outro El Niño fraco (1992/1993).

O episódio La Niña moderada de 2007/2008 registrou expressivo aumento no número de dias de chuva em todo o Tocantins no ano de 2008. Este evento foi imediatamente antecedido por um El Niño moderado (2006/2007) e os registros anuais de dias de chuva do ano de 2007 foram comumente bem inferiores aos valores médios climatológicos na maioria das estações pluviométricas do Tocantins, observando-se menores efeitos em estações localizadas nas regiões Leste, Central, Centro-Oeste e Sudoeste do Estado.

Figura 27. Mapa do Número dos Dias de Chuva no Tocantins, dado em dias. Média do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



Da análise da Figura 28, que contém o mosaico com os mapas mensais do número de dias de chuva sobre o Tocantins, observa-se a forte correlação entre esta variável e a distribuição temporal da precipitação (Figura 8). Os mapas em escala mensal evidenciam a distribuição ao longo do ano do número de dias de chuva, onde verifica-se maior quantidade de dias no trimestre janeiro-fevereiro-março, correspondendo ao período de maiores valores de precipitação total mensal, e a menor quantidade de dias de chuva no trimestre junho-julho-agosto, de menor precipitação mensal.

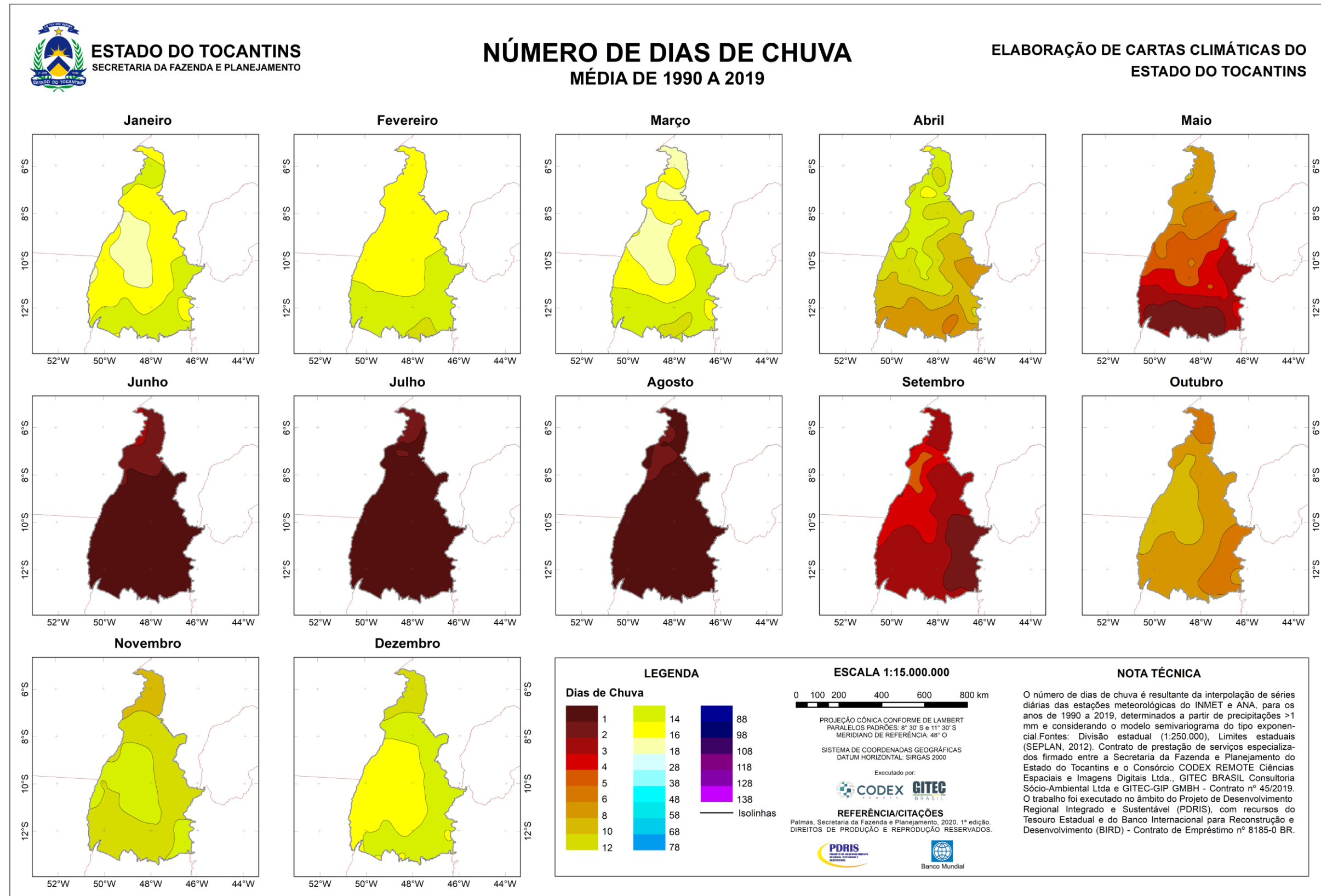
Conhecendo este comportamento mensal, especialmente os quantitativos obtidos, pode-se verificar que, em nenhum mês do ano foi constatado valores superiores a 18 dias, e seria impossível que tal valor ultrapassasse 31, pois os meses possuem no máximo 31 dias. Mesmo nos meses mais chuvosos e sobre as áreas com maior número de dias de chuva, observa-se uma pausa, um pequeno período do mês sem chuvas. É possível identificar claramente que as maiores quantidades de dias de chuva estão posicionadas mais norte e oeste do Estado, diminuindo em direção ao leste e sul tocaninenses, compatível com a predominante influência da mEc na definição do clima do Estado.

Os maiores quantitativos são observados no primeiro trimestre do ano, com valores entre 10 e 18 dias, decaindo rapidamente em abril e maio, quando chegam a 2 dias de chuva. No trimestre junho-julho-agosto quase a totalidade do território tocaninense não registra chuva por mais de dois dias, compatível com o comportamento temporal da precipitação acumulada mensal. A partir de setembro, um maior número de dias com precipitação passam a ser registrados, evoluindo em ritmo moderado até novembro e sem alteração expressiva para o mês de dezembro.

Em acordo com a distribuição espacial em escala anual, o maior número de dias de chuva ocorre na porção centro-oeste do Estado. Este padrão é observado em praticamente todos os meses, exceto entre maio e agosto. As menores quantidades de dias de chuva prevalecem concentradas na faixa sul do Tocantins, exceto nos meses de setembro e outubro quando as regiões Sudeste e Leste apresentam os menores número de dias. Durante estes dois meses, setembro e outubro, os sistemas atmosféricos produtores de chuva que predominam sobre o Tocantins são VCAN e ZCIT, mas ambos muito fracos e com atuação mais expressivas na porção norte e oeste do Estado.

Esta variável, o número de dias de chuva, expõe a fragilidade ambiental diante da variabilidade decorrente de fenômenos sazonais como El Niño e La Niña. Qualquer mudança, seja ela positiva ou negativa, sobre o padrão da precipitação pode impactar fortemente a distribuição temporal das chuvas, e, se tal mudança ocorrer nos meses de novembro e abril, setores como agricultura, abastecimento e saneamento podem ser os mais afetados.

Figura 28. Mosaico com mapas do Número dos Dias de Chuva no Tocantins, dado em dias. Média mensal do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.1.12. Duração do período de chuva

A duração do período chuvoso começa a ser contado quando se observa o registro de 7% da precipitação total anual e termina quando 90% está acumulado. Para as regiões tropicais esta variável explicita a ocorrência de um período chuvoso e outro de seca, o que possibilita uma série de adequações em termos de gestão pública e econômica.

Na Figura 29 observa-se o mapa de média anual da duração do período chuvoso sobre o estado do Tocantins. De um modo geral os períodos apresentam duração entre 210 dias e 150 dias, diminuindo do noroeste em direção ao sudeste. Tais valores vão diminuindo em faixas que se estendem de oeste a leste e avançam para sul, a taxa de redução é de 10 dias por faixa. Do ponto de vista de abrangência espacial, três intervalos dominam o território tocantinense, uma faixa com duração entre 190-180 dias, a seguinte entre 180-170 dias e mais uma entre 170-160 dias.

A distribuição espacial da variável mostra que o mais extenso período chuvoso, superior a 190 dias, localiza-se sobre as regiões Norte e Extremo Norte do Estado, coincidindo com as áreas de maior volume anual de precipitação pluviométrica. Estas regiões estão sujeitas aos efeitos mais expressivos da corrente de oeste da mEc, da ZCIT e do VCAN, todos muito ativos entre os meses de dezembro a março, além de serem atingidos esporadicamente por linhas de instabilidades continentais, as LICONs. As estações pluviométricas localizadas nesta porção do Estado costumam apresentar aumento na duração do período chuvoso em decorrência de fenômenos La Niña. Entretanto, do ponto de vista de mudanças climáticas, a tendência é de diminuição do período chuvoso.

A medida que se avança em direção ao sul do Estado sabe-se que os sistemas atmosféricos citados anteriormente tornam-se menos ativos, por isso a faixa com período chuvoso de duração entre 190 dias e 180 dias se estende entre as regiões Centro-oeste e Nordeste.

A área seguinte, cuja duração varia entre 180 dias e 170 dias, se estende do Centro-Oeste ao Nordeste, com um grande bolsão cobrindo a região Central do Estado e parte das regiões Sul e Sudeste. Praticamente toda a bacia do rio Tocantins possui duração do período de chuva entre 170 dias e 190 dias, ou seja, cerca de 80% da precipitação anual desta bacia está concentrada em, aproximadamente, seis meses do ano.

Com duração entre 170 dias e 160 dias observa-se uma área sobre as regiões Sudoeste, Sul, Sudeste e Leste. Os sistemas atmosféricos mEc, ZCIT e VCAN enfraquecem significativamente nesta porção do Estado, mas outros sistemas começam a dominar o cenário, como a ZCAS e a corrente de leste da mTa, porém, também sem sua máxima potência, por isso os parâmetros relacionados com as chuvas estão entre as menores do Tocantins.

No extremo sudeste tocantinense tem-se o menor período chuvoso do Estado, de 160 dias a 150 dias. A periodicidade da precipitação desta região está de acordo com o padrão tropical, entretanto as características de relevo dificultam a plena atuação da corrente de leste da mTa (que chega enfraquecida ao Tocantins) e a ZCAS, ZCIT e VCAN também atuam de maneira menos intensa. Assim, esta porção do Estado tem cerca de um mês e meio a menos de chuva que a maioria do território tocantinense, e até dois meses a menos se comparado com o Extremo Norte do Estado.

De um modo geral o estado apresenta tendência de redução na duração do período chuvoso, conforme expectativas do IPCC (2014). As regiões Noroeste e Central possuem o maior percentual de estações pluviométricas que apresentam tal tendência, chegando a 85,7% das estações, ou seja, 6 de um total

de 7 estações em cada região programa citado. Na região Norte, com 9 estações pluviométricas, 7 delas apresentam tendência de redução na duração do período chuvoso, atingindo um percentual de 77,7%. Em sentido oposto, ou seja, com tendência de aumento do período chuvoso, identifica-se as regiões Sudeste e Sul, com percentuais de estações com aumento da ordem de 61,5% e 60%, respectivamente.

Pesquisadores como Oliveira (2001), Grimm (2009) e Barry e Chorley (2013), citam alterações no período chuvoso no Norte do Brasil como efeitos atribuídos aos eventos ENOS. Associado ao El Niño é verificada a diminuição da qualidade do período chuvoso, o que pode significar tanto redução da duração do período quanto na quantidade acumulada de precipitação pluvial. A La Niña costuma ser associada à ampliação do período chuvoso, e, frequentemente, com correspondente aumento no total acumulado de precipitação pluviométrica.

A série histórica de 1990 a 2019 evidencia que os valores médios da duração do período chuvoso no Tocantins variam entre 210 dias e 150 dias, diminuindo do noroeste em direção ao sudeste. As durações que mais se repetem no Tocantins estão entre 155 dias (no Sul) e 195 dias (no Norte). Quando observa-se as durações inferiores a 160 dias identifica-se que os efeitos do El Niño mostra-se dominante, sobre tudo nas regiões Centro-Oeste, Sudeste, Sul e Sudoeste. Considerando durações superiores a 200 dias a predominância é dos efeitos da La Niña, principalmente no Norte, Nordeste e Noroeste.

Três anos desta série histórica apresentam uma peculiaridade muito interessante, começaram sob o efeito de fenômenos El Niño e terminaram com a ocorrência de La Niña, são eles: 1998, 2007 e 2010. Então, as informações deste anos podem apresentar impactos resultados da atuação do fenômeno La Niña, porém apenas em 1998 é mais evidente o impacto de tal fenômeno. Os anos imediatamente anteriores, ou seja, 1997, 2006 e 2009 podem indicar os efeitos de El Niño, com resultados mais evidentes no ano de 1997.

Avaliar o impacto da variabilidade climática sobre a variável climatológica duração do período chuvoso é uma tarefa árdua, pois as modificações na qualidade do período chuvoso pode apresentar-se de muitas maneiras: com o aumento ou diminuição da duração, alteração das datas de início e fim do período chuvoso, modificação no volume precipitado, maior ou menor ocorrência de veranicos, maior ou menor intensidade (duração) dos veranicos, entre outros. Uma maior acurácia deste tipo de avaliação exige uma análise robusta de todos os fenômenos que interferem na precipitação (El Niño, La Niña, TSM do Atlântico Sul, etc.), isolando cada um dos efeitos e eliminando também a possibilidade de modificações decorrentes de mudanças climáticas. Um estudo desta magnitude pode reverter-se em uma ferramenta inestimável para o planejamento agrícola e ambiental de um local.

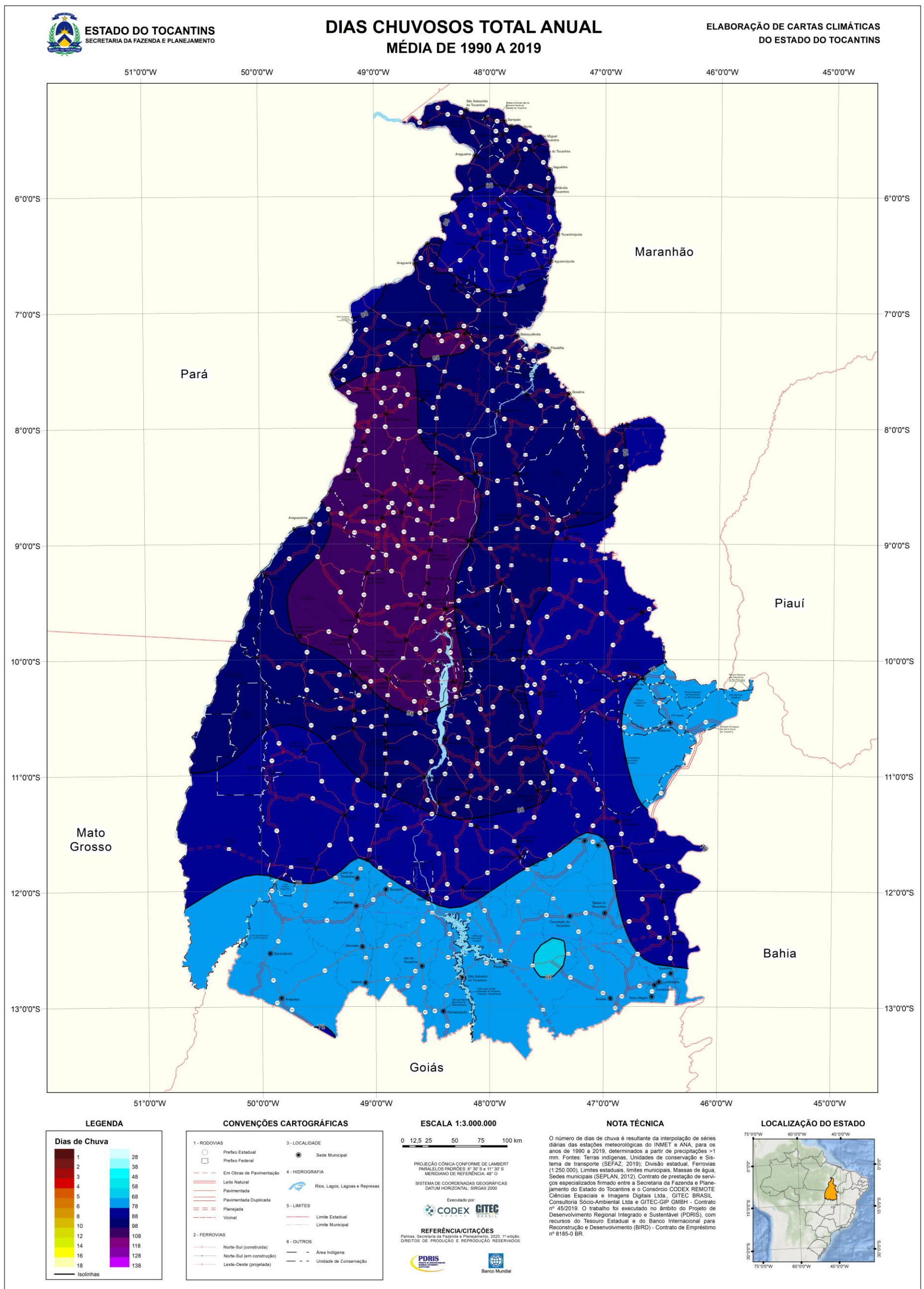
Conhecer a duração do período de chuva gera impacto em termos de agricultura sustentável, por exemplo, pois uma mesma variedade de fruta pode ser mais produtiva no Norte, porém com maior valor comercial na produção do Sudeste. As hidrovias de regiões com menores períodos de chuva podem ser menos utilizáveis, ou mais sujeitas a interrupções, do que áreas com períodos mais longos. Reservatórios de armazenamento de água devem ser capazes de sustentar um período mais longo sem chuva na parte mais a sul do Estado, já no outro extremo os reservatórios podem ser maiores para armazenar um volume também maior. Por outro lado, a reserva de água talvez seja menos essencial ao Norte por apresentar maior quantidade de rios perenes.



Do ponto de vista de drenagem urbana esta variável, juntamente com outras informações hidrológicas, físicas e legislativas, contribui para a elaboração do plano diretor de drenagem urbana e também do plano de ocupação de espaços. As áreas ribeirinhas e encostas de morros são as mais vulneráveis em períodos chuvosos, e os produtos e programas voltados a elaboração de políticas de águas pluviais devem considerar a sazonalidade da precipitação, como discute Tucci (2012).

Destaca-se que a região Sudeste do Tocantins, muito próxima à franja limítrofe do semiárido nordestino, tem o mais curto período de chuva e também os menores volumes acumulados anualmente, entretanto, sua hidrogeologia, assentada sobre uma rocha porosa e fraturada, garantem a perenidade da hidrografia local, tendo esta região a maior produção de peixes de aquicultura do Estado e a maior concentração de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) (SEPLAN, 2016).

Figura 29. Mapa da Duração do Período de Chuva no Tocantins, dado em dias. Média do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.1.13. Ocorrência de veranicos

Esta variável refere-se a observância de 5 dias consecutivos, ou mais, de chuva inferior a 1mm dentro do período chuvoso de determinada localidade. A interrupção da chuva, durante o período chuvoso, em regiões de cerrado e em grande parte da zona intertropical, pode influenciar muito as culturas quando ocorrer na fase reprodutiva das plantas (ASSAD *et al.*, 1993). Nas regiões tropicais a maior parte das culturas temporárias são cultivadas durante o período chuvoso, dependentes prioritariamente da precipitação pluvial como fonte natural de água, e a ocorrência de veranicos, considerada a adversidade climática mais frequente nas regiões tropicais, exige a adoção de tratamentos culturais específicos, como adoção de sistema de irrigação, para garantir a máxima produtividade das culturas (CASTRO NETO e VILELA, 1986).

Segundo Sentelhas e Monteiro (2009) além da diminuição do crescimento das plantas por menor disponibilidade hídrica do solo, consequentemente menor transporte de nutrientes, o período seco induz as plantas ao fechamento dos estômatos, o que afeta negativamente a fotossíntese. Tanto a seca quanto o encharcamento do solo levam à redução da produtividade das culturas, porém, segundo a FAO (2020) é mais difícil e trabalhoso manter a umidade do solo e recolher a água proveniente de diversas fontes, do que impedir o excesso nas lavouras. A vasta abrangência do bioma Cerrado sobre o Tocantins sujeita as atividades agrícolas desenvolvidas neste ambiente a alto risco por suas características climatológicas e de solo, e a ocorrência de veranicos é mais uma variável neste equacionamento de risco (MACENA *et al.*, 2008).

No mapa da Figura 30, de ocorrência de veranicos sobre o Tocantins, percebe-se que a maior parte do território apresenta entre 3 e 4 registros deste evento durante o período chuvoso. Comumente, os veranicos sobre o Tocantins decorrem da atuação do anticiclone tropical continental (ATC), que se configura como uma alteração da circulação de leste da mTa (FONZAR, 1994).

As regiões Centro-Oeste, Central, Leste e Sudeste do Estado possuem extensas porções territoriais em que constata-se em média menos de 3 registros anuais de veranicos. Sobre o Leste, na divisa com a Bahia, tendo-se em vista que esta é uma das regiões em que se verifica a menor duração do período chuvoso, pode-se inferir que a duração dos veranicos também deva ser, em média, das mais curtas do Estado. Situação oposta é esperada na região Norte do Tocantins, que apresenta a maior duração do período chuvoso, e, consequentemente, onde tem-se a expectativa de observar a maior quantidade de ocorrências de veranicos, exatamente como verifica-se no mapa da Figura 30, constatando-se o registro de até 5 veranicos em média, e possivelmente eventos mais longos.

A série histórica do número de ocorrência de veranicos entre 1990 e 2019 evidencia que o Tocantins apresenta diminuição das ocorrências ao longo dos anos na maioria das estações pluviométricas do Estado. Este comportamento é compatível com a esperada redução do período chuvoso apontada pelo IPCC (2014). As regiões-programa e os correspondentes percentuais de estações que apresentam tendência de redução no número de veranicos é apresentada a seguir: Norte (77,7%), Noroeste (71,4%), Leste (60%), Extremo Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudoeste (ambas com 50%), Central (42,9%), Sudeste (23,1%), e o Sul (0%). Como pode ser constatado, na região programa Sul todas as estações pluviométricas mostram tendência de aumento no número de veranicos. São necessários estudos mais aprofundados para a melhor identificação das mudanças climáticas sugeridas na análise desta variável climatológica.

Em termos de variabilidade climática é comum associar-se os fenômenos El Niño com o aumento do número e da intensidade de veranicos, e o contrário associado a La Niña. Tendo em vista a série histórica de 1990 a 2019, verifica-se que em média o Tocantins apresenta entre 3 e 4 registros de veranico, porém observando cada região programa individualmente constata-se que os valores médios regionais da série histórica, variam entre 4 e 6 veranicos, e os valores que mais se repetem regionalmente estão entre 2 e 7 veranicos. A maior parte dos registros regionais inferiores a 2 ocorrências estão associadas a eventos de La Niña, especialmente nas estações pluviométricas localizadas nas regiões do Noroeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sudoeste. Ocorrências superiores a 7 são registradas principalmente durante episódios de El Niño, com destaque para as regiões-programa do Leste, Central, Centro-Oeste, Sudeste, Sul e Sudoeste. Ressalta-se que os valores aqui discutidos correspondem a dados anuais, tendo em vista que os fenômenos que promovem a variabilidade climática tem duração média inferior a dois anos, sendo assim, impossível acompanhar as respectivas interferências em análises de maior duração temporal.

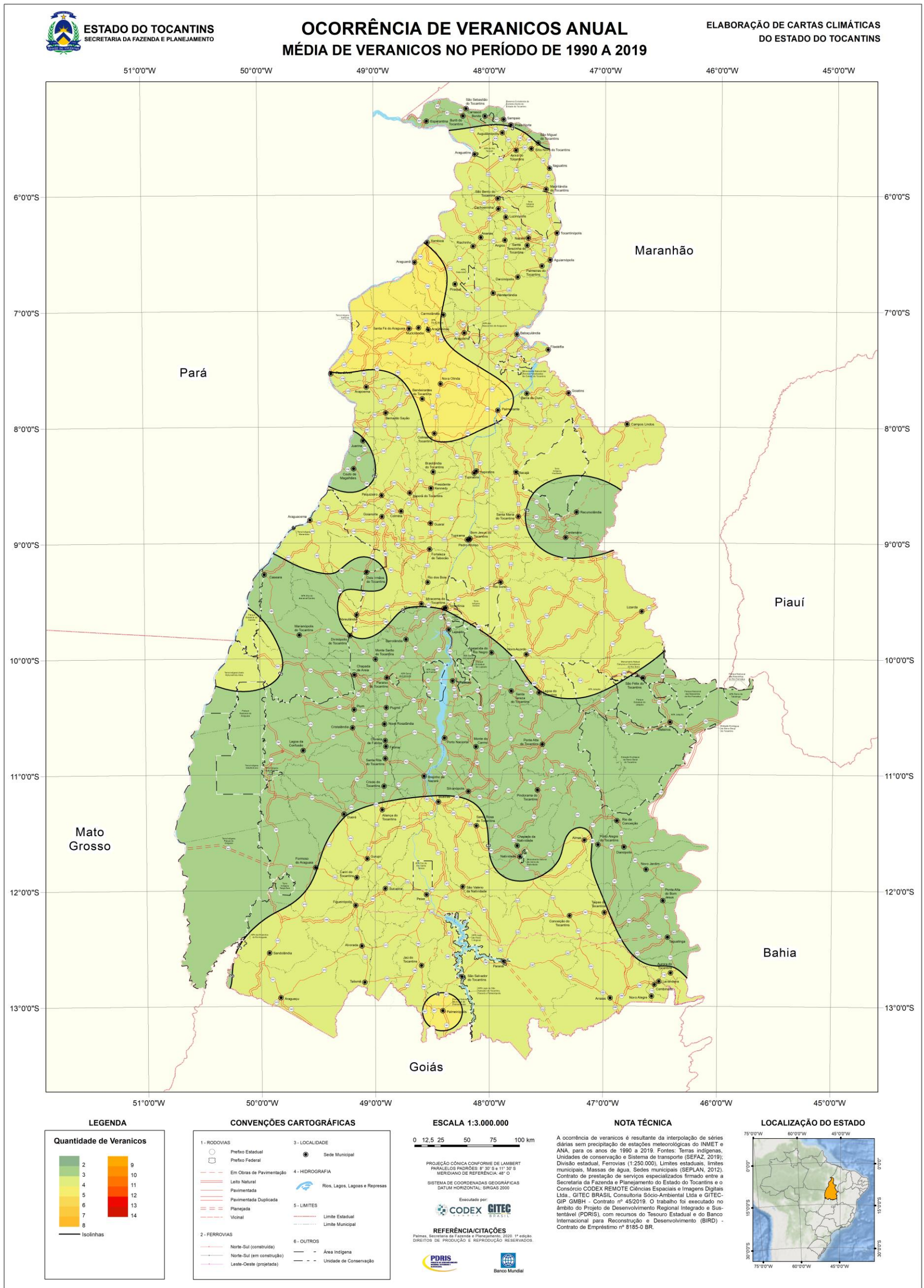
Segundo Grimm (2009) modificações no comportamento padrão das variáveis meteorológicas no Norte do Brasil são advindos dos fenômenos ENOS e também, em associação ou não com estes, de anomalias na temperatura da superfície do mar do oceano Atlântico. Logo, estudos aprofundados são bem vindos para caracterizar melhor tais influências, e subsidiar tomadas de decisões mais assertivas no que tange as condições hidrológicas do Tocantins.

Destaca-se que a forma de distribuição espacial dos veranicos sobre o Estado apresenta-se bastante associada à distribuição espacial do período chuvoso, ou seja, ambos apresentam números maiores na metade norte do Estado e números menores em direção ao sul. Uma exceção é identificada sobre a região programa Sul, na faixa leste da região Sudoeste e na metade oeste da região Sudeste, onde a menor duração do período chuvoso também acumula maior ocorrência de veranicos. Isto evidencia o cuidado que deve ser tomado para analisar tais informações. As áreas de menor duração do período de chuva e maior ocorrência de veranicos podem estar mais sujeitas às dificuldades decorrentes da variabilidade imposta por fenômenos como o El Niño.

Lembra-se que neste estudo os veranicos não foram qualificados, isto é, não se quantificou a intensidade dos eventos, apenas se tem a informação do número de ocorrências. Porém cabe citar que, segundo Macena *et al.* (2008), os veranicos começam a mostrar seus efeitos negativos quando tem duração superior a cinco dias, com prejuízos econômicos significativos quando a duração dos eventos ultrapassam os 15 dias e se coincidirem com o período crítico das culturas comerciais, por exemplo, florescimento e enchimento de grãos.



Figura 30. Mapa da Ocorrência de Veranicos no Tocantins, dado em contagem numérica [número]. Média do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

4.1.14. Índice de seca

O índice de seca ou de aridez (I_a) representa o quanto uma região é árida, sendo definido em função da razão entre o déficit hídrico e a evapotranspiração potencial. O índice de seca é um dos componentes do índice de umidade, afetando-o negativamente (VIANELLO e ALVES, 2000). Então, quanto mais intensa for a deficiência hídrica representada por este índice, maior será a razão entre o déficit hídrico e a evapotranspiração.

Diante das variáveis meteorológicas envolvidas no cálculo do índice de seca fica evidente que este representa as diversas relações entre o ambiente e a atmosfera, pois considera a quantidade de chuva precipitada, a radiação solar do local, a intensidade do vento, as características de umidade do ambiente, e também a cobertura vegetal, mesmo que com as restrições impostas para a obtenção da evapotranspiração de referência.

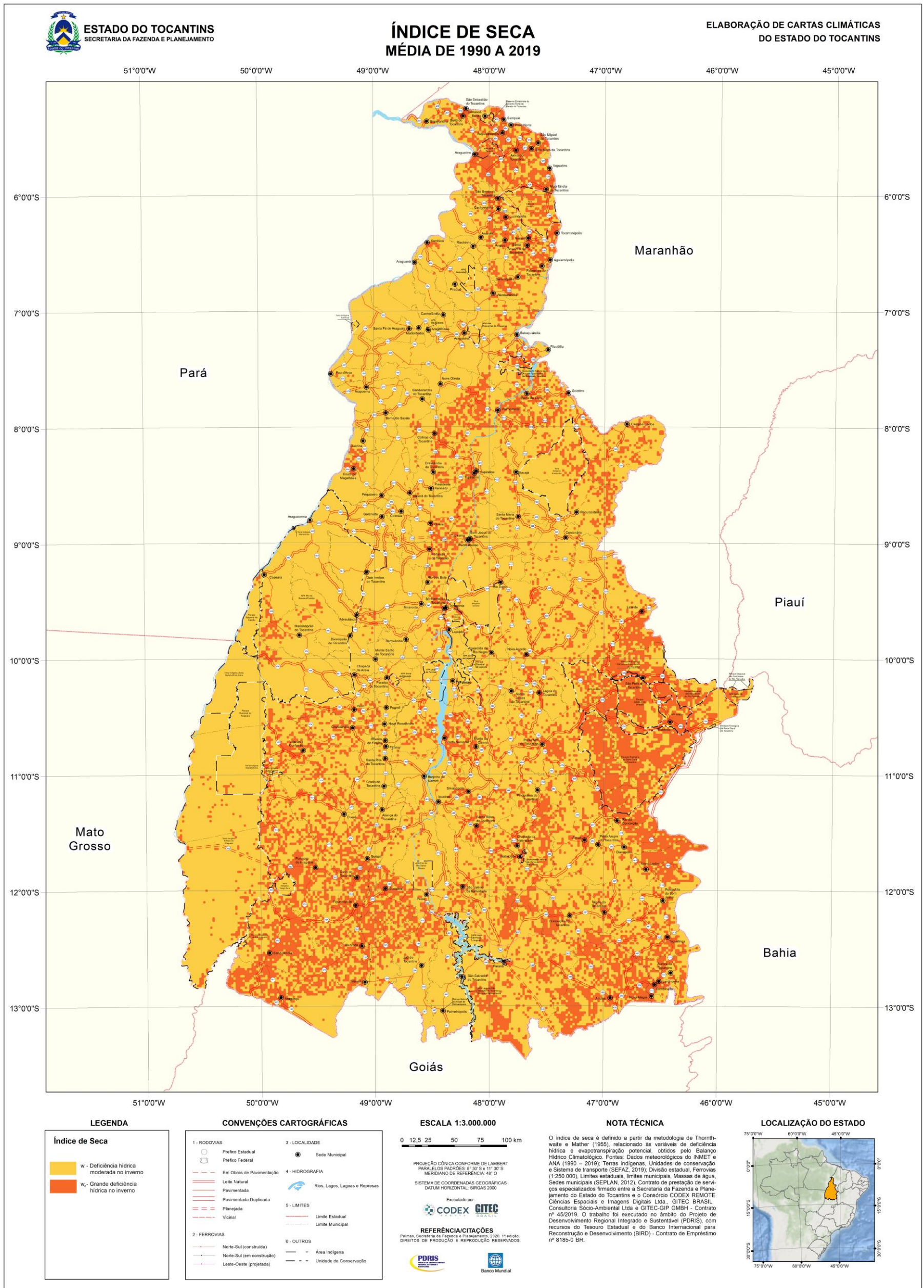
Observa-se na Figura 31, do mapa do índice de seca no Tocantins, que o Estado apresenta-se com deficiência hídrica durante o inverno, justificado pela sazonalidade da precipitação e por concentrar os maiores valores de evapotranspiração no “inverno” (quadrimestre mais quente - julho-agosto-setembro-outubro). A diferença entre as regiões se dá na intensidade da deficiência. Destaca-se que esta variável meteorológica foi computada para cada pixel processado dentro do estado do Tocantins, então serão identificadas pequenas porções no interior de uma ou de outra classe de índice de seca nas quais as características locais alteram sua classificação, evidenciando microclimas particulares.

A parte central e a faixa oeste do Estado, predominantemente entre os rios Tocantins e Araguaia, apresentam deficiência hídrica moderada no inverno. Ao comparar-se esta com as demais regiões tocaninenses observa-se que ali, o período de chuva é mais extenso, o volume precipitado é maior, a temperatura média no quadrimestre mais quente é relativamente maior e conseqüentemente a evapotranspiração é menor, por ser também uma área mais úmida. Lembra-se que a umidade relativa do ar é uma das variáveis condicionantes da evapotranspiração e, segundo Sentelhas e Monteiro (2009), a umidade do ar afeta o poder evaporante do ar e condiciona a transpiração das plantas.

As demais áreas do Tocantins enquadram-se nos critérios da classe de grande deficiência hídrica no inverno. Observa-se maior concentração desta classe nas regiões onde foram registrados os maiores valores de evapotranspiração e da temperatura do ar e os menores teores de umidade relativa do ar, principalmente.



Figura 31. Mapa do Índice de Seca no Tocantins, dado em classes. Período dos dados de 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

4.1.15. Índice hídrico

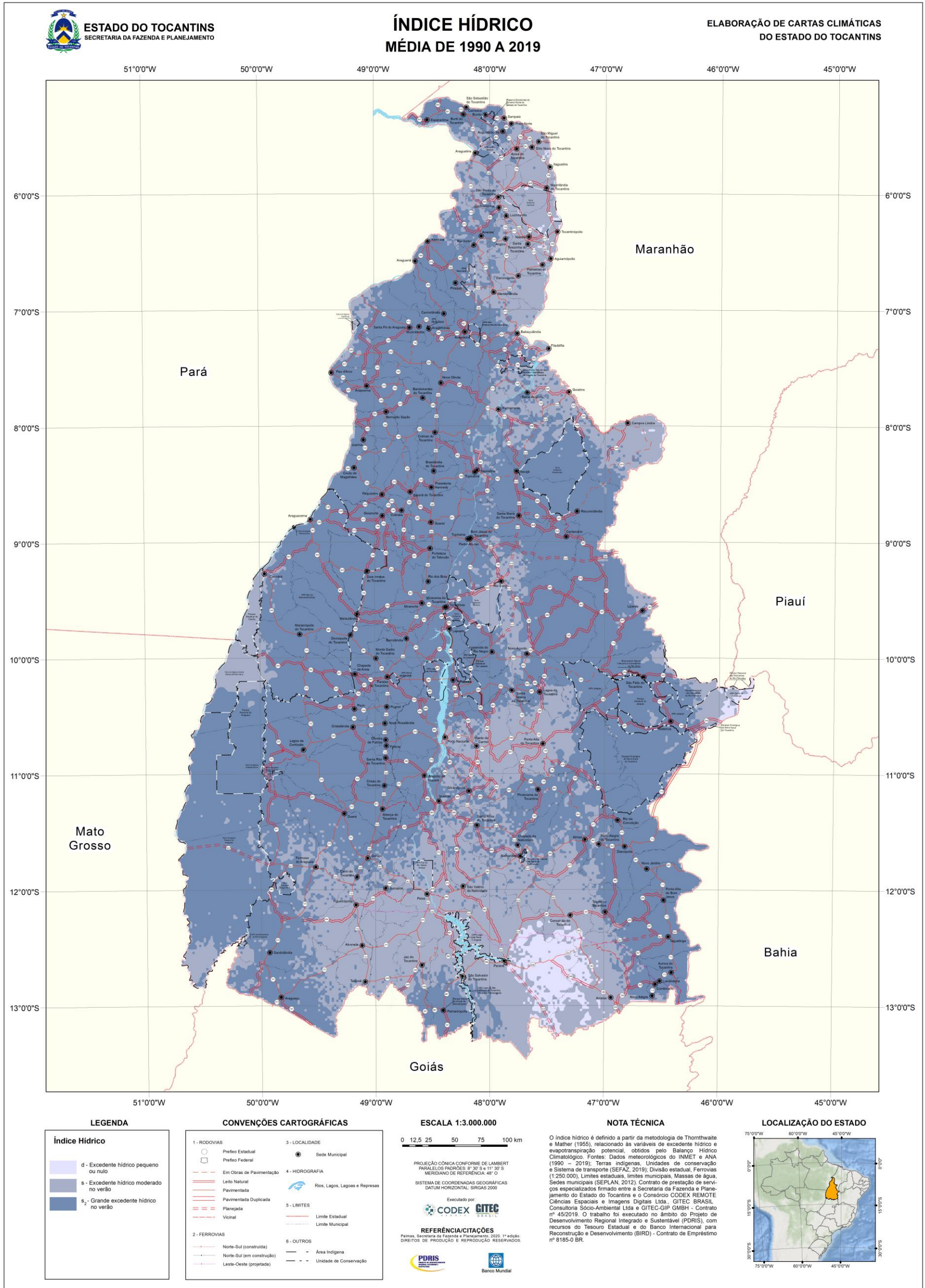
O índice hídrico (Ih) é a relação entre o excesso de água e a evapotranspiração potencial. Esta informação auxilia a compreender a afirmação de Vianello e Alves (2000) de que, embora o excesso de água observado em uma estação do ano não venha a prevenir uma deficiência na estação seguinte, com certeza irá amenizá-la, pois o excesso representa um incremento de umidade no solo e de água disponível.

Na Figura 32 apresenta-se o mapa do índice hídrico no Tocantins, onde observa-se que duas classes dominam o território tocantinense, a classe de excedente hídrico moderado no verão e a classe de grande excedente hídrico no verão. As áreas que apresentam os maiores volumes de chuva acumulados anualmente são aquelas que mais facilmente se enquadram na segunda classe quando também possuem os menores valores evapotranspirados. O índice hídrico também foi obtido para cada pixel processado dentro do estado do Tocantins, então, mais uma vez, serão identificadas pequenas porções com microclimas particulares, inseridos em uma ou outra classe do referido índice.

Deve-se destacar, pela análise da Figura 32, a região programada do Sudeste do Tocantins, que apresenta uma área limitada com excedente hídrico pequeno ou nulo. Esta é uma região onde observa-se os maiores valores evapotranspirados de todo o Estado, o menor valor anual de precipitação acumulada e o mais curto período de chuva, e, justamente nos meses de verão, apresenta o menor número de dias de chuva e as mais elevadas temperaturas do ar. Estas condições lhe aproximam de um clima semiárido, indicando a necessidade de uma atenção adicional do ponto de vista de gestão dos recursos hídricos.



Figura 32. Mapa do Índice Hídrico no Tocantins, dado em classes. Período dos dados de 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

4.1.16. Excedente Hídrico

Baseando-se na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), o excedente hídrico é calculado a partir de parâmetros de evapotranspiração potencial e precipitação. Representa a quantidade de água armazenada no solo sem a aplicação de irrigação, e é um dos componentes do balanço hídrico climatológico (PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2007). Segundo Vianello e Alves (2000) o excesso de água observado em uma estação do ano não, necessariamente, previne uma deficiência na estação seguinte, mas, com certeza, irá amenizá-la.

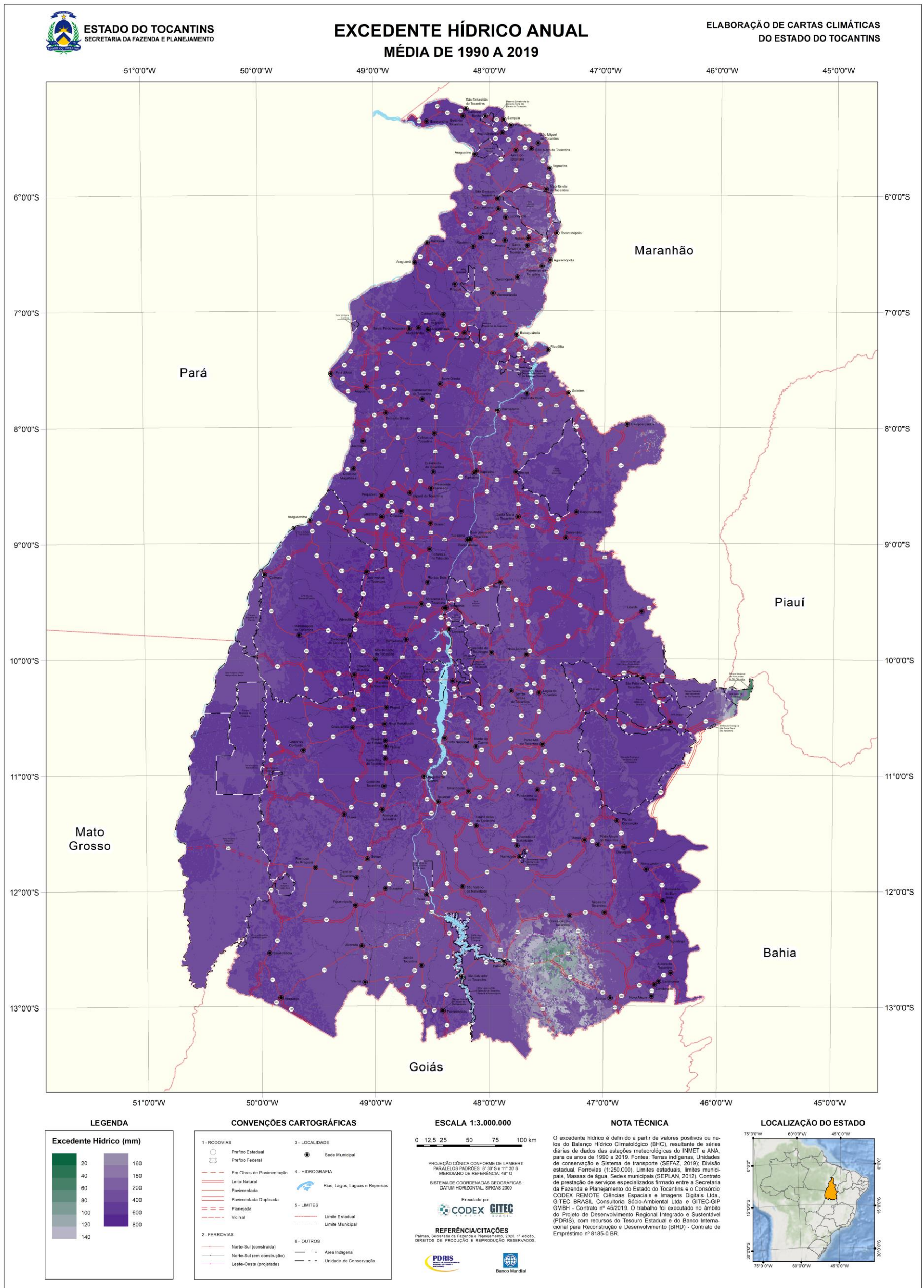
O mapa do excedente hídrico sobre o estado do Tocantins, em escala anual, é apresentado na Figura 33, cujos valores totais anuais variam entre 60mm e 800mm. Para a elaboração deste mapa foi necessário selecionar a CAD dos solos do Tocantins. A Capacidade máxima da Água Disponível (CAD) é a lâmina de água correspondente a umidade do solo no intervalo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). A capacidade de campo é a máxima umidade que pode ser armazenada no solo sem que se observe percolação ou escoamento superficial, já o ponto de murcha permanente representa o menor teor de umidade na qual a planta ainda pode retirar água do solo. Então, os valores de excedente hídrico estão necessariamente representando atributos físicos de armazenamento de água no solo.

Tais valores evidenciam que a quantidade de precipitação total anual no Estado é em média, predominantemente, maior que a evapotranspiração de referência. Mesmo nas áreas onde constata-se que o acumulado anual da precipitação pluviométrica é inferior a evapotranspiração de referência, como na porção sul do Estado, verifica-se excedente hídrico, obviamente os menores valores registrados, apontando a capacidade do solo de manter a sua umidade elevada, próximo à capacidade de campo.

Por isso, observa-se duas faixas, uma a oeste e outra a leste, com grandes valores de excedente hídrico, entre 400mm e 600mm. Nestas faixas são observadas extensas áreas com neossolos e argissolos, e boa presença de cambissolos e latossolos. Inseridas nestas faixas identificam-se áreas menores, mais precisamente localizadas à oeste do médio Tocantins e no leste da região programa do Sudeste (divisa com a Bahia), onde ocorrem os maiores valores de excedente hídrico, que chegam aos 800mm anuais, coincidindo com as áreas de maior acumulado anual de precipitação.



Figura 33. Mapa do Excedente Hídrico no Tocantins, dado em milímetros [mm]. Média do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Quando analisa-se a Figura 34, do excedente hídrico mensal, identifica-se que nos meses de janeiro, fevereiro e março praticamente todo o Tocantins apresenta excedente hídrico, de valor superior à 20mm, mas predominando intervalos entre 100mm e 160mm. No mês de abril, o excedente hídrico diminui dramaticamente e esta redução se alastra pela maior parte do Estado, ainda se observando valores superiores a 40mm na parte norte e chegando ao 120mm no extremo noroeste.

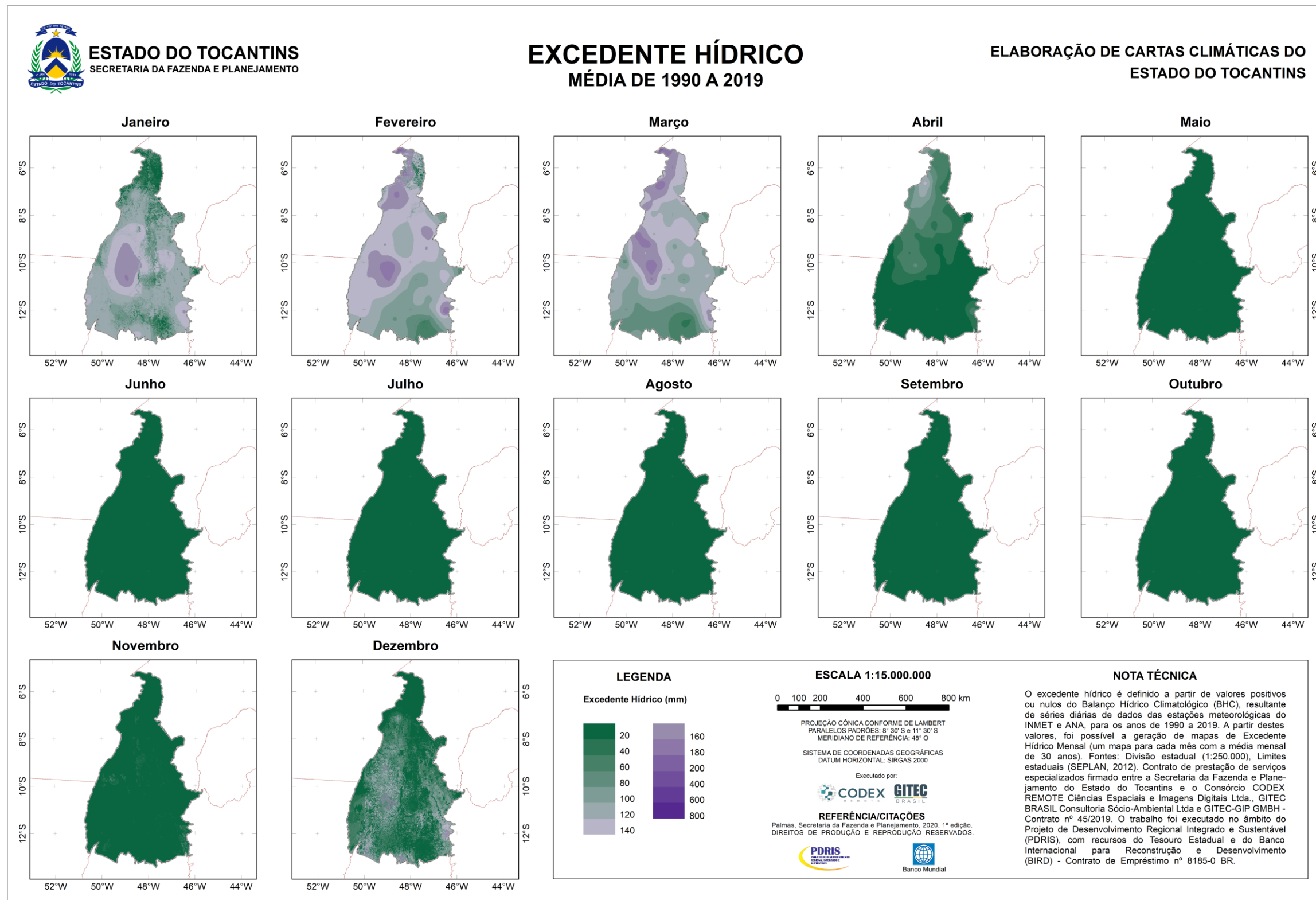
No decorrer dos meses entre maio e outubro são identificados excedentes inferiores a 20mm ou nulos e observando-se valores de precipitação pluviométrica nesta mesma ordem de grandeza, e a evapotranspiração de referência aumenta continuamente até o mês de outubro, revelando a restrição de armazenamento de água no solo e aumentando o risco para as atividades agrícolas sem a adoção de sistema de irrigação.

Em novembro começam a aparecer algumas áreas de excedente superior a 40mm, começando na região Sudeste, na divisa com a Bahia, e se espalhando mais significativamente pelo Estado a partir de dezembro.

Desta análise pode-se deduzir que durante os meses de maio e novembro as condições são favoráveis as culturas de sequeiro, mas ainda exigindo algum sistema de irrigação para a manutenção das lavouras diante de tão baixos valores de excedente observados. Esta informação também indica o maior potencial para a ocorrência de queimadas em todo o Estado.



Figura 34. Mosaico com mapas do Excedente Hídrico mensal no Tocantins, dado em milímetro [mm]. Média mensal do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

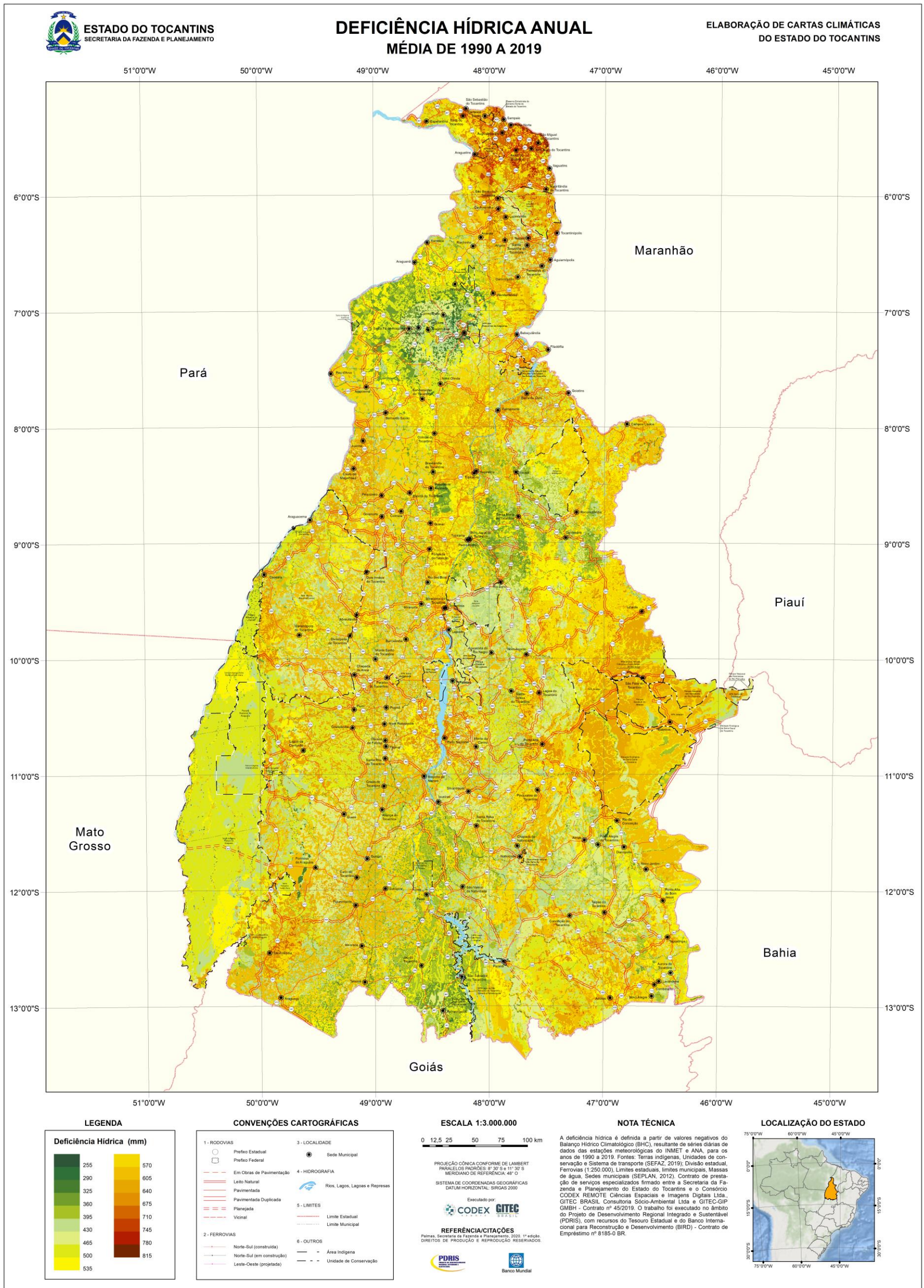
4.1.17. Deficiência hídrica

De forma idêntica, porém oposta ao excedente hídrico, a deficiência hídrica também é calculada a partir da evapotranspiração potencial e da precipitação, sendo a componente de sinal negativo do balanço hídrico climatológico (PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2007). Esta variável mostra que, considerando uma determinada localidade, a precipitação acumulada é inferior a evapotranspiração de referência daquele local, isto é, a quantidade de chuva precipitada não é suficiente para manter o solo com umidade superior ao ponto de murcha permanente, e que este solo não tem atributos físicos necessários para manter a umidade aprisionada neste.

O mapa da Figura 35, da deficiência hídrica anual sobre o Tocantins, mostra que o Estado apresenta valores entre 256mm e 820mm, prevalecendo valores entre 430mm e 610mm, bem distribuídos espacialmente por todas as regiões. Pode-se destacar uma maior concentração de valores mais elevados, entre 580mm e 820mm, na região programa do Bico do Papagaio.



Figura 35. Mapa da Deficiência Hídrica no Tocantins, dado em milímetros [mm]. Média do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

Analisando a Figura 36, do mosaico de mapas de deficiência hídrica mensal sobre o Tocantins, percebe-se que entre os meses de novembro a abril praticamente não há registro de deficiência.

Entretanto, em maio surgem as áreas com deficiência e rapidamente se espalham por todo o Estado, atingindo os maiores valores, até 190mm mensais, e a maior cobertura em agosto, o que supera a totalidade da demanda climática de água estimada pela evapotranspiração de referência. Segundo Macena *et al.* (2008), em condições como esta uma planta praticamente não evapotranspira, pois estaria com seus estômatos fechados.

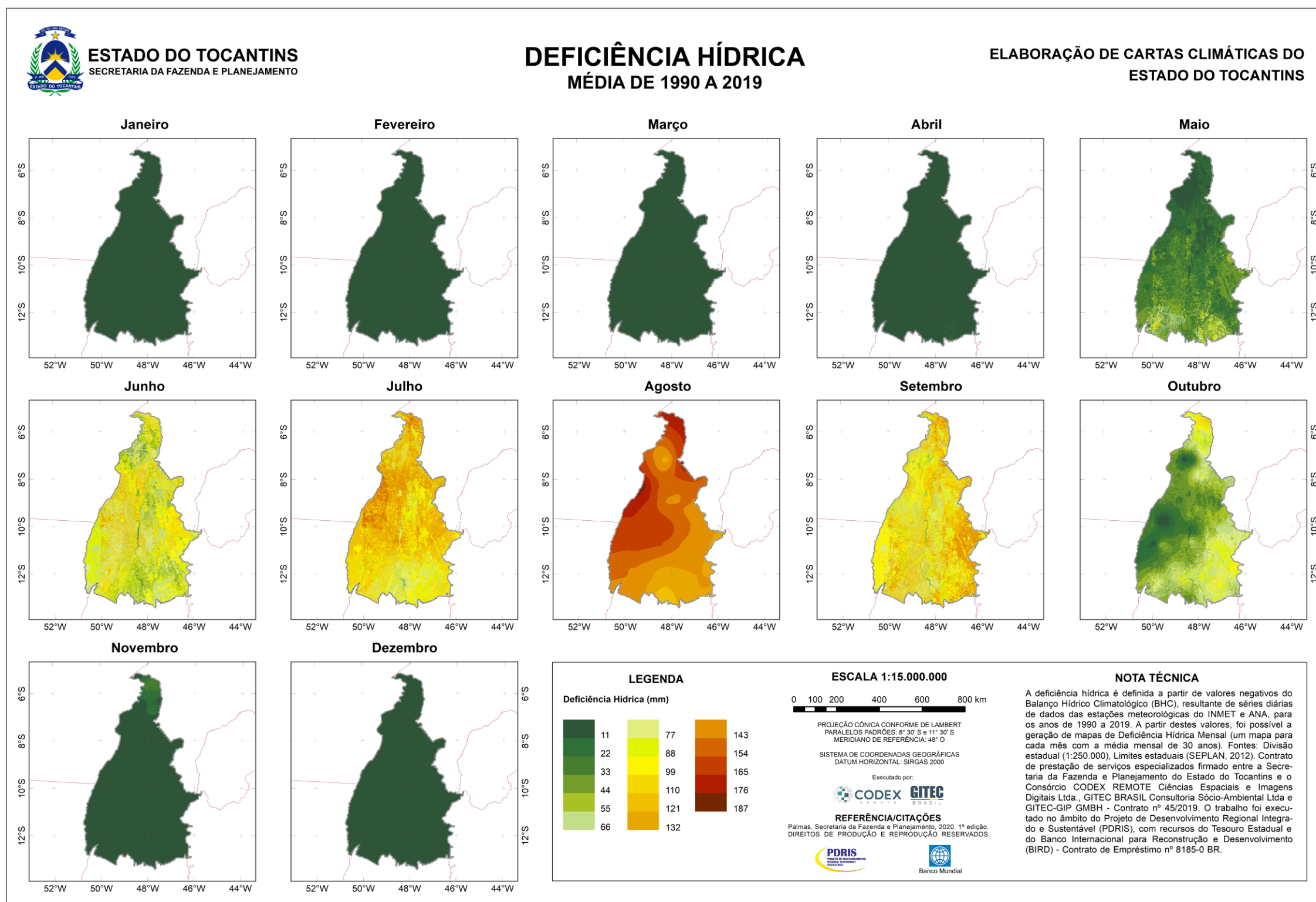
A partir de setembro as chuvas voltam a ocorrer com maior regularidade no Estado e a deficiência hídrica, então, dá sinais de regressão, que se amplia em outubro na parte central e oeste do Tocantins.

O Tocantins possui uma situação intermediária entre a retirada e a reposição hídrica do solo, pois apresenta períodos igualmente longos de deficiência e excedente hídrico, verificando-se variações entre as localidades e os meses do ano em que essas variáveis ocorrem.

Identificar os períodos com excedente hídrico e deficiência hídrica, e suas respectivas intensidades, possibilita definir o tipo de sistema de cultivo a ser empregado, sequeiro ou irrigado, e o período em que cada um deles deve ser conduzido (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009). Possibilita avaliar, também, os momentos de maior ou menor risco de ocorrência de queimadas e inundações, os períodos de maior fragilidade ambiental e econômico, e ainda, como conduzir a gestão dos recursos hídricos, limitando ou ampliando outorgas.



Figura 36. Mosaico com mapas da Deficiência Hídrica mensal no Tocantins, dado em milímetro [mm]. Média mensal do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

4.1.18. Regionalização climática

A regionalização climática destina-se ao agrupamento de áreas com condições climáticas aproximadamente homogêneas que são classificadas para facilitar a obtenção de mapas climáticos, utilizando-se técnicas analíticas e descritivas. A classificação climática deve considerar aspectos relacionados à escala, aos objetivos e aos dados disponíveis (VIANELLO e ALVES, 2000; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O propósito a que se destina uma classificação climática irá determinar o número de elementos que devem ser combinados para sua realização, e aquela que serve para um determinado propósito não servirá, necessariamente, a outra finalidade (VIANELLO e ALVES, 2000). Esta afirmação justifica a necessidade de obter-se a regionalização climática para o estado do Tocantins baseada em três classificações: Gaussen, Köppen-Geiger e Thornthwaite-Mather.

Essas três classificações são exemplos da aplicação do método analítico, ou estático, para a classificação climática. Este é um método amplamente difundido e aceito em todo mundo por sua facilidade de uso e simplicidade de aplicação. Seu aspecto quantitativo prende-se aos valores médios dos elementos do clima, evidenciando o caráter local da combinação dos elementos meteorológicos que compõem o clima. O abuso das médias aritméticas e o caráter estático é justamente o que lhe confere críticas, pois como sugerem Mendonça e Danni-Oliveira (2007) - “os tipos de tempo, desde os mais repetitivos até os mais efêmeros, são detalhes importantes de um tipo climático, que acabam mascarados pelos valores estatísticos médios”.

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos das classificações climáticas de Köppen-Geiger, Thornthwaite-Mather e Gaussen, destacando-se as variáveis meteorológicas e os fatores climáticos estáticos e dinâmicos que permitam a identificação e explicação das classes climáticas obtidas.

4.1.18.1. Classificação de Köppen-Geiger

Com abordagem analítico-separativa o modelo de classificação climática de Köppen-Geiger é simples e baseado no pressuposto de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima que nela prevalece, e por isso é o sistema de classificação climática mais utilizado em Geografia, Climatologia e Ecologia.

Os principais grandes grupos climáticos são designados pelas letras maiúsculas A, B, C, D e E, correspondendo às regiões fundamentais, do equador aos polos. Fundamentalmente, as categorias principais estão baseadas principalmente em critérios de temperatura e suas subdivisões são obtidas a partir da distribuição sazonal da precipitação e de características adicionais de temperatura. Apesar da simplicidade e facilidade de uso esta classificação recebe críticas por não justificar a adoção de alguns critérios numéricos, ou pela aplicação de critérios rígidos para os limites climáticos e a ausência da categoria climática subúmida (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O clima de determinada região é o resultado da interação de todos os fatores climáticos estáticos (relevo, latitude, continentalidade etc.) e dinâmicos (sistemas e circulações atmosféricas, correntes oceânicas etc.) (NIMER, 1989).

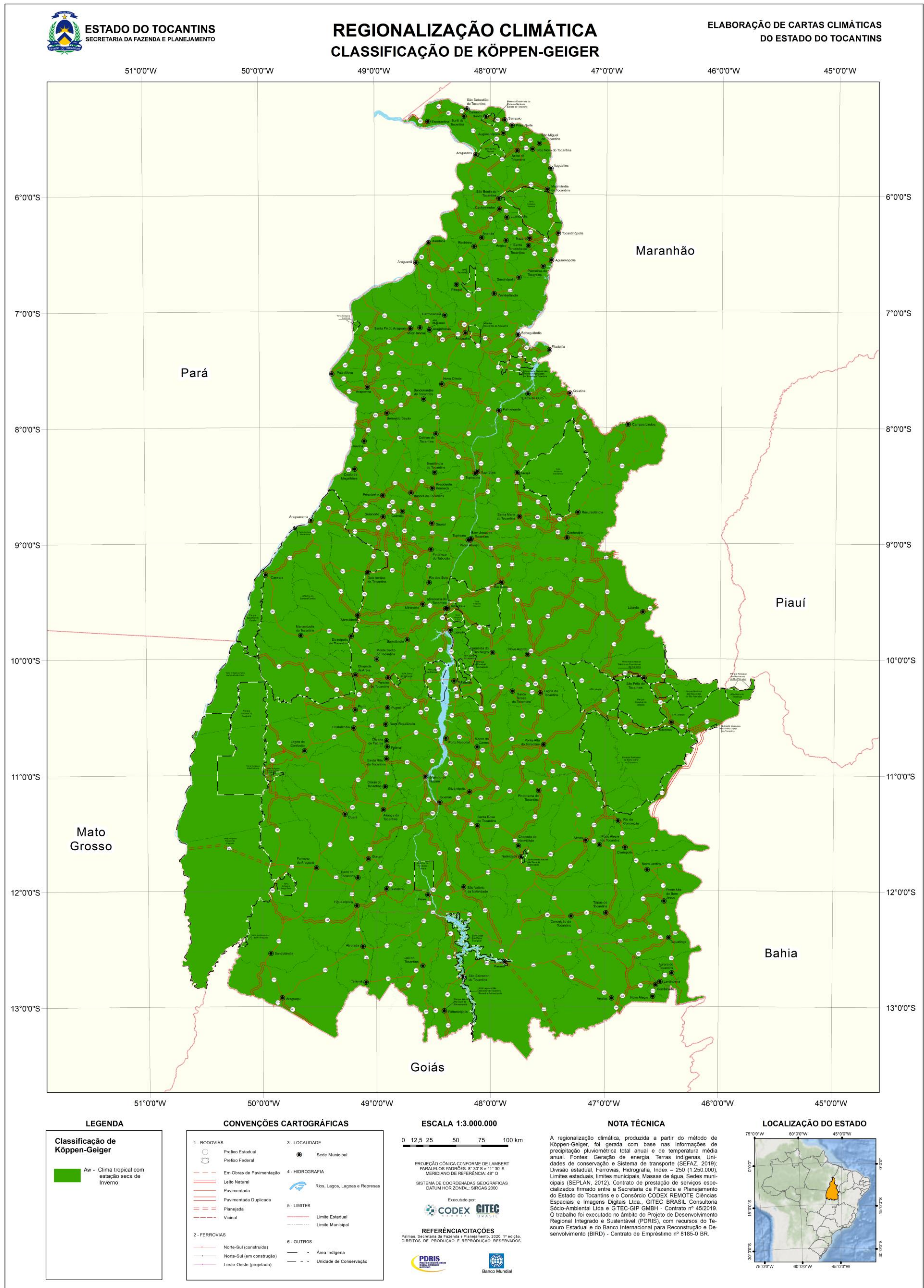


O mapa com a Classificação Climática de Köppen-Geiger para o estado do Tocantins consta na Figura 37. Observa-se que todo o Estado enquadra-se na classe de clima designado pelo código **Aw**, ou seja, clima tropical com estação seca de inverno. Este clima revela a diversidade térmica exercida pelos fatores climáticos relevo e latitude e a marcha estacional da precipitação decorrente dos sistemas atmosféricos sazonais que atuam sobre o Tocantins, criando uma uniformidade regional.

Ao analisar-se os critérios definidores desta classificação climática o grupo **A**, qualitativamente, inclui os climas megatérmicos, que se referem a climas com temperatura média do mês mais frio do ano superior a 18°C. Neste grupo deve-se verificar a ausência de inverno, do ponto de vista térmico. O índice **w** aponta para o entendimento de que a precipitação anual deve ser superior a evapotranspiração potencial anual.

O estudo climatológico desenvolvido aqui mostra que o mês com a menor temperatura média do ano registrou valores superiores a 22°C e foram identificadas áreas com este valor nos meses de janeiro e fevereiro. A precipitação total anual do Estado variou entre 1152mm e 1920mm e os valores de evapotranspiração potencial de referência anual ficaram entre 610mm e 1210mm, com os valores de precipitação superando os de evapotranspiração.

Figura 37. Mapa da Classificação Climática de Köppen-Geiger para o estado do Tocantins.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.1.18.2. Classificação de Thornthwaite-Mather

O modelo de Thornthwaite se assemelha ao de Köppen pelo caráter quantitativo e uso de símbolos e fórmulas, porém, sem o emprego de valores absolutos de temperatura e umidade como critério para determinar os limites de cada tipo climático. A introdução de novos valores, como a eficiência da temperatura e a precipitação efetiva, possibilitou a tomada da classificação a partir de dois índices climáticos principais: o índice de umidade e a evapotranspiração potencial (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Em revisão posterior Thornthwaite e Mather (1955) consideraram a diversidade de armazenamento de umidade do solo, segundo a cobertura vegetal e o tipo de solo, denominada retenção de umidade no solo. Esta é uma classificação muito útil em muitos setores, como a agricultura, a ecologia e outros ligados à economia dos recursos hídricos, mas várias críticas são dirigidas a esse modelo, pela dificuldade de manejo e, segundo os próprios autores, por carecer de um refinamento matemático.

O mapa disponível na Figura 38 refere-se a Regionalização Climática para o estado do Tocantins confeccionado a partir do modelo de classificação climática de Thornthwaite-Mather. Identifica-se a ocorrência de seis tipos climáticos sobre o território tocantinense, os quais são:

- **C1W** – clima subúmido seco com deficiência hídrica moderada no inverno;
- **C1W2** – clima subúmido seco com grande deficiência hídrica no inverno;
- **C2W** - clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno;
- **C2W2** - clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno;
- **B1W** - clima úmido com deficiência hídrica moderada no inverno e;
- **B1W2** - clima úmido com grande deficiência hídrica no inverno.

Os critérios estabelecidos por Thornthwaite e Mather (1955) que caracterizam os tipos climáticos do Tocantins são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Critérios dos tipos climáticos encontrados no Tocantins segundo o modelo de classificação climática de Thornthwaite-Mather.

Símbolo	Tipo de Clima Subtipo climático	Variável adotada	Grupo de aplicação
B ₁	Úmido	$20 \leq I_u < 40$	
C ₂	Subúmido	$00 \leq I_u < 20$	
C ₁	Subúmido seco	$-20 \leq I_u < 0$	
W	Deficiência moderada de água no inverno	$16,7 \leq I_a < 33,3$	B ₁ – C ₁ - C ₂
W ₂	Grande deficiência de água no inverno	$I_a > 33,3$	B ₁ – C ₁ - C ₂

I_u - índice de umidade; I_a - índice de aridez

Fonte: Adaptado de Thornthwaite e Mather (1955).

De um modo geral, o clima do Tocantins é tropical, quente, apresentando uma transição de subúmido a subúmido seco de oeste para leste. A presente classificação climática considera as variações no armazenamento de umidade do solo, ponderando a cobertura vegetal e o tipo de solo. Assim, percebe-se que prevalecem os tipos climáticos **C2W** (clima subúmido com

deficiência hídrica moderada no inverno) e **C2W2** (clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno), tendo em vista a existência de uma estação seca e outra chuvosa e prevalência da fitoecologia de Cerrado no Tocantins.

O Tocantins apresenta períodos igualmente longos de deficiência e excedente hídrico, sendo as circulações da mEc e da mTa as principais responsáveis pelos abundantes volumes precipitados durante o período chuvoso entre outubro e abril, e o respectivo enfraquecimento e não atuação de ambas determinantes para o estabelecimento do período seco. Portanto, estas são as circulações atmosféricas que justificam o predomínio dos tipos climáticos **C2W** e **C2W2**, e também a uniformidade de distribuição entres os dois.

A circulação de oeste da mEc é mais persistente e mais intensa que a circulações de leste da mTa, e atuante de forma mais expressiva nas porções norte e oeste do Estado, por isso o prevalente registro do tipo climático **C2W** (clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno).

As duas áreas, muito restritas, de clima úmido com deficiência hídrica no inverno, **B1W** (deficiência moderada) e **B1W2** (grande deficiência), estão localizadas nas regiões-programas Norte e Sudeste, respectivamente.

A pequena área de clima úmido com deficiência hídrica moderada no inverno localizada na região programa Norte, abrange a porção sul dos municípios de Aragominas e Muricilândia. Esta Região é a porta de entrada da corrente de oeste da mEc, que chega ao Tocantins com elevado conteúdo de umidade e se depara com altitudes de até 500 metros do extremo norte da Serra do Estrondo, cuja orografia estimula a ocorrência de precipitações pluviométricas anuais entre 1792mm e 1920mm, as maiores da Região. Nesta área também verificam-se os menores índices de evapotranspiração do Estado e maiores valores de excedente hídrico.

Na região programa do Sudeste na área classificada com clima úmido com grande deficiência hídrica no inverno verifica-se a presença de uma fisiografia que favorece a ocorrência de precipitações por efeitos orográficos, uma vez que a circulação de leste da mTa é obrigada a se elevar pela presença de paredões acentuados, com altitudes que chegam a 1.000 metros. As reentrâncias do relevo também favorecem o aprisionamento da umidade e a recirculação da mesma, que em associação com a vegetação local (especialmente a Floresta Estacional Semidecidual), tornam as temperaturas ligeiramente mais agradáveis e as condições favoráveis a ocorrência de pancadas de chuva frequentes, embora possam ser pouco volumosas, propiciando a maior duração de excedente hídrico da região, entre novembro e abril.

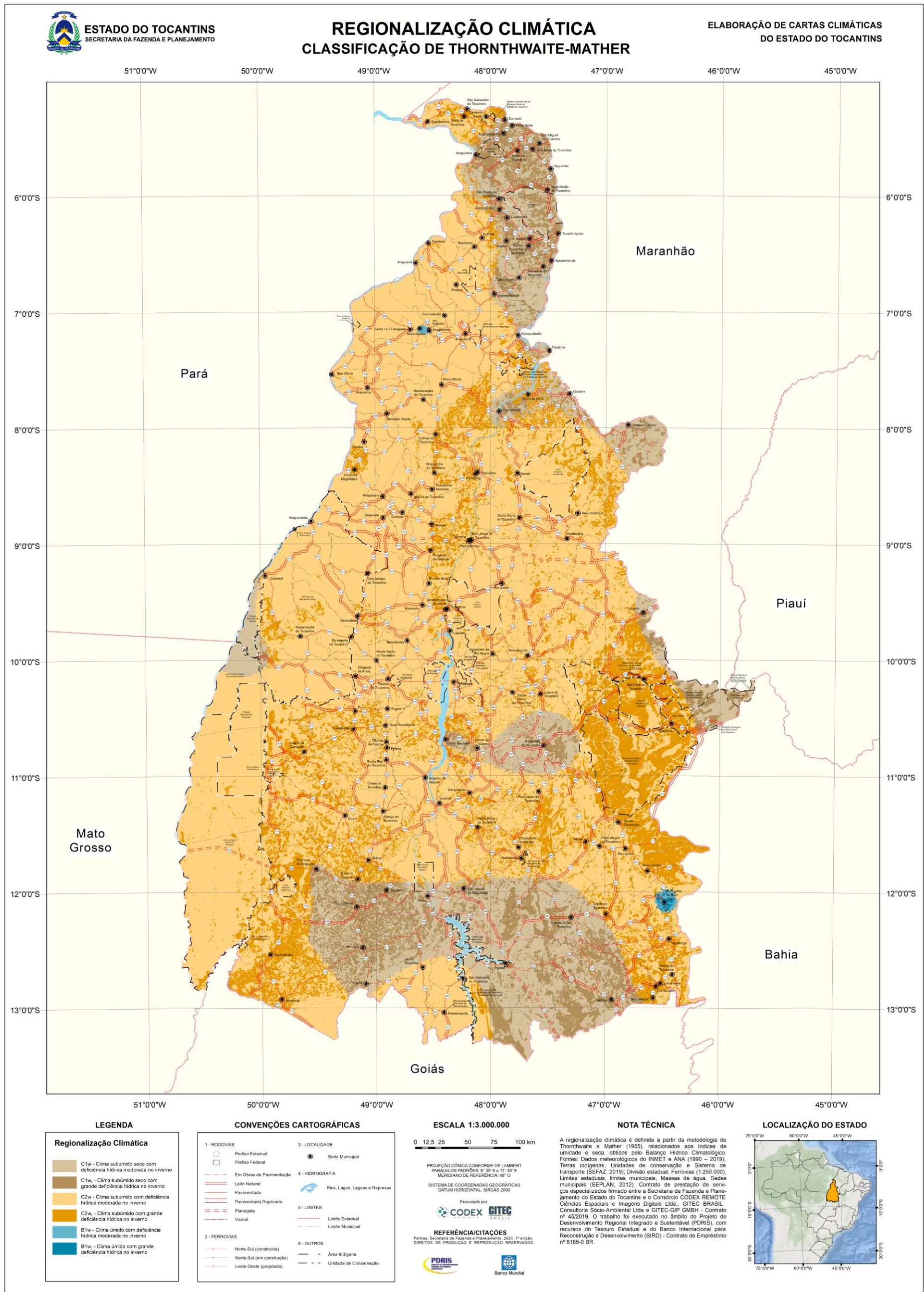
Os tipos climáticos **C1W** (clima subúmido seco com deficiência hídrica moderada no inverno) e **C1W2** (clima subúmido seco com grande deficiência hídrica no inverno) são verificados na porção centro-leste da região programa Bico do Papagaio; avançando sobre grandes áreas dos municípios de Babaçulândia, Filadélfia e Palmeirante na região programa Norte; nos municípios de Campos Lindos e Goiatins localizados na região programa Nordeste; nos municípios de Ponte Alta do Tocantins, Lizarda e Mateiros situados na região programa Jalapão; e também em extensas áreas das regiões programa Sudeste e Sul; verificando-se ainda uma porção considerável no leste do município de Pium (região programa Centro-Oeste) o tipo climático **C1W** quase que exclusivamente. Em comum entre essas localidades identificam-se características geofísicas que dificultam a plena atuação das duas mais significativas circulações atmosféricas



produtoras de chuvas abundantes no estado do Tocantins, a corrente de oeste da massa Equatorial continental (mEc) e a corrente de leste da massa Tropical atlântica (mTa).

Atenção especial deve ser dada as áreas que apresentam tipos climáticos com grande deficiência hídrica no inverno, a citar os tipos **C1W2**, **C2W2** e **B1W2**, principalmente os tipos subúmidos. O índice de aridez que define estes tipos climáticos não são aplicáveis na caracterização do clima semiárido. Entretanto, as áreas posicionadas mais à leste do Estado apresentam os mais altos valores de evapotranspiração, lhes conferindo acentuada proximidade com as condições semiáridas. No Sudeste especificamente, o índice de umidade característico exprime que ali o excedente hídrico é pequeno, estando entre os menores do Estado.

Figura 38. Mapa da Regionalização Climática para o estado do Tocantins, pelo modelo de classificação de Thornthwaite-Mather.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.1.18.3. Classificação de Gausсен

O método de Gausсен, por sua vez, é baseado no ritmo da temperatura e das precipitações no decorrer do ano, por meio das médias mensais, procurando os períodos favoráveis ou desfavoráveis à vegetação. Através desta classificação o balanço de água, que é o ritmo da temperatura do ar e das precipitações no decorrer do ano, é expresso em duas etapas essenciais e complementares, como descreve Barros *et al.* (2012). Os resultados são traçados em um diagrama ombrotérmico. A primeira etapa é dedicada à determinação do período seco que é definido como aquele em que a precipitação total [mm] é igual ou inferior ao dobro de sua temperatura média [°C], traçando-se um diagrama ombrotérmico, que indica a duração e severidade do período seco (VIANELLO e ALVES, 2000).

A segunda etapa do método, além dos elementos temperatura e precipitação, utiliza um terceiro elemento: a umidade atmosférica, em todas as suas formas (inclusive orvalho e nevoeiro). Então, define-se o índice xerotérmico, que representa o número de dias biologicamente secos, que permite diferenciar bioclimas vizinhos mesmo com alguns traços comuns, bem como determinar diversas modalidades climáticas dentro da mesma região bioclimática (BARROS *et al.*, 2012).

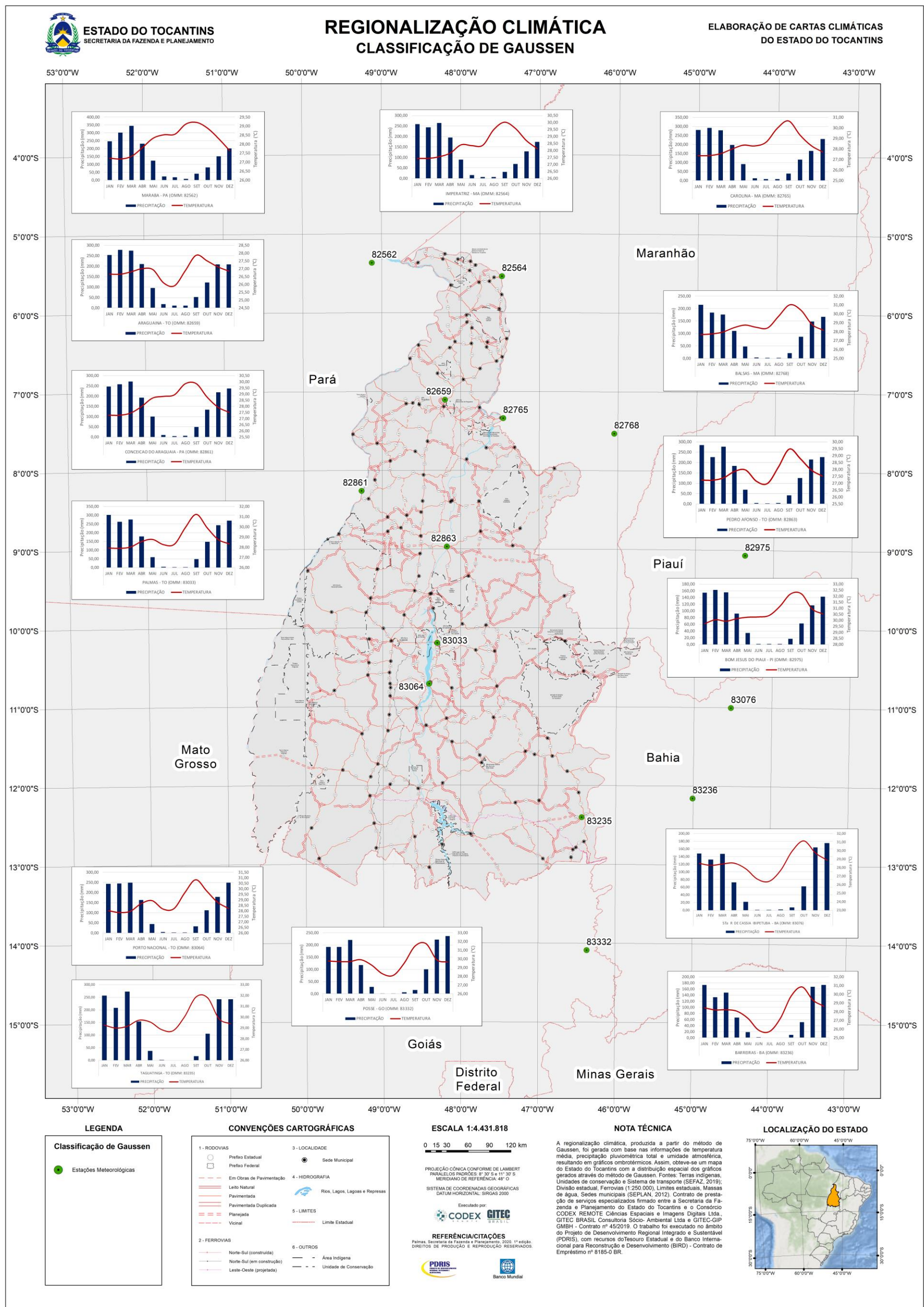
Apresenta-se na Figura 39 o mapa do estado do Tocantins com a distribuição espacial dos gráficos ombrotérmicos gerados pelo método de classificação climática de Gausсен. Ao analisar a relação entre a precipitação e a temperatura do ar, verifica-se que o período seco prevalecente no estado do Tocantins se estende de junho a setembro, período totalmente de acordo com as condições amazônicas. O período seco evidencia a desativação de sistemas atmosféricos de escala sinótica, principais produtores de precipitação, atuantes sobre o Tocantins.

Verifica-se que os dados da estação localizada no município de Taguatinga, no Sudeste do Tocantins, mostram o período seco entre os meses de maio e setembro, em acordo com o comportamento climático dos estados vizinhos, Bahia e Goiás. Essa ampliação do período seco está relacionada com a maior estabilidade da mTa.

No lado oposto, na região do Bico do Papagaio, atribui-se a menor duração do período seco à amplificação da mEc que prossegue bastante ativa até abril em decorrência do equinócio de março. Já na faixa nordeste do Tocantins pode-se inferir a ocorrência do mais longo período seco do Estado, se estendendo entre maio e outubro. Essa inferência baseia-se no comportamento climático dos estados vizinhos, Piauí e Bahia, justificado pela baixa frequência e fraca intensidade dos sistemas atmosféricos atuantes na região.

Lembra-se que os sistemas atmosféricos que atuam sazonalmente sobre o Tocantins garantem a homogeneidade climática, neste caso, revelado pela sazonalidade da precipitação. Cabe ressaltar, quando verifica-se a distribuição temporal da temperatura média do ar, a ocorrência de um máximo secundário da respectiva variável em quase à totalidade das estações meteorológicas, em acordo com afirmações de Varejão-Silva (2006). Os dois picos de temperatura média do ar estão associados com os equinócios de março e de setembro, como esperado para regiões tropicais.

Figura 39. Mapa da distribuição espacial dos gráficos ombrotérmicos da Classificação Climática de Gaussen para o estado do Tocantins.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.2. Variabilidade climática

Segundo Ayoade (2006) o clima abarca um conjunto de dados maior do que apenas as condições médias da atmosfera de uma determinada área. Considera também os desvios em relação às médias, as condições extremas, e as probabilidades de frequência de ocorrência de determinadas condições de tempo.

A variabilidade climática é definida como a variação das condições climáticas em torno da média climatológica. Deve-se lembrar que, considerando um determinado local, os valores médios das variáveis meteorológicas são obtidos com dados observados por períodos de 30 anos ou superiores, e estes recebem a denominação Normal Climatológica. Portanto, qualquer registro posterior que estiver acima ou abaixo da Normal Climatológica caracteriza a variabilidade climática do local, sendo, este, o comportamento comum a ser observado (PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2007).

Diversos autores apresentam vários fenômenos e circulações atmosféricas que promovem a variabilidade climática, alternando-se entre as mais variadas escalas espaciais e temporais, citando-se, como exemplos, bloqueios atmosféricos, monções, teleconexões e variabilidades produzidas, principalmente, por oscilações oceânicas em campos de temperatura, salinidade, pressão e outros (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Quando observa-se uma flutuação extrema de um elemento em uma série climatológica, com desvios além do padrão observado de variabilidade constata-se a ocorrência de uma anomalia climática (PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2007).

Destaca-se que a diferenciação entre variabilidade e anomalia climática está associada a escala temporal da observação. Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007) a atual temperatura média do ar de nosso Planeta, resultado do aquecimento por efeito estufa em tempos passados, pode ser considerada uma mudança climática na escala de séculos ou décadas, mas poderia ser interpretada como um desvio da média de temperatura se fosse observada na escala de dezenas de milhares de anos, ou na escala de eras geológicas.

Então, a variabilidade climática está diretamente ligada a perturbações no comportamento padrão da atmosfera, que resultam em oscilações dos centros de ação (centros de alta e baixa pressão) que se refletem em desvios posicionais e de intensidade dos sistemas de tempo originados e associados ao correspondente centro de ação.

Sobre o Tocantins atuam anualmente os sistemas atmosféricos mEc, mTa, ZCAS, ZCIT, VCAN, LICON e sistemas frontais, todos em algum grau influenciados pelos sistemas de alta pressão semiestacionários do oceano Atlântico, Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e Norte (ASAN). Anos chuvosos no norte do Tocantins estão associados a expansão da ASAN em direção ao equador e a retração da ASAS em direção as latitudes mais alta do Atlântico Sul, deslocando para sul o alinhamento dos sistemas convectivos profundos da ZCIT, produtores de chuva.

O posicionamento da ZCIT ao norte de sua situação consuetudinária, quer seja por efeitos de escala planetária ou de escala sinótica, quando ocorrem nos meses considerados chuvosos favorecem a expansão do período seco. Pesquisadores também correlacionaram a ZCIT à Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do oceano Atlântico, sendo útil na previsibilidade de anos chuvoso ou secos. Outras correlações entre TSMs do Atlântico Sul e do Atlântico Norte, cuja variabilidade tem sido

relacionada ao fenômeno El Niño, são adotadas para quantificar períodos de seca (KAIANO e ANDREOLI; MELO, CAVALCANTI e SOUZA; 2009).

Os efeitos constatados pelos pesquisadores são muito expressivos sobre o Nordeste brasileiro, pronunciadamente no Semiárido nordestino, mas podem se estender até o Tocantins em algumas ocasiões, embora com menor intensidade. Tal variabilidade é pouco diagnosticada no Estado devido a restrita área influenciada e a baixa densidade de estações meteorológicas.

É importante destacar que a contribuição da variabilidade sinótica e intrassazonal é maior do que da variabilidade interanual. Esta última tem maior impacto sobre a precipitação, o mais importante parâmetro climático, especialmente sobre o Tocantins. Segundo Grimm (2009), em primeira análise, a principal fonte de variabilidade interanual é o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é o resultado da interação entre o oceano e a atmosfera, que geram uma espécie de gangorra barométrica entre as porções leste (Taiti e Polinésia Francesa) e oeste (Darwin, Austrália) do oceano Pacífico, denominada oscilação Sul. São constatadas mudanças na TSM, na pressão, no vento e na convecção tropical, alterando a configuração padrão do sistema acoplado oceano-atmosfera sobre o oceano Pacífico equatorial, com reflexos climáticos em muitos lugares do Planeta, incluindo o Brasil. As anomalias na TSM do Pacífico tropical modificam a célula de Walker, que é uma célula de circulação atmosférica, que ocorre sobre o oceano Pacífico equatorial no plano vertical-zonal, ou seja, apresenta deslocamentos ascendentes e descendentes sobre uma faixa de latitude equatorial. Esta circulação se estabelece pela variação de pressão atmosférica nessa faixa equatorial. Destaca-se que as variações da pressão atmosférica referem-se ao fenômeno Oscilação Sul, e as variações observadas na temperatura superficial do Pacífico equatorial, ao El Niño e La Niña. (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; BARRY e CHORLEY, 2013; YNOUE *et al.*, 2017)

Quando os valores de TSM sobre o Pacífico equatorial apresentam grandes desvios em relação a média climatológica, condição associação com El Niño e La Niña, o acoplamento oceano-atmosfera responde modificando a célula de Walker. Como resultado, observa-se mudanças no regime de precipitação pluviométrica e de temperatura do ar em muitas partes do Globo. O principal reflexo sobre o Tocantins está na quantidade da precipitação e qualidade do período chuvoso, repercutindo positiva ou negativamente dependendo da fase em que o fenômeno se encontra, El Niño (efeito negativo) e La Niña (efeito positivo).

O El Niño é um fenômeno oceânico caracterizado pelo aumento anômalo da TSM na região central e leste do Pacífico equatorial. O máximo aquecimento da superfície oceânica ocorre durante os meses de dezembro a fevereiro, com uma frequência irregular de dois a 10 anos (intervalo médio de quatro anos), cujo aumento no valor de TSM (normalmente 23°C) deve ser superior a 1°C para que se configure um fenômeno El Niño fraco. Em eventos de El Niño forte o aquecimento da TSM pode ser da ordem de 4°C a 6°C. A referida condição oceânica quebra a célula de Walker, deslocando um ramo descendente para cima do Norte e Nordeste do Brasil, favorecendo a ocorrência de períodos secos, principalmente nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e tornando os meses de junho, julho e agosto mais quentes (OLIVEIRA, 2001; BARRY e CHORLEY, 2013).

A La Niña é a condição oposta, entretanto os efeitos não exatamente opostos. Ela se configura diante do resfriamento incomum das águas superficiais e subsuperficiais do Pacífico equatorial leste, intensificando a célula de Walker. Tal fenômeno tem frequência de 2 a 7 anos e duração de aproximadamente 9 a 12 meses, com raros episódios persistindo por mais de dois anos. Em comparação ao El Niño, as anomalias de TSM observadas para configurar uma La Niña apresentam



desvios menores, cujas maiores anomalias não chegam a 4°C abaixo da média. Sobre o Tocantins, a intensificação do ramo ascendente da célula de Walker potencializa a formação de nuvens de chuva, propiciando a ocorrência de períodos chuvosos nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, sobretudo na metade norte do Estado. Entretanto, não são observados impactos significativos nos meses de junho, julho e agosto sobre o Tocantins (OLIVEIRA, 2001; BARRY e CHORLEY, 2013).

Durante eventos de La Niña, Grimm (2009) constatou anomalias positivas sobre a precipitação, ou seja, incremento no total anual de precipitação, nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, obviamente atingindo também o Tocantins em toda a sua extensão territorial. O inverso ocorre na fase El Niño, com anomalia negativa na precipitação, isto é, redução no total anual de precipitação. Foi identificado o paralelo 20°S como o limite de inversão nos sinais de anomalias de precipitação pluviométrica.

A variabilidade interanual da precipitação por efeitos do ENOS também é discutida por Grimm (2009). Sobre o leste da região Norte do Brasil, nas estações do ano outono, primavera e verão foram observados padrões de anomalias positivas na precipitação mensal durante a fase La Niña e anomalias negativas na fase El Niño. Variabilidades advindas de anomalias de TSM do oceano Atlântico, que altera o posicionamento da ZCIT, associada ao posicionamento da ZCAS, que situa-se mais ao norte na fase La Niña e ao sul na fase El Niño, também afetam o comportamento da precipitação pluviométrica.

Lembra-se que, a redução das chuvas em decorrência do El Niño aumenta o risco de incêndios e, o aumento da precipitação durante os eventos de La Niña podem resultar em elevação do nível dos rios, causando ou potencializando inundações.

4.3. Mudanças climáticas

Utiliza-se o termo mudança climática para designar uma tendência de alteração da média das variáveis climáticas ao longo do tempo. Nas últimas décadas vêm sendo divulgados diversos relatórios que apontam para o aquecimento global. Segundo Marengo (2009) nosso planeta sempre vivenciou ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, com lançamento de enormes quantidades de gases na atmosfera por conta de intensa atividade geológica. No entanto, ele sugere que a atividade industrial, ou seja, a atividade humana, é um fator determinante do atual aquecimento global, afetando a variação natural do clima terrestre.

Diferenciar a variabilidade natural do clima de mudança climática é uma tarefa árdua, tendo em vista que muitas vezes um padrão de anomalia observados em um determinado período de tempo, mostra-se como uma variabilidade natural em uma escala temporal maior. Na tentativa de dirimir dúvidas, conforme citado por Barry e Chorley (2013), a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) oferece uma definição assertiva e elucidativa para mudança climática: “uma alteração no clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, que modifica a composição da atmosfera e que se soma à variabilidade climática natural observada ao longo de escalas temporais comparáveis”.

Para sintetizar e divulgar o conhecimento científico sobre as mudanças climáticas que afetam nosso planeta e, mais especificamente, sobre o aquecimento global, foi criado em 1988, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*).

É uma organização científico-política criada por iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM). O IPCC não produz pesquisa original, mas reúne e resume o conhecimento de alto nível produzido anualmente por cientistas de todo o mundo, independentes e ligados a organizações e governos. É um consenso que o IPCC representa a maior autoridade mundial a respeito do aquecimento global. Até o momento produziu cinco grandes relatórios, sendo o último publicado em 2014. O objetivo principal do IPCC é fornecer aos governos, de todos os níveis, as informações científicas necessárias para o desenvolvimento de políticas climáticas (IPCC, 2020).

O quinto relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change - Fifth Assessment Report - IPCC-R5*) do ano de 2014, apresenta a clara influência humana sobre o sistema climático, com as mais altas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa da história recente, causando impactos generalizados nos sistemas humano e natural, com mais de 90% de confiabilidade. As concentrações atuais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso são sem precedentes, pelo menos nos últimos 800.000 anos, com aumento acima de 31%, sendo que mais da metade desse crescimento ocorreu nos últimos 50 anos do século XX.

O aquecimento global é evidente, e muitas das mudanças observadas desde a década de 1950 não foram observadas ao longo de décadas ou milênios pregressos, como mostram os relatos do IPCC-R5 (IPCC, 2014). O aquecimento da atmosfera e dos oceanos derreteram enormes quantidades de neve e gelo e, conseqüentemente, observa-se o aumento no nível médio dos mares, com aumento de 0,19m no período entre 1901 e 2010, superior ao aumento observado nos dois milênios anteriores. Mesmo com o robusto aquecimento multidecadal, os pesquisadores são cautelosos em suas afirmações, pois as tendências baseadas em registros curtos são muito sensíveis as datas de início e término dos registros, devido a natural variabilidade interanual e decadal dos sistemas climáticos, e, assim, os resultados podem não refletir tendências climáticas de longo prazo.

A evidência dos impactos observados das mudanças climáticas é mais forte e abrangente para os sistemas naturais, porém apresentam variados níveis de confiança. Com média confiança tem-se a alteração na quantidade e qualidade dos recursos hídricos em decorrência de mudanças na precipitação ou derretimento de neve e gelo; e alguns impactos da acidificação oceânica nos organismos marinhos atribuídos a influência humana. Nas evidências de alta confiabilidade são citados: as mudanças de domínios geográficos, atividades sazonais, padrões de migração, abundância e interações entre espécies, de muitas espécies terrestres, marinhas e de água doce; os impactos negativos das mudanças climáticas sobre o rendimento das culturas agrícolas, que têm sido mais comuns do que impactos positivos, atingindo os humanos no que tange a segurança alimentar (IPCC, 2014).

Em todos os lugares do mundo há exemplos de fenômenos tomados como indicadores de mudanças climáticas. Aqui no Brasil cita-se o furacão Catarina em março de 2004 e também a seca de 2005 na Amazônia. Estes fenômenos, e muitos outros, são atribuídos a fatores como variabilidade natural do clima, mudanças no uso da terra (desmatamento e urbanização), aquecimento global, aumento na concentração de gases de efeito estufa e aerossóis na atmosfera. Entretanto, em várias situações, não há comprovação de um novo regime de mudança climática, tendo em vista os fenômenos observados (MARENGO, 2009).

Há evidências de que o estado do Tocantins também vem sendo afetado pelas mudanças climáticas, como relatado no IPCC-R5 (IPCC, 2014). Para exemplificar: alterações no nível de rios e a ocorrência



de inundações e secas, com consequências na produção de alimentos, são listados como impactos de média confiabilidade; já os reflexos, que são menores, sobre os sistemas terrestres são considerados de baixa confiabilidade. Os pesquisadores ressaltam que a ausência de registro de impactos adicionais, atribuídos às mudanças climáticas, não implica que estes não tenham ocorrido ou estejam ocorrendo.

Durante o século XXI todos os cenários de emissão avaliados no IPCC-R5 (IPCC, 2014) apontam para o aumento da temperatura do ar junto à superfície, com provável ocorrência de ondas de calor mais frequentes e duradouras. Eventos extremos de precipitação devem se tornar mais intensos e frequentes em muitas regiões. Lembra-se que Marengo (2009) afirma que o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e, mais ainda, àquelas projetadas para o futuro. Segundo ele, as áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e o Nordeste do Brasil, e o Tocantins está inserido em um ambiente de transição entre estas duas áreas.

O IPCC-R5 (IPCC, 2014) mostra que 90% dos modelos de projeção climática indicam que para o período entre 2081-2100, quando comparados com os valores registrados entre 1986-2005, o Tocantins poderá apresentar um acréscimo na temperatura da superfície do ar entre 1°C e 1,5°C no melhor cenário e podendo aumentar em até 5°C no pior cenário prospectado. Os resultados relativos à precipitação não são tão claros, além de apresentarem sinais trocados entre diferentes modelos, os valores previstos estão dentro do desvio padrão da natural variabilidade climática multidecadal (em intervalos de 25 e 30 anos). Mas vale relatar que o prognóstico geral é de redução na precipitação, em até 10%, com maior confiabilidade dos resultados considerando-se o pior cenário prospectado, ou seja, sem redução das emissões de gases do efeito estufa. Segundo Marengo (2009) as projeções de modelos climáticos regionais revelam que até 2100, com alta e média confiabilidade, irão ocorrer chuvas mais fracas durante as estações chuvosas, no Norte e Nordeste do Brasil, e aumento de dias secos consecutivos com possibilidade de secas mais intensas e frequentes a partir de 2050 no leste da Amazônia.

A confirmação de tais prognósticos deve preocupar tanto do ponto de vista ambiental quanto do social e econômico, mas principalmente da segurança alimentar. Temperatura mais elevada e menor precipitação, aumentam a evapotranspiração, obrigando adoção de novas culturas adaptadas ao novo ambiente mais árido e também aumenta o risco de incêndios. A vazão de rios diminui, impactando a qualidade e quantidade de água, afetando diretamente o abastecimento, a produção de hidroenergia, a navegabilidade e até mesmo o turismo. E tudo isso conduz a perda de ecossistemas e de biodiversidade, atingindo também a saúde dos humanos.

Lembra-se que nas últimas décadas, as mudanças climáticas produziram reflexos nos sistemas naturais e humanos em todos os continentes e oceanos, como apresentado no IPCC-R5 (IPCC, 2014), expondo a fragilidade desses sistemas às mudanças climáticas, independentes de sua causa.

4.4. Curvas de intensidade, duração e frequência (IDF)

Um conjunto de dados hidrológicos, em hidrologia conhecido como série histórica, corresponde a uma amostra extraída de uma população infinita. O cálculo de indicadores e medidas estatísticas dessa amostra é muito importante, pois revelam diversas características desta, mas nada dizem a respeito da população. A hidrologia estatística parte da distribuição de frequência da amostra e, adotando modelos

matemáticos (constituídos de parâmetros) conhecidos como distribuição de probabilidades, modela a distribuição de frequência da população (MELLO e SILVA, 2013).

Em hidrologia pode-se modelar uma distribuição de frequência no contexto de dados discretos ou contínuos. Na maioria das vezes, interessa à hidrologia avaliar qual a possibilidade de um determinado evento ser maior ou igual (ou menor ou igual) a um determinado valor x_i da população, o que remete ao conceito de uma variável contínua (NAGUETTINI e PINTO, 2007; MELLO e SILVA, 2013). As variáveis hidrológicas, na maioria das vezes, são consideradas contínuas, ou seja, variáveis que, fisicamente, existem continuamente no tempo. Naguettini e Pinto (2007) citam como exemplos de variáveis hidrológicas o número anual de dias consecutivos sem precipitação, em um dado local; a intensidade máxima anual da chuva de duração igual a 30 minutos; a vazão média anual de uma bacia hidrográfica; o total diário de evaporação de um reservatório; ou, a categoria dos “estados do tempo” empregada em alguns boletins meteorológicos.

Para modelar a frequência de dados hidrológicos Mello e Silva (2013) recomendam, primeiro realizar um estudo de sua ocorrência, sendo estabelecido um percentual com que uma variável hidrológica pode ser maior que um dado valor x_i . Isto chama-se frequência de excedência, e é obtida diretamente da série de dados. Quando se deseja saber o percentual de uma variável ser menor ou igual a um dado valor, então, deseja-se a frequência de não excedência, sendo uma o complemento da outra.

O tempo de retorno corresponde ao inverso da frequência. Pode ser entendido como o tempo médio para que um dado evento hidrológico seja superado. Segundo Mello e Silva (2013), deve-se utilizar a probabilidade de excedência para estimar o tempo de retorno da variável hidrológica de valores máximos, quando a frequência da série histórica é ajustada a uma distribuição de probabilidade.

A chuva é caracterizada pelas seguintes variáveis: a altura (lâmina precipitada), a intensidade, a duração e a frequência de excedência. A precipitação máxima, que é uma ocorrência extrema com duração e distribuição temporal e espacial crítica para uma área, são retratadas pontualmente pelas curvas de intensidade, duração e frequência (IDF) através da precipitação máxima provável (BERTONI e TUCCI, 2000).

Para este estudo foram constituídas duas séries históricas. A série de precipitação máxima diária anual é importante quando se deseja obter valores extremos máximos diários. Segundo Mello e Silva (2013), estas séries possibilitam o estudo da frequência de ocorrência de precipitações intensas, inclusive a geração das equações de chuvas intensas. A série de precipitação máxima diária mensal tem os mesmos objetivos da série anual, mas não é possível obter-se equações de chuvas intensas. Séries mensais são muito úteis para aplicações agrícolas.

A escolha destas séries baseou-se na diversidade de aplicações e correlações solicitadas no TdR. Os dados foram processados de modo que possibilitem extrair informações úteis para a gestão de recursos hídricos, gerenciamento de drenagens, aplicações agrícolas, gestão ambiental, urbanização, transporte, defesa civil, controle de riscos, etc.

O tempo de retorno é um critério relacionado com o tipo de obra de engenharia. Na Tabela 8 apresentam-se tempos de retorno normalmente adotados para drenagem urbana, mas que são igualmente aplicáveis em outros setores.



Tabela 8. Tempos de retorno adotados para projetos de estruturas de drenagem.

Tipo de obra	Tipo de ocupação	TR (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 – 5
	Comercial	5 – 10
	Vias de tráfego locais	5 – 10
	Vias de tráfego expressas	10 – 25
	Terminais e áreas correlatas	10 – 25
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	25 – 100
	Bacias de detenção:	
	• Definição do volume útil	10 – 100
	• Extravasador de emergência	100 – 500
	• Pontes urbanas ou rodoviárias	100
	Zoneamento de áreas de inundação	100
	Áreas de edificações de uso estratégico (bombeiros, hospitais, polícia, centros de controle de emergência)	500
	Barragens	> 1.000

Fonte: Adaptado de Porto *et al.* (2000), Canholi (2014) e Collischonn e Dornelles (2015).

A duração da chuva é um critério que se relaciona diretamente com as dimensões da bacia hidrográfica para a qual será desenvolvido o estudo desejado, quanto menor a bacia mais discretizada deve estar a precipitação. Normalmente adota-se o tempo de concentração da bacia para atribuição da duração da chuva, tendo-se em mente que pode-se obter intensidade de precipitação super ou subestimada dependendo de características físicas e momentâneas da bacia hidrográfica, conforme discutem Mello e Silva (2013). Eles também mostram o quão difícil é conceituar o tamanho de uma bacia hidrográfica, pois é necessário considerar-se a uniformidade na distribuição temporal e espacial da precipitação, a duração dos eventos de chuva, as características fisiográficas que geram e propagam o escoamento superficial, a produção de sedimentos e outros.

Pela diversidade de dimensões das bacias envolvidas neste projeto, especificamente, adotou-se as durações sugeridas pela CETESB (BERTONI e TUCCI, 2000), aplicados amplamente em todo Brasil, e seus correspondentes fatores de relação com a altura pluviométrica, ambos apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Relações de altura de chuva entre durações sugeridas pela CETESB para o Brasil.

Duração original	Duração final	Relações entre alturas pluviométricas
30 minutos	5 minutos	0,34
30 minutos	10 minutos	0,54
30 minutos	15 minutos	0,70
30 minutos	20 minutos	0,81
30 minutos	25 minutos	0,91
1 hora	30 minutos	0,74
24 horas	1 hora	0,42
24 horas	6 horas	0,72
24 horas	8 horas	0,78
24 horas	10 horas	0,82
24 horas	12 horas	0,85
1 dia	24 horas	1,14

Fonte: Adaptado de Bertoni e Tucci (2000); Collischonn e Dornelles (2015).

A discussão dos resultados obtidos será individualizada para cada um dos municípios listados a seguir, os quais são citados na ordem em que serão discutidos: Araguatins, Darcinópolis, Tocantinópolis, Araguaína, Campos Lindos, Pedro Afonso, Colinas do Tocantins, Mateiros, Palmas, Porto Nacional, Caseara, Paraíso do Tocantins, Pium, Dianópolis, Natividade, Arraias, Peixe, Gurupi, Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão.

Essa escolha está fundamentada no fato das séries históricas, constituídas para o desenvolvimento deste projeto, utilizarem dados obtidos em estações meteorológicas e pluviométricas localizadas nos municípios listados.

4.4.1. Araguatins

O município de Araguatins está localizado na região programa Bico do Papagaio, em uma altitude de 103 metros e às margens do rio Araguaia (CIDADE-BRASIL, 2020). É o mais populoso da região (36.170 habitantes) segundo estimativas do IBGE para o ano de 2020, e somente 1,8% da população é atendida com esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2013).

Dentro de seus limites administrativos estão inseridas parte das bacias hidrográficas do rio Araguaia, que cobre a maior parte do território araguatinsense; e do rio Piranhas, abrangendo a parte sudoeste do município. Segundo SEPLAN (2016) as margens do rio Araguaia apresentam áreas propícias à instalação de novos portos e terminais hidroviários segundo o Plano Nacional de Integração Hidroviária (PNIH).



O mapeamento da cobertura e uso da terra da SEPLAN (2007) aponta os seguintes tipos: Palmeiral, Cerrado Sentido Restrito, Floresta Ombrófila Aberta Submontana, Capoeira e Agropecuária. E três unidades geomorfológicas estão presentes no município (SEPLAN, 2016): Depressão do Médio Tocantins, em quase toda metade sul; Depressão de Imperatriz, situada, principalmente, na metade norte e em parte da região leste; Planícies Fluviais, ocupando áreas menores no extremo oeste do município.

A análise climatológica de Araguatins, mostra que a maior parte do município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, porém nas áreas ribeirinhas de rio São Martinho fica em torno de 20°C. No mês de julho são registrados os menores valores mensais, entre 18°C e 19°C, que prevalecem no sul do município. Sua temperatura máxima anual fica em torno de 33°C, chegando aos 35°C em agosto e setembro.

O regime anual de chuvas tem total acumulado de 1536mm na maior parte do município, partindo de 1408mm no leste aumentando em direção ao extremo noroeste onde pode acumular 1664mm. Nos meses de fevereiro e março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, superiores a 280mm. O período chuvoso araguatinsense dura entre 190 e 200 dias na maioria das áreas, mas na faixa nordeste dura entre 180 e 190 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de outubro e abril, quando são observadas, em média, a ocorrência de 7 a 8 veranicos anualmente. O mês de março apresenta a maior quantidade de dias com registro de chuva, totalizando até 18 dias, em termos anuais o município de Araguatins registra entre 88 e 98 dias de chuva.

O município apresenta moderado excedente hídrico no verão, com valores anuais entre 200mm e 400mm na maior parte do território, mas ocorre, de forma esparsa e prevalente no extremo noroeste, grande excedente hídrico com valores entre 400mm e 600mm. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de janeiro e abril, sendo março o mês com maior excedente (>140mm). A deficiência hídrica anual, entre 400mm e 760mm, é menor à oeste e maior a leste, se concentra entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto. A maior parte do município se classifica com grande deficiência hídrica no inverno, mas no extremo noroeste e no sul araguatinsense tem consideráveis áreas com deficiência hídrica moderada no inverno.

Os dados hidrológicos, mensais e anual, gerados para este município, são apresentados no mosaico de gráficos que consta na Figura 40. Acompanhando-se os gráficos de escala anual, especificamente o histograma da precipitação máxima diária anual, verifica-se que os eventos de chuva da ordem de 104mm são os mais frequentes, seguidos por eventos que acumularam 72mm. A distribuição dos dados mostra-se levemente assimétrica, com maior concentração à esquerda, na direção dos menores valores.

Da aplicação da distribuição de probabilidade Gama 2P, na série histórica de precipitação máxima diária anual, obteve-se a curva IDF cujas intensidades foram estimadas através desta distribuição. Verifica-se que a intensidade de um evento de chuva com 5 minutos de duração teriam valores em torno de 365mmh⁻¹ e 550mmh⁻¹, correspondendo a eventos com tempo de retorno de 2 e 20 anos, respectivamente, intervalo que atende critérios comumente adotados para projetos estruturais de microdrenagem em bacias de pequenas dimensões. Observando o extremo oposto, com valores maiores de duração (1440 minutos) e de TR (1000 anos), a intensidade da chuva é estimada em torno de 8mmh⁻¹. Este último resultado poderia ser aplicado a um projeto construtivo de uma barragem em uma grande bacia hidrográfica como área de coleta. Todos os valores da relação intensidade-duração-

frequência de Araguatins obtidos por meio da distribuição de probabilidade Gama 2P são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh⁻¹] em Araguatins – TO, obtida pela distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Intensidade Máxima para Duração e TR (mm/h)								
Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	365,2	454,7	506,7	552,5	607,1	645,4	727,5	760,7
10	290,0	361,1	402,4	438,8	482,1	512,5	577,7	604,1
15	250,6	312,1	347,8	379,2	416,7	442,9	499,2	522,0
20	217,5	270,8	301,8	329,1	361,6	384,4	433,3	453,0
25	195,5	243,4	271,3	295,8	325,0	345,5	389,4	407,2
30	132,5	164,9	183,8	200,4	220,2	234,1	263,9	275,9
60	37,6	46,8	52,2	56,9	62,5	66,4	74,9	78,3
360	10,7	13,4	14,9	16,3	17,9	19,0	21,4	22,4
480	8,7	10,9	12,1	13,2	14,5	15,4	17,4	18,2
600	7,3	9,1	10,2	11,1	12,2	13,0	14,6	15,3
720	6,3	7,9	8,8	9,6	10,5	11,2	12,6	13,2
1440	4,3	5,3	5,9	6,4	7,1	7,5	8,5	8,9

Fonte: Elaboração do Autor, 2020.

A curva IDF dos dados estimados pela Equação 20 apresentam valores de intensidade (Tabela 11) cujo padrão é refletido também nos valores da precipitação provável. Tomando os mesmos critérios anteriores como exemplo, TR de 2, 20 e 1000 anos e duração dos eventos de chuva de 5 e 1440 minutos, observa-se que os correspondes valores aproximados fornecidos pela Equação 20 são de 108mmh⁻¹, 184mmh⁻¹ e 16mmh⁻¹. A altura da lâmina de água que estes eventos de chuva proporcionariam é de 9mm, 15mm e 385mm, respectivamente.

$$I = \frac{4732,32 TR^{0,229}}{(t + 46,957)^{0,995}} \quad (\text{Eq. 20})$$

Tabela 11. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh⁻¹] em Araguatins – TO, obtida pela equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Intensidade Máxima para Duração e TR (mm/h)								
Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	108,9	134,3	157,4	184,5	227,5	266,7	385,5	451,9
10	99,4	122,6	143,6	168,4	207,7	243,4	351,9	412,4
15	91,4	112,7	132,1	154,8	191,0	223,8	323,6	379,3
20	84,6	104,3	122,3	143,3	176,8	207,2	299,6	351,1
25	78,7	97,1	113,8	133,4	164,6	192,9	278,8	326,8
30	73,7	90,8	106,5	124,8	153,9	180,4	260,8	305,7
60	53,1	65,5	76,7	89,9	110,9	130,0	188,0	220,3
360	14,0	17,3	20,3	23,8	29,4	34,4	49,7	58,3



Duração (minutos)	Intensidade Máxima para Duração e TR (mm/h)							
	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
480	10,9	13,4	15,7	18,4	22,7	26,6	38,5	45,1
600	8,9	10,9	12,8	15,0	18,5	21,7	31,4	36,7
720	7,5	9,2	10,8	12,7	15,6	18,3	26,5	31,0
1440	3,9	4,8	5,6	6,6	8,1	9,5	13,7	16,1

Fonte: Elaboração do Autor, 2020.

Assim, percebe-se que, os eventos de chuvas intensas mais frequentes em escala anual, aqueles com tempo de retorno menor, apresentam menores intensidades do que os menos frequentes (TR = 1000 anos), considerando-se a mesma duração do evento de chuva. Ao fixar a duração do evento de chuva no máximo, ou seja, 24 horas (1440 minutos), verifica-se que, os valores de intensidade reduzem significativamente, se comparados com a menor duração, mas conservam o padrão de menores intensidades para eventos mais frequentes (TR = 2 anos) e maiores para os menos frequentes (TR = 1000 anos).

As situações hipotéticas acima descritas servem como apoio ao entendimento dos resultados obtidos, tendo em vista a escala anual dos eventos de precipitação. Certamente, uma dúvida surge, qual método utilizar, a distribuição de probabilidade ou a equação de intensidade? Os coeficientes da equação são obtidos através de características geofísicas específicas do local onde foram obtidos os dados, assim os resultados advindos da equação são pontualmente mais realísticos para aquele local. Já os resultados gerados com a distribuição de probabilidade são mais genéricos, baseado em valores médios da série histórica e, portanto, mais flexíveis para aplicação em locais próximos ou com características semelhantes. Observa-se que as informações obtidas pela aplicação da distribuição de probabilidade são superestimadas, quando comparadas aos resultados da aplicação da equação de intensidade.

Observa-se que para este município, Araguatins, a diferença entre os resultados obtidos pela distribuição de probabilidade e pela equação de intensidade diminui a medida que a duração dos eventos de chuva aumentam, considerando-se fixo o tempo de retorno. Porém, quando o parâmetro fixado é a duração do evento de chuva, a diferença cresce à medida que o tempo de retorno aumenta, exceto nos TRs de 500 e 1000 anos.

Uma consideração importante a ser feita é que, as informações obtidas em escala anual, não refletem a realidade de sazonalidade da precipitação observada sobre o Tocantins, tão pouco aqueles decorrentes da aplicação da equação de intensidade. Esta escala temporal permite inferir informações sobre chuvas intensas, de caráter excepcional, possíveis de ocorrer em qualquer momento, mas com probabilidade extremamente baixa, quase nula, no período seco do ano.

Para compreender o comportamento sazonal dos eventos de precipitação deve-se observar os resultados obtidos em escala mensal, que também constam na Figura 40. O padrão comportamental observado em escala anual persiste na escala mensal, tanto na distribuição da frequência dos dados da série histórica de precipitação máxima diária mensal, quanto da curva IDF cujos dados foram estimados pela aplicação da distribuição de probabilidade.

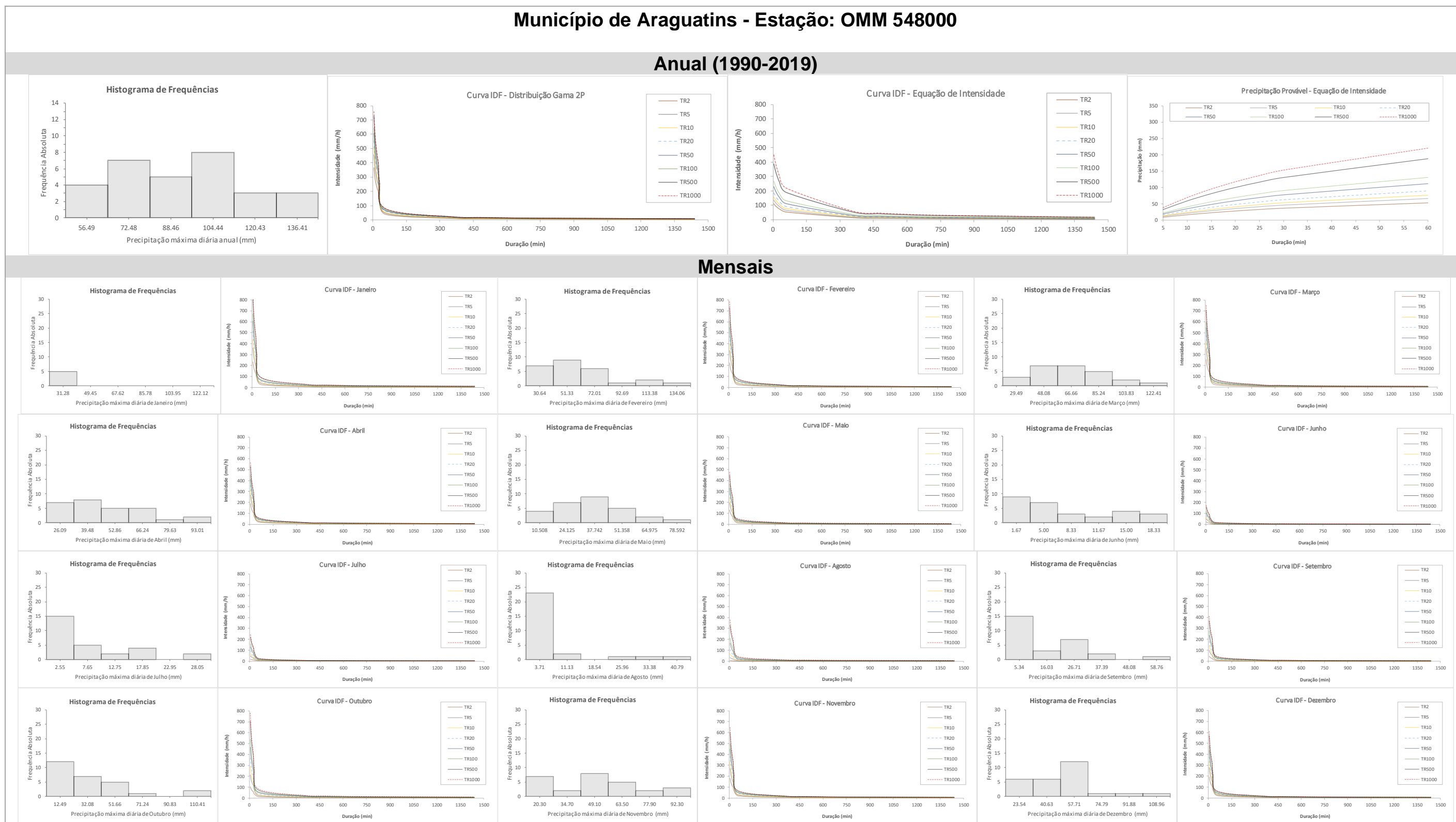
Nesta escala de tempo chama atenção a magnitude dos eventos de chuvas intensas expectados pela IDF. Mesmo no período mais seco do ano, entre os meses de maio e setembro, são identificados

eventos com intensidade superior a 300mmh^{-1} , considerando eventos de menor duração e maior tempo de retorno, exceto no mês de junho. Este resultado mostra que, por exemplo, considerando o mês de julho, no município de Araguatins, pode ocorrer pelo menos um evento de precipitação intensa, com duração de 5 minutos e intensidade superior à 300mmh^{-1} , no mês de julho de um ano qualquer, no decorrer de um período de 1000 anos ($\text{TR} = 1000$ anos).

Este tipo de análise permite avaliar quando é necessário intensificar ou afrouxar ações de políticas públicas dependentes de eventos extremos de precipitação, possibilitando adicionar a sazonalidade como um componente na avaliação de risco.



Figura 40. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Araguatins. Dados do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.2. Darcinópolis

Segundo o portal CIDADE-BRASIL (2020) e SEPLAN (2016), Darcinópolis está inserida na região programa Extremo Norte ou Bico do Papagaio, em uma altitude de 289 metros. Observa-se em SEFAZ (2019d) que o município localiza-se sobre parte de duas bacias hidrográficas, são elas: Bacia do Ribeirão Corda, que abrange a região oeste do município; e a bacia do rio Tocantins, que abrange as regiões central e leste. O município apresenta cinco unidades geomorfológicas, as quais são: Chapadas e Planos do Rio Farinha, na maior parte das regiões central e leste; Depressão do Médio Tocantins na região oeste; Patamar de Porto Franco - Fortaleza dos Nogueiras em parte da região norte; Planícies Fluviais no extremo leste, nas regiões fronteiriças. Dados da SEPLAN (2007) apresentam cinco tipos de cobertura e uso do solo no município, os quais são: Cerrado Sentido Restrito, Campo, Cerradão, Capoeira e Agropecuária.

O Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016) traz, que mesmo sem definição de um atrativo turístico específico, o município faz parte do Programa de Regionalização do Turismo, na classe Vale dos Grandes Rios, se inserindo também no Mapa do Turismo Brasileiro do Ministério do Turismo.

A partir da análise climatológica de Darcinópolis, constata-se que em toda a faixa central que corta o município de norte a sul a temperatura máxima anual varia entre 30°C e 31°C e na faixa leste e no noroeste darcinopolino varia entre 32°C e 33°C. Agosto e setembro são os meses mais quentes, cuja temperatura máxima pode chegar a 35°C em quase todo o município. A temperatura média anual varia entre 24°C e 27°C. Quanto a temperatura mínima anual do ar os valores prevaletentes encontram-se entre 20°C e 21°C, porém nos pontos elevados dos morros do Chapéu, Redondo e Pelado os valores ficam entre 18°C e 19°C. Durante o mês de julho os valores mais baixos de temperatura do ar, entre 16°C e 17°C se espalham por todas as áreas darcinopolinas.

O regime anual de chuvas que prevalece no município apresenta total acumulado entre 1408mm e 1536mm, com valor chegando a 1664mm apenas no extremo noroeste de Darcinópolis. Em março são registrados os maiores valores mensais, entre 260mm e 280mm. O período chuvoso de Darcinópolis tem duração entre 190 e 200 dias na metade noroeste e na outra metade dura entre 180 e 190 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de novembro e abril, quando são observadas, em média, a ocorrência de 7 a 8 veranicos anualmente. O Mês de março apresenta a maior quantidade de dias com registro de chuva, totalizando até 18 dias. A metade noroeste do município registra entre 78 e 98 dias de chuvas anualmente e a metade sudeste registra, em média, de 88 a 98 dias de chuva por ano.

Este município apresenta moderado excedente hídrico no verão, com valores anuais entre 200mm e 400mm, verificando-se fragmentos esparsos na metade oeste do município com grande excedente hídrico, cujos valores estão entre 400mm e 600mm, e áreas bem restritas ao norte com excedente pequeno ou nulo. O mês de maior excedente hídrico é março com valores mensais entre 100mm e 140mm. A deficiência hídrica anual, entre 370mm e 640mm, é menor no leste e no norte e maior nas demais áreas, tendo-se o período entre os meses de junho a outubro marcante deficiência hídrica, com maior intensidade em agosto (>150mm). A maior parte do município se classifica com deficiência hídrica moderada no inverno, mas nos extremos norte, noroeste e sul de Darcinópolis identifica-se áreas com grande deficiência hídrica no inverno. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: predomínio do clima subúmido seco com deficiência hídrica



moderada no inverno, grande deficiência hídrica é constatada nas divisas administrativas do município tanto ao norte quanto ao sul e leste; no noroeste verifica-se o clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno, mas com poucos fragmentos de grande deficiência. Segundo a classificação climática de Koppen-Geiger o clima é tropical com estação seca de inverno.

Os dados hidrológicos aplicáveis à Darcinópolis, em escala mensal e anual, são apresentados no mosaico de gráficos que consta na Figura 41. Lembra-se que os dados coletados na estação de Darcinópolis foram descartados por apresentarem muitas falhas (ausência de dados), sendo substituídos por dados de uma outra estação próxima que atendessem aos critérios pré-estabelecidos. Por isso, os dados de precipitação utilizados para a elaboração dos gráficos foram obtidos da estação localizada no município de Wanderlândia.

Acompanhando-se o histograma de frequências da precipitação máxima diária anual, verifica-se que os eventos de chuva que acumularam valores da ordem de 69mm são os mais frequentes, seguidos imediatamente por eventos que acumularam 86mm. A distribuição dos dados mostra-se levemente concentrados à esquerda, na direção dos menores valores.

Aplicando-se a distribuição de probabilidade Gama 2P, na série histórica de precipitação máxima diária anual, foram obtidas curvas IDF, onde verifica-se que a intensidade do evento de chuva será maior quanto menor for a duração estimada para o referido evento. Menores intensidades são estimadas para eventos mais duradouros. Este padrão independe do tempo de retorno do evento de chuva. Quanto maior for o tempo de retorno, isto é, menos frequente for o evento, maiores valores de intensidade devem ser esperados, e, tão maior quanto menor for a duração do evento.

Considerando que os dados usados para obter-se os resultados aqui discutidos foram coletados na estação de Wanderlândia, então, as curvas IDF geradas pela aplicação da distribuição de probabilidade não são as mais adequadas para avaliação de chuvas intensas sobre o município de Darcinópolis. Os resultados gerados com a distribuição de probabilidade são mais genéricos, baseado em valores médios da série histórica e, portanto, mais flexíveis para aplicação em locais próximos e com características semelhantes ao local onde os dados da série histórica foram obtidos. Entretanto, segundo a OMM um pluviômetro ou pluviógrafo apresenta uma área de influência da ordem de 50km², ou seja, em uma área circular com cerca de 4km de raio tendo o equipamento localizado no centro da área. Darcinópolis fica aproximadamente 28km distante de Wanderlândia, e muitos fatores podem resultar em alteração no padrão de precipitação pluviométrica de uma localidade para a outra.

Considerando eventos de chuva com duração de 5 minutos estima-se intensidades entre 336,5mmh⁻¹ e 784,4mmh⁻¹ em Darcinópolis, correspondendo aos TRs de 2 e 1000 anos, respectivamente. Para duração de 1440 minutos (24 horas), e mesmos TRs, as intensidades de precipitação estimadas variam entre 3,9mmh⁻¹ e 9,1mmh⁻¹. Lembra-se que a duração da precipitação tem relação direta com o tempo de concentração da bacia hidrográfica na qual está ocorrendo o evento de chuva, devendo-se associar as durações menores com bacias hidrográficas de menor área, e durações maiores com bacias hidrográficas de maior área.

Para fins práticos, serão apresentados na Tabela 12 alguns valores de intensidade de precipitação, úteis para o município em análise. Toma-se como exemplo os valores de tempo de retorno apresentados em Collischonn e Dornelles (2015), e adotados para projetos de estrutura de drenagem

em São Paulo, os quais são: microdrenagem, TR de 2 a 10 anos; macrodrenagem, TR de 50 anos; grandes corredores de tráfego e, também, locais em que há risco de perdas de vidas humanas, TR de 100 anos; e, por fim, áreas de edificações de uso estratégico, TR de 500 anos. As durações escolhidas contemplam os extremos (5 e 1440 minutos) e ainda 30 e 60 minutos.

Tabela 12. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh^{-1}] em Darcinópolis – TO, obtida pela distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Intensidade Máxima para Duração e TR (mm/h)						
Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)					
	TR2	TR5	TR10	TR50	TR100	TR500
5	336,5	434,9	493,2	607,1	650,9	745,8
30	122,1	157,8	178,9	220,2	236,1	270,5
60	34,6	44,8	50,8	62,5	67,0	76,8
1.440	3,9	5,1	5,7	7,1	7,6	8,7

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Gerou-se a Equação 21 para estimativa da intensidade da precipitação. Mais uma vez, lembra-se que esta equação se constitui por parâmetros característicos do local de obtenção dos dados da série histórica, portanto, Wanderlândia. As informações obtidas pela aplicação desta equação podem ser a mais adequadas para Darcinópolis, uma vez os dois municípios são muito próximos e apresentam características físicas semelhantes.

$$I = \frac{9776,14 \text{ TR}^{0,19}}{(t + 69,25)^{1,07}} \quad (\text{Eq. 21})$$

Observa-se que os resultados obtidos a partir da Equação 21 se aproximam dos valores advindos da aplicação da distribuição de probabilidade à medida que a duração do evento de chuva aumenta, e a aderência torna-se tão melhor quanto maior a frequência do evento estimado.

A precipitação provável, cujo ponto de partida para sua obtenção são os valores de intensidade estimados pela Equação 21, portanto representativa de Wanderlândia, mostra que os volumes acumulados são menores considerando menores durações e eventos mais frequentes, menor TR. Observando-se uma duração específica, por exemplo de 5 minutos, identifica-se que a precipitação provável nos diferentes tempos de retorno estão mais concentrados do que em eventos com duração de 60 minutos. Estes dois comportamentos são determinados por um limite físico, pois somente 4% do volume atmosférico pode ser ocupado por vapor d'água, elemento essencial para a formação da chuva. Quanto menor a estimativa de duração do evento mais limitada encontra-se o fornecimento de umidade para atmosfera, observando-se o contrário para eventos mais duradouros.

Quando observa-se os resultados em escala mensal, pode-se obter informações importantes considerando a sazonalidade da precipitação em todo o Tocantins. De um modo geral, a distribuição da frequência dos dados da série histórica de precipitação máxima diária mensal e das curvas IDF, cujos dados foram estimados pela aplicação da distribuição de probabilidade, apresentam um padrão muito semelhante aos dados de escala anual.

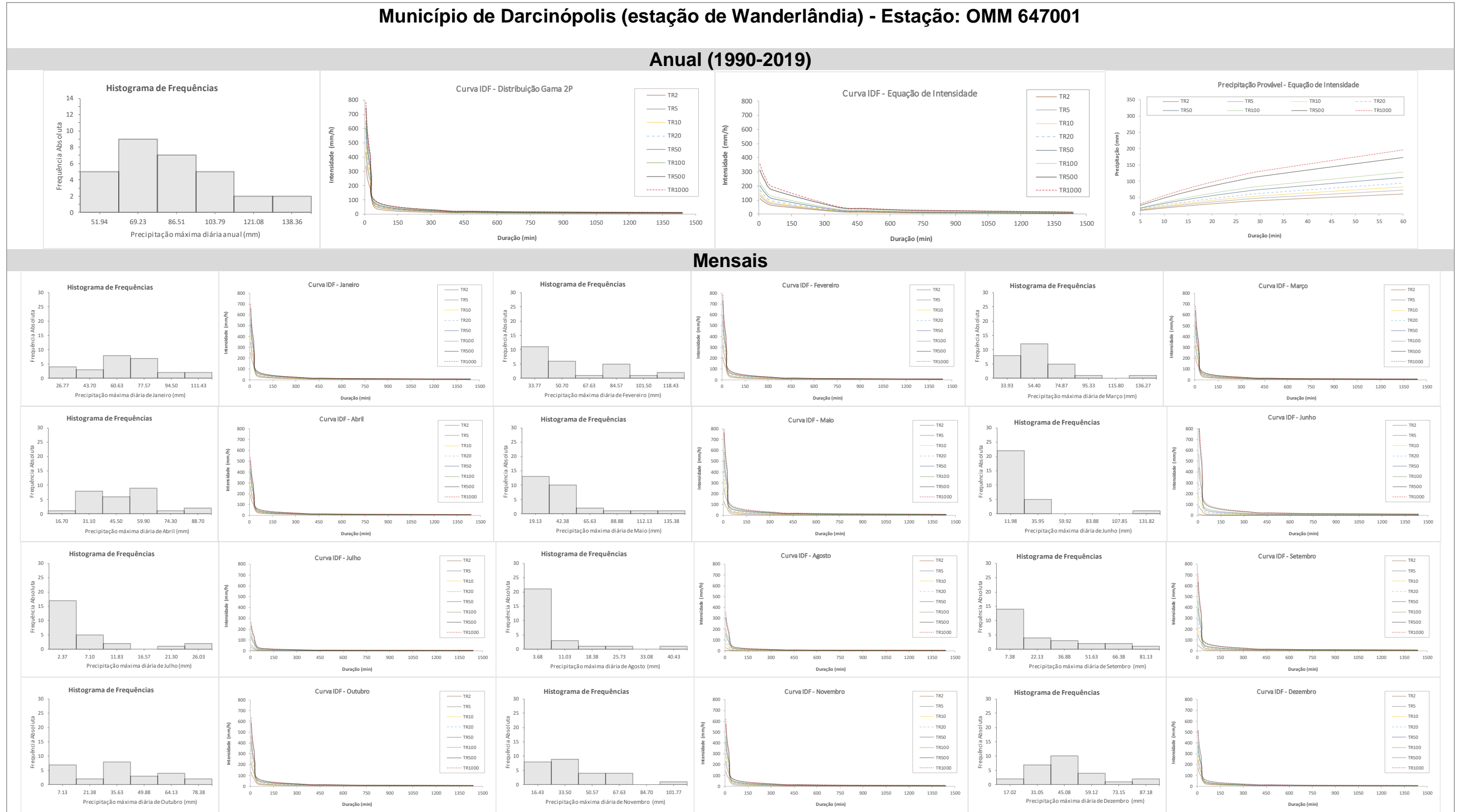
Em escala mensal é possível identificar a sazonalidade dos eventos de chuvas intensas, com os valores mais elevados concentrados no primeiro semestre do ano civil e valores menores prevalecendo no



segundo semestre. Esta informação é muito relevante quando a gestão ambiental e dos recursos naturais está direcionada para a produção agrícola. Estes dados possibilitam o dimensionamento de drenagem, reservatórios, sistemas de irrigação muito mais adequados e econômicos.

A adoção de políticas públicas com intuito de prevenir ou mitigar as consequências decorrentes de eventos extremos de precipitação intensa, podem e devem fazer uso de informações das curvas IDF e de precipitação provável, em ambas escalas temporais. Tais informações dão suporte a gestão de recursos hídricos, independentemente do uso final ao qual se destina tal recurso, e a sazonalidade constitui-se um novo componente na avaliação de risco.

Figura 41. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Darcinópolis. Dados do período 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.3. Tocantinópolis

O município com 22.845 habitantes, de acordo com a estimativa do IBGE para o ano de 2020, também situado-se na região Bico do Papagaio, às margens do rio Tocantins, estando totalmente inserido na bacia hidrográfica deste rio, e tem 162 metros de altitude. Três unidades geomorfológicas estão presentes no município: Patamar de Porto Franco - Fortaleza dos Nogueiras, ocupando a maior parte do território; Depressão de Imperatriz, ocupando parte da região norte; e Planícies Fluviais, ocupando parte da região nordeste. Apresenta quatro principais tipos de cobertura e uso do solo: Cerrado Sentido Restrito, Capoeira, Cerradão e Agropecuária. Cabe destacar a vasta área indígena Apinayé que cobre o município (IBGE, 2013; SEPLAN, 2007; 2016; 2019d; CIDADE-BRASIL, 2020)

Segundo dados da SEPLAN (2016) as praias às margens do rio Tocantins são atrativos turísticos importantes do município, que faz parte do Programa de Regionalização do Turismo, na classe Bico do Papagaio, e está incluído no Mapa do Turismo Brasileiro do Ministério do Turismo, e, também, compõem o corredor ecológico Tocantins-Araguaia. As margens do rio Tocantins enquadram-se como área apta à instalação de infraestruturas voltadas à navegação de acordo PNIH. Atualmente, do trecho do rio Tocantins que passa por Tocantinópolis, somente a porção mais ao sul é navegável, mas apenas nos períodos de cheia.

Pelas características de Tocantinópolis, e por sua importância para a região programa na qual se insere, ter um robusto conhecimento da climatologia do local traz imensurável ganho para o enfrentamento de dificuldades advindas de eventos meteorológicos. Apesar da área urbana ser bastante pequena, ela encontra-se, praticamente em sua totalidade, sobre a planície de inundação do rio Tocantins, situação preocupante em períodos de cheia, pois as enchentes urbanas constituem-se em um importante risco para a sociedade.

Da análise climatológica do município, constata-se que grande parte de sua área apresenta temperatura mínima anual do ar em torno de 21°C, porém nas áreas ribeirinhas de rio Tocantins fica em torno de 23°C. Entre os meses de junho e agosto são registrados os menores valores mensais, entre 18 e 19°C. A temperatura média anual do ar fica entre 24°C e 27°C. Sua temperatura máxima anual fica entre 32°C e 33°C na maior parte do território, mas com valores entre 30°C e 31°C na Serra do Caboclo Chanta. Nos meses de agosto, setembro e outubro são registrados valores de $T_{\text{máx}}$ de até 35°C.

O regime anual de chuvas tem total acumulado entre 1408mm e 1536mm. O período chuvoso dura entre 180 e 190 dias, com uma faixa muito estreita no extremo oeste do município com valores entre 190 e 200 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de novembro e abril, quando são observadas, em média, a ocorrência de 7 a 8 veranicos anualmente. O mês de março é o mais chuvoso, apresentando acumulado pluviométrico mensal de 280mm, e a maior quantidade de dias com registro de chuva, totalizando até 18 dias. Em termos anuais o município de Tocantinópolis registra entre 78 e 88 dias de chuva.

Apresenta moderado excedente hídrico no verão, com valores anuais entre 120mm e 400mm, com predomínio de valores entre 200mm e 400mm. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de fevereiro e abril, sendo março o mês com maior excedente (até 140mm). A deficiência hídrica anual

varia entre 400mm e 760mm, com os menores valores alocados no oeste e no centro-sul do município. O período de deficiência ocorre prioritariamente entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto. A maior parte do município se classifica com deficiência hídrica moderada no inverno. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: predominantemente clima subúmido seco com grande deficiência hídrica no inverno, e alguns aglomerados no centro-sul e oeste com clima subúmido seco com deficiência hídrica moderada no inverno. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger Tocantinópolis apresenta clima tropical com estação seca de inverno.

Na Figura 42 está disponível o mosaico de gráficos gerados a partir de dados hidrológicos do município de Tocantinópolis. As informações contidas neste mosaico dão suporte ao estudo de chuvas intensas, em escala mensal e anual. Lembra-se que conhecer os processos e suas consequências possibilita planejar a ocupação e gestão dos espaços, minimizando impactos econômicos, sociais e ambientais.

Pode-se verificar no histograma de frequência da precipitação máxima diária anual que, dos dados coletados entre os anos de 1990 e 2019, a maioria pertence à classe cujo valor médio é da ordem de 88mm, incorporando pouco mais de 30% do total de dados. A média da série histórica de precipitação máxima diária anual é de 95,57mm, então, pela distribuição de frequência observa-se que os dados se concentram em valores abaixo da média, ou seja, foram registrados mais eventos de chuvas intensas com volume acumulado abaixo de 95,57mm do que acima deste valor.

Foi aplicada a esta série histórica a distribuição de probabilidade Gama 2P, da qual verifica-se que os valores de precipitação máxima anual registrados correspondem a eventos de chuvas intensas com tempo de retorno de até 42 anos. Muitas das infraestruturas necessárias para garantir menores impactos sociais, econômicos e ambientais necessitam de dados de chuva com tempos de retorno bem superiores. Por isso a referida distribuição de probabilidade foi aplicada para se estimar precipitações intensas para tempos de retorno (TR) específicos, que são de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos, os quais contemplam infraestruturas de microdrenagem de pequenas áreas coletoras até projetos de reservatórios de água de grandes bacias contribuintes. Os resultados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Estimativa da precipitação máxima diária anual para Tocantinópolis – TO, considerando diferentes tempos de retorno (TR).

TR (anos)	Precipitação máxima diária anual (mm)
2	93,6
5	114,9
10	127,2
20	138,0
50	150,8
100	159,7
500	178,9
1.000	186,6

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Estes dados da Tabela 13 mostram que pode esperar-se a ocorrência de um evento de chuva, com o correspondente valor acumulado diário, em um ano qualquer no período do respectivo TR. Para



exemplificar, considerando o TR de 100 anos, deve ocorrer um evento de precipitação, que acumule 159,7mm de chuva em 24 horas, em pelo menos um ano qualquer no transcorrer dos 100 anos. Como estes resultados são obtidos por uma distribuição de probabilidade, existe uma incerteza associada a eles, ou seja, pode ser que não ocorra nenhum evento de uma magnitude específica no período de seu respectivo TR, ou pode ser que ocorram dois eventos ou mais. A acurácia aumenta com a diminuição do TR.

A partir da precipitação estimada para cada TR é possível obter as diversas intensidades que os eventos de chuva podem apresentar, considerando-se diversas durações para os eventos, obtendo-se, assim, desejadas curvas IDF. Os resultados obtidos pela aplicação da distribuição de probabilidade, apresentados na Figura 44, mostram intensidade entre $4,5\text{mmh}^{-1}$ para TR de 2 anos e duração de 1440 minutos até o valor máximo de $761,4\text{mmh}^{-1}$ considerando o TR de 1000 anos e duração de 5 minutos.

Como alternativa para a obtenção de curvas IDF para Tocantinópolis, com resultados mais realísticos, obteve-se a Equação 22. A partir desta pode estimar-se a intensidade do evento de chuva considerando o tempo de retorno (TR) e a duração (t) mais adequados ao projeto a ser desenvolvido.

$$I = \frac{9862 \text{ TR}^{0,19}}{(t + 69,64)^{1,07}} \quad (\text{Eq. 22})$$

As curvas obtidas a partir desta equação, em escala anual, também estão apresentadas na Figura 44, onde identifica-se valores de intensidade da precipitação máximos subestimados, quando comparados aos resultados obtidos com a distribuição de probabilidade, considerando-se eventos de chuva com duração inferior a 60 minutos. Para eventos mais duradouros os valores obtidos tornam-se muito similares, porém agora com dados superestimados pela equação 22.

Segundo o IBGE (2013), Tocantinópolis apresenta 5,2% de domicílios com esgotamento sanitário adequado e, apenas, 2,9% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada, ou seja, com bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio. Satterthwaite *et al.* (2019) afirmam que o saneamento urbano inadequado, incluindo vazamentos e tratamentos de baixa qualidade, degrada os recursos naturais, principalmente os espaços abertos e as águas subterrâneas e superficiais, e as cidades devem garantir acesso universal ao saneamento seguro, confiável e acessível, para que todos os residentes urbanos possam levar vidas produtivas, saudáveis e prósperas. Resultados aplicáveis à projetos de infraestruturas que atendam as demandas citadas são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh^{-1}] do Tocantinópolis – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno adequados a projetos de microdrenagem.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)			
	TR2	TR5	TR10	TR20
5	110,3	130,9	149,0	169,6
10	102,9	122,1	139,0	158,2
15	96,4	114,4	130,2	148,2
20	90,6	107,5	122,4	139,4

25	85,5	101,5	115,5	131,5
30	80,9	96,0	109,3	124,4
60	61,0	72,4	82,4	93,8
360	16,9	20,0	22,8	26,0
480	13,0	15,4	17,5	19,9
600	10,5	12,5	14,2	16,1
720	8,8	10,4	11,9	13,5
1440	4,4	5,2	5,9	6,8

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Verifica-se que a intensidade dos eventos de chuva são maiores quanto menor for a duração estimada para o referido evento, e as menores intensidades são estimadas para eventos mais duradouros, independentemente do tempo de retorno. De outro ponto de vista, quanto maior o tempo de retorno, isto é, menos frequente for o evento de chuva, maiores valores de intensidade devem ser esperados.

Em regiões tropicais, onde é comum a ocorrência de um período chuvoso, se contrapondo a um outro seco, é importante observar a sazonalidade das curvas IDF (Figura 42). Da análise dos histogramas de frequência percebe-se a assimetria da distribuição entre os meses de abril e outubro, com dados de precipitação concentrados nos menores valores. No trimestre mais seco (junho-julho-agosto) cerca de 60% dos eventos de chuvas intensas acumulam valores abaixo de 6mm e somente 10% tem eventos entre 12mm e 25mm, tendo este último intervalo valores correspondentes aos 10% menores eventos de chuvas intensas do período mais chuvoso (janeiro-fevereiro-março). Então, fica evidente que o extremo inferior do período de chuvas é o extremo superior do período seco.

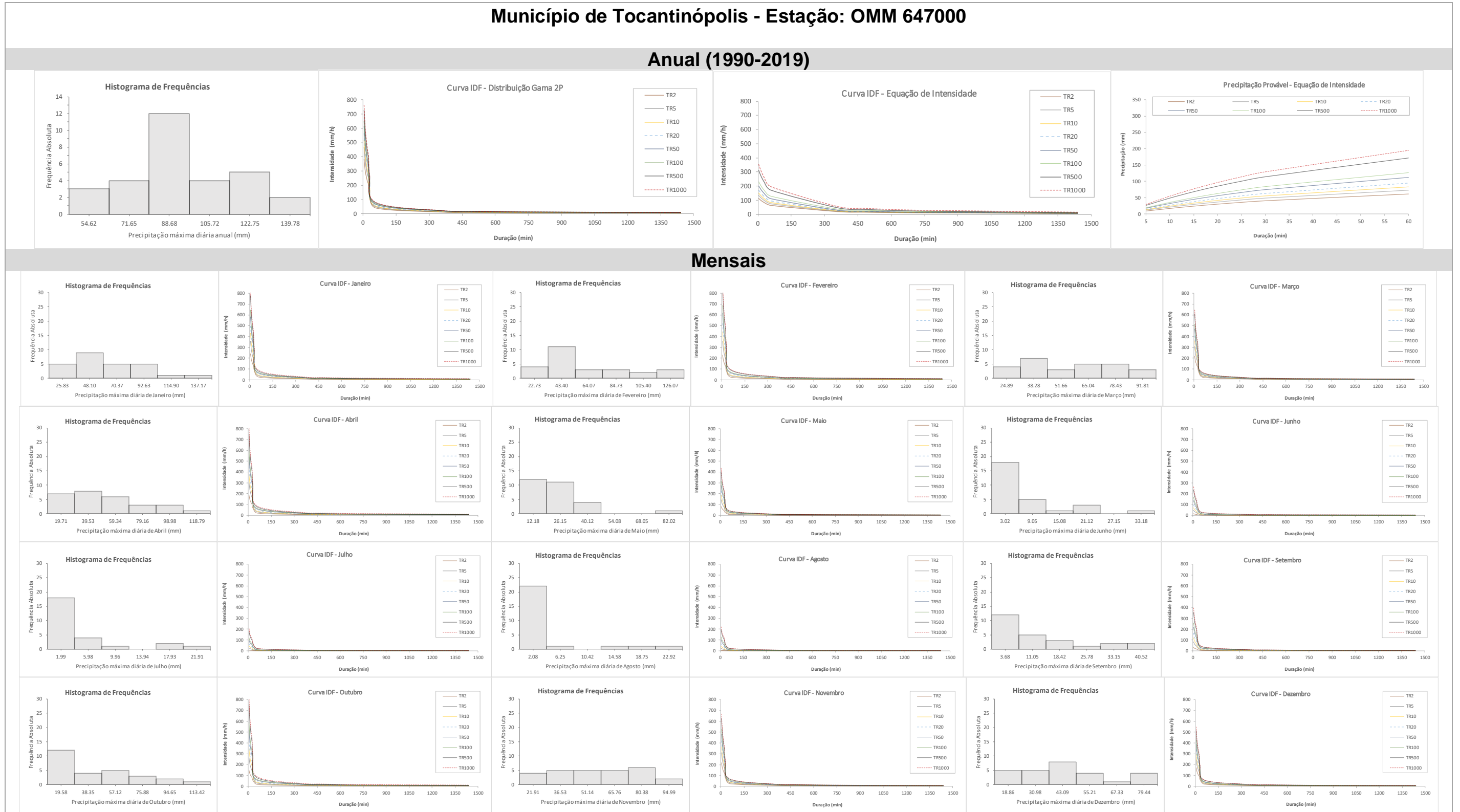
Tal padrão afeta sobremaneira a gestão dos recursos hídricos e o planejamento de infraestruturas de saneamento e abastecimento. O conhecimento da sazonalidade das curvas IDF auxilia na tomada de decisões, pois possibilita a adequação de projetos a tal realidade. Lembra-se que a obtenção dos resultados hidrológicos em escala mensal só é possível através da aplicação da distribuição de probabilidade, pois a equação de intensidade tem parâmetros fixos para o local, não refletindo a sazonalidade.

Ao analisar-se o período mais chuvoso, observa-se frequentes relatos na mídia local, e até de abrangência nacional, sobre a ocorrência de enchentes em Tocantinópolis, principalmente nos meses de fevereiro e março. No ano de 2018 foram emitidos alertas pela Defesa Civil de Tocantinópolis (2018) sobre a possibilidade de abertura de comportas da Usina Hidrelétrica de Estreito – MA, distante, aproximadamente, 29km de Tocantinópolis, o que poderia agravar ainda mais a cheia do rio Tocantins no trecho que passa pelo município. Cabe destacar que 2018 foi marcado pela ocorrência de um evento La Niña de moderada intensidade resultando em incremento no volume precipitado de chuva no Tocantins.

Então, é fundamental criar estruturas e métodos de mitigação para eventos extremos decorrentes dessa sazonalidade. Tucci (2003) destaca que as enchentes naturais extravasam a calha menor do rio, em média, a cada dois anos, ocupando, assim, seu leito maior, avançando sobre a planície de inundação. Logo podem ser analisados os dados de chuvas intensas para TR de 2 anos, para conhecer os processos e suas consequências, e planejar a ocupação do espaço urbano e adequar infraestruturas de Tocantinópolis, a fim de minimizar impactos ambientais, econômicos e sociais advindos de chuvas intensas.



Figura 42. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Tocantinópolis - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.4. Araguaína

Localizada na região programa Norte do Tocantins, Araguaína possui 183.381 habitantes de acordo com estimativas do IBGE para 2020 e é a primeira colocada da região nos quesitos IDH-M (0,752), esgotamento sanitário (2,45%) e implantação de rede de água (93,94% de atendimento). É o segundo município mais populoso do Estado e concentra cerca de 70% dos empregados tocantinenses em indústrias de alimentação de grande porte, por isso é conhecida como a capital econômica do Estado, tendo destaque na construção civil e na indústria de transformação. Além da agricultura e da pecuária, destacam-se o comércio local e o Distrito Agroindustrial, contando com quatro frigoríficos de referência nacional (IBGE, 2013; SEPLAN, 2016).

Levantamentos da SEPLAN (2007; 2016; 2019d) registram que o município participa de quatro bacias hidrográficas, as quais são: bacia do rio Araguaia, localizada no setor oeste do município; bacia do rio Muricizal, localizada na parte central; bacia do rio Lontra, cobrindo em quase toda faixa leste; e bacia do rio Tocantins, localizada na porção sudeste do município. Possui quatro unidades geomorfológicas: Depressão do Médio Tocantins, Depressão do Médio e Baixo Araguaia, Patamares do Araguaia e Planícies Fluviais. Apresenta cinco principais tipos de cobertura e uso do solo, que são: Agropecuária, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Cerrado Sentido Restrito, Capoeira e Cerradão. Sua altitude é de 286 metros.

O Diagnóstico da Dinâmica Social e Econômica do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2016) destaca Araguaína como um importante polo de desenvolvimento e comercial por estar estrategicamente situada no eixo da Transbrasiliana (BR-153) e da Transnordestina (EF- 232 e EF-116). O município também possui um aeroporto doméstico e dois aeródromos privados. Seu trecho do rio Araguaia apresenta navegabilidade sazonal.

Araguaína está inserido no bioma amazônico, abrange a Área de Proteção Ambiental das Nascentes de Araguaína, de uso sustentável e gestão estadual, e, também, faz parte do Programa de Regionalização do Turismo, na classe Vale dos Grandes Rios (SEPLAN, 2016).

É notável a importância deste município em nível estadual, mas principalmente regionalmente, e enorme também é sua responsabilidade perante as necessidades econômicas, ambientais e da sociedade. Portanto, os estudos climáticos subsidiam a tomada de decisões no que tange a prevenção e mitigação de impactos oriundos de eventos meteorológicos. Compreender, especialmente, o comportamento hídrico da atmosfera é condição essencial para projetos de infraestruturas e ocupação dos espaços, bem como para planejar ações de controle de zoonoses e enfermidades ligadas as condições climáticas, ao acesso à água potável e ao saneamento básico.

A análise climatológica de Araguaína, mostra que a maior parte do município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 20°C, porém às margens do rio Araguaia ocorrem valores de 22°C, e nos pontos altos da divisa com Carmolândia tem valores de até 18°C. No mês de julho são registrados as menores temperaturas mensais, de até 16°C, nos pontos de maior altitude do município. Sua temperatura máxima anual fica em torno de 33°C na maioria das áreas, mas os pontos mais elevados tem valores máximos de 31°C. Com $T_{máx}$ chegando aos 35°C, os meses de agosto e setembro são os mais quentes do ano em Araguaína.

O regime anual de chuvas tem total acumulado entre 1664mm e 1792mm, com menores volumes no extremo oeste e sudeste de Araguaína, e maiores volumes na faixa de divisa entre Aragominas e



Carmolândia. No mês de março são registrados os maiores acumulados mensais, superiores a 280mm. O período chuvoso araguanense dura entre 190 e 200 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de outubro e abril, quando são observadas a ocorrência, em média, de 7 ou 8 veranicos anualmente. No mês de março podem ocorrer períodos de até 18 dias com precipitação superior a 1mm. Novembro é o primeiro mês de chuva significativa sobre Araguaína, depois de mais de seis meses com pouquíssima chuva. Eventos extremos de precipitação, podem reverter-se em impactos irreversíveis para o setor agrícola, pois além do risco de perder lavouras recentemente implantadas com o retorno da estação chuvosa, podem provocar erosão e perda de adubagem, que por fim comprometem a qualidade da água nos mananciais hídricos.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão, com valores anuais entre 400mm e 600mm na maior parte do território, mas ocorrem valores entre 200mm e 400mm às margens do rio Araguaia. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a abril, sendo fevereiro o mês com maior excedente (>140mm). O município se classifica com grande deficiência hídrica no inverno, cujos valores variam entre 280mm e 580mm, tendendo à valores maiores na direção oeste. A excedência hídrica é verificada predominantemente entre os meses de junho e setembro, sendo mais intensas em agosto. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: clima subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno; somente às margens do rio Araguaia ocorre o clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno.

No mosaico de gráficos dos dados hidrológicos obtidos para o município de Araguaína, apresentado na Figura 43 é possível acompanhar diversas informações de eventos de chuvas intensas, mensal e anual, ocorridas e estimadas para o município.

Em escala anual, observa-se no histograma de frequência da precipitação máxima diária anual que os dados do período entre 1990 e 2019 se concentram mais frequentemente em valores menores, inclusive inferiores ao valor médio que é de 91,4mm. Percebe-se também que 21 dos 30 anos da série histórica, ou seja, 70% dos eventos analisados, se concentram em torno da média.

À esta série histórica foi aplicada a distribuição de probabilidade Gama 2P para obter-se a probabilidade de excedência dos eventos de precipitação máxima diária anual. O inverso da probabilidade corresponde ao tempo de retorno do respectivo evento de chuva intensa, e será tomado como exemplo TR de 18 anos, correspondendo a precipitação máxima diária anual de 124,8mm, evento ocorrido em 1999, lembrando-se que os anos de 1998 a 2000 foram marcados por eventos La Niña fraca e moderada, sequencialmente.

Mas a gestão urbana e ambiental, necessita de informações de eventos com menor frequência do que os dados reais nos ofertam, e essa necessidade é imediata em termos de tempo cronológico, ou seja, não pode-se aguardar que 20, 50, 100 anos se passe para se formar uma série histórica destas dimensões e obter resultados reais. Outra questão importante é que as dimensões espaciais envolvidas nos diversos projetos são muito variadas, logo a precipitação na área coletora não é homogênea, portanto, a duração dos eventos de chuva precisa ser discretizada para que se represente as áreas nas quais a precipitação será coletada, atendendo os critérios do projeto.

Para alcançar este propósito, aplicando-se a distribuição de probabilidade, obtém-se estimativas de volumes precipitados para cada TR que o projeto e a gestão venham a exigir. A desagregação dos

dados de chuva, que em sua origem tem escala temporal de até 24 horas (quando obtidas em pluviômetros), oferta a intensidade de chuva com durações inferiores a esta escala. Conforme já citado anteriormente, durações menores representam precipitações em bacias contribuintes também menores.

Com finalidade prática, retoma-se o exemplo do evento extremo de chuva de 1999, cujo valor máximo diário registrado no ano foi 124,8mm. Pela distribuição de probabilidade este valor corresponde a um evento que ocorre em um ano qualquer dentro de um período entre 10 e 20 anos, mais precisamente de TR de 14 anos. No gráfico da curva IDF por meio da distribuição de probabilidade, verifica-se que tomando esses tempos de retorno, a maior diferença entre as intensidades é observada para durações menores, de 5, 10 e 15 minutos, e que a partir de 25 minutos de duração os valores de intensidade convergem rapidamente para números mais próximos. Para facilitar o entendimento, apresenta-se na Tabela 15 um resumo das intensidades de precipitação considerando os TRs de 10 e 20 anos e toda a coleção de durações adotadas para este diagnóstico .

Tabela 15. Intensidade da precipitação máxima diária anual [mmh^{-1}] em Araguaína – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno de 10 e 20 anos.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)	
	TR10	TR20
5	490,4	530,1
10	389,4	420,9
15	336,5	363,8
20	292,1	315,7
25	262,5	283,7
30	177,9	192,3
60	50,5	54,6
360	14,4	15,6
480	11,7	12,7
600	9,9	10,7
720	8,5	9,2
1440	5,7	6,2

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Destes resultados pode-se inferir que, diante de um evento extremo dessa magnitude (compatível com TR de 18 anos) muitas áreas urbanas seriam facilmente alagadas, pois a intensidade estimada para projetos de redes de microdrenagem (bueiros, TR=2anos), são significativamente inferiores aos apresentados para as durações de 5 e 10 minutos considerando os TRs de 10 e 20 anos. Tendo em vista que apenas 2,45% da malha urbana de Araguaína é dotada de esgotamento sanitário, por rede geral e fluvial, encontra-se aqui subsídio necessário aos projetos de gestão de drenagem urbana.

Estimativas similares, também adotando distribuições de probabilidade, podem ser obtidas para valores de vazões mínimas, ou vazões específicas voltados para o abastecimento de água e outorga de recursos hídricos, informações especialmente importantes em regiões de sazonalidade da precipitação.



Outro método adotado para a obtenção da intensidade da precipitação é através da aplicação de uma equação de intensidade, estabelecida a partir de parâmetros geofísicos do local de estudo. A equação definida para o município de Araguaína é apresentada a seguir:

$$I = \frac{5958,93 TR^{0,17}}{(t + 49,74)^{0,97}} \quad (\text{Eq. 23})$$

Desta equação obtém-se qualquer valor de intensidade, para qualquer tempo de retorno e de qualquer duração, critérios estabelecidos e exigidos pelo projeto a ser desenvolvido. Também pode-se obter uma coleção de curvas IDF como as apresentadas na Figura 43, lembrando-se que os resultados são válidos apenas para este município e só refletem eventos de escala anual.

Porém, de acordo com as classificações climáticas desenvolvidas neste projeto, Araguaína apresenta clara sazonalidade na precipitação. Cerca de 80% da precipitação total anual se concentra em um intervalo aproximado de 200 dias, ou seja, em pouco mais de 6 meses (de outubro a abril) e no restante do período precipitam os 20% faltantes, principalmente nos meses de maio e outubro. Tal concentração temporal dos episódios de chuva potencializa os alagamentos e também as erosões. Por sua vez, a produção e carreamento de sedimentos para os mananciais hídricos podem comprometer a qualidade da água utilizada para o abastecimento.

Tanto a distribuição sazonal da precipitação máxima diária mensal quanto as curvas IDF geradas da aplicação da distribuição de probabilidade podem ser observadas na Figura 43, em escala mensal. Retomando o exemplo da precipitação máxima diária de 124,8mm, agora em escala mensal, verifica-se que este evento de chuva ocorreu em novembro de 1999. Em Araguaína, o valor médio da precipitação máxima diária mensal para novembro é de 56,6mm, portanto, o evento exemplificador é mais que o dobro do valor médio esperado para o mês. No histograma de frequência da variável em análise, o evento escolhido pertence a última classe, agrupando o extremo superior da série histórica. E para o mês de novembro, eventos dessa magnitude são esperados que ocorram uma vez, em um ano qualquer em um intervalo de 50 anos. Exemplos de intensidades correspondentes a eventos com este TR de 50 anos são mostrados na Tabela 16.

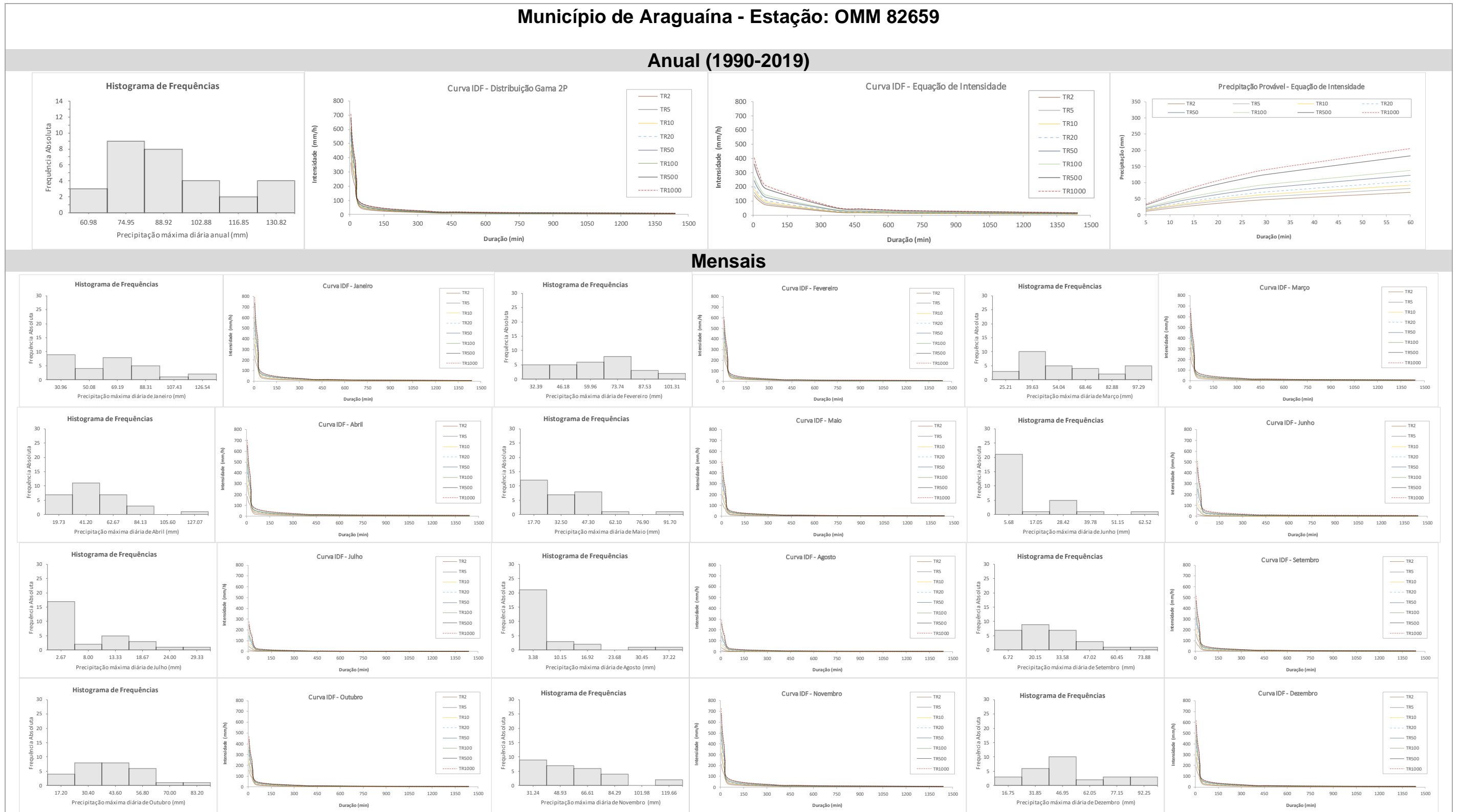
Tabela 16. Intensidade da precipitação máxima diária para o mês de novembro [mmh⁻¹] em Araguaína – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempo de retorno de 50 anos.

Duração (minutos)	5	10	15	20	25	30	60	360	480	600	720	1440
TR50	511,3	406,0	350,9	304,5	273,7	185,5	52,6	15,0	12,2	10,3	8,9	6,0

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Novembro inclui os primeiros eventos de chuva significativa sobre Araguaína, depois de mais de 6 meses de muito pouca precipitação. Eventos extremos, com a magnitude e condições de ocorrência do exemplo, podem reverter-se em impactos irreversíveis para o setor agrícola, pois aumentam o risco de perda por erosão e inundação de lavouras recentemente implantadas diante do retorno da estação chuvosa.

Figura 43. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Araguaína - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.5. Campos Lindos

O município pertence a região Nordeste, possui IDH-M de 0,544 e 10.312 habitantes, conforme estimativa do IBGE para o ano de 2020. Comparado aos demais municípios desta região Campos Lindos é a maior economia e o segundo mais populoso. Está localizado dentro da bacia hidrográfica do rio Manuel Alves Grande, a 328 metros de altitude, e assentado sobre quatro unidades geomorfológicas: Chapadões do Alto Parnaíba; Depressão do Médio Tocantins; Vãos da Bacia do Alto Parnaíba e Planícies Fluviais (IBGE, 2013; SEPLAN, 2016; 2019d; CIDADE-BRASIL, 2020).

O mapeamento da cobertura e uso da terra da SEPLAN (2007), aponta para cinco principais usos: Cultura Temporária, Agropecuária, Cerrado Sentido Restrito, Campo, e Mata de Galeria/Mata Ciliar. De acordo com SEPLAN (2016), o Monumento Natural da Serra da Cangalha, localizado em Campos Lindos, encontra-se em processo de transformação em unidade de conservação pelo governo estadual. O município também compõem o corredor ecológico Uruçuí-Mirador, de responsabilidade do Ibama/MMA.

O censo demográfico de 2010 (IBGE, 2013) revelou que somente 9,2% dos domicílios são atendidos por esgotamento sanitário. Estas baixas condições sanitárias contribuem para o aparecimento de doenças como o tracoma, que segundo SEPLAN (2016) acometeu até 10% da população campolindense entre 2008 e 2010.

As características fisiográficas do município, com elevada densidade da rede de drenagem natural de pequeno porte, evidenciam que os eventos de chuvas intensas podem resultar em pequenas e rápidas enxurradas e até deslizamentos de terra nas porções mais íngremes da microrrede de drenagem natural. As áreas mais sujeitas a enchentes e inundações se concentram: às margens do rio Manuel Alves Grande, onde as ocorrências podem ser mais severas; e também ao longo do Ribeirão do Centro e de outros afluentes do Rio Manuel Alves Grande, sobre a Chapada da Cangalha, onde se desenvolve a agricultura de lavouras temporárias. A área urbana do município é pequena, tem aproximadamente 6km². Por se localizar em uma região plana e elevada é pouco sujeita a ocorrência de enchentes e alagamentos.

A temperatura mínima anual do ar de Campos Lindos fica em torno de 20°C, ocorrendo em alguns poucos pontos de maior altitude da Serra Geral, na divisa com o Maranhão, valores de 18°C. No mês de julho são registrados os menores valores mensais, entre 18°C e 19°C, mas nos pontos de maior altitude do município são registrados valores de 16°C. A temperatura média anual varia entre 24°C e 27°C. A temperatura máxima anual fica em torno de 33°C na maior parte do município, porém nas partes elevadas da Serra Geral e da Chapada da Cangalha os valores máximos costumam ser inferiores a 31°C. Em agosto e setembro a $T_{máx}$ tem valores de 35°C em todo o município.

O regime anual de chuvas tem total acumulado entre 1408mm no extremo leste, aumentando para 1536mm na maior porção territorial e chegando a acumular 1664mm anuais no extremo oeste de Campos Lindos. No mês de janeiro são registrados os maiores valores mensais, entre 220mm e 260mm. O período chuvoso campolindense dura entre 180 e 190 dias na maior parte das regiões, porém na faixa sul fica entre 170 e 180 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de

novembro e abril, quando são observadas a ocorrência de até 8 veranicos por ano, em média. Entre os meses de janeiro e março podem ocorrer de até 16 dias com precipitação superior a 1mm.

O município tem predomínio de excedente hídrico moderado no verão, com valores anuais entre 200mm e 400mm em quase todo o território, observando-se áreas de abundante produção agrícola com valores entre 140mm e 180mm, e também ocorrem valores entre 400mm e 600mm em grandes porções do oeste e sudoeste de Campos Lindos, justamente onde o índice hídrico assume a classe de grande excedente hídrico no verão. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente (>100mm). O município se divide entre moderada e grande deficiência hídrica no inverno, cujos valores predominantes variam entre 520mm e 670mm, mas encontra-se diversas áreas, pequenas e dispersas, com valores entre 400mm e 520mm. A deficiência hídrica prevalece entre os meses de junho a outubro, sendo mais intensa em agosto. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: na metade leste observa-se faixas intercaladas, do leste ao centro, com clima subúmido seco grande e moderada deficiência hídrica no inverno, respectivamente; na metade oeste predomina o clima subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, mas há uma faixa, quase contínua de norte a sul desta metade, com clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno.

Na Figura 44 observa-se o conjunto de gráficos das variáveis hidrológicas, mensais e anual, utilizadas para análise em Campos Lindos. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e o gráfico e da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Os dados de precipitação máxima diária anual, que corresponde ao maior volume acumulado no decorrer de um ano, do período entre 1990 e 2019 ficaram entre 30,5mm e 147,6mm, com valor médio de 85,2mm. No histograma de frequência observa-se que os valores mais frequentes estão no intervalo entre 69mm e 89mm, correspondendo a 30% dos dados da série histórica. Apenas 13% da série localiza-se nos extremos do intervalo total de valores, identificando-se 2 anos na primeira classe, de valor central de 40,26mm, e outros dois anos na última classe de valor central 137,84mm. Estes resultados mostram que, em Campos Lindos, são muito mais frequentes os eventos de precipitação máxima anual cujos valores se aproximam da média, de 85,2mm, observando-se que 76% dos eventos se encontram em uma das três classes de maior frequência.

Os dois eventos mais severos de precipitação máxima diária anual registrados na série histórica acumularam 130,5mm e 147,6mm em 24 horas, com tempos de retorno de 16 e 47 anos respectivamente, ou seja, são eventos que podem ocorrer pelo menos uma vez em um ano qualquer em um período de 16 ou 47 anos. Como pode-se acompanhar no gráfico da curva IDF gerada pela distribuição de probabilidade, estes são eventos potencialmente intensos, que certamente sobrecarregariam até mesmo macrodrenagem da área urbana, se existente, e se o centro de massa da precipitação atingisse a cidade.

Em uma visão mais ampla, os processos de erosão são significativamente potencializados em eventos como este, e segundo Tucci (2012), agem modificando o sistema de drenagem existente e até mesmo destruindo o sistema de esgotamento sanitário. Cabe destacar, que a regulamentação de ações de controle dos impactos gerados pela erosão e assoreamento, sobre a drenagem urbana, recomenda o armazenamento da precipitação diária com tempo de retorno de até 2 anos, para posterior liberação do volume acumulado distribuído no tempo.



Para se obter dados de intensidade da chuva mais adequados ao município de Campos Lindos foi determinada a equação de intensidade da precipitação, apresentada a seguir:

$$I = \frac{2883,60 TR^{0,16}}{(t + 33,80)^{0,89}} \quad (\text{Eq. 24})$$

As curvas IDF geradas a partir da aplicação da Equação 24 também estão apresentadas em um gráfico que compõem a Figura 44. Nela observa-se que, o valor de intensidade com TR de 2 anos e duração de 480 minutos, compatível com a área urbana campolindense, é de $12,7\text{mmh}^{-1}$ e a precipitação provável associada a esta intensidade seria de aproximadamente 101mm. Esta análise mostra que, as ações de controle dos impactos gerados pela erosão e assoreamento, reduziriam significativamente os impactos, sobre a drenagem urbana, dos eventos de precipitação intensa exemplificadores, com TR de 50 anos, mas não controlariam totalmente.

Como já discutido, o relevo de Campos Lindos apresenta diversas áreas sujeitas a ocorrência de enxurradas e deslizamentos durante eventos de chuvas intensas, principalmente se estes ocorrerem no período chuvoso. Por isso, deve-se analisar a escala mensal dos dados gerados (Figura 44). Observando as curvas IDF, que relacionam a intensidade, a frequência e a duração das chuvas intensas, estimadas a partir da distribuição de probabilidade, é fácil perceber que a intensidade diminui à medida que aumenta a duração das chuvas e diminui o tempo de retorno do evento esperado.

As curvas IDF mostram maiores intensidades coincidindo com o período chuvoso de Campos Lindos, portanto, entre os meses de novembro e abril. Analisando os outros seis meses do ano hidrológico, verifica-se o decaimento nos valores de intensidade das chuvas intensas estimadas, de acordo com a redução proporcional nos volumes de chuva observados na série histórica (histogramas de frequência).

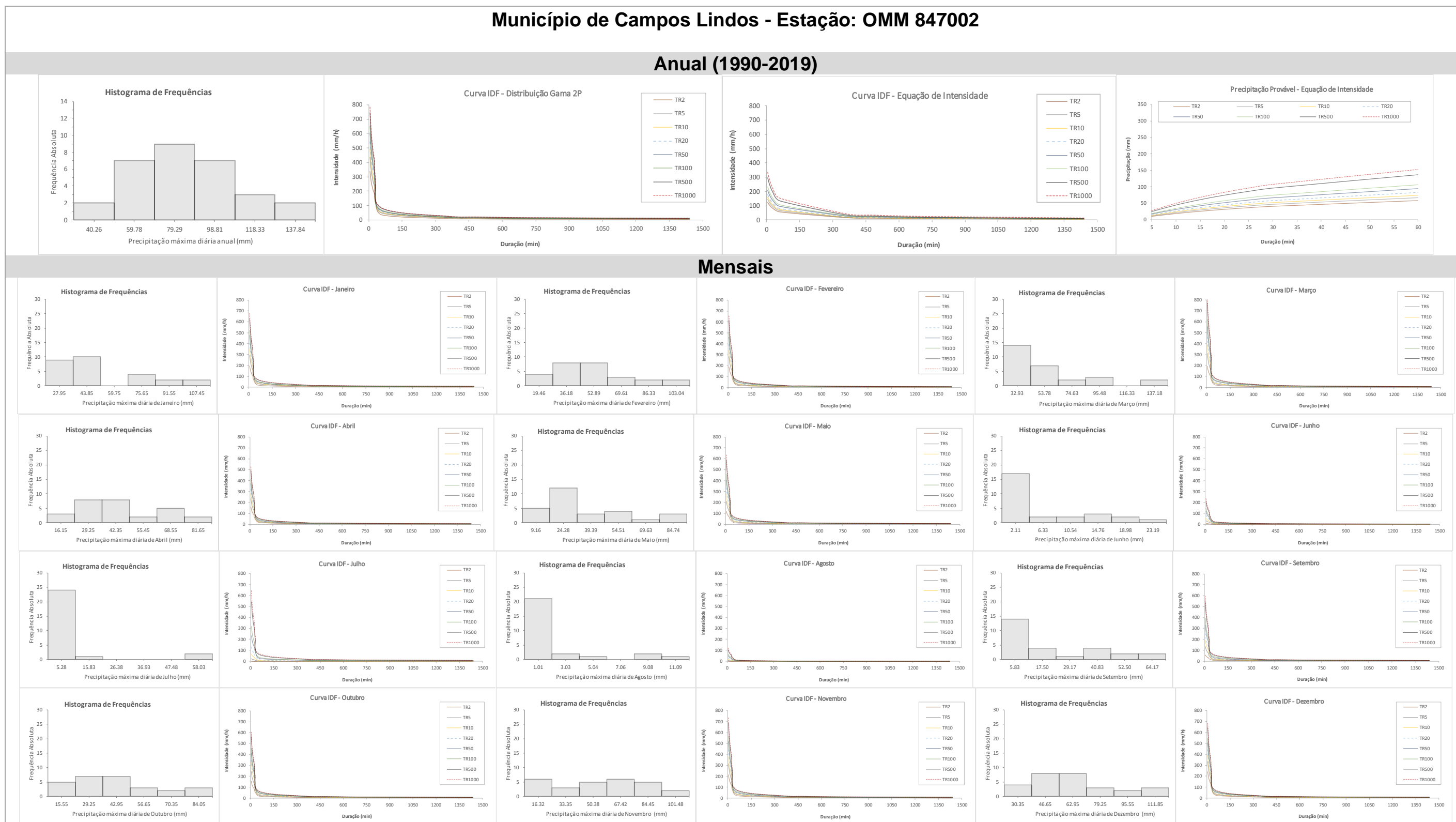
Dois situações podem ser destacadas e analisadas para este município. Na primeira coloca-se luz sobre os gráficos do mês de julho, que se insere no trimestre mais seco do ano neste município (junho-julho-agosto). Mesmo assim, seus resultados climatológicos mostram que a amplitude de valores de precipitação máxima diária neste mês (63,30mm) é muito superior aos outros dois meses de trimestre seco (junho=25,30mm; agosto=12,1mm). Algumas hipóteses podem ser levantadas, como efeitos de variabilidade multidecenal ou de respostas à mudanças climáticas. É curioso verificar que, em termos de valores médios, não se identifica nenhum comportamento discrepante dos dados de precipitação máxima diária para o trimestre seco, cujos valores são de 5,20mm, 5,58mm e 1,51mm para junho, julho e agosto, respectivamente.

A segunda situação diz respeito aos dados dos eventos de chuvas intensas já apresentados nesta discussão, que são os extremos da série histórica anual, de 147,6mm e 130,5mm. Estes dois registros se referem ao mês de março, um no ano de El Niño forte de 1997, e o outro no ano de La Niña moderada de 2010. O mês de março se insere no período chuvoso de Campos Lindos, e, em geral, são esperadas alterações de sinal positivo na variável precipitação quando da ocorrência de La Niña e de sinal negativo para El Niño. Uma hipótese que pode ser colocada nessa situação é de que outras interferências locais, ou de menor escala temporal que o fenômeno El Niño, prevaleceram nos dias específicos em que ocorreu o evento exemplificador.

O que pode-se concluir é a importância das curvas IDF como ferramenta para gestão de recursos hídricos e obras hidráulicas. Alterações no comportamento dos extremos podem resultar em grandes mudanças nos valores de intensidade das chuvas intensas estimadas, principalmente para eventos de maior tempo de retorno, cujo risco envolvido no projeto é proporcionalmente maior. Esta análise fica bem evidente no mês de julho.



Figura 44. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Campos Lindos - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.6. Pedro Afonso

O município de Pedro Afonso faz parte da região programa Nordeste, situando-se na porção sudoeste da região, às margens do rio Tocantins, a uma altitude de 201 metros. É o terceiro mais populoso município da região, e o décimo sétimo do Estado, e ocupa a primeira colocação regional, e terceira estadual, em termos de economia. Pedro Afonso também se destaca regionalmente por seu IDH-M (0,732). (IBGE, 2013; SEPLAN, 2016; CIDADE-BRASIL, 2020).

O abastecimento de água chega a 86,18% dos domicílios urbanos de Pedro Afonso, atendendo 10.016 habitantes, através de uma rede de distribuição municipal de 35km de extensão, que consomem um volume total de água de 122.666,67m³ por mês (SEPLAN, 2016). Segundo o censo de 2010 (IBGE, 2013), 52,3% dos domicílios são atendidos por esgotamento sanitário adequado, e somente 1,8% das vias públicas pedro afonsinas são urbanizadas, porém 83,9% são arborizadas.

O mapeamento de bacias hidrográficas do Tocantins (SEPLAN, 2019d), mostra que parte de três bacias hidrográficas compõem o território de Pedro Afonso, sendo elas: bacia do rio Tocantins, abrangendo a parte oeste; bacia do rio do Sono, na porção central; e a bacia do rio Perdida, abrangendo o setor leste. Segundo SEPLAN (2016) encontra-se sobre duas unidades geomorfológicas: Depressão do Médio Tocantins, ocupando quase toda área do município; e Planícies Fluviais, na faixa limítrofe do oeste e na região central. Segundo a SEPLAN (2007), a cobertura e uso da terra em Pedro Afonso se distribui entre Cerrado Sentido Restrito, Cerradão, Campo, Cultura Temporária e Agropecuária.

Dados da SEPLAN (2016) mostram que o trecho pedro afonsino do rio Tocantins é totalmente navegável em qualquer época do ano e suas praias são o principal atrativo turístico do município.

Nos mapas climatológicos do Tocantins, identifica-se para Pedro Afonso que, a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 20°C, ocorrendo valores de 23°C às margens dos maiores rios do município. O mês de julho é que registra as menores temperaturas com valores mensais, de 18°C. A temperatura média anual varia entre 26° e 27°C. Sua temperatura máxima anual fica entre 32°C e 33°C, chegando aos 37°C nos meses de agosto e setembro.

O regime anual de chuvas tem total acumulado entre 1408mm no extremo leste, aumentando para 1536mm nas porções centro e sudeste do território pedro afonsino e chegando a acumular 1664mm nas demais áreas do município. Nos meses de janeiro e março são registrados os maiores valores mensais, podendo chegar a 300mm. O período chuvoso dura entre 180 e 190 dias em Pedro Afonso, abrangendo os meses de novembro a abril, quando são observadas a ocorrência de até 7 veranicos por ano, em média. Entre os meses de janeiro e março podem ocorrer até 16 dias de precipitação superior a 1mm.

O município se divide em duas características relativo ao índice hídrico, na metade leste moderado excedente hídrico no verão e na metade oeste grande excedente hídrico no verão. Os valores de excedente hídrico variam entre 200mm e 400mm, de um modo geral, mas observa-se em uma faixa central com orientação norte-sul valores de até 600mm. Entre os meses de janeiro a abril observa-se o predomínio de excedente hídrico em Pedro Afonso. Quanto a deficiência hídrica, predomina no município moderada deficiência hídrica no inverno, com áreas esparsas ao norte com grande deficiência hídrica. Os valores predominantes desta variável oscilam entre 340mm e 610mm, com os maiores valores na faixa central, apresentando orientação norte-sul. A deficiência hídrica prevalece entre os meses de junho a setembro, sendo mais intensa em agosto. Estas condições lhe conferem a



seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: predomina o clima subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, e algumas pequenas áreas às margens do rio Tocantins e do rio do Sono com clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno.

Na Figura 45 observa-se o conjunto de gráficos das variáveis hidrológicas, mensais e anual, utilizadas para análise em Pedro Afonso. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

A série histórica de precipitação máxima diária anual, do período entre 1990 e 2019, tem valores que variam entre 46,3mm e 145,6mm, cuja média é de 94,14mm. Observa-se pelo histograma de frequência que a curva de Pedro Afonso apresenta assimetria em direção aos maiores valores, ou seja, o intervalo de classe que incorpora o maior número de eventos de precipitação máxima diária está a direita do valor médio, que inclusive se encontra no intervalo de classe número três. As características fisiográficas do município dão suporte a este padrão, em especial, se for observado que Pedro Afonso localiza-se entre dois grandes cursos d'água, o rio Tocantins e o rio do Sono, que atuam como fonte de umidade para atmosfera, estimulando a precipitação pluviométrica.

Após a aplicação da distribuição de probabilidade nos dados da série amostral, verifica-se que o valor médio possui tempo de retorno de 2 anos e o TR do evento extremo superior é de 42 anos. Eventos de chuvas intensas com tempos de retorno que incluiriam estes eventos citados, de 94,14mm e 145,6mm, possuem intensidades correspondentes aos valores expostos na Tabela 17, se considerada as diferentes durações do evento de chuva intensa.

Tabela 17. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Pedro Afonso – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno de 2, 20 e 50 anos.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)		
	TR2	TR20	TR50
5	376,3	552,4	603,1
10	298,8	438,6	479,0
15	258,2	379,1	413,9
20	224,1	329,0	359,2
25	201,4	295,7	322,9
30	136,5	200,4	218,8
60	38,7	56,9	62,1
360	11,1	16,2	17,7
480	9,0	13,2	14,4
600	7,6	11,1	12,1
720	6,5	9,6	10,5
1440	4,4	6,4	7,0

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Através da equação de intensidade obtida, especificamente, para o município de Pedro Afonso (Equação 25), pode-se fazer um comparativo entre os valores de intensidade obtidos pela distribuição de probabilidade e pela equação de intensidade. Observa-se através da comparação dos dados da Tabela 17 e Tabela 18, que os resultados obtidos pela equação são menores, devendo-se lembrar que estes também são mais realísticos. A comparação pode ser realizada diretamente entre os gráficos das curvas IDF.

$$I = \frac{8560,59 TR^{0,18}}{(t + 41,22)^{1,10}} \quad (\text{Eq. 25})$$

Tabela 18. Intensidade da precipitação [mmh⁻¹] em Pedro Afonso – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno de 2, 20 e 50 anos.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)		
	TR2	TR20	TR50
5	145,6	219,3	258,2
10	130,1	196,0	230,7
15	117,5	177,0	208,3
20	107,0	161,2	189,8
25	98,2	147,9	174,2
30	90,7	136,6	160,8
60	61,7	93,0	109,4
360	13,7	20,6	24,2
480	10,3	15,5	18,2
600	8,2	12,3	14,5
720	6,8	10,2	12,0
1440	3,3	4,9	5,8

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Quando analisa-se o gráfico de precipitação provável, cujos resultados são obtidos através da intensidade de chuvas intensas estimadas pela Equação 25, verifica-se que os eventos com até uma hora de duração resultariam em volumes acumulados de 61,7mm, 92,9mm e 109,4mm correspondendo aos TRs de 2, 20 e 50 anos.

Eventos com os tempos de retorno exemplificados causam impactos sobre o escoamento superficial cujos efeitos são rapidamente percebidos sobre a qualidade da água, a erosão e assoreamento do leito de rios e canais, e também causam inundações urbanas pela sobrecarga da rede de drenagem pluvial (TUCCI, 2012).

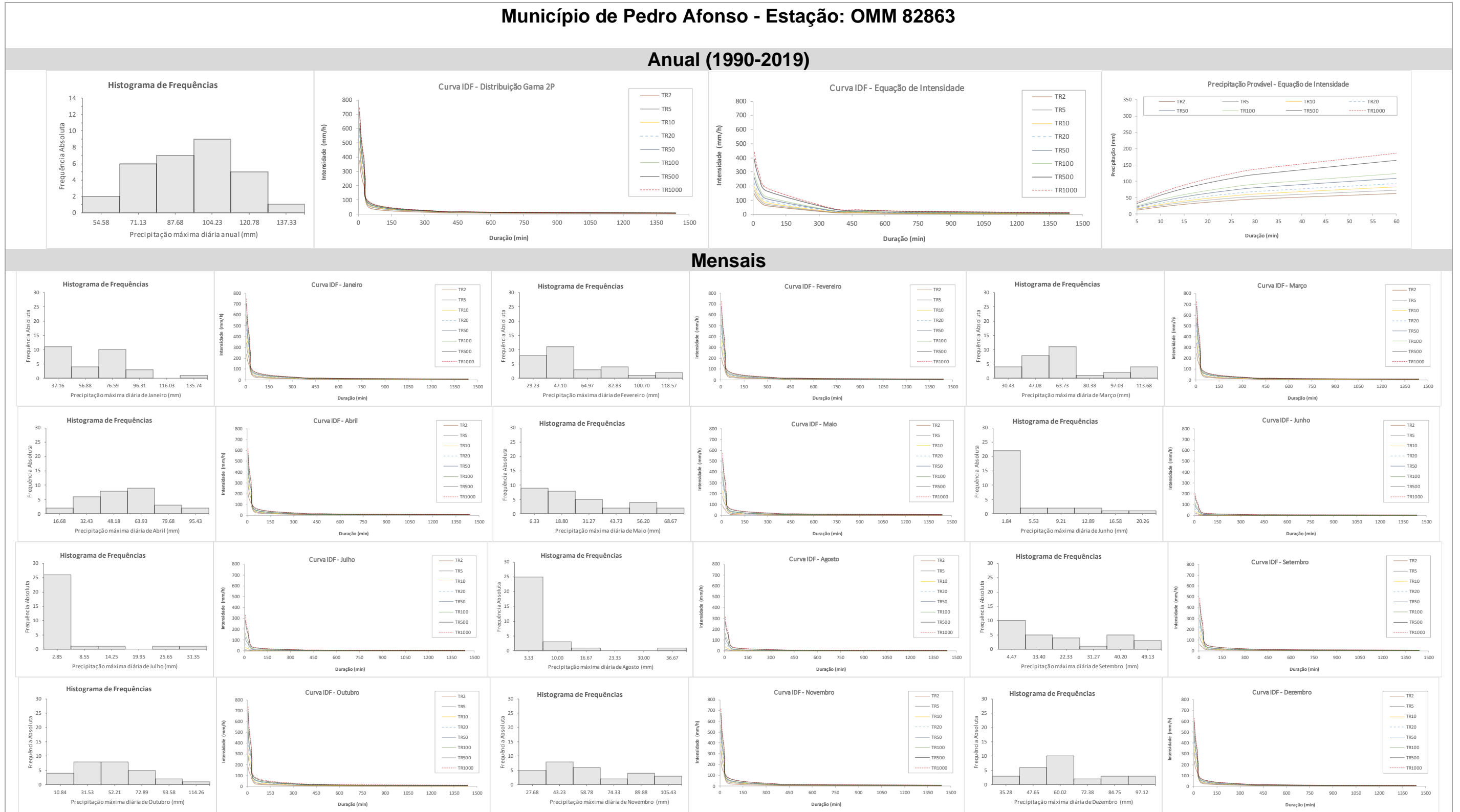
Para verificar a sazonalidade das variáveis hidrológicas em análise, deve-se observar o comportamento das mesmas nos gráficos apresentados na Figura 45, mas em escala mensal. No histograma de frequência observa-se que somente o mês de abril apresenta assimetria semelhante ao comportamento anual, com a classe de maior frequência posicionada na direção dos maiores valores da série histórica. Nos demais meses a assimetria ocorre em direção dos valores menores.



Os gráficos de intensidade, duração e frequência, gerados a partir da distribuição de probabilidade, não apresentam nenhum comportamento atípico que deva ser discutido. Vale ressaltar que os eventos de maior frequência (menor TR) são, comumente, os que mais transtornos causam às áreas urbanas, especialmente aqueles de menor duração. Tais eventos têm como característica áreas de coleta da precipitação muito pequenas e, conseqüentemente, a resposta ao escoamento superficial gerado é muito mais rápida, muitas vezes, impossibilitando, à tempo, a saída da população de áreas ribeirinhas ou zonas de alagamentos e inundações.

Destaca-se que, o valor máximo da série histórica anual, corresponde ao valor máximo da série histórica mensal do mês de janeiro, cujo valor é de 145,6mm, ocorreu no ano de 2016, ano de ocorrência de um fenômeno El Niño forte. Este fenômeno, em geral, promove um impacto de sinal negativo sobre a precipitação no Tocantins, mas os seus efeitos não são percebidos imediatamente após o seu estabelecimento.

Figura 45. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Pedro Afonso - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.7. Colinas do Tocantins

Localizado na região programa Noroeste, o município, com 35.851 habitantes (IBGE, 2020), é o primeiro mais populoso da região e o sétimo do Estado. Possui 30,7% de seus domicílios com esgotamento sanitário adequado e 95,07% são atendidos com abastecimento de água. Apresenta 83,9% das vias públicas arborizadas, mas apenas 0,1% com urbanização. (IBGE, 2013; SEPLAN, 2016).

Segundo dados da SEPLAN (2007; 2016, 2019d) o município está situado nas bacias hidrográficas do rio Tocantins, à leste, e do rio das Cunhas, mais à oeste, tem altitude de 235 metros, e se assenta sobre três unidades geomorfológicas: Planalto do Interflúvio Tocantins - Araguaia, na parte central e oeste; Depressão do Médio Tocantins, presente no leste do município; Patamares do Araguaia, algumas áreas na porção norte. A cobertura e uso do solo se divide assim: Agropecuária, ocupando de 70% a 80% do território colinense; Cerrado Sentido Restrito, apresentação frequente e dispersa; Capoeira, concentrada na porção leste; e Cerradão, presente em alguns pontos do município, principalmente, na metade sul. Encontra-se inserido no bioma amazônico.

Além de dois distritos industriais, Colinas do Tocantins conta com quatro unidades de produção de cerâmica vermelha, e, também, areia e seixo explorados esporadicamente, e apresenta ocorrência de rocha calcária, próximo ao rio Capivara. Todos esses recursos são escoados, principalmente, pela BR-153, que corta o município (SEPLAN, 2016).

A partir da análise climatológica de Colinas do Tocantins, identifica-se que, a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 20°C, ocorrendo valores de 23°C às margens do rio das Cunhas. No mês de julho são registrados os menores valores mensais, partindo de 18°C. Sua temperatura máxima anual fica entre 32°C e 33°C, chegando aos 35°C nos meses de julho, agosto e setembro.

O regime anual de chuvas tem total acumulado entre 1536mm e 1664mm na maioria das regiões colinenses, porém, no leste e no nordeste os valores ficam entre 1408mm e 1536mm. No mês de março são registrados os maiores valores mensais, entre 260mm e 280mm, atingindo o município de forma mais abrangente. O período chuvoso dura entre 180 e 190 na maior parte do território, e chega a 200 dias no norte e noroeste colinenses. O período chuvoso se espalha de final de outubro até abril, e neste período podem ocorrer até 8 veranicos por ano, em média. Nos meses de janeiro e março podem ocorrer de 14 a 18 dias com precipitação superior a 1mm.

O município apresenta duas classes relativas ao índice hídrico, no leste moderado excedente hídrico no verão e nas demais áreas grande excedente hídrico no verão. Os valores anuais de excedente hídrico variam entre 200mm na parte leste, aumentando até 600mm em direção ao oeste do município. Entre os meses de dezembro a abril observa-se o predomínio de excedente hídrico em Colinas do Tocantins. Quanto a deficiência hídrica, representada pelo índice de seca, na maior parte do município prevalece a deficiência hídrica moderada no inverno, mas observa-se pontos esparsos e dispersos na divisa sul com Bandeirantes do Tocantins e na faixa leste com grande deficiência hídrica no inverno. Os valores predominantes desta variável encontram-se entre 370mm e 600mm. A deficiência hídrica prevalece entre os meses de junho a setembro, sendo mais intensa em agosto. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: predomina o clima

subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, e faixa leste prevalece o clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno. O clima é tropical com estação seca no inverno segundo a classificação climática de Köppen-Geiger.

No mosaico de gráficos das variáveis hidrológicas obtidas para o município de Colinas do Tocantins, apresentado na Figura 46, é possível acompanhar diversas informações de eventos de chuvas intensas, mensal e anual, ocorridas e estimadas para o município. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Em Colinas do Tocantins, no decorrer dos anos entre 1990 e 2019, a menor precipitação máxima diária anual foi de 50,2mm, e o maior valor acumulado foi de 137,3mm, sendo 95,6mm o valor médio de toda a série histórica. Destas informações, e acompanhando o histograma de frequência da série amostral, identifica-se que a maior frequência de eventos de chuvas intensas se encaixam na terceira classe, com valor central de 86,49mm, e a classe imediatamente anterior é a segunda com maior frequência. Isto mostra que os valores da variável em análise se distribuem de forma assimétrica, concentrando-se nos valores abaixo da média.

Aplicando-se a distribuição de probabilidade aos dados da série histórica pode-se inferir que os eventos de chuvas intensas que ocorrem com maior frequência em Colinas do Tocantins, apresentam tempo de retorno de até 3 anos. Portanto, com base nas condições atmosféricas dos últimos 30 anos, pode-se esperar que ocorra pelo menos um evento de chuva intensa, de volume total entre 50 e 95mm, em um ano qualquer a cada 3 anos.

Os dois maiores valores da série amostral, 135,1mm e 137,5mm, possuem tempo de retorno de 23 anos. A partir desta informações supõem-se que, em havendo um sistema de drenagem urbana no município, com a devida manutenção, este eventos extremos provavelmente não resultariam em alagamentos e inundações, e se ocorressem seriam pontuais e passageiros.

Para dar suporte ao planejamento da ocupação e gestão dos espaços e à projetos de obras hidráulicas, tão necessários à urbanização, esgotamento sanitário e abastecimento de água, se extrapola o tempo de retorno dos eventos de chuvas intensas.

Assim, acompanhando-se o gráfico das curvas IDF, gerado a partir da distribuição de probabilidade, observa-se as intensidades das chuvas intensas de eventos que impactam na gestão urbana variando entre $382,8\text{mmh}^{-1}$ e $4,5\text{mmh}^{-1}$. O conjunto de valores da relação intensidade, duração e frequência apresentados na Tabela 19, são adequados à gestão urbana em bacias contribuintes de diversas dimensões.

Tabela 19. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Colinas do Tocantins – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno adequados a projetos de drenagem urbana.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)				
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50
5	382,8	464,6	511,5	552,6	601,2
10	304,0	368,9	406,2	438,8	477,4
15	262,7	318,8	351,1	379,2	412,6



Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)				
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50
20	228,0	276,7	304,7	329,1	358,1
25	204,9	248,7	273,8	295,8	321,8
30	138,9	168,5	185,6	200,4	218,1
60	39,4	47,8	52,7	56,9	61,9
360	11,3	13,7	15,0	16,3	17,7
480	9,1	11,1	12,2	13,2	14,4
600	7,7	9,3	10,3	11,1	12,1
720	6,6	8,1	8,9	9,6	10,4
1440	4,5	5,4	6,0	6,4	7,0

Fonte: elaboração do autor, 2020.

O município de Colinas do Tocantins possui uma estação de coleta de dados de precipitação, possibilitando a obtenção de uma equação, particularizada, para a estimativa da intensidade de chuvas intensas a partir de uma duração e um tempo de retorno conhecidos/desejados para o referido evento de chuva.

$$I = \frac{2357,84 TR^{0,16}}{(t + 31,77)^{0,87}} \quad (\text{Eq. 26})$$

O gráfico de curvas IDF gerados com a Equação 26, na Figura 46, mostra valores estimados para a intensidade da precipitação menores que os resultados obtidos com a aplicação da distribuição de probabilidade, condição em acordo com o pressuposto de que a equação de intensidade gera resultados mais realísticos para o local.

A partir das intensidades geradas a partir da Equação 26, obteve-se a altura da lâmina das chuvas intensas estimadas, considerando eventos com duração de até 60 minutos. No gráfico desta variável (Figura 46), verifica-se que os eventos de chuva mais frequentes e menores durações, acumulam menores volumes precipitados.

O clima tropical do município, caracterizado pela sazonalidade da precipitação, assinala a necessidade de analisar-se o comportamento temporal da precipitação máxima diária e das curvas IDF distribuídos ao longo do ano hidrológico, ou seja, em escala mensal.

Os histogramas de frequência, da precipitação máxima diária mensal, mostram que a variável apresenta uma leve assimetria, com dados concentrados nos menores valores, quase sempre abaixo da média mensal, em todos os meses do ano. Lembra-se que os dados se referem ao período de 1990 a 2019. Observa-se que no período chuvoso, da segunda quinzena de outubro até abril, o valor correspondente a média da precipitação máxima diária mensal localiza-se na terceira classe da distribuição de frequência. Já no trimestre mais seco do ano (junho-julho-agosto) a média se aloca na primeira classe, onde se concentram mais de 75% dos volumes máximos diários precipitados em cada mês.

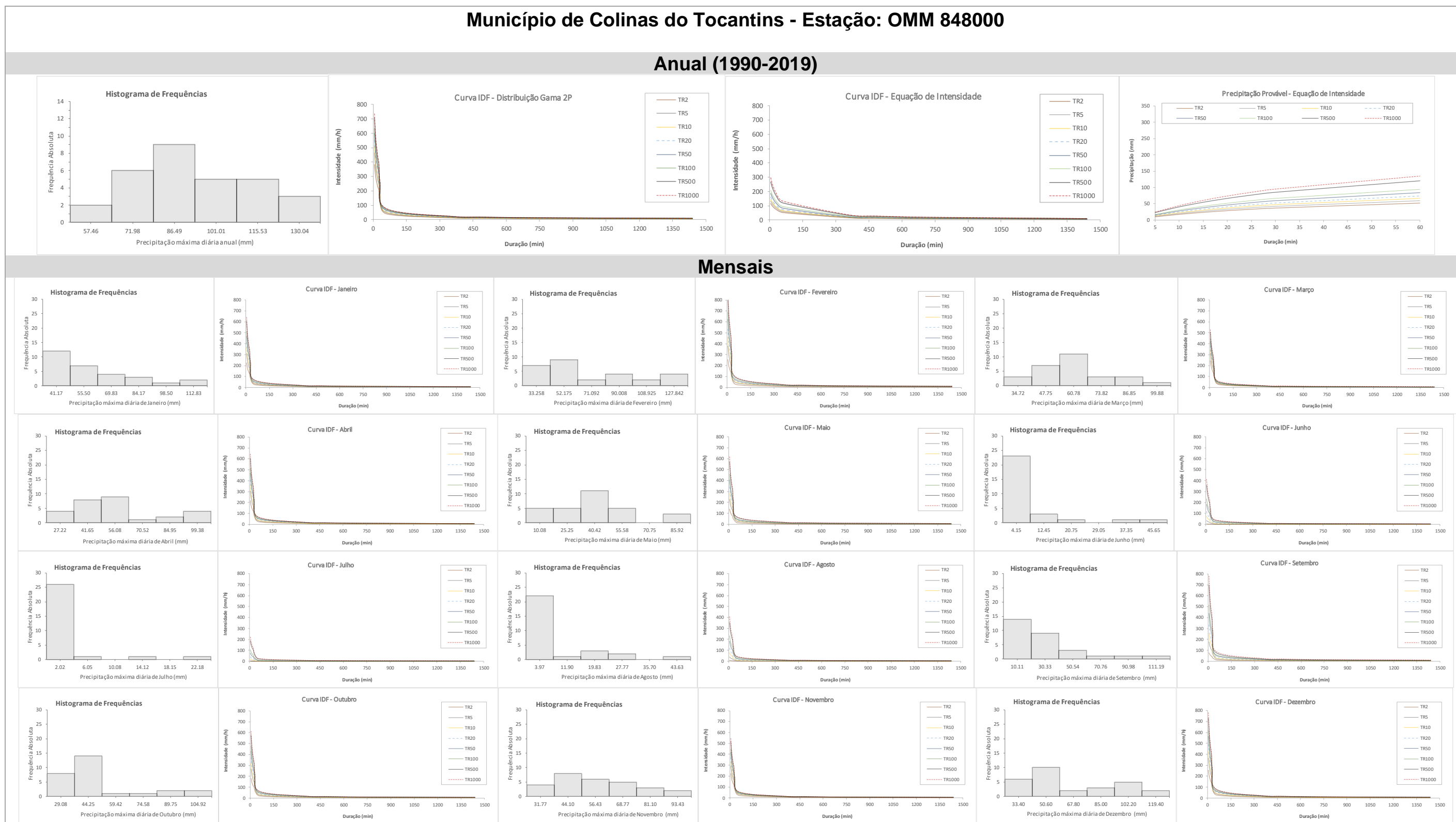
Uma análise mais profunda dos dados revela que nem sempre a classe que assimila o valor médio da precipitação máxima diária mensal é a mesma classe que reúne a maior frequência dos eventos

estudados. Este comportamento se reflete nas curvas IDF, pois no período chuvoso a intensidade das chuvas intensas são bem maiores do que as observadas no período seco. A mudança de grandeza da curvas entre o trimestre mais seco, junho-julho-agosto, e os demais períodos do ano hidrológico é bem abrupta. Isto se deve ao fato da distribuição de probabilidade, adotada para a geração das curvas, considerar tanto o valor médio quanto o desvio padrão da série histórica mensal, ou seja, evidencia o quão afastado da média estão distribuídos os dados, resultando em uma IDF com menores ou maiores valores de intensidade.

Destaca-se que os valores de intensidade das IDFs dos mês de fevereiro, setembro e dezembro, para vários TRs, superam os valores anuais obtidos pela distribuição de probabilidade, metodologia adotada para as duas escalas temporais, mensal e anual. Esta característica evidencia a necessidade de avaliar a sazonalidade das curvas que relacionam a intensidade, a duração e a frequência de chuvas intensas.



Figura 46. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Colinas do Tocantins - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.8. Mateiros

Este município pertence a região programa Leste (Jalapão). Com 2.729 habitantes, conforme estimativa do IBGE para o ano de 2020 possui 10,4% de seus domicílios com esgotamento sanitário adequado, 33,7% das vias públicas são arborizadas, mas sem percentual expressivo de urbanização (IBGE, 2013; SEPLAN, 2016).

Com área total de 9.583,5km² e 515 metros de altitude, o município se insere nas seguintes bacias hidrográficas: bacia do rio Sono e bacia do rio das Balsas. Quatro unidades geomorfológicas estão presentes no município: Patamares das Mangabeiras, ocupando o maior território; Planícies Fluviais; Chapadão Ocidental Baiano; e Chapada das Mangabeiras. Três tipos de uso e cobertura predominam: Campo; Cerrado Sentido Restrito; e Cultura Temporária. É um município do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (PNNRP) (SEPLAN, 2007; 2016; 2019d; CIDADE-BRASIL, 2020).

O turismo é uma parte importante da economia mateirense, estando, o município, inserido no polo turístico Jalapão. A paisagem de cerrado, com dunas alaranjadas, rios encachoeirados, nascentes e impressionantes formações rochosas, concentra, em Mateiros, alguns dos atrativos mais visitados da região, incluindo cachoeiras, mirante na serra, dunas de 40 m e corredeiras; muitas dessas atrações estão concentradas no Parque Estadual do Jalapão. Outro atrativo são os artesanatos locais elaborados com capim-dourado, pela comunidade de Mumbuca, fundada por antigos quilombolas (SEPLAN, 2016).

A maior parte do município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 20°C, porém nas áreas elevadas da Serra Geral do Tocantins ocorrem valores de 18°C. Nos meses de junho, julho e agosto são registrados os menores valores mensais, de 16°C. Sua temperatura máxima anual varia entre 30°C e 31°C nas áreas da Serra Geral do Tocantins, e chegam a 33°C nas demais áreas mateirenses. O mês de setembro registra os maiores valores de $T_{máx}$, chegando aos 35°C.

O regime anual de chuvas tem total acumulado de até 1280mm no extremo leste, em uma faixa com orientação norte-sul que se estende até a porção central do município o volume pode chegar a 1408mm, e do centro ao oeste observa-se valores de até 1536mm anuais. No mês de janeiro são registrados os maiores valores mensais, de 240mm a 260mm. O período chuvoso mateirense dura entre 160 e 170 dias, que se estendem entre os meses de novembro e março. Durante o período chuvoso são observadas, em média, a ocorrência de até 8 veranicos por ano na metade oeste e 9 na metade leste do município. De janeiro a março é comum ocorrer 14 dias com precipitação superior a 1mm.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão na maior parte de seu território, onde predominam valores anuais de excedente entre 400mm e 600mm. Porém no nordeste e leste há predomínio de excedente hídrico moderado no verão, com valores entre 200mm e 400mm, verificando-se nesta região excedente hídrico nulo ou pequeno em áreas na divisa com o Piauí e a Bahia. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior valor da variável, até 140mm. Mateiros está classificado com grande deficiência hídrica no inverno, cujos valores anuais variam entre 340mm e 640mm, ocorrendo áreas dispersas por todo o território com deficiência hídrica moderada no inverno. A deficiência se concentra, predominantemente, entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto. Tais condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: do centro para o oeste predomina o clima



subúmido com grande deficiência hídrica no inverno, e no leste e nordeste predomina o clima subúmido seco com deficiência hídrica no inverno, observando-se em todo o território áreas dispersas com moderada deficiência hídrica no inverno, tanto no clima subúmido quanto no subúmido seco.

Na Figura 47 está disponível o mosaico de gráficos gerados a partir de dados hidrológicos do município de Mateiros. As informações contidas neste mosaico dão suporte ao estudo de chuvas intensas, em escala mensal e anual. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

A série histórica de precipitação máxima diária anual de Mateiros é composta por dados dos anos de 1998 a 2019. Os extremos da série são 58,20mm e 142,60mm e o valor médio é de 93,08mm. No histograma de frequência observa-se uma equilibrada distribuição entre as classes, incorporando, em geral, 5 ou 6 anos cada uma. Destaca-se o intervalo de classe número 4 que assimila apenas um ano de registro, mais precisamente, o evento de valor 121,6mm ocorrido no ano de 2004 (sem evento ENOS). O máximo tempo de retorno associado aos dados desta série histórica é de 29 anos.

As obras urbanas necessárias para a garantir a saúde e bem-estar da população, do ponto de vista de drenagem urbana básica, envolve estudos de chuvas intensas com tempo de retorno de até 25 anos, e de 500 anos para as áreas que envolvem a construção de edificações de uso estratégico. Com forte predomínio do turismo em toda a região de Mateiros é fundamental o investimento em rodovias, cujos projetos envolvem estudos de chuvas intensas com tempo de retorno de até 100 anos.

Então, observa-se a necessidade de extrapolar a análise de dados de precipitação máxima diária anual para além do tempo de retorno que a série amostral oferece. A aplicação da distribuição de probabilidade, cujo gráfico das curvas IDF é apresentado na Figura 47 mostra a intensidade de chuvas intensas com duração de 5 minutos a 24 horas (1440 minutos) para eventos com até 1000 anos de tempo de retorno. Considerando os eventos de menor duração as intensidades variam entre $370,8\text{mmh}^{-1}$ e $767,8\text{mmh}^{-1}$, para chuvas intensas com 60 minutos de duração os valores estão entre $38,2\text{mmh}^{-1}$ e $79,0\text{mmh}^{-1}$, e para a máxima duração ficam entre $4,3\text{mmh}^{-1}$ e $8,9\text{mmh}^{-1}$, para eventos com TR de 2 e 1000 anos respectivamente.

Os resultados apresentados até aqui são muito úteis, mas Mateiros pode ter valores mais realísticos se as curvas IDF forem geradas a partir da equação de intensidade de chuvas intensas, obtida particularmente para este município (Equação 27). Das curvas IDF geradas, e apresentadas no gráfico correspondente da Figura 47, os valores de intensidade, duração e frequência são resumidos e explicitados na

Tabela 20, e tais resultados que podem ser comparados com os descritos no parágrafo anterior.

$$I = \frac{4047,46 \text{ TR}^{0,17}}{(t + 32,58)^{1,01}} \quad (\text{Eq. 27})$$

Tabela 20. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Mateiros – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando eventos com durações de 5, 60 e 1440 minutos e todos os tempos de retorno do estudo.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	370,8	460,9	513,1	559,1	613,8	652,2	734,5	767,8
60	38,2	47,4	52,8	57,5	63,2	67,1	75,6	79,0
1440	4,3	5,4	6,0	6,5	7,1	7,6	8,6	8,9

Fonte: elaboração do autor, 2020.

A análise da variabilidade sazonal da precipitação, e conseqüente escoamento superficial e recarga de aquíferos, é importante para a tomada de decisão em escala municipal, regional e em nível de bacia hidrográfica, mas é, especialmente importante, do ponto de vista de produção e armazenamento de água, pois as quantidades anuais não refletem as condições de déficit e excedente presentes no ano hidrológico.

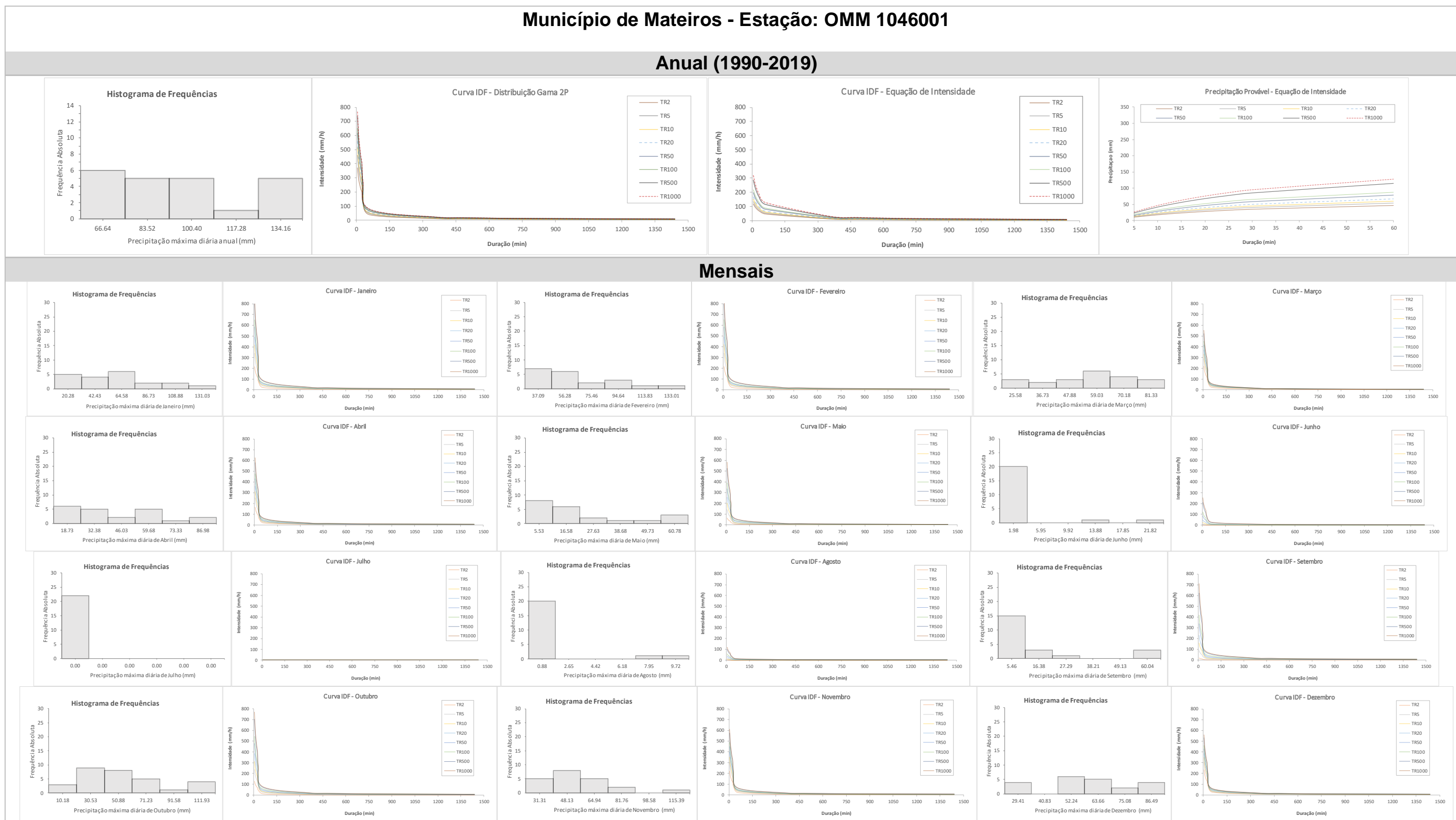
Os mapas climatológicos do estado do Tocantins mostram que Mateiros apresenta, no verão, grande excedente hídrico na porção central e oeste do município, moderado excedente na faixa leste, porém, na divisa com a Bahia e o Piauí, o excedente hídrico é pequeno ou nulo. Por outro lado, durante o inverno a maior parte do território mateirense apresenta grande deficiência hídrica, observando-se alguns pontos dispersos, por todo o município, com moderada deficiência, mas principalmente no extremo leste onde observa-se o clima subúmido seco.

Ao se analisar os histogramas de frequência da precipitação máxima diária e as curvas IDF, curvas geradas pela aplicação da distribuição de probabilidade, ambas em escala mensal, chama atenção a uniformidade na distribuição dos eventos de chuvas intensas pelas classes dos histogramas de frequência e também nas intensidades das chuvas nas curvas IDF, em praticamente todos os meses do ano. Destaca-se o trimestre seco, junho-julho-agosto, que apresentam acumulados muito pequenos, até mesmo nulo (julho), e os meses de janeiro, fevereiro, setembro e outubro que apresentam intensidades superiores a 600mmh^{-1} para eventos com duração de 5 minutos e TR de 1000 anos.

Em fevereiro de 2004 o estado do Tocantins foi acometido por chuvas que castigaram diversos municípios, inclusive Mateiros. SECOM (2004) publicou notícia com informações da Prefeitura e Defesa Civil que relatavam a inundação de lavouras, famílias que foram atingidas pelos estragos das chuvas nos distritos de Mumbuca, Carrapato, Boa Esperança, Fazenda Nova, Distrito dos Gerais e Galhão. Neste mês e ano houve o registro de uma precipitação máxima diária mensal de 121,6mm, que já fora citada anteriormente, sendo este um evento com tempo de retorno de 19 anos.



Figura 47. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Mateiros - TO. Dados do período 1998 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.9. Palmas

Palmas, capital do estado do Tocantins, situa-se na região programa Centro em uma altitude de 260 metros. Sendo o município mais populoso do Estado, com 306.296 habitantes, conforme estimativa do IBGE para o ano de 2020, sendo que 97,12% deles vivendo no meio urbano, é destaque em muitos quesitos em nível estadual, 67,6% dos domicílios possuem esgotamento sanitário adequado, 79,9% das vias públicas são arborizadas e 31,3% são urbanizadas. É a última cidade do século XX completamente planejada do País (IBGE, 2013; SEPLAN, 2016; CIDADE-BRASIL, 2020).

O município está localizado sobre duas bacias hidrográficas, são elas: bacia do rio Tocantins, na metade oeste de Palmas; e a bacia do rio das Balsas, na metade leste. São três as unidades geomorfológicas presentes no território palmense: Planalto Dissecado do Tocantins; Depressão do Médio Tocantins; e Planícies Fluviais. Quanto ao uso e cobertura da terra, três tipos são identificados: Cerrado Sentido Restrito; Cerradão; e Agropecuária (SEPLAN, 2007; 2016; 2019d).

De acordo com o Inventário Socioeconômico de Tocantins (SEPLAN, 2016), Palmas possui uma área territorial de 2.218,9km². No município está localizado o Parque Estadual do Jalapão, além da APA do Lago de Palmas e da APA Serra do Lajeado. A Capital possui área verde superior à recomendada pelo Ministério do Meio Ambiente, e tem grande variedade de atrativos naturais como cachoeiras, rios, grutas, balneários, paisagem de serras repletas de palmeiras, além do grande lago da UHE Luís Eduardo Magalhães (Lajeado), que permite diversas atividades de lazer como navegação, pesca, canoagem, etc. O município também se insere na lista dos 65 Destinos Indutores do Desenvolvimento Turístico Regional do Brasil, na classe Serras e Lago, e compõem os Planos de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável - PDITS, no polo turístico de Palmas.

Por toda a sua importância econômica, social, cultural, histórica e ambiental, a capital tocantinense necessita conhecer detalhadamente as condições atmosféricas e hidrológicas reinantes em seu território e entornos. Lembra-se que conhecer os processos e suas consequências possibilita planejar a ocupação e gestão dos espaços, minimizando impactos econômicos, sociais e ambientais.

A análise climatológica de Palmas, mostra que a maior parte do município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 20°C, porém nos pontos elevados da Serra do Lajeado pode chegar aos 18°C, e as áreas às margens do rio Tocantins e do rio das Balsas tem valor mínimo médio anual de 22°C. Nos meses de junho e julho são registrados os menores valores mensais de T_{\min} , com valores de 16°C, principalmente nos pontos elevados da Serra. Tem valores de temperatura média anual variando entre 24°C e 27°C. A temperatura máxima anual ocorre entre 30°C e 31°C nas áreas mais elevadas da Serra do Lajeado, e chegando a 33°C nas demais áreas palmense, verificando-se que o mês de setembro registra os maiores valores mensais, chegando aos 37°C.

Totais acumulados entre 1536mm e 1664mm definem o regime anual de chuvas na metade leste de Palmas, e na metade oeste a precipitação pode atingir 1792mm. Nos meses de janeiro e de março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, entre 240mm e 260mm. O período chuvoso do município dura entre 170 e 180 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de novembro e abril, quando são observadas a ocorrência de até 8 veranicos por ano, em média. Em janeiro e março podem ocorrer 18 dias com precipitação superior a 1mm.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão, áreas de moderado excedente são encontradas apenas às margens do rio das Balsas. Predominam valores anuais de excedente hídrico



entre 400mm e 600mm, mas na porção leste há valores entre 200mm e 400mm. Esta variável é identificada, principalmente, entre os meses de janeiro a março, sendo março o mês com maior valor, até 120mm. Em Palmas predomina a deficiência hídrica moderada no inverno, cujos valores anuais variam entre 400mm e 610mm. A variável se concentra, predominantemente, entre os meses de junho a setembro, sendo mais intensa em agosto. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno, mas ocorrem áreas esparsas e dispersas com grande deficiência hídrica no inverno.

No mosaico de gráficos das variáveis hidrológicas obtidas para o município de Palmas, apresentado na Figura 48, é possível acompanhar diversas informações de eventos de chuvas intensas, mensal e anual, ocorridas e estimadas para o município. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

A série histórica de precipitação máxima diária anual de Palmas é composta por 28 anos de dados, de 1990 a 2017. O menor valor é 42,00mm e o maior é de 156,50mm, sendo o valor de 93,06mm correspondente ao volume médio desta série amostral. Verifica-se que os dados apresentam distribuição assimétrica no histograma de frequência, se concentrando em direção à valores menores de precipitação. Os dados da série história de Palmas apresentam tempo de retorno entre 1 e 58 anos, correspondendo aos valores mínimo e máximo de precipitação, respectivamente.

Como resultado da aplicação da distribuição de probabilidade obteve-se o gráfico das curvas IDF, cujos valores numéricos são apresentados na Tabela 21. É possível confirmar que a intensidade das chuvas intensas estimadas cresce para eventos de menor duração e menor frequência (maior TR).

Tabela 21. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Palmas – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	370	465	521	570	629	670	759	795
10	294	369	414	453	500	532	603	632
15	254	319	358	391	432	460	521	546
20	220	277	310	340	375	399	452	474
25	198	249	279	305	337	359	406	426
30	134	169	189	207	228	243	275	289
60	38	48	54	59	65	69	78	82
360	11	14	15	17	19	20	22	23
480	9	11	12	14	15	16	18	19
600	7	9	10	11	13	13	15	16
720	6	8	9	10	11	12	13	14
1440	4	5	6	7	7	8	9	9

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Foi obtida a equação de intensidade de chuvas intensas para a Capital tocantinense, apresentada na Equação 28, a partir da qual foram geradas as curvas IDF, também contidas no mosaico de gráficos da Figura 50. Os valores numéricos da intensidade de chuvas intensas com uma duração e frequência conhecidas, obtidas pela Equação 28, são apresentados na Tabela 22.

$$I = \frac{5958,92 \text{ TR}^{0,17}}{(t + 35,30)^{1,04}} \quad (\text{Eq. 28})$$

Tabela 22. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Palmas – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	142	167	188	212	248	280	370	417
10	126	147	166	187	220	248	327	369
15	113	132	149	168	197	222	293	331
20	102	120	135	152	178	201	266	300
25	93	109	123	139	163	184	243	274
30	86	101	114	128	150	169	223	252
60	58	68	77	86	101	114	151	170
360	13	15	17	20	23	26	34	39
480	10	12	13	15	17	20	26	29
600	8	9	11	12	14	16	21	23
720	7	8	9	10	12	13	17	20
1440	3	4	4	5	6	7	9	10

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Retomando o valor máximo da série histórica de precipitação máxima diária anual de Palmas, cujo valor é de 156,50mm e TR de 59 anos. Um evento de chuva intensa desta magnitude apresentaria intensidades próximas dos valores correspondentes aos encontrados na coluna TR50 da Tabela 23. Pode-se fazer a seguinte leitura, um evento de chuva intensa com tempo de retorno de 50 anos, tem intensidade de 248mmh^{-1} se durar 5 minutos e 6mmh^{-1} se durar 24 horas (1440 minutos).

Precisa-se sempre fazer a associação de que o tempo de duração de um evento de chuva deve corresponder ao tempo de concentração da bacia hidrográfica que coleta a chuva precipitada. Então, quanto maior a duração da chuva intensa estimada maior será a correspondente área coletora.

Os valores estimados de precipitação, decorrentes dos eventos de chuva estimados a partir da Equação 28, com até uma hora de duração, também podem ser consultados na Figura 48. Verifica-se que a altura das lâminas de chuva varia de valores em torno de 10mm para o evento mais frequente (TR de 2 anos) e menor duração (5 minutos), até cerca de 170mm para o evento mais raro (TR de 1000 anos) e maior duração (60 minutos).

Ao analisar-se o padrão temporal da distribuição de frequência da precipitação máxima diária mensal, percebe-se a tendência à assimetria positiva, com maior frequência de dados em direção aos menores valores em todos os meses do ano. Os meses em que são registrados os maiores valores de precipitação máxima diária são dezembro, janeiro, fevereiro e março, que é o quadrimestre mais



chuvoso em Palmas. Já em junho, julho e agosto, trimestre mais seco, tem os menores valores de precipitação máxima diária, com média de 5,47mm, 0,99mm e 0,68mm, com destaque para os dois últimos valores.

Foi aplicada a distribuição de probabilidade a cada uma das séries históricas mensais para obter-se suas correspondentes curvas IDF. Os valores de intensidade de chuvas intensas com duração de 5, 60 e 1440 minutos, e frequência de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos, para os meses mais chuvosos e mais secos, citados anteriormente, são apresentados na Tabela 23 e Tabela 24 respectivamente.

Tabela 23. Intensidade de precipitação [mmh^{-1}] em Palmas – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, para o quadrimestre mais chuvoso, considerando eventos com duração de 5, 60 e 1440 minutos e tempos de retorno adotados no estudo.

	Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
		TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
DEZ	5	238	331	387	439	501	546	644	685
	60	24	34	40	45	52	56	66	70
	1440	3	4	5	5	6	6	7	8
JAN	5	234	346	416	480	560	617	744	796
	60	24	36	43	49	58	64	77	82
	1440	3	4	5	6	7	7	9	9
FEV	5	231	333	396	453	524	575	687	733
	60	24	34	41	47	54	59	71	75
	1440	3	4	5	5	6	7	8	9
MAR	5	217	339	417	490	581	647	794	855
	60	22	35	43	50	60	67	82	88
	1440	3	4	5	6	7	8	9	10

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Tabela 24. Intensidade de precipitação [mmh^{-1}] em Palmas – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, para o trimestre mais seco, considerando eventos com duração de 5, 60 e 1440 minutos e tempos de retorno adotados no estudo.

	Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
		TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
JUN	5	5	34	66	103	156	198	302	348
	60	1	4	7	11	16	20	31	36
	1440	0	0	1	1	2	2	4	4

	Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
		TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
JUL	5	0	1	7	22	53	82	161	198
	60	0	0	1	2	5	8	17	20
	1440	0	0	0	0	1	1	2	2
AGO	5	0	3	8	16	28	39	65	78
	60	0	0	1	2	3	4	7	8
	1440	0	0	0	0	0	0	1	1

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Comparando-se os dados da Tabela 22 (escala anual), Tabela 23 e Tabela 24 (ambas em escala mensal), é possível perceber o quanto a sazonalidade dos eventos hidrológicos pode impactar a gestão dos recursos hídricos. Olhando-se especificamente os dados do mês de março, os custos associados aos eventos estimados em escala mensal são superiores aos de escala anual, pois a intensidade dos eventos de chuvas intensas da primeira escala são superiores as intensidades da segunda, em especial para os eventos de menor duração (5 minutos) e menor frequência (TRs de 500 e 1000 anos). Isto não significa que, em regiões de clima tropical, os dados de escala de anual devam ser desconsiderados, pelo contrário, mas deve-se analisar cuidadosamente os dados de escala mensal, análise que pode ser revertida em obras com menor custo e construção mais rápida, ou mais seguras.

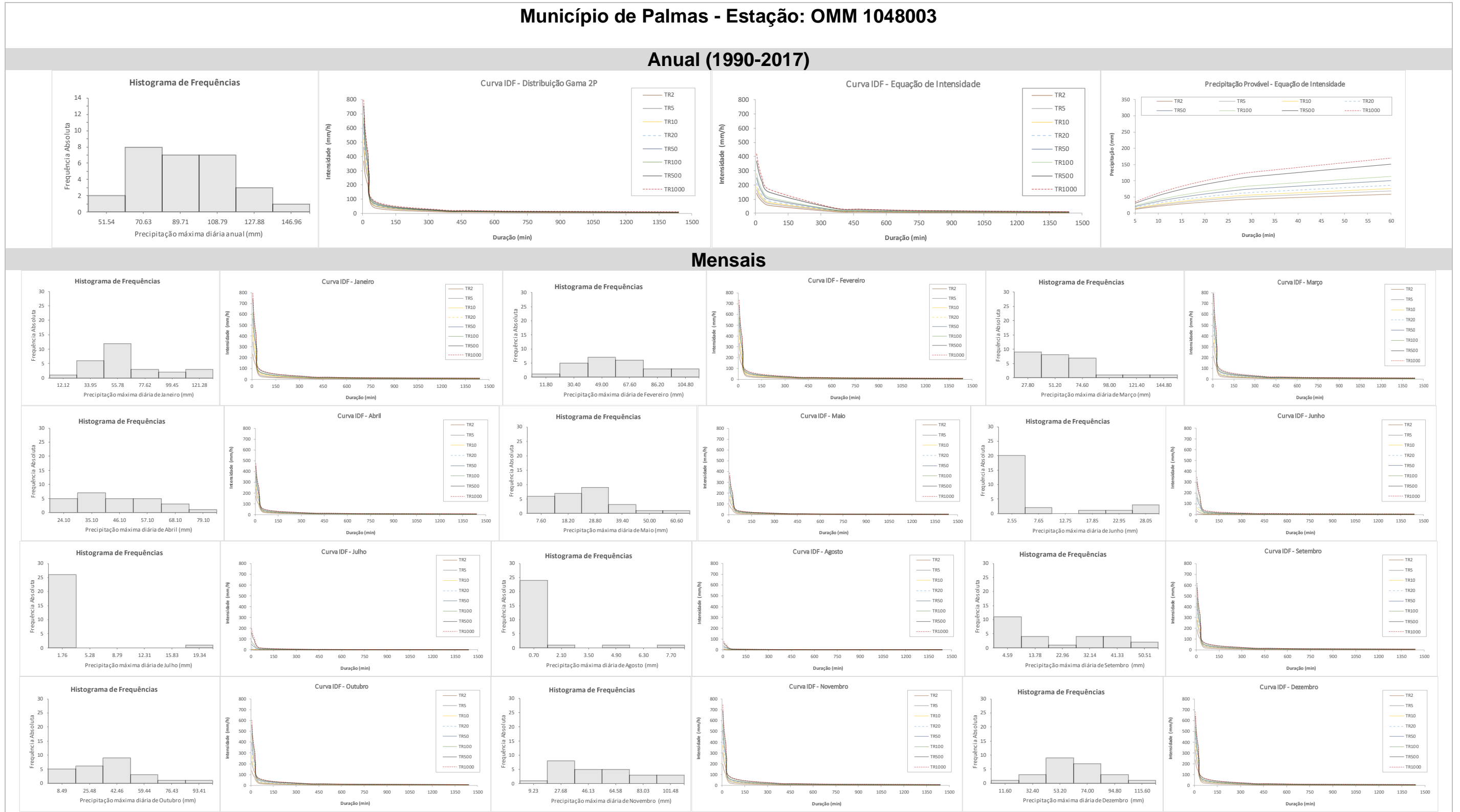
Outra análise que evidencia a importância de se verificar a sazonalidade dos dados hidrológicos pode ser compreendida resgatando-se o valor de precipitação máxima diária de 156,50mm, que em escala anual tem TR de 59 anos. Este dado foi registrado no mês de março do ano de 2010, e o TR associado a ele é de 92 anos, em escala mensal. O ano 2010 foi um ano hidrológico sob o efeito de uma La Niña moderada cuja influência, comumente, se refletem com sinal positivo sobre a precipitação. A diferença de frequência do mesmo evento de chuva intensa em escala anual e mensal pode auxiliar na tomada decisão quanto ao projeto de obra hidráulica que envolve o correspondente evento, avaliando-se a possibilidade de poder, ou não, assumir o risco dos prováveis impactos causados pelo evento, a depender da área a ser atingida.

A adoção de políticas públicas com intuito de prevenir ou mitigar as consequências decorrentes de eventos extremos de precipitação intensa, podem e devem fazer uso de informações das curvas IDF e de precipitação provável, em ambas escalas temporais. Tais informações dão suporte a gestão de recursos hídricos, independentemente do uso final ao qual se destina tal recurso, e a sazonalidade constitui-se um novo componente na avaliação de risco.

Lembra-se que Palmas integra o Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia, da Agência Nacional de Águas – ANA, cuja atividade prevista inclui a articulação dos três níveis de governo para a integração da gestão do solo e dos recursos hídricos em Palmas.



Figura 48. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Palmas - TO. Dados do período 1990 – 2017.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.10. Porto Nacional

Este é mais um importante município da região programa Centro do Tocantins. Possui 53.316 habitantes, área territorial de 4.449,9km² e altitude de 234 metros. O percentual de domicílios atendidos com esgotamento sanitário adequado chega a 65,7%, e quanto as vias públicas, 85% são arborizadas e 1,7% são urbanizadas, assim, o município ocupa o terceiro lugar da região com relação a estes quesitos (IBGE, 2013, 2020; SEPLAN, 2016).

Conforme dados da SEPLAN (2007; 2016; 2019d), Porto Nacional localiza-se sobre duas bacias hidrográficas: a bacia do ribeirão dos Mangues, abrangendo parte oeste e central do município; e bacia do rio Tocantins, no restante. Sete unidades geomorfológicas estão presentes no município: Planalto do Interflúvio Tocantins - Araguaia; Serra Malhada Alta; Depressão do Alto Tocantins; Serras de Santo Antônio - João Damião; Planícies Fluviais; Depressão do Médio Tocantins; e Planalto Dissecado do Tocantins. Há predomínio de três tipos de uso e cobertura do solo no município, são eles: Cerrado Sentido Restrito; Floresta Estacional Semidecidual Aluvial; e Agropecuária.

Porto Nacional se destaca no setor turístico. Se insere na região turística tocantinense Serras e Lago, que compõem Programa de Regionalização do Turismo - Roteiros do Brasil. Essa região, inclui o lago da UHE Luís Eduardo Magalhães e as serras do Lajeado e do Carmo. Tem visibilidade por seus prédios tombados pelo IPHAN, e por sua história envolvida na busca pelo ouro no Brasil colônia. Também compõem os Planos de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável - PDITS, no polo turístico de Palmas. (SEPLAN, 2016).

Se, por um lado, o lago formado pelo barramento no rio Tocantins, para a construção da UHE Luís Eduardo Magalhães, potencializou o turismo em Porto Nacional, por outro lado a população portense foi a que mais sentiu os impactos de tal construção. O represamento do rio, ocasionou mudanças no seu leito, nas praias, no patrimônio arquitetônico da cidade e na identidade das populações ribeirinhas afetadas (SEPLAN, 2016).

Os impactos gerados pela criação deste lago podem se refletir também nas condições climáticas de Porto Nacional. A maior parte das séries históricas utilizadas para caracterizar o clima de Porto Nacional contempla o período de construção e funcionamento da UHE Luís Eduardo Magalhães, também conhecida como Usina Hidrelétrica do Lajeado. O propósito deste estudo não incluiu a análise de tendência de mudança climática, mas com certeza, Porto Nacional e Palmas, são ótimas candidatas à esse tipo de estudo, pela mudança ambiental observada e pelo conjunto de dados pré-existentes.

Porto Nacional apresenta temperatura mínima anual do ar entre 18°C e 23°C, com os menores valores registrados na Serra das Cordilheiras e os maiores nas áreas mais baixas e próximas do rio Tocantins. Em julho e agosto podem ser registrados T_{\min} entre 16°C e 17°C, principalmente nos pontos elevados do município. A temperatura média anual encontra-se entre 24°C e 27°C. Sua temperatura máxima anual assume valores entre 32°C e 33°C na maioria das áreas, mas com valores entre 30°C e 31°C nas partes altas da Serra das Cordilheiras e com valores entre 34°C e 35°C junto a margem direita do rio Tocantins. Nos meses de agosto e setembro são registrados os maiores valores mensais, chegando aos 37°C.

O regime anual de chuvas tem total acumulado de 1536mm a 1792mm, valores que crescem de sudeste para noroeste do município. No mês de março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, entre 240mm e 300mm. O período chuvoso em Porto Nacional dura entre 170 e 180 dias,



se estendendo entre os meses de novembro a abril, quando são observadas a ocorrência de até 8 veranicos por ano, em média. Em janeiro e março podem ocorrer até 18 dias com precipitação superior a 1mm. Em média, ocorrem entre 88 e 108 dias de chuva ao longo do ano.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão, com áreas dispersas no leste de Porto Nacional com moderado excedente hídrico no verão. Predominam valores de excedente entre 400mm e 600mm, observando-se valores entre 200mm e 400mm nas áreas mais a leste, e entre 600mm e 800mm nas áreas mais à oeste. O período de excedente hídrico se estende, principalmente entre os meses de janeiro a março, sendo março o mês com maior valor, até 160mm. Em Porto Nacional predomina a grande deficiência hídrica no inverno, cujos valores anuais variam entre 400mm e 730mm. A deficiência se concentra, predominantemente, entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno, mas as proximidades das divisas administrativas são encontradas áreas com clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno, e na área urbana o clima é subúmido seco com grande deficiência hídrica no inverno. Pela classificação climática de Köppen-Geiger Porto Nacional apresenta clima tropical com estação seca no inverno.

Na Figura 49 está disponível o mosaico de gráficos gerados a partir de dados hidrológicos do município de Porto Nacional. As informações contidas neste mosaico dão suporte ao estudo de chuvas intensas, em escala mensal e anual. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Os dados de precipitação máxima diária anual de Porto Nacional, do período de 1990 a 2019, resultam em um valor médio de 92,66mm, cujos extremos mínimo e máximo são de 51,70mm e 162,10mm, respectivamente. Conforme verifica-se no histograma de frequência, os dados possuem distribuição assimétrica positiva, ou seja, no sentido dos menores valores. A segunda classe, de valor central 79,30mm, é a que inclui o maior número de dados da série, correspondendo a 36% dos anos.

Ao aplicar a distribuição de probabilidade à série amostral, verifica-se que o tempo de retorno associado aos eventos de chuva analisados varia de 1 a 100 anos. A mesma distribuição de probabilidade foi utilizada para estimar as precipitações com tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos, as quais, após a desagregação da chuva com durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos, possibilitou a estimativa das respectivas intensidades de eventos de chuvas intensas correspondentes.

Pela importância do município de Porto Nacional, optou-se por apresentar todos os valores numéricos resultantes das relações de intensidade, duração e frequência, expostos na Tabela 25, e cuja representação gráfica compõem o mosaico da Figura 49.

Tabela 25. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Porto Nacional – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	369	462	516	564	621	661	748	783
10	293	367	410	448	493	525	594	621
15	253	317	354	387	426	454	513	537
20	219	275	307	336	370	394	445	466
25	197	247	276	302	333	354	400	419
30	134	168	187	205	225	240	271	284
60	38	48	53	58	64	68	77	81
360	11	14	15	17	18	19	22	23
480	9	11	12	13	15	16	18	19
600	7	9	10	11	12	13	15	16
720	6	8	9	10	11	11	13	14
1.440	4	5	6	7	7	8	9	9

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Valores mais realísticos do que os apresentados na Tabela 25 podem ser estimados pela aplicação de uma equação de intensidade, obtida especificamente para Porto Nacional, conforme Equação 29. Tais resultados constam na Tabela 26 e a representação gráfica no mosaico da Figura 49.

$$I = \frac{4698,36 \text{ TR}^{0,19}}{(t + 34,35)^{0,97}} \quad (\text{Eq. 29})$$

Tabela 26. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Porto Nacional – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	149	177	201	229	271	308	415	471
10	133	157	179	203	241	274	369	420
15	120	142	161	183	217	247	333	378
20	109	129	147	167	198	225	303	344
25	100	119	135	153	182	206	278	316
30	92	110	125	142	168	191	257	292
60	64	75	86	98	116	131	177	201
360	16	19	21	24	29	33	44	50
480	12	14	16	19	22	25	34	39
600	10	12	13	15	18	21	28	31
720	8	10	11	13	15	17	23	27
1440	4	5	6	7	8	9	12	14

Fonte: elaboração do autor, 2020.

A diferença entre as duas metodologias de estimativa da intensidade de chuvas intensas, pela distribuição de probabilidade e pela equação de intensidade, são maiores para eventos de menor



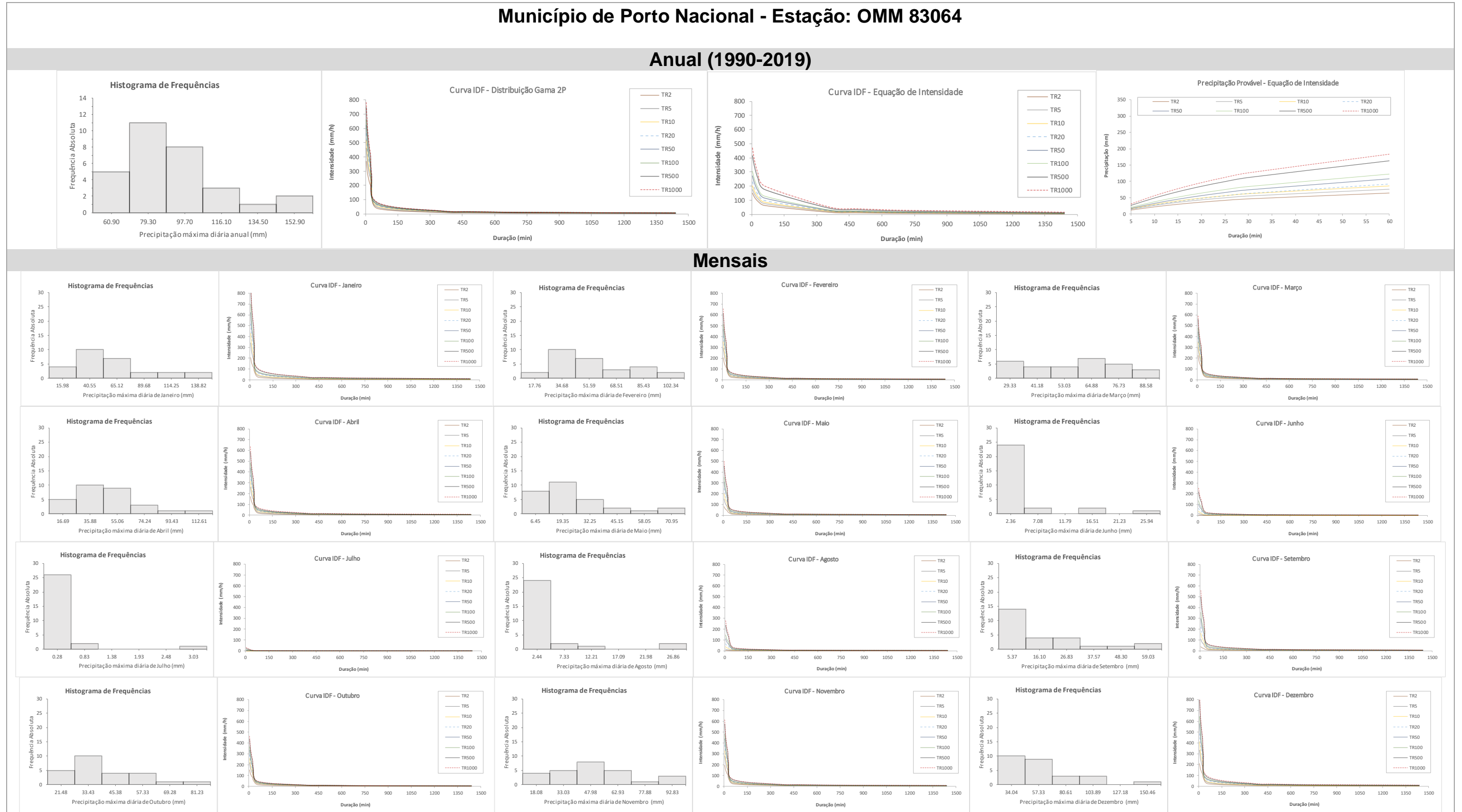
duração e maior tempo de retorno, observando-se exceção no TR de 500 e 1000 anos onde a diferença diminui. Em outras palavras, as intensidades são superestimadas pela distribuição de probabilidade, considerando eventos com duração menor que 60 minutos, e essa superestimativa é maior quanto menor for a duração do evento de chuva, e cresce em direção dos maiores tempos de retornos, diminuindo apenas a partir do TR de 500 anos.

A partir da aplicação da equação de intensidade de Porto Nacional (Equação 29), foram estimadas lâminas de precipitação para cada evento de chuva intensa de duração de até 60 minutos e para os TRs do estudo. Estas precipitações prováveis são apresentadas em um gráfico, de escala anual, presente na Figura 49. Valores superiores a 92,7mm, média da série histórica, são verificados em eventos com duração de 60 minutos para TR20 e TR50, com duração superior a 30 minutos para TR100, superior a 20 minutos para TR500 e superior a 15 minutos para TR1000.

Para avaliar a sazonalidade dos dados hidrológicos de Porto Nacional, observa-se os gráficos da Figura 49, em escala mensal. Os histogramas de frequência mensais apresentam o mesmo padrão de assimetria do anual, assimétricos à direita, exceto no mês de março que apresenta assimetria negativa (à esquerda). Quanto maior a magnitude do evento de chuva intensa maiores são os prejuízos potenciais associados ao evento. Então, a assimetria negativa, evidencia que no mês de março ocorre uma maior quantidade de eventos de precipitação máxima diária potencialmente prejudiciais do que em outros meses com assimetria positiva.

As características de assimetria não refletem qualquer efeito sobre as curvas IDF. Os maiores valores de intensidade são verificados nos meses mais chuvosos em Porto Nacional, dezembro-janeiro-fevereiro-março, e as menores intensidades de chuvas intensas, se concentram no trimestre mais seco, junho-julho-agosto.

Figura 49. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Porto Nacional - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.11. Caseara

Caseara é um município da região programa Centro-oeste do Tocantins, situada a 196 metros de altitude. Possui 5,9% dos domicílios atendidos por esgotamento sanitário adequado, 85,5% das vias públicas são arborizadas, mas não possuem urbanização (IBGE, 2013, CIDADE-BRASIL, 2020).

Se estendendo por uma área territorial de 1.691,6km², o município está localizado sobre três bacias hidrográficas, são elas: bacia do rio Araguaia, que abrange a parte noroeste; bacia do rio do Côco, que abrange a porção oeste; e a bacia do rio Caiapó, na metade leste casearense. Duas unidades geomorfológicas estão presentes no município: Depressão do Médio e Baixo Araguaia; e Planície do Araguaia – Javaés. Quanto ao uso e cobertura do solo cinco principais tipos predominam no município: Agropecuária; Cerradão; Cerrado Sentido Restrito; Floresta Estacional Semidecidual Aluvial; e Floresta Ombrófila Densa Submontana. Caseara é um município do Parque Estadual do Cantão e compõem o corredor ecológico Araguaia-Bananal (SEPLAN, 2016).

Atividades ligadas ao turismo tem muita expressão no município, principalmente aquelas direcionadas ao ecoturismo, o turismo de aventura e a pesca esportiva. Caseara compõem os Planos de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável - PDITS, no polo turístico Cantão, e se insere na região turística tocantinense Lagos e Praias do Cantão do Programa de Regionalização do Turismo - Roteiros do Brasil (SEPLAN, 2016).

A análise climatológica de Caseara, mostra que a maior parte do município possui temperatura mínima anual entre 22°C e 23°C. Nos meses de julho e agosto são registrados os menores valores mensais, entre 18°C e 19°C. Sua temperatura média anual encontra-se entre 26°C e 27°C e a máxima anual varia entre 32°C e 33°C. Em agosto e setembro são registrados os maiores valores mensais de T_{máx}, chegando aos 37°C.

O regime anual de chuvas divide Caseara em duas classes, a leste os valores acumulados estão entre 1664mm e 1792mm, e na metade oeste entre 1536mm e 1664mm. Nos meses de janeiro e de março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, superiores a 240mm. O período chuvoso de Caseara dura entre 180 e 190 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de outubro a abril, quando são observadas a ocorrência de até 9 veranicos por ano, em média. Em março podem ocorrer até 18 dias de chuva superior a 1mm. Ocorrem anualmente entre 88 e 98 dias de chuva no município, chegando a 108 dias na divisa leste.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão, mas entre o centro e oeste são identificadas áreas de moderado excedente hídrico. Predominam valores de excedente entre 400mm e 600mm, mas encontram-se áreas dispersas por todo o município com valores entre 200mm e 400mm. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a março, sendo março o mês com maior excedente, até 120mm. Em Caseara predomina a deficiência hídrica moderada no inverno, e no sul e no oeste são encontradas áreas com grande deficiência hídrica. Esta variável assume valores anuais que variam entre 370mm e 670mm. A deficiência se estabelece entre os meses de maio e setembro, sendo mais intensa em agosto. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática,

segundo Thornthwaite-Mather: clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno, mas ocorrem áreas no sul e no oeste com clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno.

Na Figura 50 observa-se o conjunto de gráficos das variáveis hidrológicas, mensais e anual, utilizadas para análise em Caseara. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

A precipitação máxima diária anual de Caseara, do período entre 1990 e 2019, possui média de 76,59mm, com dados variando entre 41,30mm e 150,80mm. Com assimetria positiva (à direita), ou seja, dados acumulados nos menores valores da série, como verifica-se no histograma de frequência, o município apresenta maior frequência de registros inseridos no primeiro intervalo de classe, cujo valor central é de 50,43mm, abrangendo 36% dos dados. Outros 33% (10 dados) foram assimilados no terceiro intervalo de classe, cujo valor central é de 86,93mm. O tempo de retorno dos eventos desta série amostral varia entre 1 e 70 anos.

Através da aplicação da distribuição de probabilidade é possível estimar-se eventos de precipitação com até 1000 anos de tempo retorno, como definido para este estudo, chegando-se a totais acumulados superiores a 193mm para o referido TR máximo. Os valores estimados geram as curvas que relacionam a intensidade, a duração e a frequência (IDF) apresentadas no gráfico correspondente que compõem o mosaico da Figura 52. Os valores variam de 298,5mmh⁻¹ até 791,1mmh⁻¹ para eventos de menor duração (5minutos) e TR de 2 e 1000 anos, respectivamente. Para os mesmos tempos de retorno, mas, agora considerando eventos com duração de até 24 horas (1440 minutos) as intensidades variam entre 3,5mmh⁻¹ e 9,2mmh⁻¹, respectivamente.

A equação de intensidade de precipitação intensa gerada para o município de Caseara é apresentada a seguir:

$$I = \frac{7506,95 TR^{0,18}}{(t + 39,02)^{1,07}} \quad (\text{Eq. 30})$$

A partir desta Equação 30 foram obtidas as curvas IDF que representam de forma mais realística da relação entre a intensidade, a duração e a frequência dos eventos de chuvas intensas no município. Os resultados mostram que, os valores variam de 147,3mmh⁻¹ até 439,6mmh⁻¹ para eventos de menor duração (5minutos) e TR de 2 e 1000 anos, respectivamente. Para os mesmos tempos de retorno, mas, agora considerando eventos com duração de até 24 horas (1440 minutos) as intensidades variam entre 3,5mmh⁻¹ e 10,2mmh⁻¹, respectivamente.

Quando comparados com os resultados de IDF obtidos pela distribuição de probabilidade e pela equação da intensidade, verifica-se que, predominantemente, as diferenças entre as duas metodologias aumentam com o aumento do TR.

A precipitação provável, para eventos com duração de 5 até 60 minutos, estimada a partir da equação de intensidade da precipitação, apresenta valores entre 12,3mm e 61,8mm para TR2, e 36,6mm e 184,5mm para TR1000, respectivamente.

Sendo o turismo uma parcela importante das atividades econômicas de Caseara, verificar a sazonalidade do comportamento hidrológico no município é fundamental. Segundo a SEPLAN (2016),



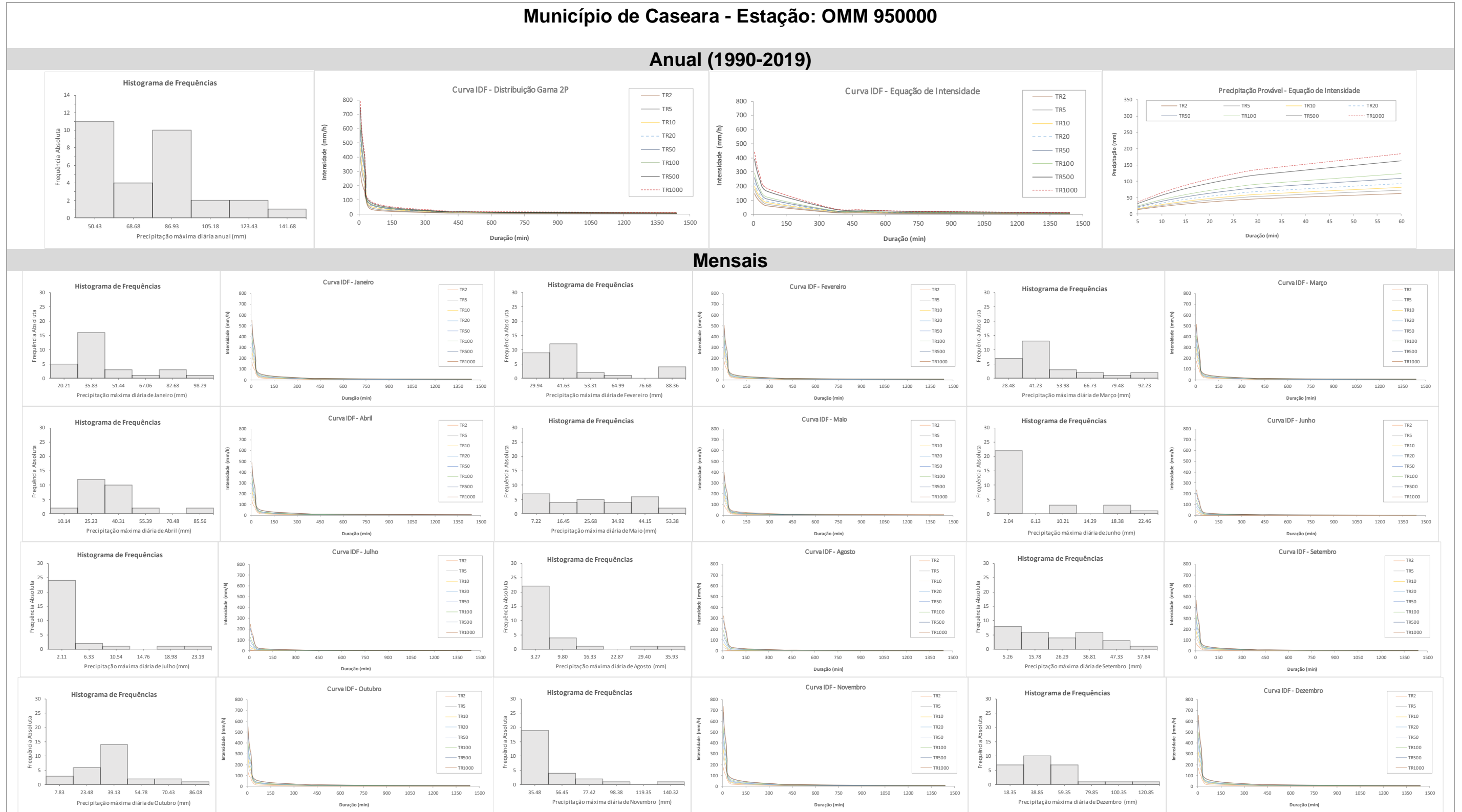
entre os meses de junho a setembro são muito explorados os seguimentos do setor sol e praia, diante da formação de praias fluviais e o surgimento de mais de 800 lagos resultantes do baixo nível dos rios.

Nos meses de junho, julho e agosto a chuva tem duração máxima de um dia, enquanto em setembro pode-se observar até três dias com precipitação superior a 1mm. A máxima precipitação acumulada em cada mês varia de 5 a 10mm em junho, julho e agosto, e em setembro chega a 45mm. Corroborando com tal comportamento sazonal, neste meses são observados os menores percentuais de cobertura de nuvens, entre 30 e 40%. As poucas nuvens resultam em elevadas horas de insolação (brilho solar) que podem chegar a 260 horas em junho, a 300 horas em julho e agosto, a 240 em setembro. A temperatura máxima do ar pode atingir os 32°C em junho, crescendo até atingir os 37°C em setembro.

Em termos hidrológicos verifica-se no histograma de frequência da precipitação máxima diária mensal que a distribuição tem assimetria positiva em todos os meses, com dados mais frequentes acumulados em direção aos valores mais baixos das séries amostrais. Destaca-se o mês de maio, cuja distribuição encontra-se muito próximo da simetria, com dados uniformemente distribuídos por todos os valores da série amostral, isto indica que as chances são praticamente iguais para qualquer evento de chuva intensa em Caseara.

Analisando-se os gráficos das curvas IDF, verifica-se que os maiores valores de intensidade de precipitação são atribuídos ao mês de novembro. Tanto a intensidade quanto a lâmina precipitada dependem da frequência dos eventos de chuvas intensas. Então, fixando o tempo de retorno de um evento de chuva intensa se verificará que a intensidade da precipitação decresce com o aumento da duração da chuva, porém a altura da lâmina de precipitação aumentará.

Figura 50. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Caseara - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.12. Paraíso do Tocantins

O quinto município mais populoso do Tocantins (51.891 habitantes), pertence a região programa Centro-Oeste, distante 65km da capital. Com 1.268,1km² de área e 411 metros de altitude, tem 19,2% dos domicílios com esgotamento sanitário adequado e 3,4% de suas vias públicas estão urbanizadas, mas 92,2% são arborizadas (IBGE, 2013, 2020; CIDADE-BRASIL, 2020). O IDH do município é de 0,764, o segundo maior índice do Estado (SEPLAN, 2016).

Três bacias hidrográficas compõem a área paraíense: bacia do rio Tocantins, bacia do ribeirão dos Mangues e bacia do rio do Côco. São cinco as unidades geomorfológicas: Planalto do Interflúvio Tocantins - Araguaia, ocupando a parte central, leste e norte do município; depressão do Médio Tocantins, na porção sudeste; Depressão do Alto Tocantins, em parte das áreas sul e central; Depressão de Cristalândia, no oeste e parte do norte; e Depressão do Médio e Baixo Araguaia, ocupando pequenas áreas da porção oeste. Quanto ao uso e cobertura do solo, Paraíso do Tocantins apresenta: Cerrado Sentido Restrito, Cerradão, e Agropecuária. (SEPLAN, 2007; 2016; 2019d)

Segundo o Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016), esta municipalidade tocantinense se insere na região turística tocantinense Serras e Lago do Programa de Regionalização do Turismo - Roteiros do Brasil, sendo seu principal cartão de visita a Serra do Estrondo. É um município do Polo Cantão, referente ao ecoturismo, e do Polo Palmas pelo PDITS.

Paraíso do Tocantins apresenta temperatura mínima anual com valores entre 18°C e 19°C nos picos elevados localizados na APA Serra do Estrondo, entre 20°C e 21°C na maior parte do município e entre 22°C e 23°C ao longo do Ribeirão dos Mangues. Nos meses de junho, julho e agosto são registrados os menores valores mensais, entre 18°C e 19°C. Sua temperatura média anual encontra-se entre 24°C e 27°C e a máxima anual varia entre 30°C e 33°C. Em setembro são registrados os maiores valores mensais de $T_{máx}$, chegando aos 37°C.

O regime anual de chuvas de Paraíso do Tocantins tem totais acumulados entre 1792mm e 1920mm. No mês de março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, entre 280 e 320mm, com aumento de sudeste para noroeste. O período chuvoso de Paraíso dura entre 170 e 180 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de novembro a abril, quando são observadas a ocorrência de até 8 veranicos por ano, em média. Em janeiro e março podem ocorrer até 18 dias de chuva superior a 1mm. Ocorrem anualmente entre 98 dias e 108 dias de chuva no município.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão, com predomínio espacial de valores anuais entre 600mm e 800mm, mas encontram-se áreas dispersas por todo o município com valores entre 400mm e 600mm. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a março, sendo fevereiro e março os meses com maior excedente, entre 120mm e 180mm mensais. Verifica-se o predomínio da deficiência hídrica moderada no inverno, mas com áreas sobre a Serra do Estrondo com grande deficiência hídrica. Esta variável assume valores anuais que variam entre 400mm a 640mm. A deficiência se estabelece entre os meses de junho e setembro, sendo mais intensa em agosto. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno, mas ocorrem áreas na Serra do Estrondo com clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno. Paraíso do Tocantins

pertence ao clima tropical com estação seca no inverno segundo a classificação climática de Köppen-Geiger.

No mosaico de gráficos das variáveis hidrológicas obtidas para o município de Paraíso do Tocantins, apresentado na Figura 51, é possível acompanhar diversas informações de eventos de chuvas intensas, mensal e anual, ocorridas e estimadas para o município. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

A precipitação máxima diária anual em Paraíso do Tocantins, de 1990 a 2019, varia entre 55,20mm e 132,90mm, com valor médio de 94,78mm. Os dados da série histórica anual se distribuem no histograma de frequência com assimetria negativa (-0,06; à esquerda). É curioso perceber que os dois intervalos de classe de maior frequência, com valores centrais de 74,63mm e 100,53mm, estão, um a direita, e outro à esquerda, do valor médio da série. Esta condição justifica a proximidade à simetria da frequência dos dados. Este conjunto de dados possui tempo de retorno de até 21 anos.

As curvas IDF, obtidas pela aplicação da distribuição de probabilidade, mostram valores de intensidade variando entre $380,3\text{mmh}^{-1}$ e $708,9\text{mmh}^{-1}$ para eventos de menor duração (5 minutos) e TR de 2 e 1000 anos, respectivamente. Para os mesmos tempos de retorno, mas, considerando eventos com duração de 24 horas (1440 minutos) as intensidades variam entre $4,4\text{mmh}^{-1}$ e $8,3\text{mmh}^{-1}$, respectivamente. Todos os valores obtidos para a relação IDF do município em análise são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Paraíso do Tocantins – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Intensidade Máxima para Duração e TR (mm/h)								
Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	380,3	456,9	500,6	538,8	583,9	615,3	682,1	708,9
10	302,0	362,8	397,6	427,8	463,7	488,6	541,6	563,0
15	261,0	313,5	343,6	369,7	400,7	422,2	468,1	486,5
20	226,5	272,1	298,2	320,9	347,8	366,4	406,2	422,2
25	203,6	244,6	268,0	288,4	312,5	329,4	365,1	379,5
30	138,0	165,7	181,6	195,4	211,8	223,2	247,4	257,2
60	39,1	47,0	51,5	55,5	60,1	63,3	70,2	73,0
360	11,2	13,4	14,7	15,8	17,2	18,1	20,1	20,9
480	9,1	10,9	12,0	12,9	14,0	14,7	16,3	16,9
600	7,6	9,2	10,1	10,8	11,7	12,4	13,7	14,2
720	6,6	7,9	8,7	9,4	10,1	10,7	11,8	12,3
1440	4,4	5,3	5,8	6,3	6,8	7,2	7,9	8,3

Fonte: elaboração do Autor, 2020.

Valores mais realísticos podem ser estimados pela aplicação de uma equação de intensidade, obtida especificamente para Paraíso do Tocantins, conforme Equação 31, e cujos valores numéricos são apresentados na Tabela 28.



Valores mais realísticos podem ser estimados pela aplicação de uma equação de intensidade, obtida especificamente para Paraíso do Tocantins, conforme Equação 31. As curvas que relacionam a intensidade, a duração e frequência dos eventos estimados com esta equação são apresentados graficamente na Figura 51. Nestas curvas acompanha-se as intensidades variando entre $142,3\text{mmh}^{-1}$ e $416,9\text{mmh}^{-1}$ para eventos de menor duração (5 minutos) e TR de 2 e 1000 anos, respectivamente. Para os mesmos tempos de retorno, mas, considerando eventos com duração de 24 horas (1440 minutos) as intensidades variam entre $3,3\text{mmh}^{-1}$ e $9,8\text{mmh}^{-1}$, respectivamente.

$$I = \frac{5966,27 \text{ TR}^{0,17}}{(t + 35,32)^{1,04}} \quad (\text{Eq. 31})$$

Tabela 28. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Paraíso do Tocantins – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Intensidade Máxima para Duração e TR (mm/h)								
Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	142,3	166,7	188,0	211,9	248,3	280,0	369,8	417,0
10	126,0	147,6	166,4	187,6	219,8	247,8	327,4	369,1
15	112,9	132,3	149,2	168,2	197,1	222,2	293,5	330,9
20	102,3	119,9	135,2	152,4	178,6	201,3	265,9	299,8
25	93,5	109,5	123,5	139,2	163,1	183,9	243,0	273,9
30	86,0	100,8	113,7	128,1	150,1	169,3	223,6	252,1
60	58,0	68,0	76,6	86,4	101,2	114,1	150,8	170,0
360	13,2	15,4	17,4	19,6	23,0	25,9	34,2	38,6
480	10,0	11,7	13,2	14,9	17,4	19,6	25,9	29,2
600	8,0	9,4	10,6	11,9	14,0	15,8	20,8	23,5
720	6,7	7,8	8,8	10,0	11,7	13,2	17,4	19,6
1440	3,3	3,9	4,4	5,0	5,8	6,6	8,7	9,8

Fonte: elaboração do Autor, 2020.

As diferenças de estimadas pelas duas metodologias, mostram-se crescentes de maneira mais acentuada até o conjunto de dados TR50, praticamente estabilizam de TR50 para TR100 e decrescem daí para TRs maiores. Os eventos de chuvas intensas com duração inferior a 60 minutos, obtidos pela distribuição de probabilidade, são mais superestimados nos TRs de 50 e 100 anos.

A precipitação provável, de eventos de chuva intensa com duração entre 5 e 60 minutos, estimada pela equação de intensidade, tem, respectivamente, valores entre 11,85mm e 58,01mm considerando o TR2, entre 13,89mm e 67,97mm para TR5, entre 15,66mm e 76,62mm para TR10, entre 17,66mm e 86,39mm para TR20 e entre 20,69mm e 101,23mm para TR50. Estes dados mostram valores que podem ser igualados ou superados pelo menos uma vez em um ano qualquer dentro do período correspondente ao TR indicado. Estes tempos de retorno são comumente adotados para projetos de obras hidráulicas envolvendo drenagem do solo, galerias de águas pluviais, drenos de encosta e terraços, por exemplo.

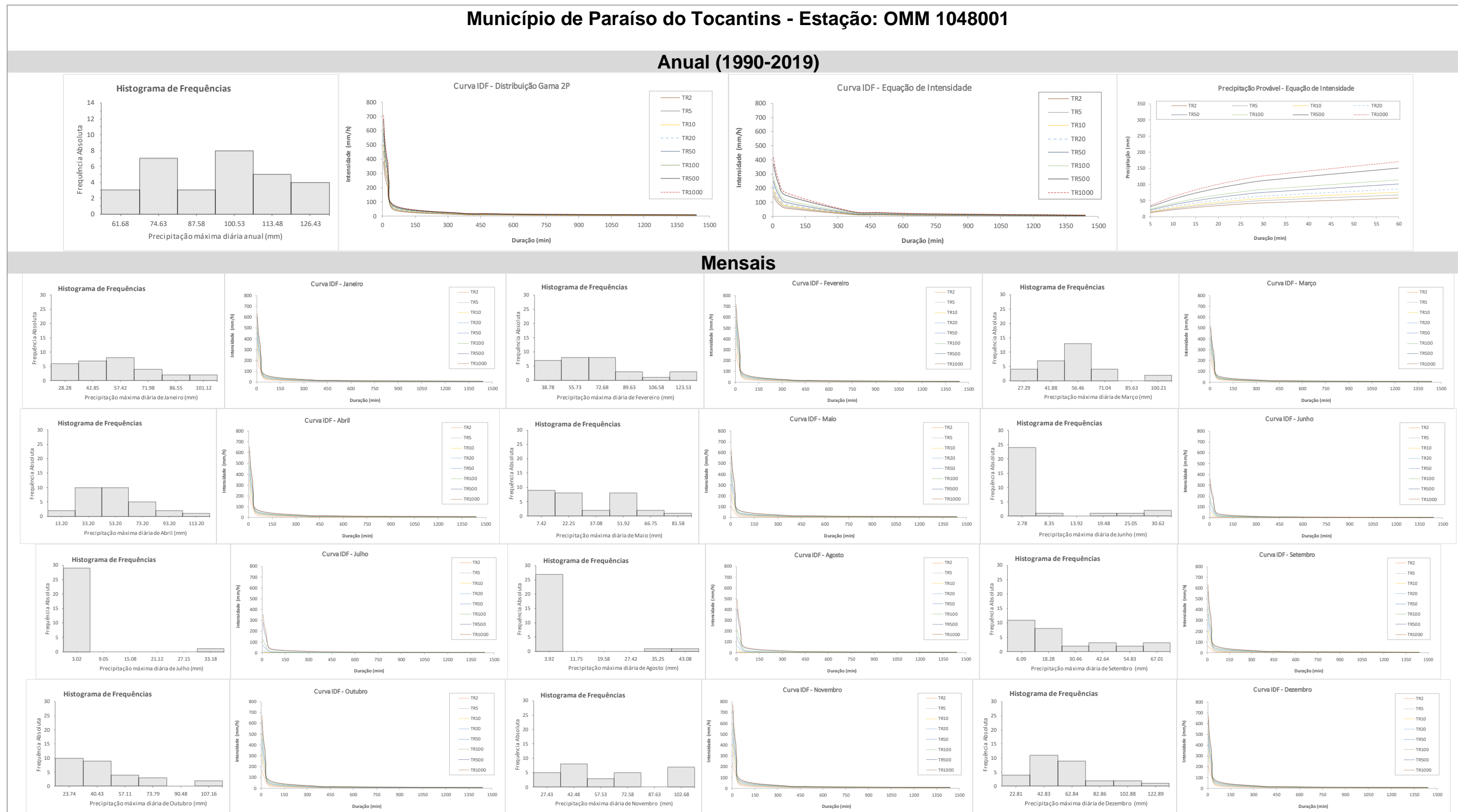
A distribuição de frequência dos dados de precipitação máxima diária de escala anual apresentou assimetria negativa, fato não observado em nenhuma distribuição em escala mensal. O maior valor da série anual (132,90mm) foi registrado no mês de dezembro de 2001, ano hidrológico de total neutralidade, ou seja, sem a ocorrência de nenhum evento ENOS. Em três momentos foi registrado o menor valor da série anual (55,20mm), em dezembro de 2005 (neutro), em março de 2009 (El Niño moderado), e em janeiro de 2017 (La Niña moderada). Desta análise pode-se inferir que eventos de menor magnitude são mais frequentes do que os de maior magnitude. Há poucos indícios que permitam uma inferência mais acurada sobre a interferência dos fenômenos ENOS relativo a frequência de chuvas intensas em Paraíso do Tocantins.

As curvas IDF de cada mês, obtidas da aplicação da distribuição de probabilidade, evidenciam o comportamento sazonal da precipitação máxima diária mensal. Pode inferir-se que, de um modo geral, eventos de maior tempo de retorno resultam em maiores lâminas de precipitação. Ao se fixar o TR, as maiores lâminas serão acumuladas para os eventos de maior duração. Tomando o mês de dezembro como exemplo, por ter registrado os valores extremos de precipitação máxima diária da série anual, verifica-se que as intensidades variam entre $211,5\text{mmh}^{-1}$ e $676,6\text{mmh}^{-1}$ para eventos de menor duração (5 minutos) e TR de 2 e 1000 anos, respectivamente. Para os mesmos tempos de retorno, mas, considerando eventos com duração de 24 horas (1440 minutos) as intensidades variam entre $2,5\text{mmh}^{-1}$ e $7,9\text{mmh}^{-1}$, respectivamente.

Prevenir ou mitigar as consequências decorrentes de eventos extremos de precipitação intensa exige a adoção de políticas públicas que podem e devem fazer uso de informações das curvas IDF e de precipitação provável, em ambas escalas temporais. Tais informações dão suporte a gestão de recursos hídricos, independentemente do uso final ao qual se destina tal recurso, e a sazonalidade pode contribuir para uma avaliação mais acurada dos riscos envolvidos na tomada de decisão.



Figura 51. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Paraíso do Tocantins - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.13. Pium

Localizado na região programa Centro-Oeste, o município de Pium, com 7.743 habitantes, tem 17,9% de seus domicílios atendido pelo esgotamento sanitário adequado, 81,3% de suas vias públicas são arborizadas, mas apenas, 0,5% possuem obras de urbanização (IBGE, 2020).

A 279 metros de altitude e se estendendo por uma área de 10.013,8km², sobre cinco bacias hidrográficas (bacia do rio Araguaia, bacia do rio Riozinho, bacia do rio Javaés, bacia do rio Pium, e bacia do rio Côco) e cinco unidades geomorfológicas (Planície do Araguaia - Javaés, Depressão do Médio e Baixo Araguaia, Depressão de Cristalândia, Depressão do Alto Tocantins e Planícies Fluviais), a cobertura e uso do solo no município está organizado da seguinte forma: Parque de Cerrado, grande concentração na metade oeste do território, onde ocupa a maior parte da área; Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, predomínio nas regiões central e norte; Agropecuária, na metade leste; Cerrado Sentido Restrito, concentração na metade leste, ocupando, aproximadamente, de 30% a 50% do território; e Cerradão, maior concentração na região central (SEPLAN, 2007, 2016, 2019d).

Segundo o Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016), Pium está contemplado pelo PDITS se inserindo no Polo Cantão. Quanto ao Programa de Regionalização do Turismo - Roteiros do Brasil, pertence a região turística Lagos e Praias do Cantão. Esta é uma área de transição entre o Cerrado e Floresta Amazônica e Pium se destaca por sua influência histórica na emancipação do Estado devido ao garimpo de cristal de rocha. O município ainda abrange populações tradicionais do Parque do Araguaia e terras indígenas *Inawebohona* e *Utaria Wyhyna/ Iròdu Iràna*. Também compõem o corredor ecológico Araguaia-Bananal.

A importância ambiental de Pium é evidente. Regiões como Pium são muito vulneráveis às mudanças climáticas devendo-se ter particular atenção à gestão dos espaços e dos recursos. Modificações de temperatura do ar e regime de chuvas podem trazer maior abundância e disseminação de vetores e patógenos.

Verifica-se através da análise climatológica de Pium, que o município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, e que no mês de julho são registrados os menores valores mensais, entre 18°C e 19°C. A temperatura máxima anual fica em torno de 33°C, mas nos meses mais quentes, agosto e setembro, os valores podem chegar aos 37°C. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1536mm, na parte oeste do município, e 1920mm na faixa leste. Seu período chuvoso tem duração de 180 dias, concentrados nos meses de novembro a abril, e durante estes meses são observadas a ocorrência de até 7 veranicos em média anual. Entre os meses de janeiro e março podem ocorrer até 16 dias com precipitação superior a 1mm. Anualmente podem ocorrer entre 88 dias e 98 dias de chuva.

Na Figura 52 está disponível o mosaico de gráficos gerados a partir de dados hidrológicos do município de Pium. As informações contidas neste mosaico dão suporte ao estudo de chuvas intensas, em escala mensal e anual. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Observa-se que os dados de precipitação máxima diária anual, de 1990 a 2019, variam entre 56,70mm e 136,90mm, com valor médio de 93,38mm, em Pium, com maior tempo de retorno correspondendo a



23 anos. A distribuição de frequência destes dados possui assimetria positiva, e quantidades relativamente uniformes entre as classes. Esta distribuição equilibrada sugere que os eventos verificados em Pium apresentam chances semelhantes de ocorrência.

Aplicando-se a distribuição de probabilidade aos dados de precipitação máxima diária anual, obtém-se as curvas IDF, cujos resultados variam de $744,9\text{mmh}^{-1}$, para eventos de precipitação intensa com duração de 5 minutos e tempo de retorno de 1000 anos, e $4,34\text{mmh}^{-1}$, para eventos de precipitação intensa com duração de 24 horas (1440 minutos) e tempo de retorno de 2 anos.

A equação de intensidade de precipitações aplicável ao município de Pium é apresentada na Equação 32. Sua aplicação gerou as curvas IDF cujos valores, mais próximos da realidade local, variam de $406,9\text{mmh}^{-1}$, para eventos de precipitação intensa com duração de 5 minutos e tempo de retorno de 1000 anos, e $3,51\text{mmh}^{-1}$, para eventos de precipitação intensa com duração de 24 horas (1440 minutos) e tempo de retorno de 2 anos.

$$I = \frac{6486,27 TR^{0,17}}{(t + 39,37)^{1,05}} \quad (\text{Eq. 32})$$

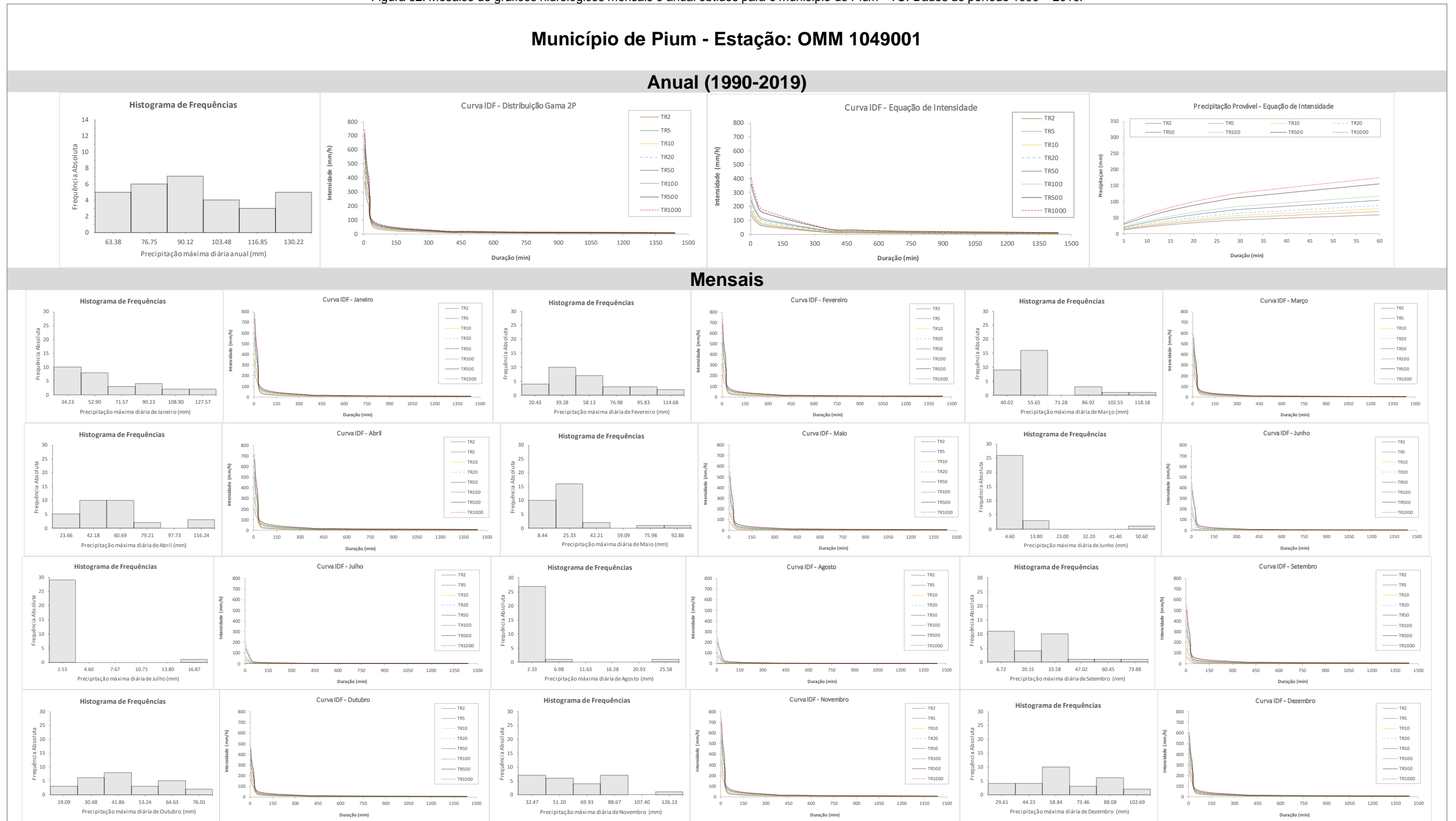
A partir das intensidades obtidas com a Equação 32 foram calculadas as precipitações prováveis para eventos de chuva com duração entre 5 e 60 minutos. Os eventos de chuva com duração de 60 minutos apresentam lâminas de precipitação, com valores de 59,32mm; 69,58mm; 78,50mm; 88,56mm; 103,87mm; 117,19mm; 155,06mm; e 174,94mm, que podem ser igualadas ou superadas pelo menos uma vez em períodos de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos, respectivamente.

O clima tropical, caracterizado pela sazonalidade da precipitação, e a extensa área inundável do município, reforçam a importância de analisar-se o comportamento temporal da precipitação máxima diária e das curvas IDF's distribuídos ao longo do ano hidrológico, ou seja, em escala mensal.

Os dados de precipitação máxima diária mensal se distribuem no histograma de frequência de modo a apresentarem assimetria positiva em todos os meses do ano. Maior irregularidade na distribuição é observada nos meses de junho, julho e agosto, o trimestre mais seco, quando cerca de 90% dos eventos de chuva ocorridos estão alocados no primeiro intervalo de classe, cujo valor central é de 4,60mm; 1,35mm; e 2,33mm, respectivamente.

Considerando as características do município, devem ser analisados os eventos com menor duração e menor tempo de retorno quando busca-se informações hidrológicas direcionadas para ações no ambiente urbano. Porém, para a gestão ambiental, de produção e qualidade da água e risco de inundações, devem ser acompanhados os eventos de maior duração. Lembra-se que Tucci (2003) destaca que, em média, a cada 2 anos, as enchentes naturais extravasam a calha menor do rio, ocupando, assim, seu leito maior, avançando sobre a planície de inundação. Logo podem ser analisados os dados de chuvas intensas para TR de 2 anos, para conhecer esses processos e suas consequências.

Figura 52. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Pium - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.14. Dianópolis

O município localiza-se a 702 metros de altitude, tem 22.424 habitantes, sendo o mais populoso da região programa Sudeste do Tocantins. O esgotamento sanitário chega a 14,9% dos domicílios dianopolinos, 81,9% das vias públicas estão arborizadas e 7,4% possuem obras de urbanização (IBGE, 2013; CIDADE-BRASIL, 2020).

Sua área territorial de 3.217,3km² se estende sobre duas bacias hidrográficas, a bacia do Ribeirão Corda, que abrange a região oeste; e a bacia do rio Tocantins, que abrange as regiões central e leste. As unidades geomorfológicas presentes no município são: Chapadão Ocidental Baiano; Patamares das Mangabeiras; Patamares do Chapadão Ocidental Baiano; Planícies Fluviais; e Depressão do Alto Tocantins, na região Oeste. Quanto ao uso e cobertura da terra, cinco principais tipos predominam: Campo, uso prevalente em Dianópolis, concentrado nas regiões oeste, central e nordeste; Cerrado Sentido Restrito, predomínio na metade oeste do território; Agropecuária, maior concentração na metade oeste, mas sem ocupar grandes áreas; Cultura Temporária, na região fronteira no nordeste do município; e Campo Rupestre, principalmente na região nordeste (SEPLAN, 2007; 2016; 2019d).

O Programa de Regionalização do Turismo do Mapa do Turismo Brasileiro – (MTUR) definiu regiões turísticas em todo o Brasil, que em nível estadual foram adotadas pela Agência de Desenvolvimento Turístico – ADTUR. Na região turística Serras Gerais do Tocantins, que reúne cidades antigas do Estado, Dianópolis se destaca pelos festejos do Divino que envolvem a comunidade e turistas de todo o Estado. Os segmentos turísticos desenvolvidos no município são: turismo cultural, e o ecoturismo e turismo de aventura (SEPLAN, 2016).

Da análise climatológica de Dianópolis, observa-se que o município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C na metade oeste, 20°C na faixa central e 18°C nos pontos altos da Serra Geral de Goiás, na divisa com a Bahia, onde no mês de julho são registrados valores mensais de 16°C. A temperatura máxima anual no município fica em torno de 33°C na metade oeste e 31°C na metade leste, porém em setembro, mês mais quente, os valores podem chegar aos 35°C em todas as áreas. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1408mm e 1536mm. Seu período chuvoso tem duração de 160 dias a 170 dias, abrangendo os meses de novembro a abril, durante os quais são observadas a ocorrência de 7 a 8 veranicos, em média. No mês de fevereiro podem ocorrer 14 dias com precipitação superior a 1mm.

Dianópolis apresenta grande excedente hídrico no verão, entre os meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente. Mas, são identificadas pequenas áreas no oeste e sudoeste do município com moderado excedente hídrico no verão. A deficiência hídrica se concentra no inverno, entre os meses de junho e setembro, sendo mais intensa nos dois últimos meses do período. A metade oeste do município tem deficiência hídrica moderada no inverno e a metade leste grande deficiência hídrica no inverno. Estas condições lhe confere a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: na metade oeste predomina clima subúmido com moderada deficiência no inverno e na metade leste clima subúmido com grande deficiência no inverno.

Observa-se condições hídricas bastante restritivas em Dianópolis, especialmente entre os meses de junho a setembro. A garantia de produção agrícola, pecuária e de abastecimento exige, muitas vezes,

a formação de reservatórios, que serão mais seguros e eficazes se forem projetados com base em dados hidrológicos. Destaca-se que, no sentido de enfrentamento das condições climáticas e fisiográficas do local, Dianópolis desenvolve o projeto de irrigação Manuel Alves e participa do programa de perenização das águas do Tocantins (Propertins). Este último visa tornar permanente a disponibilidade de água em diversas bacias e sub-bacias hidrográficas da região Sudeste (SEPLAN, 2016).

No mosaico de gráficos das variáveis hidrológicas obtidas para o município de Dianópolis, apresentado na Figura 53, é possível acompanhar diversas informações de eventos de chuvas intensas, mensal e anual, ocorridas e estimadas para o município. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Entre os anos de 1990 e 2018, a precipitação máxima diária anual em Dianópolis teve valores entre 36,20mm e 167,50mm, com valor médio da série histórica de 88,16mm. A distribuição de frequência destes dados se concentra no terceiro intervalo de classe, com valor central de 90,91mm, onde 48% dos dados se agrupam, e nesta classe está incluída a média da série histórica.

Destaca-se o elevado tempo de retorno do evento mais severo, que é de 115 anos, cujo valor de precipitação é de 167,50mm. Este é um evento muito raro, em especial quando se verifica que o tempo de retorno do evento imediatamente inferior (136,10mm) é de 18 anos. Este seria um evento potencialmente perigoso para reservatórios construídos com baixo rigor técnico, situação comum em muitas comunidades brasileiras.

As relações entre intensidade, duração e frequência de eventos de chuvas intensas são apresentadas na Figura 53. No gráfico obtido pela distribuição de probabilidade verifica-se que a intensidade da precipitação tem valores de, 347,81mmh⁻¹ para TR de 2 anos; 674,20mmh⁻¹ para TR de 100 anos; e 812,81mmh⁻¹ para o TR de 1000 anos, considerando eventos com duração de 5 minutos. Os valores são de, 4,05mmh⁻¹ para TR de 2 anos; 7,85mmh⁻¹ para TR de 100 anos; e 9,46mmh⁻¹ para o TR de 1000 anos, considerando eventos com duração de 1440 minutos (24 horas).

Quando aplica-se a Equação 33, que é uma equação particularizada para o município de Dianópolis para a estimativa da intensidade da precipitação, os valores obtidos ficam: para eventos com 5 minutos de duração - 105,15mmh⁻¹ para TR de 2 anos; 198,18mmh⁻¹ para TR de 100 anos; e 287,78mmh⁻¹ para o TR de 1000 anos; para eventos com 1440 minutos (24 horas) - 2,43mmh⁻¹ para TR de 2 anos; 4,57mmh⁻¹ para TR de 100 anos; e 6,64mmh⁻¹ para o TR de 1000 anos.

$$I = \frac{4642,24 TR^{0,16}}{(t + 35,88)^{1,05}} \quad (\text{Eq. 33})$$

Observa-se que os resultados obtidos pela distribuição de probabilidade são superestimados, em até três vezes, para eventos com duração menor que 60 minutos e subestimados em uma vez e meia para maiores durações, quando comparados aos resultados da aplicação da Equação 33. Esta diferença se deve ao fato da equação ser obtida com características físicas do local, resultando em valores mais realísticos, principalmente para eventos com 60 minutos de duração.

Os dados de precipitação provável apresentados serão analisados tomando o tempo de retorno de 100 anos como referência, para se comparar com os valores extremos da série histórica anual. Então, se

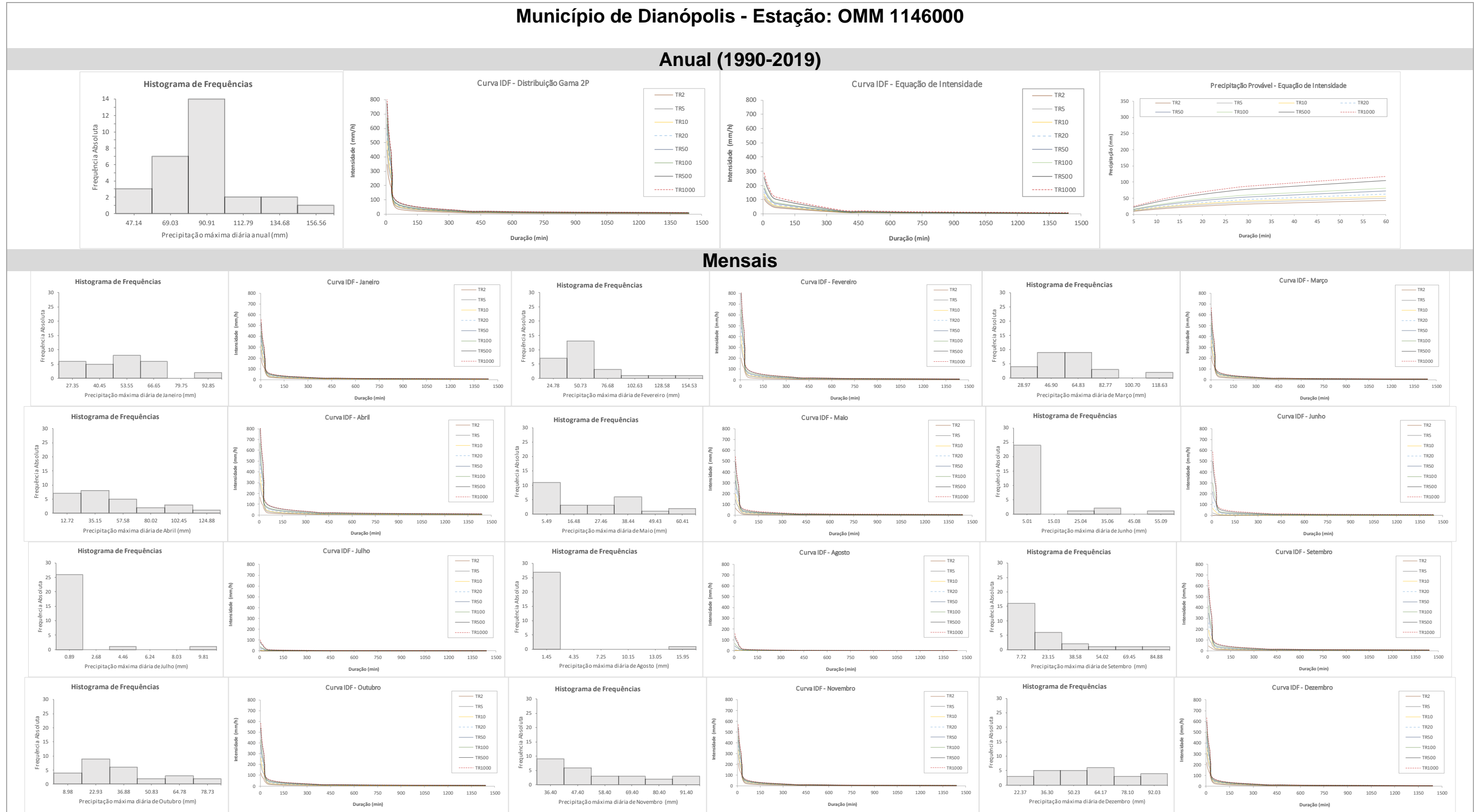


têm no TR100 valores de precipitação provável de 16,52mm para um evento com duração de 5 minutos, e de 80,90mm para um evento de chuva com 60 minutos de duração. O maior valor da série é de 167,50mm que corresponde ao dobro do valor estimado, fornecendo indícios de que o evento real teve duração superior a 60 minutos.

Acompanhando-se a sazonalidade dos processos hidrológicos, verifica-se nos histogramas de frequência que todos os meses possuem distribuição com assimetria positiva, ou seja, os dados se concentram nos menores valores de precipitação. Identifica-se que entre os meses de maio a setembro, a maior quantidade de dados da respectiva série histórica mensal foi alocada no primeiro intervalo de classe da série, evidenciando o baixo volume acumulado em cada evento de precipitação. Maiores serão os reflexos do evento de chuva quanto menor for sua duração. A relação entre intensidade, duração e frequência dos eventos de chuvas intensas pode ser acompanhada nos gráficos das curvas IDF de cada mês.

O maior volume precipitado, referente a série anual, é de 167,50mm apresentava TR de 115 anos. Este volume corresponde ao evento registrado em fevereiro de 2012, na série histórica mensal, cujo TR correspondente é de 139 anos. Então pode-se inferir que os riscos associados a este evento são maiores do que aqueles evidenciados pela escala anual. Este evento extremo, registrado no mês de fevereiro, estaria associado com alguma intensidade do TR de 100 anos, cujos valores variam de $650,30\text{mmh}^{-1}$ para os eventos de menor duração (5 minutos), e $7,57\text{mmh}^{-1}$ para os eventos de maior duração (1440 minutos). A interpretação que deve ser dada a este conjunto de resultados do TR100 é a seguinte: os resultados obtidos podem ser iguados ou superados, pelo menos uma vez, em um ano qualquer dentro de um intervalo de 100 anos de registro.

Figura 53. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Dianópolis - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.15. Natividade

Este é um município da região programa Sudeste do Tocantins, situada a 357 metros de altitude. Possui 36,1% dos domicílios atendidos por esgotamento sanitário adequado, 93,1% das vias públicas são arborizadas e apenas 0,4% possuem urbanização (IBGE, 2013, CIDADE-BRASIL, 2020).

Se estendendo por uma área territorial de 3.240,7km², o município está localizado sobre duas bacias hidrográficas, são elas: bacia do rio Manuel Alves da Natividade, que abrange quase todo o município; e a bacia do rio das Balsas, cobre uma pequena área do norte nativitano. São três as unidades geomorfológicas presentes no município: Depressão do Alto Tocantins, no sul e em partes do norte do município; Serra da Natividade, em quase todo o norte; e Planícies Fluviais, em uma pequena área na porção central. Quanto ao uso e cobertura do solo cinco principais tipos predominam no município: Agropecuária; Cerradão; Cerrado Sentido Restrito; Campo Rupestre; e Campo (SEPLAN, 2007; 2016; 2019d).

Natividade está alocada na região turística Serras Gerais, de acordo com critérios estabelecidos pelo Programa de Regionalização do Turismo do Mapa do Turismo Brasileiro e adotados pela ADTUR. Sua história remete ao período do Brasil colonial, do qual sobraram ruínas da igreja e da cidade velha, ruas estreitas e antigos casarões, com sua arquitetura de influência portuguesa e francesa, tombados pelo IPHAN, patrimônio histórico e cultural que lhe oferta a exploração do turismo cultural (SEPLAN, 2016).

Da análise climatológica de Natividade, constata-se que a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 22°C nas áreas ribeirinhas do rio Manuel Alves, tem valor de 20°C na faixa leste do município e pode chegar aos 18°C nos pontos altos da Serra do Belo Horizonte, sendo os valores mais baixos registrados no mês de julho. A temperatura máxima anual é de 33°C, mas nas regiões serranas fica em torno de 31°C, tendo pontos do extremo norte nativitano com valor médio de 28°C. Setembro é o mês mais quente com valores que podem chegar aos 37°C, principalmente no sul e oeste do município. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1280mm e 1408mm, porém no norte o volume acumulado chega a 1536mm. Seu período chuvoso tem duração de 160 dias a 180 dias (maior no oeste e norte), abrangendo os meses de novembro a abril, durante os quais são observadas a ocorrência de 7 a 8 veranicos, em média. Entre janeiro e março podem ocorrer de 12 a 14 dias de chuva superior a 1mm.

O excedente hídrico do município se concentra entre os meses de janeiro a março, sendo março o mês com menor excedente do período. O norte e o leste de Natividade apresentam grande excedente hídrico no verão, enquanto o oeste e o sul tem moderado excedente hídrico no verão. A deficiência hídrica é observada entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto. A maior parte do município tem grande deficiência hídrica no inverno, com algumas áreas esparsas, principalmente no leste e no oeste, com moderada deficiência hídrica no inverno. Estas condições lhe confere a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: no sul do município predomina o clima subúmido seco, com grande deficiência hídrica no inverno, mas no leste desta região tem áreas com moderada deficiência; no restante da municipalidade prevalece o clima subúmido com grande deficiência no inverno, com pequena área ao oeste de moderada deficiência. Segundo a classificação de Köppen-Geiger o clima de Natividade é tropical com estação seca no inverno,

Observa-se condições hídricas bastante restritivas em Natividade, especialmente entre os meses de junho a outubro. A garantia de produção agrícola, pecuária e de abastecimento exige, muitas vezes, a formação de reservatórios, que serão mais seguros e eficazes se forem projetados com base em dados hidrológicos.

Na Figura 54 está disponível o mosaico de gráficos gerados a partir de dados hidrológicos do município de Natividade. As informações contidas neste mosaico dão suporte ao estudo de chuvas intensas, em escala mensal e anual. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Os dados de precipitação máxima diária anual de Natividade, do período de 1990 a 2019, resultam em um valor médio de 87,02mm, cujos extremos mínimo e máximo são de 26,10mm e 157,40mm, respectivamente. No total foram utilizados 29 anos de dados, sendo excluído o ano de 1996. Conforme verifica-se no histograma de frequência, os dados possuem distribuição assimétrica positiva, ou seja, no sentido dos menores valores. O terceiro intervalo de classe, de valor central 80,81mm, é o que inclui o maior número de dados da série, correspondendo a 48% dos eventos.

Ao aplicar a distribuição de probabilidade à série amostral, verifica-se que o tempo de retorno associado aos eventos de chuva analisados varia de 1 a 120 anos. A mesma distribuição de probabilidade foi utilizada para estimar as precipitações com tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos, as quais, após a desagregação da chuva com durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos, possibilitou a estimativa das respectivas intensidades de eventos de chuvas intensas correspondentes.

As relações entre intensidade, duração e frequência de eventos de chuvas intensas em Natividade são apresentadas na Figura 54. Os valores variam entre 334,50mmh⁻¹ para TR2; 631,72mmh⁻¹ para TR100; e 750,91mmh⁻¹ para o TR1000, considerando eventos com duração de 5 minutos. As intensidades são: 3,89mmh⁻¹ para TR2; 7,36mmh⁻¹ para TR100; e 8,74mmh⁻¹ para o TR1000, considerando eventos com duração de 1440 minutos (24 horas).

Ao aplicar-se a Equação 34, que é uma equação particularizada para o município de Natividade para a estimativa da intensidade da precipitação, os valores obtidos ficam: para eventos com 5 minutos de duração – 12000mmh⁻¹ para TR2; 268,69mmh⁻¹ para TR100; e 431,76mmh⁻¹ para o TR1000; para eventos com 1440 minutos (24 horas) – 5,14mmh⁻¹ para TR2; 11,50mmh⁻¹ para TR100; e 18,48mmh⁻¹ para o TR1000.

$$I = \frac{2113,85 TR^{0,21}}{(t + 30,30)^{0,85}} \quad (\text{Eq. 34})$$

Observa-se que os resultados obtidos pela distribuição de probabilidade são superestimados, em até 2,7 vezes, para eventos de chuva com duração, em geral, menor que 60 minutos. Eventos de duração superior são subestimados (em até 2,2 vezes) pela aplicação da distribuição de probabilidade, quando comparados aos resultados da aplicação da Equação 34.

Os dados de precipitação provável, para eventos com 5 minutos de duração tem valores entre 10,00mm para TR2; 22,39mm para TR100; e 35,98mm para TR1000; para eventos com 30 minutos de duração tem valores entre 38,17mm para TR2; 85,45mm para TR100; e 137,31mm para TR1000; e para eventos



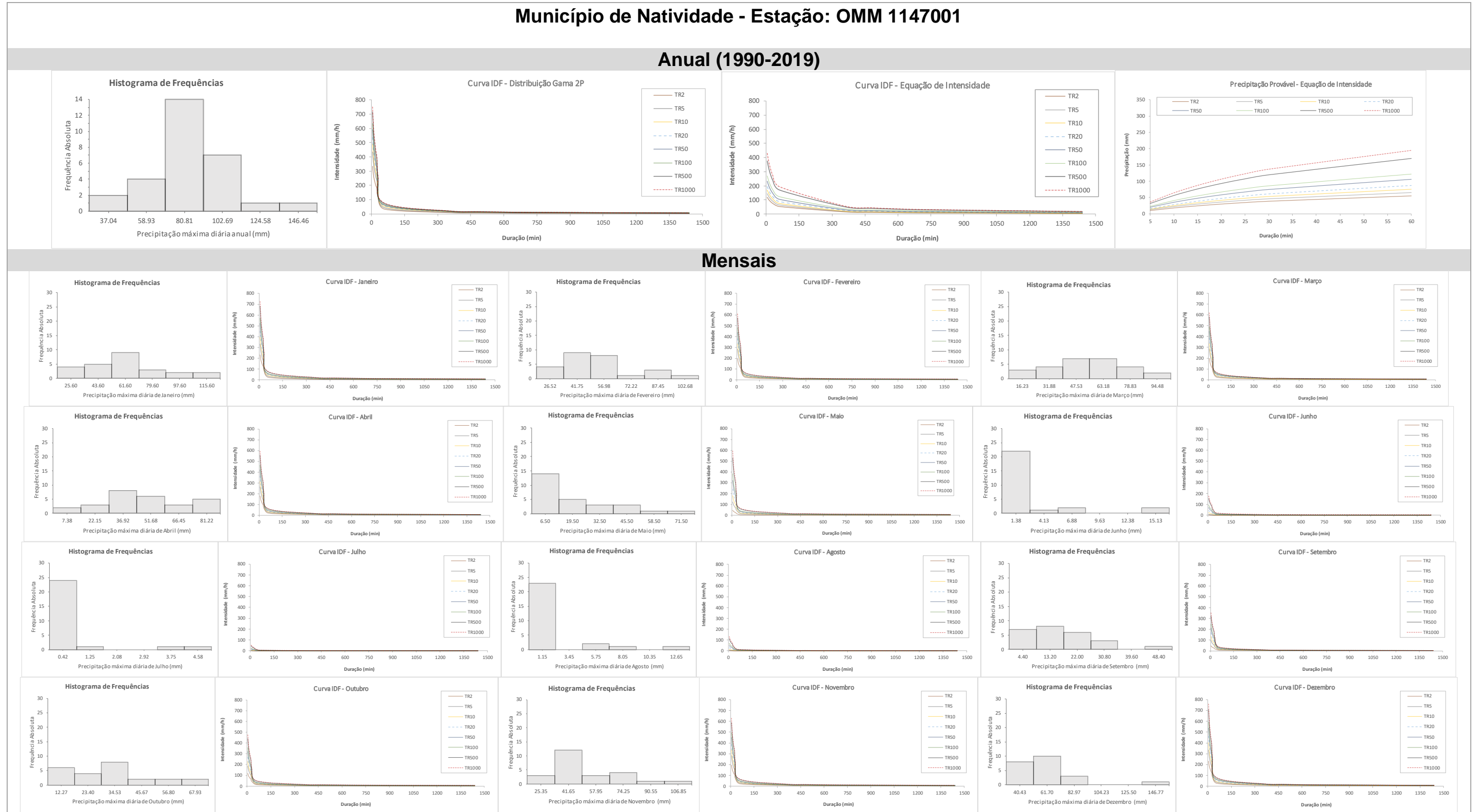
com 60 minutos de duração tem valores entre 54,27mm para TR2; 121,49mm para TR100; e 195,24mm para TR1000. Estes resultados mostram o volume acumulado de chuva que pode ser igualado ou superado, considerando-se eventos de chuva com as durações citadas, pelo menos uma vez, em um ano qualquer de um período correspondente ao total de anos do respectivo TR.

A sazonalidade dos dados hidrológicos é verificada pela análise dos dados de precipitação máxima diária mensal e as curvas que relacionam a intensidade, a duração e a frequência de eventos de chuva intensa em escala mensal (Figura 54). De acordo com o comportamento em escala anual, os dados mensais apresentam distribuição de frequência com assimetria positiva.

Destaca-se a distribuição de frequência dos dados do mês de março, que divide 52% dos eventos nos dois intervalos de classe centrais, cujos valores médios das classes são 47,53mm e 63,18mm, respectivamente. Isto mostra que mais da metade dos eventos de chuva que ocorrem no município tem valores entre 39mm e 71mm, que são os limites das duas classes centrais.

O evento de precipitação máxima diária, de volume 157,40mm e TR de 120 anos em escala anual, foi registrado no mês de dezembro de 1990. Em escala mensal este evento de chuva tem um TR de 197 anos, ou seja, os riscos associados a este evento são muito maiores quando se analisa a sazonalidade dos dados de chuvas intensas. Entretanto, as curvas IDF de dezembro não apresentam nenhuma característica que se destaque das demais, pois elas são geradas considerando os valores médios da série histórica e o desvio padrão dos dados, e estes parâmetros, do mês de dezembro, são bastante próximos dos valores do mês de janeiro, por exemplo. O que se percebe é que, de uma maneira geral, os valores de intensidade da precipitação estimadas pela distribuição de probabilidade, são ligeiramente maiores em dezembro do que em janeiro.

Figura 54. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Natividade - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.16. Arraias

Este município de 10.534 habitantes, conforme estimativa do IBGE para o ano de 2020, está situado a 740 metros de altitude na microrregião Sudeste do Tocantins, é considerado o mais alto do Estado. Ocupa a primeira posição da região nos quesitos trabalho e rendimento. Tem 25,6% dos domicílios atendidos por esgotamento sanitário adequado, 70,2% das vias públicas são arborizadas e apenas 0,4% possuem urbanização, mesmo assim é a segunda melhor condição da região (IBGE, 2013, CIDADE-BRASIL, 2020).

Com área territorial de 5.786,9km², o município se espalha por duas bacias hidrográficas, as quais são: bacia do rio Palma, no nordeste; e bacia do rio Paranã, ao sudoeste. São quatro as unidades geomorfológicas presentes no município: Depressão do Alto Tocantins, em grande parte do centro e oeste de Arraias; Patamares do Chapadão Ocidental Baiano, no leste; Serra da Natividade, na parte central, e em porções do leste e nordeste do município; e Complexo Montanhoso Veadeiro – Araí, no sudoeste arraiano. Quanto ao uso e cobertura do solo cinco principais tipos predominam no município: Agropecuária; Cerradão; Cerrado Sentido Restrito; Campo Rupestre; e Campo. O Município compõe o corredor ecológico Paranã-Pirineus, de responsabilidade do MMA através do Ibama (SEPLAN, 2007; 2016; 2019d).

O Programa de Regionalização do Turismo (MTUR) definiu regiões turísticas em todo o Brasil, que em nível estadual foram adotadas pela Agência de Desenvolvimento Turístico – ADTUR. Segundo o Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016), Arraias se insere na região turística Serras Gerais explorando o segmento do turismo cultural por sua história, que remete ao período do Brasil colonial, e o conjunto arquitetônico de casarios.

Da análise climatológica de Arraias, constata-se que a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 22°C, mas ocorrem valores de 20°C nos pontos altos das serras arraianas, sendo os valores mais baixos registrados no mês de julho. A temperatura máxima anual no município é de 35°C, mas nas regiões serranas podem ser registrados valores entre 28°C e 32°C. Setembro é o mês mais quente, com valores que podem chegar aos 39°C, principalmente no sul do município. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1152mm na parte oeste crescendo até 1408mm em direção ao leste arraiano. Seu período chuvoso tem duração de 150 dias a 160 dias, entre os meses de novembro a março, durante os quais são observadas a ocorrência de 7 a 8 veranicos em média. De janeiro a março são registrados em média 14 dias com precipitação superior a 1mm.

O excedente hídrico do município se concentra entre os meses de janeiro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente do período. O leste de Arraias apresenta grande excedente hídrico no verão, enquanto o oeste tem pequeno ou nulo excedente hídrico, já na faixa central o excedente hídrico no verão é moderado. A deficiência hídrica é observada entre os meses de maio e outubro, sendo mais intensa em agosto. Quase todo o município tem grande deficiência hídrica no inverno, com algumas áreas esparsas, com moderada deficiência. Estas condições lhe confere a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: no centro e oeste do município predomina o clima subúmido seco, com grande deficiência hídrica no inverno, tendo áreas esparsas com moderada deficiência; no leste da municipalidade prevalece o clima subúmido com grande deficiência no inverno.

Os dados hidrológicos aplicáveis para Arraias, em escala mensal e anual, são apresentados no mosaico de gráficos que consta na Figura 55. Lembra-se que as estações pluviométricas de Arraias apresentam muitas falhas e seus dados foram descartados. Por isso, os dados de precipitação utilizados para a elaboração dos gráficos aqui apresentados foram obtidos da estação localizada no município de Conceição do Tocantins, distante cerca de 90km ao norte de Arraias. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

A série histórica de precipitação máxima diária anual de Conceição do Tocantins é composta por dados dos anos de 1990 a 2019. Os extremos da série são 50,90mm e 183,30mm e o valor médio é de 83,77mm. No histograma de frequência observa-se que 96% dos dados da série estão alocados nos três primeiros intervalos de classe, cujo limite superior da classe 3 é 117,10mm. Apenas um ano foi assimilado no último intervalo de classe, cujo valor central é de 172,27mm, cujo evento será detalhado na análise mensal.

As obras urbanas necessárias para a garantir a saúde e bem-estar da população, do ponto de vista de drenagem urbana básica, envolvem estudos de chuvas intensas com tempo de retorno de até 25 anos, e de 500 anos para as áreas que envolvem a construção de edificações de uso estratégico. Segundo a SEPLAN (2016) já está inventariado o projeto da UHE de Arraias, que certamente contempla estudos de variáveis hidrológicas de altíssimos tempos de retorno, superior a 1000 anos.

A aplicação da distribuição de probabilidade, cujo gráfico das curvas IDF é apresentado na Figura 55, mostra a intensidade de chuvas intensas com duração de 5 minutos a 24 horas (1440 minutos) para eventos com até 1000 anos de tempo de retorno. Considerando os eventos de menor duração (5 minutos) as intensidades variam entre 334,50mmh⁻¹, e 752,58mmh⁻¹; para chuvas intensas com 60 minutos de duração os valores estão entre 34,43mmh⁻¹, e 77,47mmh⁻¹; e para a máxima duração ficam entre 3,89mmh⁻¹ e 8,76mmh⁻¹, para eventos com TR de 2 e 1000 anos respectivamente. Estes não são os resultados mais adequados para Arraias, considerando que os dados de sua estação pluviométrica não puderam ser utilizados.

As curvas IDF geradas a partir da equação de intensidade de chuvas intensas, obtida particularmente para o município de Conceição do Tocantins (Equação 35), são aplicáveis prioritariamente nesta municipalidade, sendo útil também para localidades próximas e com características geofísicas semelhantes.

$$I = \frac{2666,08 TR^{0,20}}{(t + 31,51)^{0,89}} \quad (\text{Eq. 35})$$

A análise da variabilidade sazonal da precipitação, e conseqüente escoamento superficial e recarga de aquíferos, é importante para a tomada de decisão em escala municipal, regional e em nível de bacia hidrográfica, mas é, especialmente importante, do ponto de vista de produção e armazenamento de água, pois as quantidades anuais não refletem as condições de déficit e excedente presentes no ano hidrológico.

A análise climatológica de Arraias mostra que no município predomina o clima subúmido seco, com grande deficiência hídrica no inverno, e o excedente hídrico do município se concentra entre os meses de janeiro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente do período.



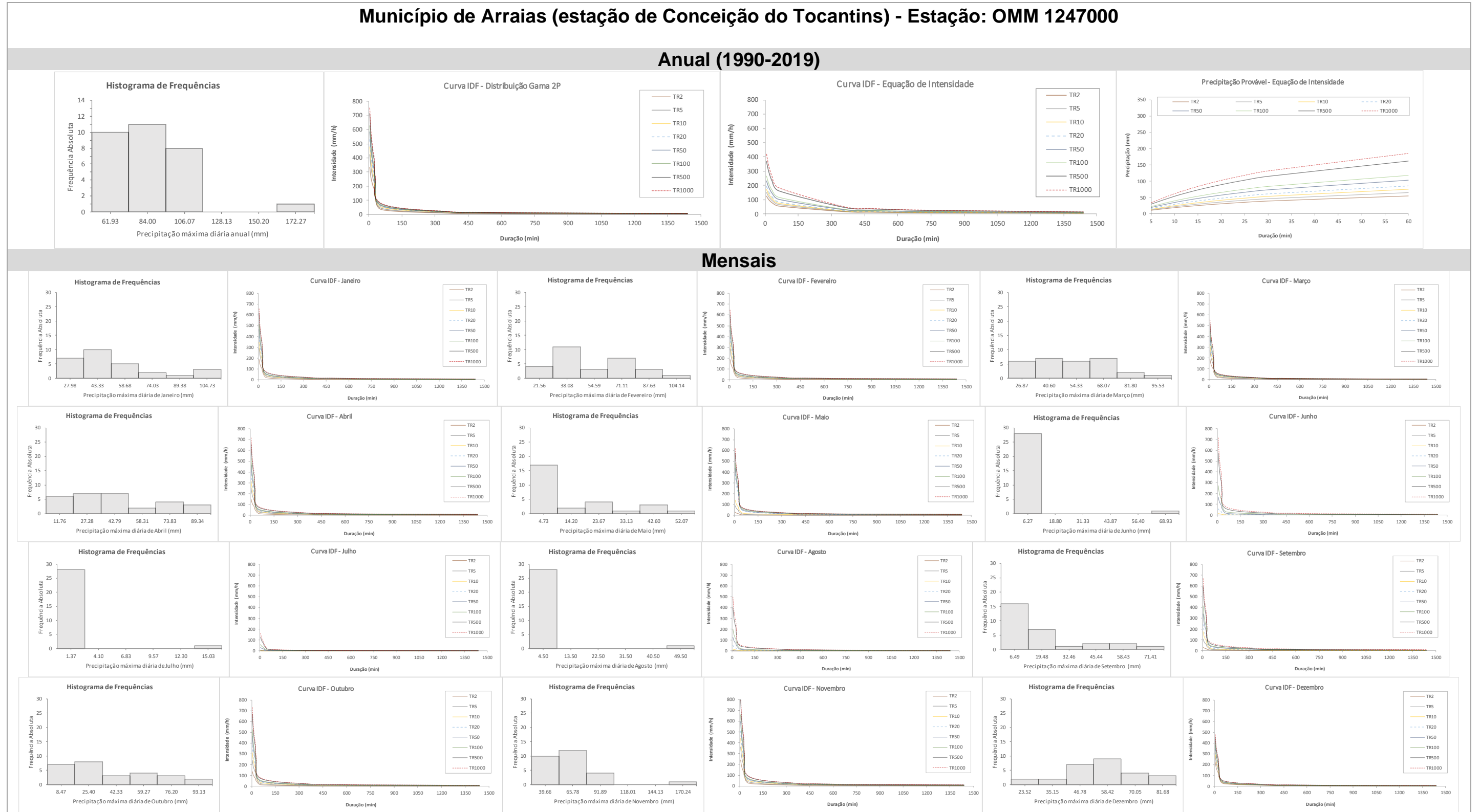
Efetuar alguma consideração a respeito do comportamento climatológico ou hidrológico de Arraias a partir dos dados de Conceição do Tocantins, não é a situação ideal, mas é possível devido à proximidade física dos dois municípios, e com muita frequência, na maioria dos municípios brasileiros, essa é a única alternativa de análise.

A estação de Conceição do Tocantins registrou em novembro de 2012 a precipitação máxima diária de 183,30mm. O evento que provocou esta precipitação é tão incomum em escala anual, que se alocou sozinho em um intervalo de classe da distribuição de frequência. Em escala mensal, este continua sendo um evento extremo muito raro, também isolado em um único intervalo de classe do histograma de frequência do mês de novembro. Mas o que cabe destaque é que, este evento é menos raro em escala mensal, pois o tempo de retorno associado a ele é de 267 anos, enquanto em escala anual foi de 912 anos.

Um evento desta magnitude irá sem dúvida imprimir alguma assinatura na relação entre a intensidade, a duração e a frequência de chuvas intensas, representada na curva IDF. Observar que os valores de intensidade da precipitação são bem superiores no mês de novembro, mesmo se comparado aos meses de janeiro, fevereiro e março, que são meses de maiores volumes precipitados e com períodos longos de dias consecutivos com precipitação acima de 1mm.

A adoção de políticas públicas com intuito de prevenir ou mitigar as consequências decorrentes de eventos extremos de precipitação intensa, podem ser melhor direcionadas se apoiadas em informações das curvas IDF em ambas escalas temporais. Tais informações dão suporte a gestão de recursos hídricos, independentemente do uso final ao qual se destina tal recurso, e a sazonalidade constitui-se um novo componente na avaliação de risco.

Figura 55. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Arraias - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



4.4.17. Peixe

Localizado na região programa Sul do Tocantins, o município de Peixe, com 11.873 habitantes, conforme estimativa do IBGE para o ano de 2020, tem 21,6% de seus domicílios atendido pelo esgotamento sanitário adequado, 61,1% de suas vias públicas são arborizadas porém nenhuma urbanizada (IBGE, 2013).

Com 246 metros de altitude, se estende por uma área de 5.291,2km², sobre quatro bacias hidrográficas: bacia do rio Santo Antônio, bacia do rio Santa Tereza, bacia do rio Tocantins, e bacia do rio São Valério (SEPLAN; 2019d). Três unidades geomorfológicas estão presentes no município: Depressão do Alto Tocantins, ocupando a maior parte do território; Planícies Fluviais, ocupando faixas nas regiões oeste, central e leste; e Planalto do Alto Tocantins - Paranaíba, ocupando pequenas áreas na região sul (SEPLAN, 2016). Baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra (SEFPLAN, 2007), há um predomínio de três usos do solo, no município, são eles: Cerrado Sentido Restrito, ocupando áreas extensas por todo o território, exceto na região oeste; Agropecuária, com maior ocupação na metade leste do município; e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, presente em todas as regiões.

Segundo o Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016), dos seis segmentos turísticos definidos e organizados pela Agência de Desenvolvimento Turístico – ADTUR, Peixe se insere em dois: pesca esportiva e o segmento sol e praia. Das regiões turísticas definidas pelo Programa de Regionalização do Turismo (MTUR), Peixe pertence a Serras Gerais, e se destaca por seu passado histórico e pelos atrativos naturais. Abriga a área de proteção ambiental Lago de Peixe Angical, de uso sustentável e de responsabilidade estadual.

Da climatologia de Peixe, constata-se que a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 20°C, sendo os valores mais baixos, até 16°C, registrados no mês de julho. A temperatura máxima anual é de 33°C, e setembro é o mês mais quente, com valores que podem chegar aos 37°C. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1280mm, na metade sul, chegando a 1536mm na metade norte. O período chuvoso tem duração de 170 dias a 180 dias na maior parte do território, porém no leste dura entre 160 dias e 170 dias. Este período de chuvas se estende pelos meses de novembro a abril, durante os quais são observadas, em média, a ocorrência de 7 a 8 veranicos. Em fevereiro podem ocorrer 14 dias com precipitação superior a 1mm.

O excedente hídrico do município se concentra entre os meses de janeiro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente do período. Peixe apresenta excedente hídrico moderado no verão, com áreas esparsas, principalmente ao norte, com grande excedente hídrico. A deficiência hídrica é observada entre os meses de julho e outubro, sendo mais intensa em agosto. O centro, sudoeste e sul do município tem grande deficiência hídrica no inverno, e o restante apresenta moderada deficiência. Estas condições lhe confere a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: no sul do município predomina o clima subúmido seco com grande deficiência hídrica no inverno; no restante prevalece o clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno, mas com grande deficiência nos extremos oeste e leste desta parcela de território.

No mosaico de gráficos das variáveis hidrológicas obtidas para o município de Peixe, apresentado na Figura 56, é possível acompanhar diversas informações de eventos de chuvas intensas, mensal e anual, ocorridas e estimadas para o município. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição

de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Em Peixe, os dados de precipitação máxima diária anual, do período de 1990 a 2019, resultam em um valor médio de 84,07mm, cujos extremos mínimo e máximo são de 47,10mm e 137,70mm, respectivamente. Conforme verifica-se no histograma de frequência, os dados possuem distribuição assimétrica positiva, ou seja, no sentido dos menores valores. O segundo e o terceiro intervalos de classe, de valor central 69,75mm e 84,85mm, respectivamente, comportam 66% dos eventos da série histórica anual.

Ao aplicar a distribuição de probabilidade à série amostral, verifica-se que o tempo de retorno associado aos eventos de chuva analisados varia de 1 a 53 anos. A mesma distribuição de probabilidade foi utilizada para estimar as precipitações com tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos, as quais, após a desagregação da chuva, resultou em intensidades de eventos de chuvas intensas com os correspondentes TR.

As curvas IDF de eventos de chuvas intensas em Peixe são apresentadas na Figura 56. Os valores variam entre 334,69mmh⁻¹ para TR2 e 701,56mmh⁻¹ para o TR1000, considerando eventos com duração de 5 minutos. As intensidades são: 3,89mmh⁻¹ para TR2 e 8,17mmh⁻¹ para o TR1000, considerando eventos com duração de 1440 minutos (24 horas).

Ao aplicar-se a Equação 36, que é uma equação particularizada para o município de Peixe, utilizada na estimativa da intensidade da precipitação, os valores obtidos foram: para eventos com 5 minutos de duração – 143,87mmh⁻¹ para TR2 e 527,31mmh⁻¹ para o TR1000; para eventos com 1440 minutos (24 horas) – 4,75mmh⁻¹ para TR2 e 17,41mmh⁻¹ para o TR1000.

$$I = \frac{8712,20 \text{ TR}^{0,21}}{(t + 52,62)^{1,05}} \quad (\text{Eq. 36})$$

Os resultados de precipitação provável obtidos para o município, mostram valores bem elevados, quando comparados aos demais municípios tocantinenses avaliados, especialmente para eventos com maior duração e maior tempo de retorno. É perceptível que as curvas crescem de forma mais acentuada até a duração de 25 minutos, passando a um crescimento mais suave, independente da frequência dos eventos de chuva.

A Usina Hidrelétrica de Peixe Angical está localizada no rio Tocantins, entre os municípios de Peixe, São Salvador do Tocantins e Paranã, na região sul do Estado. Por um lado, o lago formado pelo barramento do rio proporciona a formação de pontos turísticos, que pode ser uma nova fonte de recurso para as áreas impactadas. Por outro, o represamento ocasiona mudanças no leito do rio, principalmente a montante do barramento, alterando praias, mas também impactando o patrimônio arquitetônico das cidades e na identidade das populações ribeirinhas afetadas (SEPLAN, 2016).

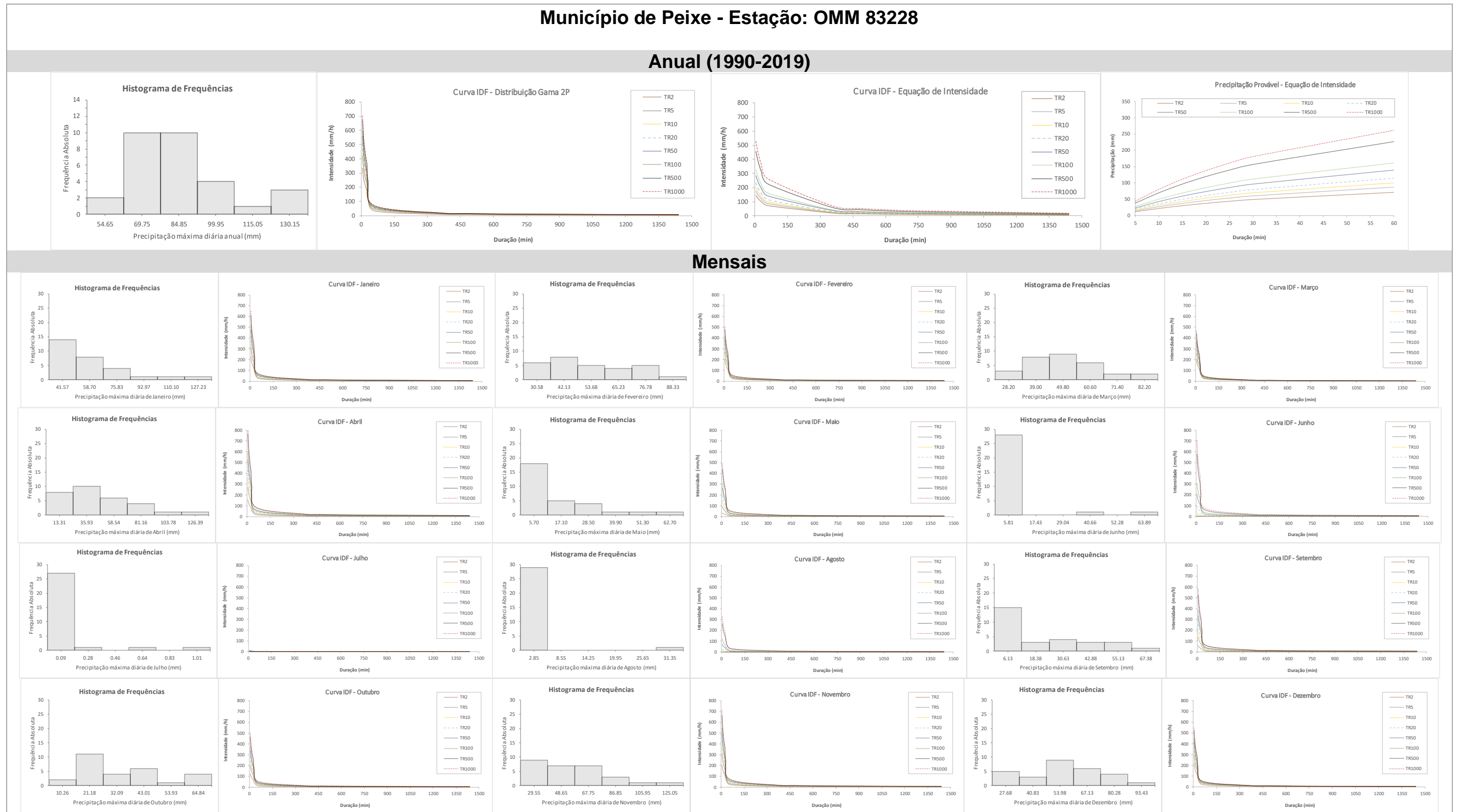
Os impactos gerados pela criação do lago podem refletir também nas condições climáticas de Peixe. O propósito deste estudo não incluiu a análise de tendência de mudança climática, mas com certeza, o município de Peixe e arredores apresentam mudanças em suas climatologias que seriam identificadas com esse tipo de estudo, pela mudança ambiental observada e pelo conjunto de dados pré-existentes.

Para avaliar a sazonalidade dos dados hidrológicos, observa-se os gráficos da Figura 56 em escala mensal. Os histogramas de frequência mensais apresentam o mesmo padrão de assimetria do anual, assimétricos à direita, ou seja, com dados de menor valor ocorrendo com maior frequência.



Pode-se verificar que, quanto maior a uniformidade na distribuição de frequência dos dados mensais, ou seja, menor o desvio padrão dos dados em torno da média, menor a amplitude dos valores de intensidade da precipitação do correspondente mês, considerando eventos de chuva com a mesma duração. A média da série dos dados tem efeito sobre a magnitude das intensidades, maior média, intensidades também maiores.

Figura 56. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Peixe - TO. Dados do período 1990 – 2019.





4.4.18. Gurupi

Localizado na região programa Sul do Tocantins, o município de Gurupi, com 87.545 habitantes, é o mais populoso da região e terceiro do Estado. Tem 42% de seus domicílios atendido pelo esgotamento sanitário adequado, 97% com abastecimento de água, 88,7% de suas vias públicas são arborizadas mas, apenas, 0,4% possuem obras de urbanização. É a terceira maior cidade do Tocantins, sendo o polo regional de toda parte sul do Estado (IBGE, 2013, 2020; SEPLAN, 2016).

Sua área de 1.836,1km², a 298 metros de altitude, se estende sobre quatro bacias hidrográficas: a bacia do rio Crixás, na porção norte; a bacia do rio Tocantins, no nordeste; a bacia do rio Santo Antônio, que abrange a maior parte do município, principalmente na parte central; e a bacia do rio Formoso, que cobre algumas áreas do oeste e norte do município. Gurupi apresenta quatro unidades geomorfológicas (Depressão de Cristalândia, Depressão do Alto Tocantins, Serras de Santo Antônio - João Damião e Planícies Fluviais). A cobertura e uso do solo no município tem cinco tipos principais: Cerrado Sentido Restrito, Cerradão, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, e Agropecuária (SEPLAN, 2007, 2016; 2019d).

Segundo o Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016), dos seis segmentos turísticos definidos e organizados pela ADTUR, Gurupi se insere em negócios e eventos, e segundo as definições do MTUR, pertence a região turística da Ilha do Bananal, maior ilha fluvial do mundo. O rio Tocantins é um limite administrativo natural do município, sendo navegável no trecho gurupiense, cujas margens possuem áreas propícias à instalação de novos portos e terminais hidroviários segundo o Plano Nacional de Integração Hidroviária (PNIH).

Em Gurupi, a partir da análise climatológica, observa-se que a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 20°C, sendo os valores mais baixos, até 16°C, registrados no mês de julho, principalmente na metade sul. A temperatura máxima anual no município é de 33°C. Setembro é o mês mais quente, com valores que podem chegar aos 37°C. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1280mm no extremo sul, passando a 1408mm nas demais áreas gurupienses. O período chuvoso tem duração de 170 a 180 dias na maior parte do território, porém no extremo sul dura entre 160 e 170 dias. Este período de chuvas se estende entre os meses de novembro e abril, se interrompendo em março no sul, e no decorrer deste são observadas até 8 veranicos, em média. Entre janeiro e março observa-se em média 14 dias de chuva superior a 1mm.

O excedente hídrico do município se concentra entre os meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente do período. Em Gurupi prevalece a condição de grande excedente hídrico no verão, mas se verificam áreas esparsas com excedente hídrico moderado. A deficiência hídrica é observada entre os meses de julho e outubro, sendo mais intensa em agosto. A maior parte do município tem grande deficiência hídrica no inverno, mas tem áreas ao centro e ao norte com moderada deficiência. Estas condições lhe confere a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: no oeste, no sul e no norte do município predomina o clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno; e na faixa central e no nordeste prevalece o clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno.

Na Figura 57 está disponível o mosaico de gráficos gerados a partir de dados hidrológicos do município de Gurupi. As informações contidas neste mosaico dão suporte ao estudo de chuvas intensas, em escala mensal e anual. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima

diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Os dados de precipitação máxima diária anual de Gurupi, do período de 1993 a 2019, resultam em um valor médio de 90,78mm, cujos extremos, mínimo e máximo, são de 48,00mm e 133,60mm, respectivamente. Conforme verifica-se no histograma de frequência, os dados possuem distribuição assimétrica positiva (0,019), cujo valor indica um equilíbrio entre a distribuição dos dados antes e depois do valor médio. O intervalo de classe que incorpora o valor médio da série histórica anual é o terceiro, sendo, também, o intervalo de maior frequência, assimilando 30% dos dados. O maior valor da série histórica (133,60mm) está associado ao tempo de retorno de 27 anos.

A distribuição de probabilidade foi utilizada para estimar as precipitações com tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos, as quais, após a desagregação da chuva com durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos, possibilitou a estimativa das respectivas intensidades de eventos de chuvas intensas correspondentes.

Pela importância do município de Gurupi, principalmente para todo o sul do Tocantins, optou-se por apresentar todos os valores numéricos resultantes das relações de intensidade, duração e frequência, expostos na Tabela 29, e cuja representação gráfica compõem o mosaico da Figura 57.

Tabela 29. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Gurupi – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	334	442	488	527	574	607	677	706
10	266	351	387	419	456	482	538	560
15	230	303	335	362	394	417	465	484
20	199	263	290	314	342	362	403	420
25	179	237	261	282	307	325	363	378
30	121	160	177	191	208	220	246	256
60	34	46	50	54	59	63	70	73
360	10	13	14	16	17	18	20	21
480	8	11	12	13	14	15	16	17
600	7	9	10	11	12	12	14	14
720	6	8	8	9	10	11	12	12
1440	4	5	6	6	7	7	8	8

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Valores mais realísticos do que os apresentados na Tabela 29 podem ser estimados pela aplicação de uma equação de intensidade, obtida especificamente para Gurupi, conforme Equação 37. Tais resultados constam na Tabela 30 e a representação gráfica no mosaico da Figura 57.

$$I = \frac{8755,64 \text{ TR}^{0,18}}{(t + 55,10)^{1,08}} \quad (\text{Eq. 37})$$



Tabela 30. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Gurupi – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	120	141	160	181	212	240	319	361
10	110	130	147	166	195	220	293	331
15	102	120	135	153	180	203	270	306
20	95	111	126	142	167	189	251	284
25	88	104	117	133	156	176	234	265
30	83	97	110	124	146	165	220	248
60	60	70	79	90	105	119	159	179
360	15	18	20	23	27	30	40	45
480	11	13	15	17	20	23	30	34
600	9	11	12	14	16	18	24	28
720	8	9	10	12	14	15	20	23
1440	4	4	5	6	7	8	10	11

Fonte: elaboração do autor, 2020.

As duas metodologias, pela distribuição de probabilidade e pela equação de intensidade, apresentam estimativas distintas para a intensidade de chuvas intensas. Observa-se que, para Gurupi, todos os eventos de chuva com duração inferior a 30 minutos são superestimados pela distribuição de probabilidade. Os eventos de chuva com duração superior a 60 minutos são subestimados pela distribuição de probabilidade. O valor da estimativa é tão maior quanto menor for a duração do evento de chuva, ou seja, as maiores superestimativas ou subestimativas estão associados a eventos com duração de 5 e 60 minutos, respectivamente. Pode-se inferir que, os eventos mais superestimados se referem ao tempo de retorno de 100 anos, enquanto no TR de 1000 anos são observados os eventos de chuva mais subestimados.

A partir da aplicação da equação de intensidade de Gurupi (Equação 37), foram estimadas lâminas de precipitação para cada evento de chuva intensa de duração de até 60 minutos e considerando os TRs do estudo. Estas precipitações prováveis são apresentadas em um gráfico, de escala anual, presente na Figura 57. Valores superiores a 90,78mm, média da série histórica, são verificados em eventos de chuva com duração de 60 minutos para TR50 e TR100, com duração superior a 25 minutos para TR500, superior a 20 minutos para TR1000. Então, pode-se inferir que, quanto mais raro for o evento de chuva intensa menos duradouro ele precisa ser, para causar o mesmo impacto que a média dos eventos extremos registrados em Gurupi causaram. Cabe destacar que eventos intensos da magnitude da média da série histórica ocorrem pelo menos uma vez a cada dois anos.

Para avaliar a sazonalidade dos dados hidrológicos de Gurupi, observa-se os gráficos da Figura 57, em escala mensal. Os histogramas de frequência mensais apresentam assimetria positiva em todos os meses, ou seja, com maior acúmulo de ocorrências no sentido dos menores valores.

Em dezembro de 2017 foi registrado o maior valor de precipitação máxima diária anual do município de Gurupi (133,60mm), da série histórica anual de 1992 a 2019. Enquanto, em termos anuais, este evento de chuva intensa apresentou um TR de 27 anos, em escala mensal, o TR associado é de 50

anos. Então, é menos provável que um evento desta magnitude ocorra novamente no mês de dezembro, do que em qualquer outro mês do ano. Isto não significa que em outros meses tem maior chance de ocorrer, pelo contrário, tomando-se outros meses do período chuvoso de Gurupi como exemplo, eventos extremos desta magnitude devem ser igualados ou superados em períodos superiores a 100 anos, e no período seco em TR superiores a 1000 anos.

Ao analisar-se as curvas IDF correspondente a cada mês, verifica-se que as intensidades de precipitação apresentam as menores intensidades, no trimestre mais seco do ano hidrológico, junho-julho-agosto. No mês de maio observa-se a maior amplitude entre as intensidades, considerando eventos de chuva intensa de mesma duração, cujos valores numéricos são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Gurupi – TO, do mês de maio, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando diferentes durações e tempos de retorno.

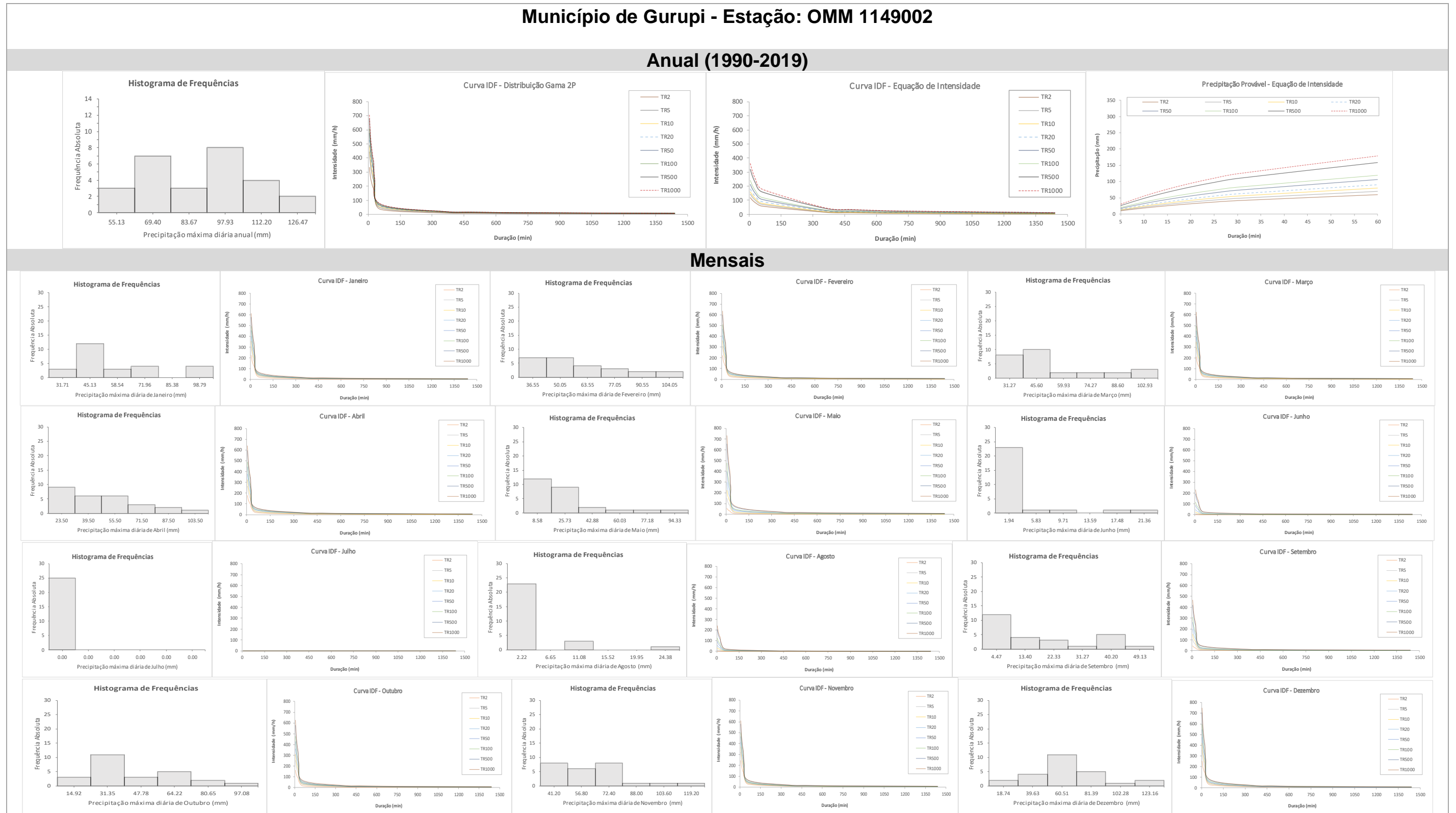
Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	56	148	222	297	397	474	654	732
10	45	118	176	235	315	376	519	581
15	38	102	152	204	272	325	449	502
20	33	88	132	177	236	282	389	436
25	30	79	119	159	213	254	350	392
30	20	54	80	108	144	172	237	265
60	6	15	23	31	41	49	67	75
360	2	4	7	9	12	14	19	22
480	1	4	5	7	9	11	16	17
600	1	3	4	6	8	10	13	15
720	1	3	4	5	7	8	11	13
1440	1	2	3	3	5	6	8	9

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Atualmente é exigido dos municípios a implementação de um plano diretor que regule a ocupação e gestão de suas municipalidades. Dentre os muitos programas deve conter, certamente deve ser contemplado algum que vise a gestão dos recursos hídricos, tanto em aspetos urbanos ou em uma visão mais genérica do território. Lembra-se que conhecer os processos e suas consequências possibilita planejar a ocupação e gestão dos espaços, minimizando impactos econômicos, sociais e ambientais.



Figura 57. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Gurupi - TO. Dados do período 1993 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.19. Formoso do Araguaia

Formoso do Araguaia está localizado na região programa Sudoeste do Tocantins, possui 18.399 habitantes, e 18,1% de seus domicílios é atendido pelo esgotamento sanitário adequado, 96,9% de suas vias públicas são arborizadas e 1,4% possuem obras de urbanização (IBGE, 2013, 2020; SEPLAN, 2016).

O município está a 234 metros de altitude, se estende por uma área de 13.423,4km², sobre quatro bacias hidrográficas: bacia do rio Araguaia, no extremo oeste; bacia do rio Riozinho, abrangendo quase todo o oeste; bacia do rio Javaés, na parte central; e bacia do rio Formoso no setor leste (SEPLAN, 2019d). Cinco unidades geomorfológicas estão presentes no município: Planície do Araguaia - Javaés; Planícies Fluviais; Depressão do Médio e Baixo Araguaia; Depressão de Cristalândia; e Depressão do Alto Tocantins (SEPLAN, 2016). Baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra (SEPLAN, 2007), os cinco principais usos do solo são: Parque de Cerrado; Cerrado Sentido Restrito; Agropecuária; Cerradão; e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial.

Segundo o Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016), dos seis segmentos turísticos definidos e organizados pela ADTUR, Formoso do Araguaia se insere em pesca esportiva, e pelas definições do MTUR pertence a região turística da Ilha do Bananal. No município encontra-se populações tradicionais do Parque do Araguaia e terras indígenas *Canoanã*, e dá acesso às aldeias indígenas *Wari Wari*, Fontoura e Santa Izabel do Morro.

Foram os povos indígenas que garantiram a ocupação desta região até 1949. A predominância de áreas sujeitas a alagamentos no período chuvoso dificultou a colonização inicial do município. Porém, é justamente esta característica que torna a área apta à cultura irrigada, cujo solo e condições climáticas garantem excelentes produtividades agrícolas (SEPLAN, 2016).

A análise climatológica de Formoso do Araguaia, mostra que a maior parte do município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, porém no leste fica em torno de 20°C. No mês de julho são registrados os menores valores mensais de T_{\min} , entre 18°C e 19°C, em praticamente todo o território. A temperatura máxima anual do município fica em torno de 33°C, chegando aos 37°C em setembro. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado de 1280mm no leste, aumentando para 1408mm na faixa central, de norte a sul, e atingindo 1536mm oeste e noroeste. O período chuvoso, entre 160 dias e 170 dias, acontece entre os meses de novembro e abril, quando são observadas a ocorrência de 7 a 8 veranicos, em média. Entre os meses de janeiro e fevereiro ocorrem, normalmente, 16 dias com precipitação superior a 1mm.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão, entre os meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente, mas são identificadas áreas dispersas na metade leste e também no extremo sul do município com moderado excedente hídrico no verão. A deficiência hídrica se concentra, entre os meses de maio e outubro, sendo mais intensa em agosto. A metade oeste do município tem deficiência hídrica moderada no inverno e a metade leste grande deficiência hídrica no inverno. Da classificação climática de Thornthwaite-Mather tem-se: na metade oeste predomina clima subúmido com moderada deficiência no inverno e na metade leste clima subúmido com grande deficiência no inverno. Adotando a classificação climática de Köppen-Geiger o município pertence a classe de clima tropical com estação seca de inverno.

No mosaico de gráficos das variáveis hidrológicas obtidas para o município de Formoso do Araguaia, apresentado na Figura 60, é possível acompanhar diversas informações de eventos de chuvas



intensas, mensal e anual, ocorridas e estimadas para o município. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Os dados de precipitação máxima diária anual de Formoso do Araguaia, do período entre 1990 e 2019, variam entre 60,30mm e 152,10mm, sendo 91,76mm o valor que representa a média da série histórica anual. Os dados se distribuem com assimetria positiva no histograma de frequência, onde observa-se que 56% dos dados estão alocados nos dois primeiros intervalos de classe, cujos valores centrais de cada classe são, 67,95mm e 83,25mm.

Da aplicação da distribuição de probabilidade obteve-se o valor de 72 anos para o tempo de retorno do maior volume de precipitação da série. Após a desagregação das chuvas estimadas para TR superior ao ofertado pela série histórica, foram obtidas as intensidade de precipitação que podem ser acompanhadas no gráfico anual da Figura 60. Na Tabela 32 apresenta-se alguns valores de intensidade para eventos de chuvas intensas com durações de 5, 60 e 1440 minutos, para todos os tempos de retorno praticados neste projeto. Estes valores poderiam ser utilizados em projetos de drenagem urbana, drenagem do solo, reservatórios, entre outros.

Tabela 32. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Formoso do Araguaia – TO, obtida a partir da distribuição de probabilidade, considerando eventos com durações de 5, 60 e 1440 minutos e todos os tempos de retorno do estudo.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	334	453	503	548	601	638	717	749
60	34	47	52	56	62	66	74	77
1440	4	5	6	6	7	7	8	9

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Valores mais realísticos podem ser obtidos aplicando-se a Equação 38. Esta equação foi obtida especificamente para Formoso do Araguaia e possibilita a estimativa da intensidade de uma determinada precipitação com duração e tempo de retorno desejável, normalmente especificado pelo projeto de gestão ou obra de engenharia. Na Tabela 32 apresenta-se alguns valores de intensidade para eventos de chuvas intensas com durações de 5, 60 e 1440 minutos, para todos os tempos de retorno praticados neste estudo. Estes valores podem ser comparados com os dados da Tabela 33.

$$I = \frac{8740,42 \text{ TR}^{0,18}}{(t + 54,66)^{1,08}} \quad (\text{Eq. 38})$$

Tabela 33. Intensidade da precipitação [mmh^{-1}] em Formoso do Araguaia – TO, obtida a partir da equação de intensidade, considerando eventos com durações de 5, 60 e 1440 minutos e todos os tempos de retorno do estudo.

Duração (minutos)	Tempo de retorno (anos)							
	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500	TR1000
5	120	141	160	180	212	240	318	359
60	59	70	79	89	105	118	157	178
1440	4	4	5	6	7	7	10	11

Fonte: elaboração do autor, 2020.

A precipitação provável estimada a partir da aplicação da equação de intensidade tem como característica: menores lâminas de precipitação associadas aos eventos de chuva com menor duração e menor tempo de retorno, crescendo de forma mais acentuada até durações de 30 minutos e desacelerando o crescimento a partir destas durações.

Então, é fundamental criar estruturas e métodos de mitigação para eventos extremos decorrentes dessa sazonalidade. Tucci (2003) destaca que as enchentes naturais extravasam a calha menor do rio, em média, a cada dois anos, ocupando, assim, seu leito maior, avançando sobre a planície de inundação, e não raramente afetando comunidades ribeirinhas. Logo, podem ser analisados os dados de chuvas intensas para TR de 2 anos, para conhecer os processos e suas consequências, e planejar a ocupação do espaço urbano e adequar infraestruturas de Formoso do Araguaia, a fim de minimizar impactos ambientais, econômicos e sociais advindos de chuvas intensas.

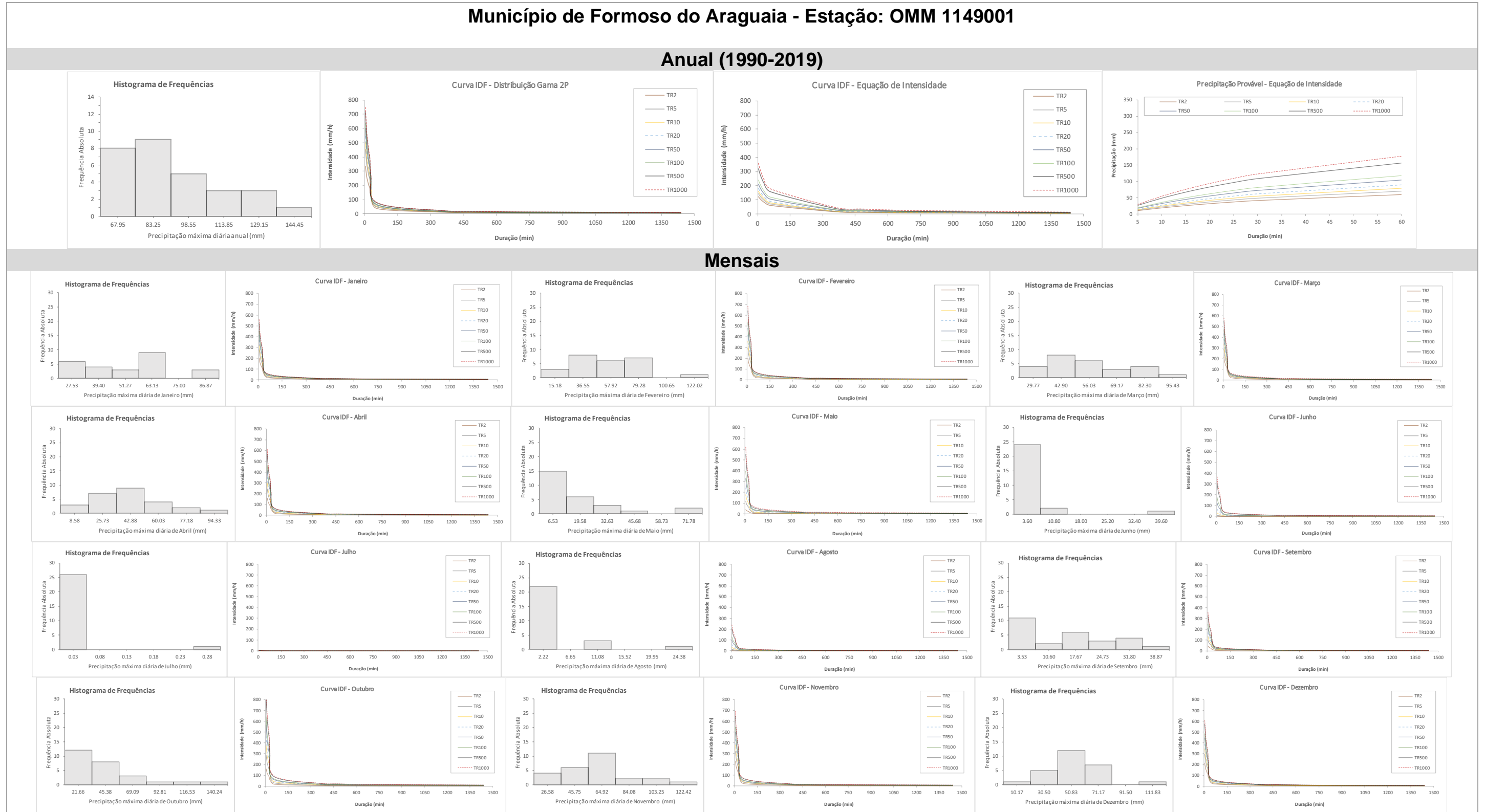
O município apresenta claramente um período chuvoso e outro seco, como ocorre comumente em regiões tropicais. Este é mais um fator que corrobora com a importância de se observar a sazonalidade das curvas IDF (Figura 58, em escala mensal). Da análise dos histogramas de frequência percebe-se a assimetria positiva em todos os meses, com dados de precipitação concentrados nos menores valores. No trimestre mais seco (junho-julho-agosto) mais de 85% dos eventos de chuvas intensas se concentram no primeiro intervalo de classe, cujos valores centrais são de 3,60mm, 0,33mm e 2,22mm, respectivamente. Percebe-se a clara diferença na assimetria dos dados entre o trimestre seco e o mais chuvoso (janeiro-fevereiro-março), onde neste último trimestre os dados estão muito mais próximos de uma simetria, ou seja, distribuição igual tanto para a esquerda quanto à direita da média.

Tal padrão afeta sobremaneira a gestão dos recursos hídricos e o planejamento de infraestruturas de saneamento e abastecimento. O conhecimento da sazonalidade das curvas IDF auxilia na tomada de decisões, pois possibilita a adequação de projetos a tal realidade. Lembra-se que a obtenção dos resultados hidrológicos em escala mensal só é possível através da aplicação da distribuição de probabilidade, pois a equação de intensidade tem parâmetros fixos para o local, não refletindo a sazonalidade.

Formoso do Araguaia participa do projeto de Revitalização de Ipucas na Planície do Araguaia, estado do Tocantins. De acordo com SEPLAN (2016) este projeto consiste no apoio a ações de reflorestamento para a recuperação das áreas de Ipucas degradadas, além de sensibilizar e conscientizar a população local em relação à preservação e manutenção adequada destas áreas. O projeto é realizado pela Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMADES a partir de convênio firmado com o Ministério do Meio Ambiente pelo Programa de Recuperação e Preservação das Bacias do Tocantins-Araguaia. Projetos desta natureza certamente contemplam estudos climatológicos e hidrológicos.



Figura 58. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Formoso do Araguaia - TO. Dados do período 1990 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.4.20. Lagoa da Confusão

O município de 13.767 habitantes, conforme estimativa do IBGE para o ano de 2020, é a principal economia da região programa Sudoeste (Ilha do Bananal), e ocupa a segunda colocação no quesito território e ambiente, conforme Censo 2010 (IBGE, 2013), tendo 5,5% dos domicílios atendidos com esgotamento sanitário adequado, 88,7% de suas vias públicas são arborizadas e 0,6% urbanizadas.

Com área territorial de 10.564,7km², que se espalha sobre cinco bacias hidrográficas (bacia do rio Araguaia, bacia do rio Riozinho, bacia do rio Javaés, bacia do rio Formoso, e a bacia do rio Pium), o município possui 186 metros de altitude. Duas unidades geomorfológicas estão presentes: Planície do Araguaia - Javaés, ocupando quase todo o território lagoense; e Depressão do Médio e Baixo Araguaia, na parte nordeste. O mapeamento da cobertura e uso da terra aponta cinco principais usos, no município, que são: Parque de Cerrado, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Cerrado Sentido Restrito, Agropecuária e Cultura Temporária. (SEPLAN, 2007; 2016; 2019d; CIDADE-BRASIL, 2020).

Segundo o Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016), a Lagoa da Confusão participa do PDITS, se inserindo no Polo Cantão. Quanto ao Programa de Regionalização do Turismo - Roteiros do Brasil, pertence a região turística Ilha do Bananal, conhecida como a maior ilha fluvial do mundo. É considerada um dos mais importantes locais de preservação ecológica do Brasil, desde 1959, quando foi instituída como reserva ambiental. Nesta área são encontrados os biomas de cerrado e de floresta amazônica e regiões com ambiente típico de pantanal durante a estação chuvosa, favorecendo os segmentos turísticos de ecoturismo, turismo de aventura e de pesca esportiva. No município encontram-se populações tradicionais do Parque do Araguaia e terras indígenas *Inawebohona*. Também compõem o corredor ecológico Araguaia-Bananal.

Assim como o município vizinho de Pium, Lagoa da confusão apresenta grande importância ambiental. Sua relevância econômica para região Sudoeste do Tocantins a torna mais vulnerável às mudanças climáticas. Lembra-se que modificações de temperatura do ar e regime de chuvas podem trazer maior abundância e disseminação de vetores e patógenos. Também podem afetar a qualidade e a quantidade da água, essenciais as atividades humanas e manutenção da vida.

Verifica-se através da análise climatológica da Lagoa da Confusão, que o município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, e que no mês de julho são registrados os menores valores mensais, entre 18°C e 19°C. A temperatura máxima anual do município fica em torno de 33°C, chegando aos 37°C em setembro. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1536mm e 1664mm em praticamente todo o município, somente uma pequena área no extremo noroeste o total acumulado que pode chegar a 1792mm anuais. Na maior parte do território lagoense o período chuvoso tem duração entre 160 dias e 170 dias durante os meses de novembro e março, entretanto, na área urbana o período chuvoso pode avançar até abril. Durante o período chuvoso são observadas a ocorrência, em média, de até 7 veranicos no município, exceto no sul onde podem ocorrer até 8 eventos anualmente. Pode-se verificar até 16 dias de precipitação superior a 1mm entre os meses de janeiro e março.

Lagoa da Confusão apresenta grande excedente hídrico no verão, entre os meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente, mas são identificadas pequenas áreas dispersas ao sul do município com moderado excedente hídrico no verão. A deficiência hídrica se concentra no inverno, entre os meses de junho e setembro, sendo mais intensa em agosto. A metade oeste do município tem deficiência hídrica moderada no inverno e a metade leste grande deficiência hídrica no inverno. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática segundo Thornthwaite-



Mather: na metade oeste predomina o clima subúmido com moderada deficiência no inverno e na metade leste clima subúmido com grande deficiência no inverno.

Na Figura 59 está disponível o mosaico de gráficos gerados a partir de dados hidrológicos do município de Lagoa da Confusão. As informações contidas neste mosaico dão suporte ao estudo de chuvas intensas, em escala mensal e anual. Os produtos gerados são: histogramas de frequência da precipitação máxima diária anual e mensal; gráficos das curvas IDF, geradas a partir da distribuição de probabilidade Gama 2P e da equação de intensidade do município; e gráfico da precipitação provável calculada a partir da intensidade obtida da equação local.

Observa-se que os dados de precipitação máxima diária anual, de 2004 a 2019, variam entre 52,40mm e 132,50mm, com valor médio de 84,26mm, em Lagoa da Confusão, com maior tempo de retorno correspondendo a 28 anos. A distribuição de frequência destes dados possui assimetria positiva, e quantidades relativamente uniformes entre as classes. Esta distribuição equilibrada sugere que os eventos de chuva em Lagoa da Confusão possuem chances semelhantes de ocorrência.

Aplicando-se a distribuição de probabilidade aos dados de precipitação máxima diária anual, obtém-se as curvas IDF, cujos resultados variam de $3,89\text{mmh}^{-1}$, para eventos de precipitação intensa com duração de 24 horas (1440minutos) e tempo de retorno de 2 anos; e $693,9\text{mmh}^{-1}$, para eventos de precipitação intensa com duração de 5 minutos e tempo de retorno de 1000 anos.

A equação de intensidade de precipitações aplicável ao município de Lagoa da Confusão está disponível abaixo, na Equação 39. Sua aplicação gerou as curvas IDF bem realísticas para o local, cujos valores variam de $3,94\text{mmh}^{-1}$, para eventos de precipitação intensa com duração de 24 horas (1440minutos) e tempo de retorno de 2 anos; e $363,67\text{mmh}^{-1}$, para eventos de precipitação intensa com duração de 5 minutos e tempo de retorno de 1000 anos.

$$I = \frac{8757,93 \text{ TR}^{0,18}}{(t + 56,87)^{1,07}} \quad (\text{Eq. 39})$$

A partir das intensidades obtidas com a Equação 39 foram calculadas as precipitações prováveis para eventos de chuva com duração entre 5 e 60 minutos. Os eventos com duração de 60 minutos apresentam lâminas de precipitação, com valores de 60,50mm; 71,28mm; 80,700mm; 91,36mm; 107,65mm; 121,87mm; 162,56mm; e 184,03mm, alturas que podem ser igualadas ou superadas pelo menos uma vez em períodos de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos, respectivamente.

A sazonalidade da precipitação e a extensa área inundável do município, reforçam a importância de analisar-se o comportamento temporal da precipitação máxima diária e das curvas IDFs distribuídos ao longo do ano hidrológico, ou seja, em escala mensal.

Os dados de precipitação máxima diária mensal se distribuem no histograma de frequência de modo a apresentarem assimetria positiva em todos os meses do ano. Maior irregularidade na distribuição é observada nos meses de junho, julho e agosto, o trimestre seco, quando mais de 80% dos eventos de chuva ocorridos no município estão alocados no primeiro intervalo de classe, cujo valor central é de 2,90mm; 0,32mm; e 1,08mm, respectivamente.

Considerando as características do município, devem ser analisados os eventos com menor duração e menor tempo de retorno quando busca-se informações hidrológicas direcionadas para ações no

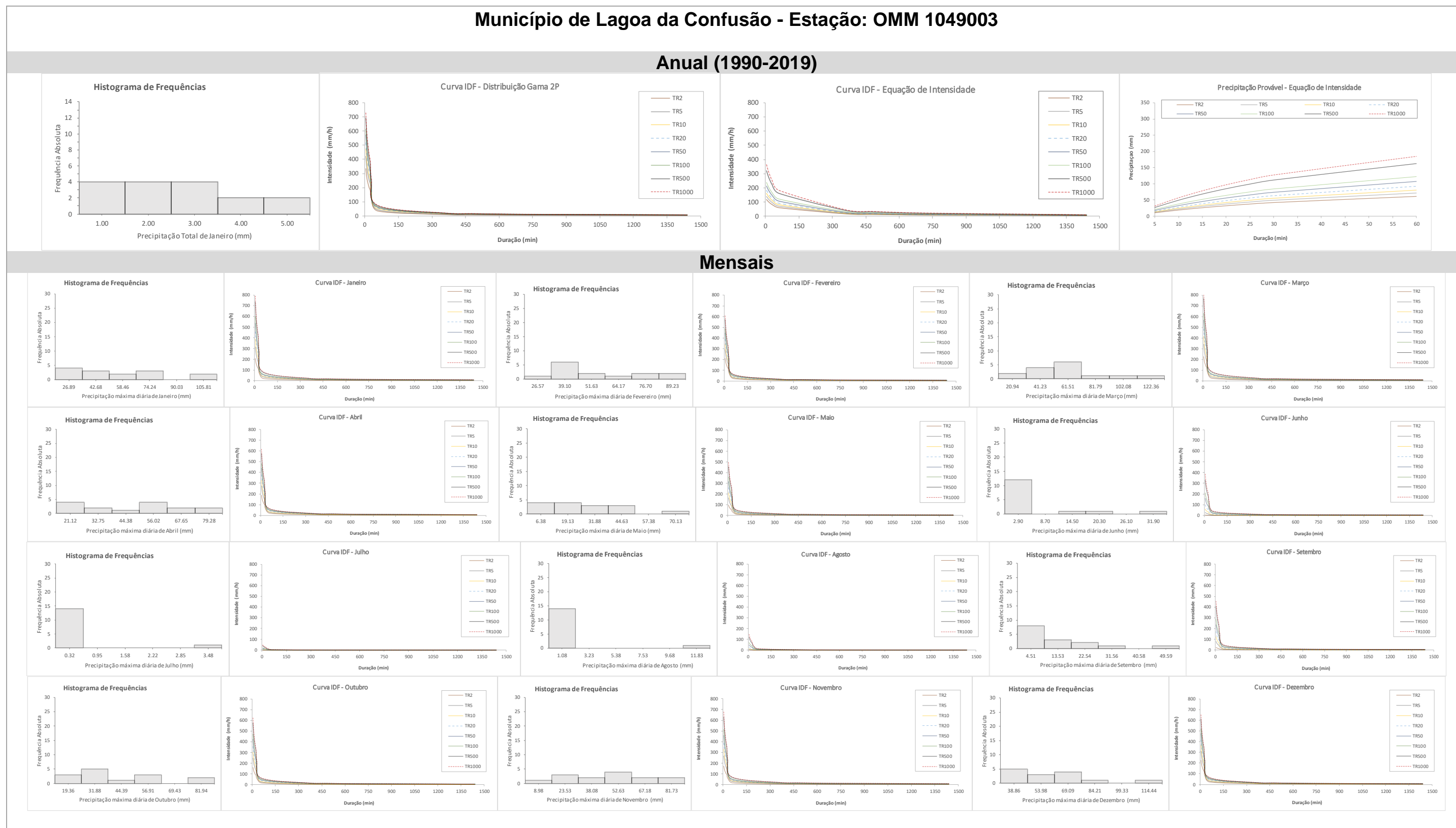
ambiente urbano. Porém, para a gestão ambiental, de produção e qualidade da água e risco de inundações, devem ser acompanhados os eventos de maior duração.

Destaca-se que a série amostral de Lagoa da Confusão é bem pequena, de 16 anos em escala anual, e de 14 e 15 anos em escala mensal. Amostras dessas dimensões não são recomendadas, sendo necessário adoção de procedimentos de preenchimento de falhas ou regionalização de dados para obter-se resultados mais sólidos. Outra característica importante do município, que deve ser observada para estudos climatológicos e hidrológicos, é o fato do município ser praticamente dividido em dois climas, um mais “úmido” à oeste e o outro mais “seco” a leste, condição que influencia de maneira decisiva na escolha de metodologias para preenchimento de falhas em séries de dados ambientais.

Lagoa da Confusão, juntamente com seu município vizinho, Formoso do Araguaia, participa do projeto de Revitalização de Ipucas na Planície do Araguaia, estado do Tocantins, que consiste no apoio a ações de reflorestamento para a recuperação das áreas degradadas de Ipucas e conscientização da população local em relação à preservação e manutenção adequada destas áreas. Estudos climatológicos e hidrológicos são muito importantes para projetos desta natureza.



Figura 59. Mosaico de gráficos hidrológicos mensais e anual obtidos para o município de Lagoa da Confusão - TO. Dados do período 2004 – 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.

De um modo geral, é possível realizar estudos hidrológicos em todo o estado do Tocantins, mesmo diante de carências pontuais de informações e dos limites impostos por séries históricas pequenas. Sempre que possível deve-se priorizar o uso de séries históricas para estudos hidrológicos, uma vez que a adoção de modelos numéricos, como a equação de intensidade da precipitação, carregam condicionantes específicas que limitam sua aplicação à localidades próximas e similares ao local onde foi gerado o respectivo modelo.

É possível obter algumas informações importantes a respeito das fontes de dados que geraram as equações de intensidade da precipitação, aplicáveis aos municípios escolhidos para este diagnóstico, consultando o resumo apresentado no Quadro 4.



Quadro 4. Resumo das equações de intensidade de precipitação obtidas para municípios do estado do Tocantins.

Estação[Código OMM]	Município	Altitude [m]	Latitude [DMS]	Longitude [DMS]	Em operação desde	Período de dados	Equação
548000	Araguatins	122	5° 38' 53,88" S	48° 07' 30" W	01/08/1974	1990 - 2019	$I = \frac{4732,32 TR^{0,229}}{(t + 46,957)^{0,995}}$
647001	Darcinópolis (Wanderlândia*)	165	6° 50' 21,12" S	47° 58' 14,16" W	01/09/1973	1990 - 2019	$I = \frac{9776,14 TR^{0,19}}{(t + 69,25)^{1,07}}$
647000	Tocantinópolis	126	6° 17' 18,96" S	47° 23' 30,84" W	01/08/1969	1990 - 2019	$I = \frac{9862 TR^{0,19}}{(t + 69,64)^{1,07}}$
82659	Araguaína	231,85	7° 06' 13,60" S	48° 12' 04,79" W	01/02/1980	1990 - 2019	$I = \frac{5958,93 TR^{0,17}}{(t + 49,74)^{0,97}}$
847002	Campos Lindos	290	7° 58' 15,96" S	46° 48' 23,04" W	01/01/1984	1990 - 2019	$I = \frac{2883,60 TR^{0,16}}{(t + 33,80)^{0,89}}$
82863	Pedro Afonso	189,53	8° 58' 06,87" S	48° 10' 38,15" W	01/03/1977	1990 - 2019	$I = \frac{8560,59 TR^{0,18}}{(t + 41,22)^{1,10}}$
848000	Colinas do Tocantins	229	8° 03' 10,08" S	48° 28' 54,12" W	01/12/1971	1990 - 2019	$I = \frac{2357,84 TR^{0,16}}{(t + 31,77)^{0,87}}$
1046001	Mateiros	240	10° 32' 47,04" S	46° 25' 06,96" W	01/03/1998	1998 - 2019	$I = \frac{4047,46 TR^{0,17}}{(t + 32,58)^{1,01}}$
1048005	Palmas	406	10° 18' 47,88" S	48° 09' 45" W	01/06/1976	1990 - 2019	$I = \frac{5958,92 TR^{0,17}}{(t + 35,30)^{1,04}}$
83604	Porto Nacional	243,28	10° 42' 38,58" S	48° 24' 22,90" W	01/01/1961	1990 - 2019	$I = \frac{4698,36 TR^{0,19}}{(t + 34,35)^{0,97}}$
950000	Caseara	190	9° 16' 12" S	49° 57' 32,04" W	01/08/1973	1990 - 2019	$I = \frac{7506,95 TR^{0,18}}{(t + 39,02)^{1,07}}$
1048001	Paraíso do Tocantins	390	10° 09' 55,08" S	48° 53' 26,16" W	01/12/1971	1990 - 2019	$I = \frac{5966,27 TR^{0,17}}{(t + 35,32)^{1,04}}$
1049001	Pium	280	10° 26' 27,96" S	49° 10' 45,12" W	01/01/1983	1990 - 2019	$I = \frac{6486,27 TR^{0,17}}{(t + 39,37)^{1,05}}$
1146000	Dianópolis	679	11° 37' 31,08" S	46° 48' 38,16" W	01/12/1971	1990 - 2018	$I = \frac{4642,24 TR^{0,16}}{(t + 35,88)^{1,05}}$
1147001	Natividade	308	11° 41' 48,84" S	47° 43' 41,88" W	01/08/1973	1990 - 2019	$I = \frac{2113,85 TR^{0,21}}{(t + 30,30)^{0,85}}$
1247000	Arraias (Conceição do Tocantins**)	407	12° 13' 57" S	47° 19' 27,84" W	01/08/1973	1990 - 2019	$I = \frac{2666,08 TR^{0,20}}{(t + 31,51)^{0,89}}$
83228	Peixe	252,24	12° 00' 55,39" S	48° 32' 41,52" W	01/05/1975	1990 - 2019	$I = \frac{8712,20 TR^{0,21}}{(t + 52,62)^{1,05}}$
1149002	Gurupi	353	11° 44' 13,92" S	49° 08' 09,96" W	01/11/1971	1993 - 2019	$I = \frac{8755,64 TR^{0,18}}{(t + 55,10)^{1,08}}$
1149001	Formoso do Araguaia	247	11° 47' 49,92" S	49° 31' 30" W	01/09/1973	1990 - 2019	$I = \frac{8740,42 TR^{0,18}}{(t + 54,66)^{1,08}}$
1049003	Lagoa da Confusão	210	10° 46' 54,12" S	49° 36' 38,88" W	01/09/2004	2014 - 2019	$I = \frac{8757,93 TR^{0,18}}{(t + 56,87)^{1,07}}$

*A estação de Wanderlândia é a mais próxima do município de Darcinópolis.

**A estação de Conceição do Tocantins é a mais próxima do município de Arraias.

Fonte: elaboração do autor, 2020.

4.5. Avaliação Agrometeorológica

A avaliação agrometeorológica visa apresentar e discutir a interferência dos aspectos gerais do clima, da dinâmica atmosférica, dos elementos e fatores climáticos e também das variáveis meteorológicas já apresentadas, comuns a todas as culturas analisadas neste trabalho.

A precipitação é a variável climática com a maior variabilidade em diversas escalas de tempo e espaço. O estudo de eventos extremos de precipitação diária máxima, mensal e anual está relacionado com danos às atividades humanas em todo o mundo, pois potencializam a saturação hídrica do solo, o escoamento superficial e a erosão, identificando-se impactos sobre a produção agrícola, erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, obras hidráulicas, entre outros (TUCCI, 2000). Do ponto de vista agrícola, o aspecto estatístico das precipitações máximas apresenta interesse de ordem técnica, cujo conhecimento é fundamental para o desenvolvimento de projetos de obras hidráulicas, tais como, vertedores de barragens, dimensionamento de canais, terraços e definição de obras de desvio de cursos d'água.

Os resultados obtidos neste projeto serão analisados tomando como ponto de conexão das informações os municípios analisadas neste trabalho. As variáveis meteorológicas e hidrológicas, ambas já discutidas, serão conectadas e contextualizadas com as informações agrícolas das culturas permanentes e temporárias recomendadas.

Para auxiliar na análise agrometeorológica e atender às especificações deste trabalho, foram gerados gráficos do comportamento temporal e da distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias]. Todas as variáveis tem relação direta com a precipitação pluvial, principal forma de retorno da água da atmosfera para a superfície terrestre nas regiões tropicais, cuja quantidade e distribuição, em escala anual, determina o tipo de exploração agrícola possível (PEREIRA *et al.*, 2007). Deve-se recordar aqui que, diante da conhecida sazonalidade da precipitação pluviométrica do estado do Tocantins, definiu-se o ano hidrológico para verificar o período chuvoso e a ocorrência de veranico. Genericamente, as séries históricas de dados hidrológicos e climatológicos contemplam dados entre os anos de 1990 e 2019, as quais foram identificadas falhas/ausência de dados em algumas estações e por isso observa-se tamanhos diferentes entre séries de estações distintas.

Já, as séries com as informações agrícolas de cada cultivo se estendem entre 2000 e 2018, devendo completar 19 anos de dados, porém, também são identificadas lacunas, fato que não impossibilita a análise do cultivo, ficando o prejuízo restrito ao respectivo ano sem informação. Sendo assim, optou-se por avaliar os melhores e piores rendimentos médios relativos a cada cultivo em cada um dos 20 municípios analisados. De forma semelhante, os municípios serão comparados entre si, verificando-se para cada ano aquele que obteve o melhor rendimento médio de produtividade de um determinado cultivo. Lembra-se que, mesmo em condições meteorológicas amplamente favoráveis aos cultivos a queda da produtividade pode estar relacionada a outros fatores como práticas agrícolas não adequadas e falta de adubação e correção de nutrientes no solo, por exemplo.

Estes resultados foram comparados com fenômenos naturais que resultam em variabilidades climáticas, como os eventos El Niño e La Niña, cujos respectivos efeitos sobre o estado do Tocantins correspondem a redução e aumento das chuvas, respectivamente (GRIMM, 2009). Cabe lembrar que,



a redução das chuvas em decorrência do El Niño pode contribuir com o aumento do risco de incêndios e, o aumento da precipitação durante os eventos de La Niña pode resultar na elevação do nível dos rios, causando ou potencializando inundações.

Do ponto de vista agrônomo, a duração do período chuvoso é determinante para a escolha das culturas agrícolas possíveis de serem exploradas comercialmente no local. A duração dos dias de chuva e a ocorrência de veranicos auxiliam na definição das variedades das culturas agrícolas exploráveis comercialmente, e também na tomada de decisão sobre o momento adequado à implantação da cultura e os manejos necessários. Destaca-se que, neste estudo, os dados relativos aos veranicos foram somente de contagem de ocorrência, sem a quantificação de suas intensidades. O índice de seca auxilia tanto na definição da cultura agrícola quanto de sua variedade mais adaptável as condições locais.

As culturas permanentes de banana, coco da baía e as culturas temporárias de abacaxi, arroz, cana-de-açúcar, soja, milho, sorgo, feijão e melancia, serão apresentadas a partir dos dados da pesquisa da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE em gráficos para cada município, abrangendo o período entre os anos 2000 e 2018. Os dados do Censo Agropecuário do IBGE dos anos de 2006 e 2017 serão utilizados para avaliar a cultura do caju, que não apresenta dados históricos na Produção Agrícola Municipal do estado do Tocantins.

4.5.1. Araguatins

O município de Araguatins está localizado na região programa Extremo Norte ou Bico do Papagaio, onde o principal atrativo turístico são as praias às margens do rio Araguaia. Segundo a SEPLAN (2016), o comércio é o principal setor econômico do município, seguido pelos setores de serviço e indústria, tendo, o setor agrícola a menor representatividade, e a área ocupada por estabelecimentos rurais ocupava em 2006 até 43% da área municipal. Sobre a produção agrícola do Município no ano de 2006, de acordo com SEPLAN (2016), de 2 a 4% foram oriundas de culturas permanentes, 3 a 5% provenientes de culturas temporárias e, de 32 a 44% correspondem ao cultivo de pastagens. Os principais cultivos produzidos no município são: feijão, arroz, milho, abacaxi e melancia (temporários); banana, caju e coco (permanentes).

A análise climatológica de Araguatins, mostra que a maior parte do município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, porém nas áreas ribeirinhas de rio São Martinho fica em torno de 20°C. No mês de julho são registrados os menores valores mensais, entre 18°C e 19°C, que prevalecem no sul do município. Sua temperatura máxima anual fica em torno de 33°C, chegando aos 35°C em agosto e setembro.

O regime anual de chuvas tem total acumulado de 1536mm na maior parte de seu território, partindo de 1408mm a leste e aumentando em direção ao extremo noroeste, quando podem ser acumulados até 1664mm. Nos meses de fevereiro e março são registrados os maiores valores mensais de precipitação pluvial, superiores a 280mm. O período chuvoso araguatinsense dura entre 190 dias e 200 dias na maioria das áreas, mas na faixa nordeste tem duração entre 180 dias e 190 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de outubro e abril, quando são observadas a ocorrência de 7 a 8 veranicos, em média anual. No mês de março podem ocorrer períodos de até 18 dias com

precipitação superior a 1mm, sendo observado que no decorrer de um ano há registro de 88 dias a 98 dias de chuva, em média.

Observa-se que em Araguatins a nebulosidade cobre até 60% do céu em termos anuais, com maior percentual de cobertura (70%-80%) em janeiro, fevereiro e março, e a menor cobertura (30%-40%) se verifica em junho, julho e agosto. Diante disto se constata uma insolação anual de 2200 horas a 2400 horas, com quantidade menor que 140 horas em dezembro e em fevereiro, e maior quantidade (>280 horas) em julho e agosto.

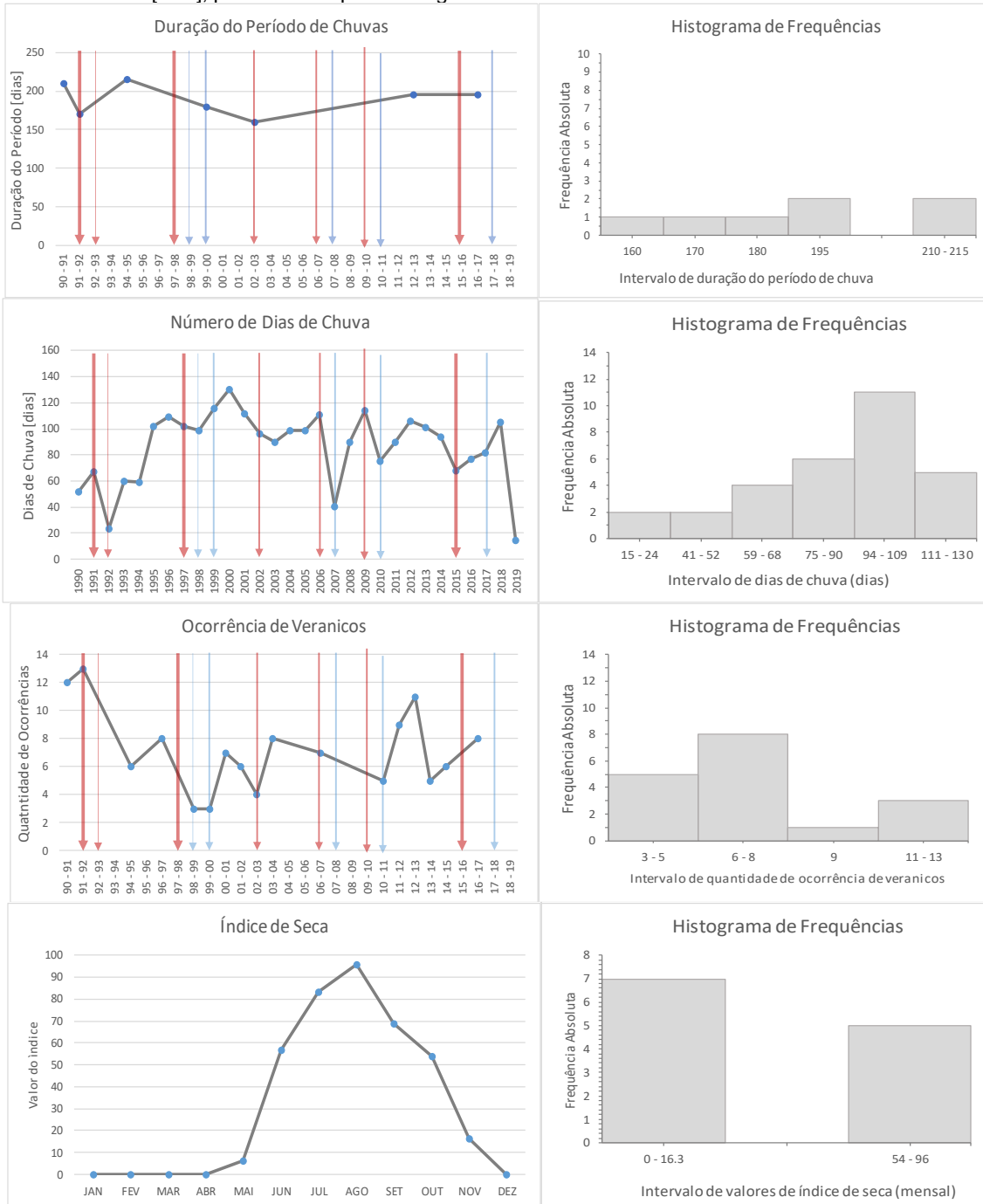
A radiação solar global anual no município varia entre 1400KJm^{-2} e 1500KJm^{-2} . A umidade relativa do ar anual fica entre 70% e 75%. O valor da evaporação anual varia entre 1360mm e 1530mm, tendo valores entre 66mm e 88mm mensais entre janeiro e abril, e entre 170mm e 220mm mensal em agosto. Como resultado da combinação destes elementos e das características do solo, Araguatins apresenta evapotranspiração de referência variando entre 1010mm e 1210mm anualmente, e, em escala mensal, o menor valor (110mm) ocorre em fevereiro, abrangendo todo o município, e o maior (140mm) é observado em agosto e setembro.

O município apresenta moderado excedente hídrico no verão, com valores anuais entre 200mm e 400mm na maior parte do território, mas constata-se, de forma esparsa e prevalente no extremo noroeste, grande excedente hídrico com valores entre 400mm e 600mm. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de janeiro e abril, sendo março o mês com maior excedente (>140mm). A deficiência hídrica anual, entre 400mm e 760mm, menor à oeste e maior a leste, se concentra entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto. A maior parte do município se classifica com grande deficiência hídrica no inverno, mas no extremo noroeste e no sul araguatinense tem consideráveis áreas com deficiência hídrica moderada no inverno. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática, segundo Thornthwaite-Mather: o centro e o leste do município se dividem entre clima subúmido seco com grande deficiência hídrica no inverno (porção norte) e moderada (porção sul); e as demais áreas araguatinenses tem clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno, com pequenas áreas na porção sul com moderada deficiência.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 60 o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Araguatins com dados obtidos entre 1990 e 2017 para duração do período chuvoso e ocorrência de veranicos e de 1990 a 2019 para as variáveis números de dias de chuva e índice de seca. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.



Figura 60. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Araguatins. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Analisando a duração do período de chuva, verifica-se que, entre 1990 e 2017, as durações do período chuvoso neste município retornaram valores dentro do intervalo de 160 dias a 220 dias, distribuídos de maneira bastante uniforme como mostra o histograma de frequência. Esta variável é computada pela contagem de dias após o acúmulo de 7% da precipitação total anual, após o período seco. Em termos de variabilidade, detecta-se a interferência do El Niño, com anomalia de sinal negativo, sobre a duração do período de chuva em Araguatins, correspondente ao forte evento de 1991-1992 e o evento moderado de 2002-2003. Entretanto, considerando que, outros eventos El Niño ocorreram no período analisado, sem que se observe qualquer variabilidade na duração do período de chuva, pode-se inferir que outras condicionantes podem ter se sobressaído aos efeitos do El Niño, seja no sentido de potencializar ou descaracterizar as implicações do fenômeno. Ao longo dos 28 anos de dados verifica-se a tendência de diminuição da duração do período chuvoso em Araguatins que podem refletir as mudanças climáticas ocorridas no município, uma redução da ordem de 15 dias.

O número de dias de chuva representa a quantidade de dias com registro de chuva acima de 1mm. Da análise de seus gráficos, observa-se a prevalência dos valores na faixa entre 80 dias e 120 dias, sendo o menor valor de 15 dias e o maior de 130 dias. Segundo Ferreira, Ramírez e Gan (2009) no verão de 1998/1999, na fase inicial da La Niña, houve uma maior atuação de VCANs com longa permanência sobre o continente (norte do Sudeste e sul da Bahia), provavelmente aumentando a nebulosidade no norte do Tocantins. Esta condição pode resultar em chuvas mais frequentes, e talvez por isso percebesse um aumento considerável na quantidade de dias de chuva entre 1998 e 2000, totalizando 29 dias a mais de chuva. A série histórica evidencia duas reduções bruscas, uma delas entre 2006 e 2007 durante um episódio El Niño quando se observa 70 dias a menos de chuva em Araguatins de um ano para o seguinte. A outra redução entre 2018 e 2019 com expressivos 90 dias a menos de chuva entre os dois anos, período de neutralidade quanto ao fenômeno ENOS, reforçando a necessidade de ser verificadas outras causas que possam fornecer uma justificativa climática esclarecedora para tal variabilidade.

Períodos de cinco dias ou mais, com chuva abaixo de 1mm, observados durante o período chuvoso, caracterizam o veranico. Analisando-se os gráficos de ocorrência de veranicos, verifica-se que, dentro do período chuvoso de Araguatins, considerando o ano hidrológico, foram identificados pelo menos 3 e no máximo 13 ocorrências de veranicos, por ano, no período entre 1990 e 2017, sendo mais frequente o registro de 6 a 8 veranicos por ano. Observa-se uma tendência de aumento no número de veranicos em decorrência do El Niño e redução por ocasião da La Niña, coerente com os respectivos efeitos de redução e aumento das chuvas descritos por Grimm (2009). Ressalta-se que Ferreira, Ramírez e Gan (2009) mostram que no verão de 1998/1999, houve uma maior atuação de VCANs com longa permanência sobre o continente, devido a influência de uma La Niña prolongada, cujos efeitos esperados correspondem com a redução na ocorrência de veranicos em Araguatins. Verifica-se que esta série histórica de 28 anos acusa a redução do número de veranicos no município, conduzindo a inferir-se sobre a possibilidade de mudanças climáticas.

O índice de seca representa o quanto uma região é árida, ou seja, a deficiência hídrica do local, sendo definido em função do déficit hídrico e evapotranspiração potencial, incorporando informações de precipitação, radiação solar, umidade e intensidade do vento. Os dados médios mensais, do período entre 1990 e 2019, observados no gráfico correspondentes a esta variável Figura 61 mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano, evidenciando que este é um período favorável à produção agrícola. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, com progressão brusca do déficit hídrico em



maio e um pouco mais lenta em junho e julho. Geralmente, neste período mais seco do ano a produção agrícola depende de sistemas artificiais de suprimento de água para as culturas, por métodos de irrigação. No segundo semestre do ano o índice de seca vai decaindo continuamente, porém percebe-se que o déficit hídrico ainda prevalece, exigindo, pelo menos em alguns momentos, o uso da irrigação em algumas culturas.

O cultivo do feijão no ano de 2013 registrou o melhor rendimento médio de produtividade, 685kg/ha, com área colhida e quantidade produzida de 200ha e 137t, respectivamente. Tal desempenho pode estar relacionado ao fato de que no ano hidrológico de 2012/2013 a duração do período chuvoso foi próxima de 200 dias e o número de dias de chuva esteve em torno de 100 dias. Entretanto, se a ocorrência de veranicos não fosse tão alta (11 dias), o que provavelmente prejudicou o enchimento dos grãos, os resultados teriam sido ainda melhores. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2018 com o valor de 500kg/ha, área colhida de 200ha e quantidade produzida de 100t, isso pode ter ocorrido pela baixa disponibilidade hídrica, já que foram registrados 90 dias a menos de chuva entre 2018 e 2019, e a temperatura não ter sido a mais adequada para esse cultivo.

Para o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu em 2010 e 2011, obtendo um valor de aproximadamente 2.000kg/ha, a partir de uma área colhida e quantidade produzida de 520ha e 600ha, e 1.040t e 1.200t, respectivamente para cada ano. O resultado da produtividade pode estar associado com a presença do fenômeno La Niña, influenciando no aumento da precipitação, como já explorado anteriormente, e para o mesmo período também ocorreu aumento da nebulosidade sobre a região. Em relação ao menor rendimento médio de produtividade, destacam-se os anos entre 2000 a 2002 com 1.380kg/ha, área colhida de 1.750ha, 1.200ha e 1.500ha e quantidade produzida de 2.415t, 1.656t e 2.070t, respectivamente. Durante os anos de 2002 e 2003 ocorreu um episódio de El Niño moderado, que comumente caracteriza a redução nos volumes precipitados e no número de dias de chuva, afetando significativamente o período chuvoso. O milho foi cultivado em Araguatins em todos os 19 anos analisados da pesquisa PAM, de 2000 a 2018 e sua produtividade é afetada diretamente pelos fatores climáticos precipitação, temperatura do ar e a radiação solar (SANS e SANTANA, 2002). Segundo Kiniry (1991), o crescimento máximo da cultura ocorre em ambientes com temperatura entre 26°C e 34°C, com limites extremos variando entre 8°C a 44°C. Sans e Santana (2002) afirmam que, da fase de germinação até a maturação a temperatura do ar ideal deve estar em torno de 25°C e valores abaixo de 15°C na fase de maturação pode ocasionar retardamento do desenvolvimento.

Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade foi observado entre 2009 a 2017, com 8.000kg/ha, 30ha de área colhida e 240t de quantidade produzida, com exceção do ano de 2011 em que a área colhida foi menor (20ha) e a quantidade de frutos produzida também (160t), entretanto o rendimento se manteve. Durante estes anos as condições atmosféricas mostraram-se adequadas a produção da banana, mesmo com a ocorrência de episódios El Niño e La Niña, resultando em bons rendimentos de produtividade em Araguatins. Este cultivo necessita de temperatura ambiente entre 20°C e 29°C, alta taxa de luminosidade e alta umidade relativa do ar. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 700kg/ha, área colhida de 80ha e quantidade produzida de 56t. Este foi um ano de La Niña moderada, em que foram observados volumes precipitados aproximadamente 30% acima da média climatológica para o Município, provavelmente também resultando em maior quantidade de nuvens, menor insolação e menores temperaturas.

O caju tem grande importância em Araguatins, sendo este o maior produtor da fruta no Tocantins. A sazonalidade da precipitação, com a marcada ocorrência de um período seco (junho a setembro), e

totais anuais entre 1400mm e 1600mm, concentrados entre outubro e maio, e umidade relativa do ar variando entre 60% e 85%, contribuem para a produção da fruta. Segundo Ramos *et al.* (1996) estas são condições atmosféricas muito adequadas para o caju quando combinadas à solos com boa capacidade de retenção de água e boa drenagem. Observa-se que, em 2006 os 8ha colhidos resultaram em 2t de caju e, em 2017 mesmo com menor área colhida (5,55ha) foram produzidas 5t da fruta, provavelmente por efeito da La Niña de 2017/2018 que pode ter melhorado a condição hídrica para a planta e também reduzido um pouco a temperatura do ar, tornando as condições muito adequadas ao desenvolvimento dos frutos.

Para o cultivo da melancia, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2003 e 2004, ambos com 20.000kg/ha, correspondentes a uma área colhida de 30ha e 8ha e quantidade produzida de 60t e 160t, respectivamente. Ocorreu um episódio de El Niño moderado em 2002/2003 quando observou-se diminuição do período chuvoso (160 dias), precipitação anual abaixo da média climatológica de Araguatins que é de 1526mm (1363,6mm em 2002 e 1287,2mm em 2003) e a melancia é um cultivo que se adapta melhor a clima seco e quente. O ano de 2000 registrou o menor rendimento médio de produtividade com 4.100kg/ha, 10ha de área colhida e 41t de quantidade produzida. O ano de 2000, sob a influência de uma La Niña moderada, foi o ano que apresentou o maior número de dias com chuva (130 dias – a média climatológica de Araguatins é de 86 dias) e elevados volumes de precipitação média anual (1976,4mm), como a melancia é uma cultura melhor adaptada ao clima quente e seco, esse possivelmente é um dos motivos do rendimento ter sido tão baixo.

Em relação ao cultivo do coco da baía, o rendimento médio de produtividade ocorreu entre 2001 a 2009, com 14.000 frutos/ha, 5ha de área colhida e 70 mil frutos de quantidade produzida. Em termos de climatologia anual a temperatura média do ar em Araguatins é de 28°C e a amplitude entre a temperatura mínima e a máxima fica em torno de 10°C, dados que apontam para condições diárias adequadas ao cultivo de tal fruto, uma vez que este necessita de temperatura média em torno de 27°C e oscilações diurnas de até 7°C, alta taxa de luminosidade e sem longos períodos de estiagem, condições predominantes no período entre 2001 e 2009. O ano de 2018 registrou o menor rendimento médio de produtividade com valor de 4.692 frutos/ha, área colhida de 13ha e quantidade produzida de 61mil frutos, quando também houve a influência de um episódio de La Niña moderada provocando precipitação acima da média climatológica anual em Araguatins.

O rendimento médio de maior produtividade para o cultivo de arroz, ocorreu entre 2016 e 2017, com valor de 1.655kg/ha, área colhida de 145ha e quantidade produzida de 240t. Apesar de ocorrerem 8 veranicos no ano hidrológico de 2016/2017, a duração do período chuvoso foi de aproximadamente 200 dias (acima da média de 191 dias em Araguatins), e o volume de chuva apresentou aumento considerável após a estiagem associada ao episódio El Niño 2015/2016 de forte intensidade. Estas condições podem ter sido responsáveis pelo bom rendimento de produtividade deste grão, uma vez que o arroz se desenvolve bem em condições de maiores volumes precipitados durante todo o ciclo da cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano de 2003 com o valor de 1.400kg/ha, área colhida de 1.800ha e quantidade produzida de 2520t. Entretanto, o excesso ou a falta de chuva e as anomalias de temperatura durante o ciclo do cultivo podem prejudicar o rendimento médio de produtividade do arroz. Pode ser observado que a duração do período chuvoso no ano hidrológico de 2002/2003 foi o menor de toda a série histórica, 160 dias, como fica evidente na Figura 61, e com precipitação anual abaixo da média climatológica em decorrência de um episódio El Niño de moderada intensidade.



Araguatins, também possui destaque no cultivo do abacaxi. O melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2010 a 2016, com o valor de 20.000 frutos/ha, área colhida variando de 20ha a 30ha e quantidade produzida de 400 mil frutos a 600 mil frutos, no decorrer do período indicado. Durante esses anos, houve um número considerável de veranicos (de 5 a 11), chegando a 11 ocorrências no ano hidrológico de 2012/2013, e a duração do período chuvoso variou entre 170 dias e 195 dias. Observa-se o aumento contínuo dos volumes precipitados entre 2010 e 2011 em decorrência do episódio de La Niña 2010/2011, seguido de neutralidade em 2012, quanto aos fenômenos ENOS, e redução acentuada no ano hidrológico 2015/2016 (quase 50% a menos de chuva) por causa de um episódio de El Niño. Já os piores rendimento ocorreram nos anos de 2000 a 2007 com o valor de 14.000 frutos/ha, área colhida variando entre 5ha e 24ha e quantidade produzida de 70 mil frutos a 336 mil frutos, ao longo dos anos. Em 2007 o número de dias de chuva foi de 41 dias, o que pode ter provocado queda na produtividade do abacaxi, pois este ano hidrológico esteve sob a influência de um episódio El Niño de moderada intensidade o que provavelmente também resultou em menores volumes precipitados. O abacaxizeiro é um cultivo consolidado em Araguaatins, como pode ser visto ao longo dos 19 anos de dados analisados da pesquisa PAM.

Lembra-se que, os efeitos negativos na produção agrícola causados por eventos sazonais, que resultam na variabilidade das variáveis meteorológicas, podem ser contornados adotando-se manejos adequados e, algumas vezes, realizando pequenas obras de controle. Sendo a variabilidade da precipitação pluviométrica o principal fator de interferência negativa na produção agrícola, a adoção de estimativas de precipitação provável e de chuvas intensas auxiliam enormemente na tomada de decisão. São úteis para a elaboração e execução de projetos estruturais para armazenamento da chuva de períodos de maior abundância e realocação do recurso hídrico através da implantação de métodos de irrigação.

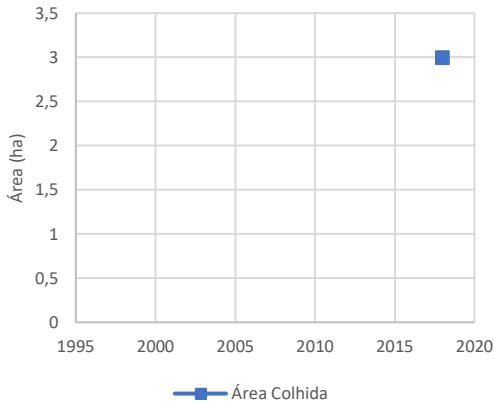
Figura 61. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Araguaíns – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.



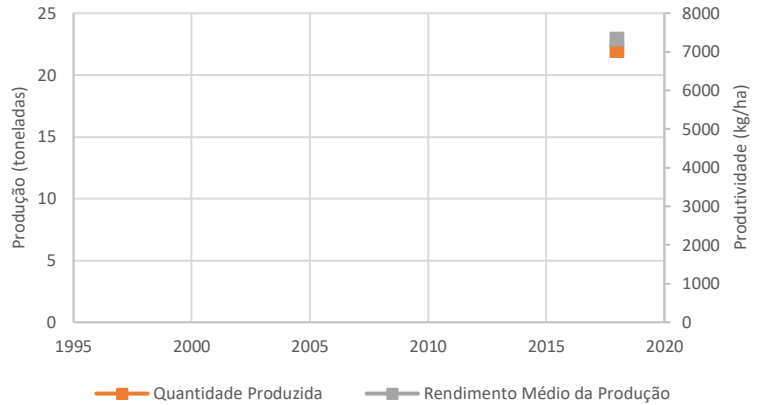


GOVERNO DO TOCANTINS

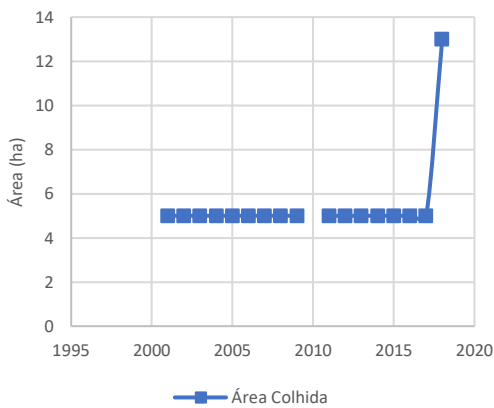
Área Colhida de Cana-de-Açúcar



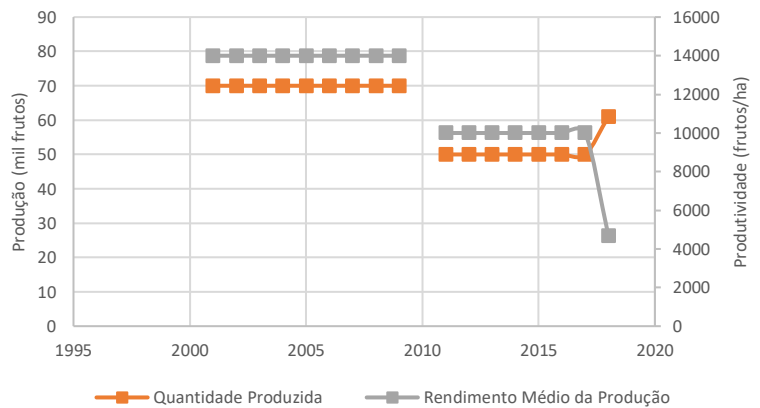
Cultivo de Cana-de-Açúcar



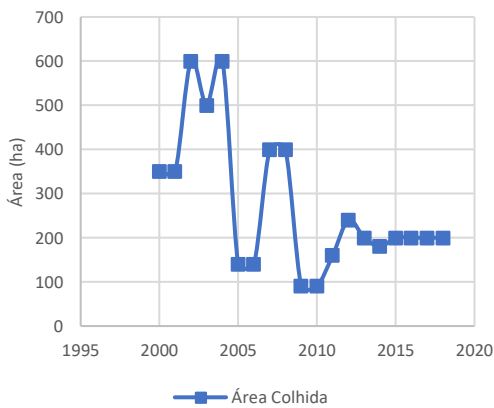
Área Colhida de Coco-da-baía



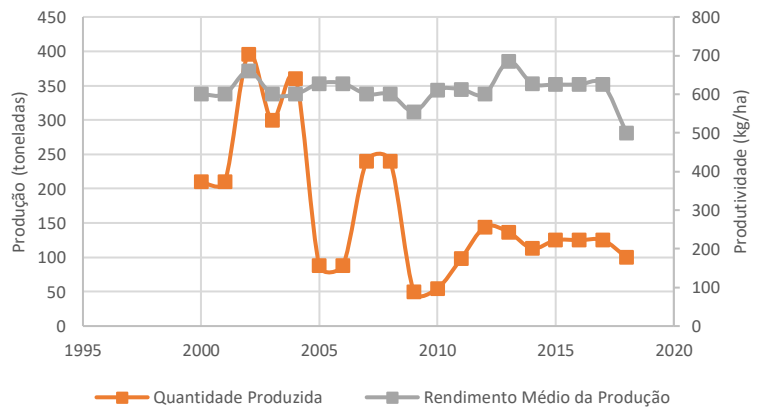
Cultivo de Coco-da-baía

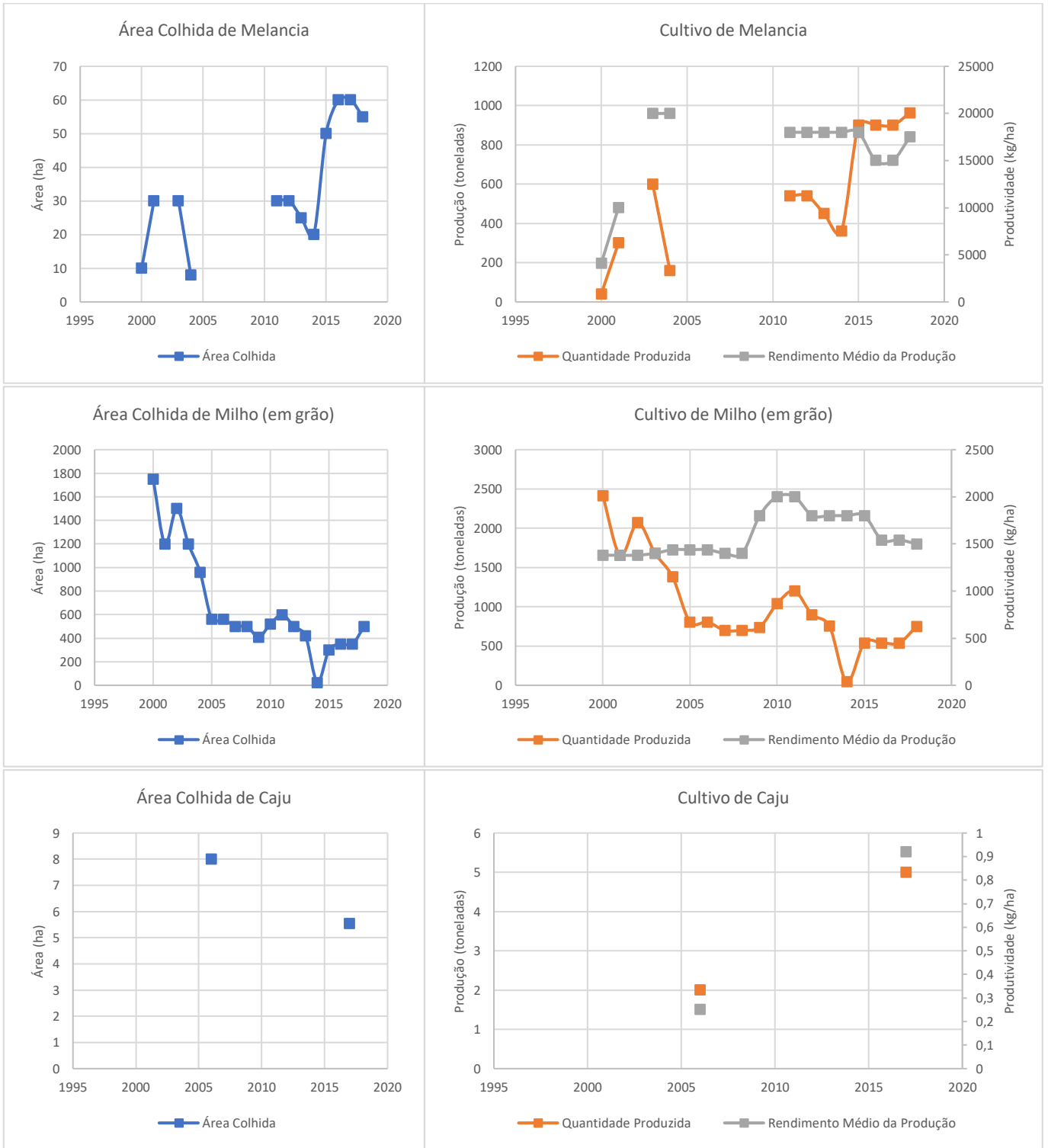


Área Colhida de Feijão (em grão)



Cultivo de Feijão (em grão)





Fonte: IBGE (2000 a 2018).



4.5.2. Darcinópolis

O município de Darcinópolis está localizado na região programa Bico do Papagaio. Segundo dados da SEPLAN (2016), assim como outros municípios desta mesma região, o comércio é o principal setor econômico, seguido pelos setores de serviço e indústria, sendo o agrícola aquele de menor representatividade. A agricultura familiar é a mais numerosa do setor, mas com menor área ocupada. Segundo o IBGE (2006), cerca de 66% da área municipal estava ocupada por estabelecimentos rurais no ano de 2006. Neste mesmo ano, segundo SEPLAN (2016), de toda a produção agrícola do município, entre 9 e 13% foram atribuídos a cultivos permanentes, de 11 a 20% correspondente a cultivos temporários e até 17% relativos a pastagens, que, de acordo com SEFAZ (2017) ocuparam áreas de 13.936ha, 14.122ha e 33.575ha, respectivamente. Ainda em 2006, o município acumulou R\$ 436.000,00 através do extrativismo vegetal, conforme SEPLAN (2016). Os principais cultivos produzidos no município são: feijão, arroz, milho, soja, arroz, sorgo, cana-de-açúcar, banana e abacaxi.

Apesar de Darcinópolis não possuir atrativos turísticos específicos, o município faz parte do Programa de Regionalização do Turismo, se adequando a classe Vale dos Grandes Rios e também compõem o corredor ecológico Tocantins-Araguaia (SEPLAN, 2016).

Baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra (SEPLAN, 2007), os 5 principais uso e cobertura da terra, no município, são: Cerrado Sentido Restrito, cobertura predominante no território, exceto na região noroeste, ocupando mais da metade do município; Campo, maior concentração na região noroeste, ocupando a maior parte do território na região; Agropecuária, disperso por todo o território, com maior concentração na região central; Cerradão, maior concentração na região noroeste, embora ocupe menos da metade da área municipal; e Capoeira, mais concentrada na região noroeste, porém sem ocupar grandes áreas.

Da análise climatológica, constata-se que Darcinópolis possui temperatura máxima anual entre 30°C e 33°C, com maiores valores na faixa leste e no noroeste do município. Agosto e setembro são os meses mais quentes, com temperatura máxima podendo chegar a 35°C. A temperatura média anual varia entre 24°C e 27°C, enquanto a t_{\min} tem valores prevalentes entre 20°C e 21°C, com valores entre 18°C e 19°C nas áreas de maior altitude do município. Durante o mês de julho os valores mais baixos de temperatura do ar, entre 16°C e 17°C, se espalham por todo território darcinopolino.

Este município apresenta moderado excedente hídrico no verão, com valores anuais predominantemente entre 200mm e 400mm. O mês de maior excedente hídrico é março com valores mensais entre 100mm e 140mm. A deficiência hídrica anual encontra-se entre 370mm e 640mm, observando-se o período entre os meses de junho a outubro marcante deficiência hídrica, com maior intensidade em agosto (>150mm). A maior parte do município se classifica com deficiência hídrica moderada no inverno, mas nos extremos norte, noroeste e sul de Darcinópolis identifica-se áreas com grande deficiência hídrica no inverno.

O regime anual de chuvas no Município tem valores acumulados entre 1408mm e 1664mm. Em março são registrados os maiores valores mensais, entre 260mm e 280mm.

Observa-se nos gráficos ilustrados na Figura 62 a variação temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias]. Lembra-se que os dados coletados na estação de Darcinópolis foram descartados por apresentarem muitas falhas (ausência de dados),

sendo substituídos por dados de uma outra estação próxima que atendesse à critérios pré-estabelecidos. Por isso, os dados de precipitação e demais variáveis utilizadas para a elaboração dos gráficos foram obtidos da estação localizada no município de Wanderlândia. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Os dados climatológicos de Darcinópolis mostram que a duração do período chuvoso varia entre 190 e 200 dias na metade noroeste do Município e na outra metade tem dura

ção entre 180 e 190 dias, se estendendo entre os meses de novembro a abril. Entre os anos de 1990 e 2016 a duração do período de chuva na estação pluviométrica de Wanderlândia mantém um padrão entre 130 e 235 dias, observando-se com maior frequência o valor de 170 dias. Destaque-se a queda acentuada na duração no ano hidrológico 1991-1992 período de um forte evento de El Niño, que se prolongou pelo ano hidrológico 1992-1993. Tal fenômeno se caracteriza pelo sinal negativo na precipitação pluviométrica, ou seja, menos chuva. Pela pouca quantidade de dados, apenas 16 anos com informação, é difícil inferir sobre a variabilidade decorrente de El-Niño ou de La Niña. Observa-se que a série histórica constituída de 16 anos de dados, porém incluindo os anos entre 1990 e 2016, portanto contemplando um período de 26 anos, apresenta a tendência de diminuição do período chuvoso para a estação pluviométrica de Wanderlândia.

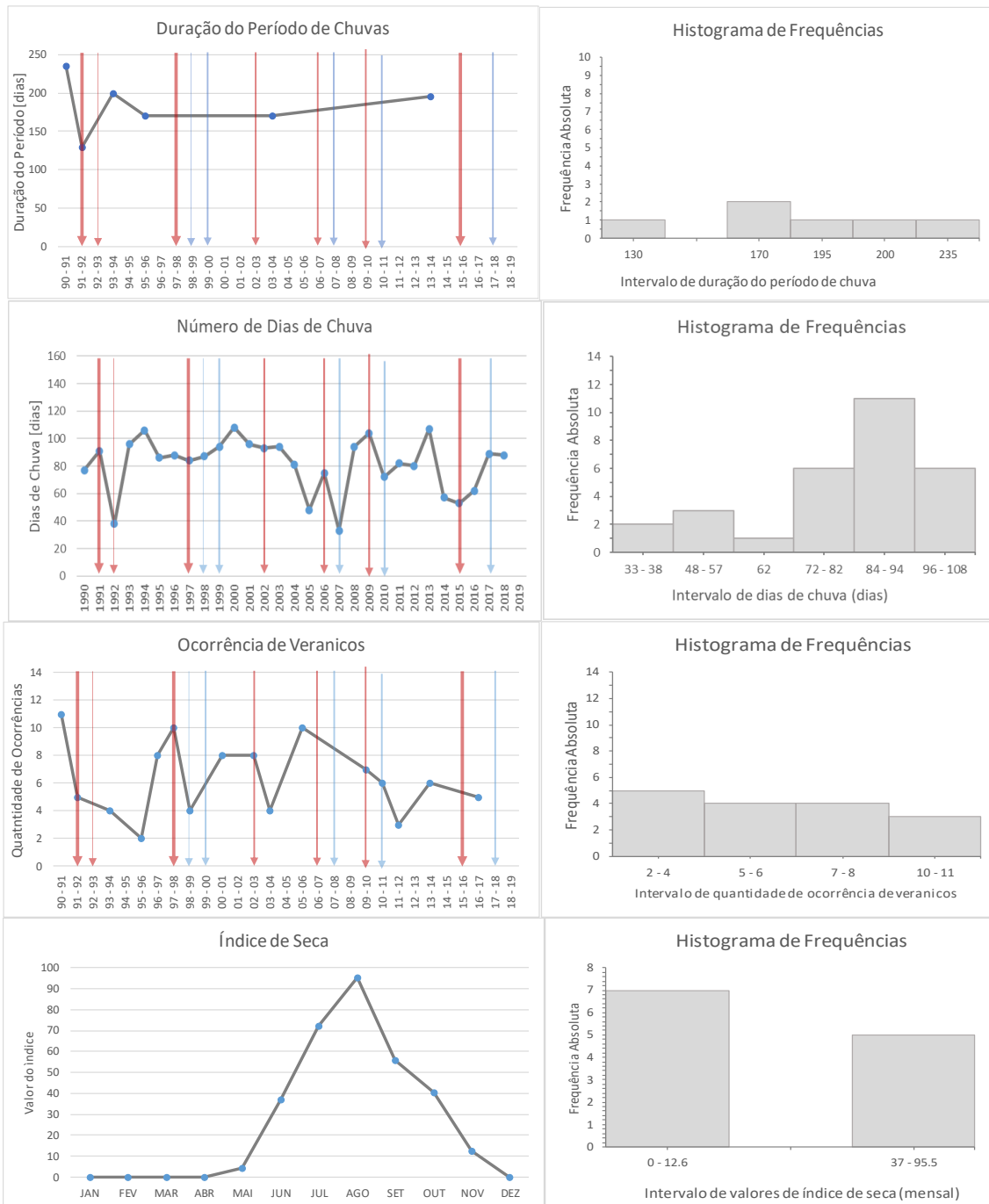
Em Darcinópolis o mês de março apresenta a maior quantidade de dias com registro de chuva, totalizando até 18 dias. A metade noroeste do município registra entre 78 e 98 dias de chuvas anualmente e a metade sudeste registra, em média, de 88 a 98 dias de chuva por ano. No histograma de frequência do número de dias de chuva da estação pluviométrica de Wanderlândia, observa-se o domínio de valores entre 75 dias e 91 dias seguido do intervalo entre 93 dias e 108 dias. Identifica-se uma coerência entre o comportamento desta variável e a possível interferência dos fenômenos ENOS em grande parte da distribuição temporal. Apesar de esperar-se chuvas acima da média em eventos La Niña e abaixo da média em eventos El Niño, não necessariamente esses efeitos serão também percebidos e, com mesmo sinal, sobre o número de dias de chuva. Podem ocorrer chuvas mais frequentes, porém com menor intensidade, resultando também em menor volume acumulado durante um El Niño, e o contrário para La Niña. Esta série histórica com 30 anos de dados (1990-2019) sugere a ocorrência de mudanças climáticas em Wanderlândia quando detecta-se a tendência de redução do número de dias de chuva, da ordem de 20 dias, no decorrer de todo o período analisado.

Neste diagnóstico climático constata-se que o município de Darcinópolis registra, em média, a ocorrência de 7 a 8 veranicos anualmente, no decorrer do período chuvoso. Nos gráficos de ocorrência de veranicos da estação pluviométrica de Wanderlândia, observa-se anos em que foram registrados somente duas ocorrências e outros com 11 ocorrências, que é o valor máximo no período analisado de 1990 a 2016. Com maior frequência, ocorrem entre 2 e 4 veranicos durante o período chuvoso. Observa-se o aumento no número de veranicos associados a ocorrência do El Niño de 1997/1998 (forte). Também percebe-se a redução no número de ocorrências durante os eventos de La Niña, exceto no evento moderado de 1999/2000, reduções coerentes com o estudo de Grimm (2009), discutido anteriormente. Esta série histórica também apresenta a tendência de redução no número de veranicos no decorrer dos anos entre 1990 e 2016, também sugerindo alguma mudança climática em Wanderlândia.



A aridez de uma região pode ser representada pelo índice de seca. Os dados mensais de Darcinópolis, observados para o período entre 1990 e 2019, e apresentados no gráfico do índice de seca, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano, ou seja, sem deficiência hídrica e, portanto, favorável à produção agrícola. O índice cresce bem lentamente em abril, com evolução ainda crescente e acentuada até agosto, quando registra o valor máximo de 95% de déficit hídrico do local. Entre agosto e dezembro o índice diminui continuamente, apontando para condições hídricas mais promissoras quanto à produção agrícola.

Figura 62. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas de duração do período chuvoso [dias], números de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Darcinópolis. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



Em relação ao cultivo do feijão, o ano de maior rendimento médio de produtividade ocorreu em 2017, com o valor de 1.412kg/ha, área colhida de 850ha e quantidade produzida de 1.200t. Um dos fatores que podem ter influenciado para o melhor rendimento pode estar relacionada a moderada La Niña de 2017/2018 que resultou em aumento no número de dias de chuva chegando ao total de 89 dias sendo o valor médio de 79 dias, e isto após três anos consecutivos com dias de chuva abaixo da média, tornando as condições atmosféricas mais favoráveis à cultura. Já os piores rendimentos ocorreram entre os anos de 2000 a 2002 com o valor de 300kg/ha. Este período se caracterizou por neutralidade quanto aos fenômenos ENOS, porém verifica-se que os volumes anuais de precipitação registrados na estação pluviométrica de Wanderlândia foram abaixo da média (que é de 1492,2mm) em dois anos consecutivos dentro deste intervalo, 1108,7mm em 2001 e 1340mm em 2002. Percebe-se também a ocorrência de veranicos acima da média municipal (6 veranicos em média) com um total de 8 eventos cujas durações não foram analisadas neste diagnóstico climático. Tais fatores podem ter prejudicado o enchimento de grãos e a maturação dos mesmos resultando em queda de rendimento.

Para o cultivo de soja, conforme apresentado na Figura 63, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2017 e 2018, com o valor de 3.480kg/ha, área colhida de 9.000ha e quantidade produzida de 31.320t. Pode-se inferir que a moderada La Niña de 2017/2018 foi responsável pelo aumento no volume anual de precipitação, registrando valores de 1562,5mm em 2017 e 1638,6mm em 2018 na estação pluviométrica de Wanderlândia, e também maior número de dias de chuva com valores de 89 dias e 88 dias nos respectivos anos, tornando as condições atmosféricas mais favoráveis à cultura resultando em melhoria dos indicadores de rendimento de produtividade médio para esses dois anos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2001 com o valor de 1.000kg/ha, área colhida de 35ha e quantidade produzida de 35t. Este ano, a estação pluviométrica de Wanderlândia registrou 1108,7mm de precipitação anual, abaixo da média, que pode ter prejudicado o enchimento de grãos, e 96 dias de chuva, acima da média, que pode ter interferido na maturação dos grãos. Cabe ressaltar que de 2001 a 2018 houve um aumento progressivo e expressivo de área colhida da soja em Darcinópolis, aumentando de 35ha para 9.000ha e de quantidade produzida de 1.000t para 3.480t.

O município de Darcinópolis, dentre os 20 municípios tocantinenses analisados no período de 2000 a 2018, foi o quarto município que apresentou o maior valor de rendimento médio de produtividade para o cultivo do milho. Esse fato ocorreu nos dois últimos anos analisados, 2017 e 2018, com o melhor rendimento médio de produtividade de 5.800kg/ha, área colhida de 4.000ha e quantidade produzida de 23.200t. Provavelmente o aumento no volume precipitado e o maior número de dias de chuva, decorrentes do episódio de La Niña moderada, contribuíram para os bons resultados de rendimento do grão. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000, com o valor de 1.000kg/ha, área colhida de 280ha e quantidade produzida de 28t, neste que foi um ano de transição de uma La Niña moderada para neutralidade, verificando-se na estação pluviométrica de Wanderlândia um total acumulado de 1703,6mm de precipitação, duração do período chuvoso de 235 dias, 108 dias de chuva durante o ano e a ocorrência de 8 veranicos, todos valores consideravelmente acima da média para o município. Esse cultivo é bem consolidado em Darcinópolis, como pode ser visto ao longo dos 19 anos de dados analisados da pesquisa PAM, havendo um aumento nos últimos anos de área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de produtividade.

Em relação ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2010 e 2017, com os valores de 3.990 kg/ha e 4.000 kg/ha, área colhida de 2.180ha e 315ha e quantidade

produzida de 8.700t e 1.260t, nos respectivos anos. O arroz se desenvolveu bem dado os bons volumes precipitados durante todo o ciclo da cultura, sendo registrado na estação pluviométrica de Wanderlândia os valores acumulados de 1384,1mm em 2010 e 1562,5mm em 2017, com 72 dias e 89 dias de chuva em cada ano respectivamente. No ano de 2010 a duração do período chuvoso foi de 195 dias e ocorreram 6 veranicos, infelizmente não há dados sobre o ano de 2017. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com 1.000kg/ha, área colhida de 700ha e quantidade produzida de 700t, e sendo este um ano de transição de uma La Niña moderada para uma condição de neutralidade, relativo aos fenômenos ENOS, podem os efeitos da La Niña, atuante até o mês de julho, de sinal positivo sob as variáveis meteorológicas, com excesso de chuva e aumento das temperaturas ter desfavorecido a cultura em análise. Não há evidências suficientemente robustas para afirmar-se que as condições climáticas do período entre 1990 e 2019 tenham contribuído para a diminuição na área e quantidade colhidas de arroz em Darcinópolis.

O sorgo cultivado em Darcinópolis teve o melhor rendimento médio de produtividade nos anos de 2010 e 2011, com o valor de 2.000kg/ha, área colhida de 1.800ha e quantidade produzida de 3.600t. O ano de 2010 começou sob a influência de um evento El Niño e a partir de julho passou à influência de uma La Niña que perdurou até julho de 2011. Na estação pluviométrica de Wanderlândia foram registrados em 2010 e 2011 respectivamente: precipitação anual de 1384,1mm e 1730,3mm; número de dias de chuva de 72 dias e 82 dias; duração do período chuvoso de 195 dias e 155 dias; e com 6 e 3 ocorrências de veranicos. Apesar de alguns fatores meteorológicos não serem os mais apropriados nos dois anos de análise, número de dias de chuva em torno 80 auxilia ao enchimento e maturação dos grãos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2018 com o valor de 1.200kg/ha, área colhida de 150ha e quantidade produzida de 180t. As condições meteorológicas não justificam os resultados de rendimento médio obtidos em 2018.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2013, com o valor de 50.000kg/ha, área colhida de 60ha e quantidade produzida de 30.000t. Neste ano as chuvas foram muito abundantes na região como evidenciam os registros da estação pluviométrica de Wanderlândia, com precipitação anual de 2 313,2mm (55% acima da média), foram 107 dias de chuva no ano e duração do período chuvoso foi 195 dias com a ocorrência de 6 veranicos. Este cultivo de ciclo longo (> 1 ano) é muito produtiva quando a precipitação média anual encontra-se entre 1.500mm e 2.500mm. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2005 a 2011 com o valor de 30.000kg/ha, período em que ocorreram dois episódios de El Niño (2006/2007 e 2009/2010) e dois de La Niña (2007/2008 e 2010/2011), ambos de moderada intensidade. De um modo geral, conforme dados da estação pluviométrica de Wanderlândia, a precipitação anual variou entre 1384,1mm e 1899,3mm, o período chuvoso teve durações entre 155 dias e 195 dias, com a ocorrência de 3 a 10 veranicos, mas o que pode ter impactado o rendimento médio de produtividade da cana-de-açúcar foram os dias de chuva anuais que variaram entre 33 e 104 dias, observando-se 4 anos com valores abaixo da média.

Quanto ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2005, com o valor de 8.000kg/ha, área colhida de 40ha e quantidade produzida de 320t. Durante este ano o total precipitado na estação pluviométrica de Wanderlândia acumulou 1603,9mm e considerando o extenso período chuvoso deste ano (215 dias) foi superado os 100mm mensais de chuva exigido por essa cultura, garantindo a boa produtividade do cultivo de sequeiro e exigindo menor uso de irrigação no modelo de cultivo irrigado. Nem mesmo as 10 ocorrências de veranico durante o período chuvoso do ano hidrológico 2004/2005 foi capaz de acarretar problemas no cultivo. Já o pior rendimento ocorreu

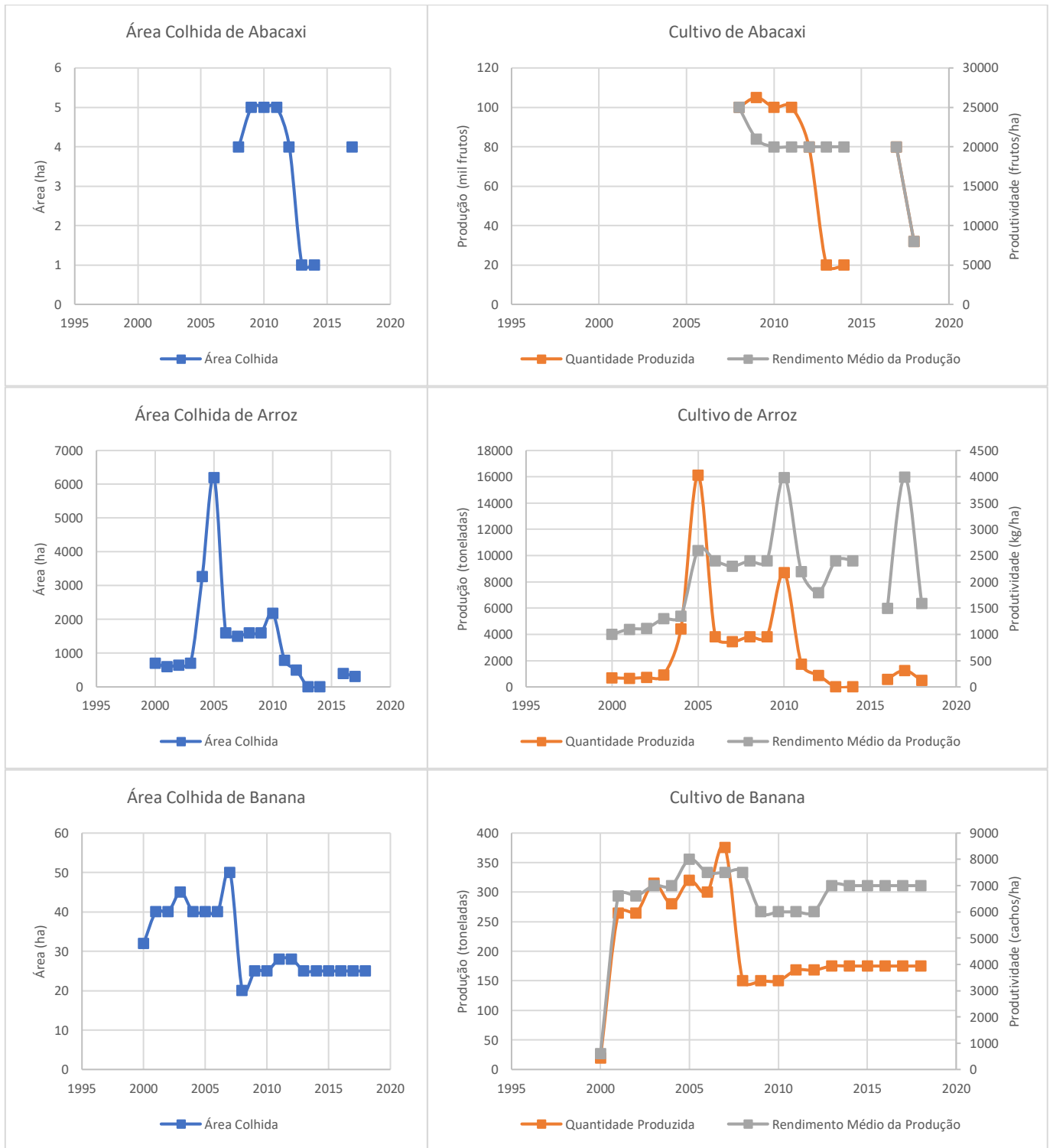


no ano 2000 com o valor de 593kg/ha, área colhida de 32ha e quantidade produzida de 19t, cujas variáveis meteorológicas apresentaram valores acima da média climatológica (em Wanderlândia) por causa da atuação do fenômeno La Niña de intensidade moderada até julho, impactando o ano hidrológico 1999/2000 e a safra 2000.

Para o cultivo do abacaxi, o município de Darcinópolis foi o terceiro município que apresentou o maior valor de rendimento médio de produtividade, junto com os municípios tocantinenses de Arraias, Palmas, Porto Nacional e Colinas do Tocantins com o valor de 25.000 frutos/ha. Em Darcinópolis, isso ocorreu no ano de 2008, com área colhida de 4ha e quantidade produzida de 100 mil frutos. A estação pluviométrica de Wanderlândia registrou precipitação anual de 1464,4mm no ano hidrológico 2007/2008, exatamente dentro da faixa ótima de precipitação anual exigido pelo abacaxi, distribuídos em 94 dias de chuva, lembrando-se que tanto o excesso hídrico quanto o déficit podem comprometer o desenvolvimento dessa cultura. Outros fatores podem ter auxiliado no bom rendimento como a luminosidade entre 2.500h/ano a 3.000h/ano e temperatura adequada, porém a estação mais próxima que coleta este tipo de informação está localizada no município de Araguaína distante cerca de 70km de Darcinópolis. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2018, com o valor de 8.000 frutos/ha, área colhida de 4ha e quantidade produzida de 32 mil frutos. O abacaxi é um cultivo de ciclo longo, cerca de 18 meses, por isso deve-se avaliar as condições em anos precedentes a safra em análise. Na fase de desenvolvimento do fruto, o número de dias de chuva foi de 62 dias no ano hidrológico de 2016/2017 com período chuvoso durando 185 dias quando ocorreram 5 veranicos e a precipitação acumulou 1562,5mm; no ano hidrológico 2017/2018 foram 89 dias de chuva com total acumulado de 1638,6mm. A precipitação acumulada anual caracterizou um excesso hídrico para esta cultura, superando o limite máximo de 1500mm. Esse município apresenta dados para os últimos 10 anos, entretanto, não houve muita variação na área colhida, cujos valores estão entre 4ha e 5ha, exceto nos anos de 2013 e 2014 quando a área colhida foi de 1ha.

Com uma expressiva carência de dados na pesquisa PAM, o cultivo do coco da baía apresenta dados somente nos anos de 2006 e 2007 quando obteve rendimento médio de produtividade de 10.000kg/ha, área colhida de 4ha e quantidade produzida de 40t. Infelizmente também observa-se carência de dados atmosféricos na estação pluviométrica de Wanderlândia exatamente neste dois anos de registro de safra do coco, tendo-se apenas dados sobre o número de dias de chuva com valores de 75 dias e 33 dias para os respectivos anos. As condições na estação meteorológica mais próxima a Darcinópolis (em Araguaína) mostram-se muito adequadas a produção do coco nos anos de 2006 e 2007. Lembra-se que, a produção comercial do coco da baía requer clima quente, com temperatura média anual em torno de 27°C, amplitudes diárias de 5°C a 7°C e temperaturas mínimas superiores a 15°C. A baixa umidade atmosférica induz um aumento na absorção de água e de nutrientes pelas raízes, podendo exigir um suplemento adicional de água por métodos de irrigação, por outro lado, a umidade elevada (>80%) pode diminuir a absorção de nutrientes a propagação de doenças fúngicas e queda prematura dos frutos. O volume ideal de precipitação anual é de 1.500mm e pluviosidade mensal superior a 130mm. Período de 3 meses com chuva mensal inferior a 50mm podem resultar em redução da produtividade por mais de 30 meses após um prolongado período de seca (FONTES e FERREIRA, 2006). Tais exigências podem justificar o suposto “abandono” da cultura, pois durante cerca de 5 meses, na estação seca, a precipitação em Darcinópolis fica abaixo dos valores críticos descritos, e assim a cultura só se mantém comercialmente produtiva com um robusto sistema de irrigação.

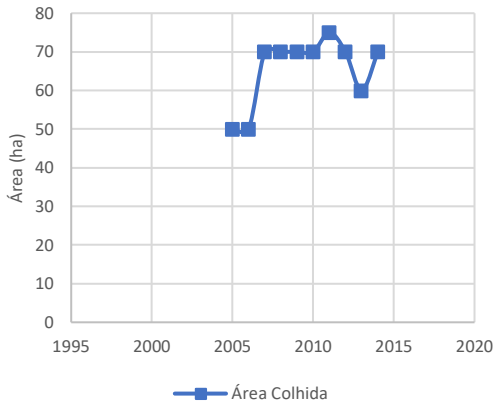
Figura 63. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Darcinópolis – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.



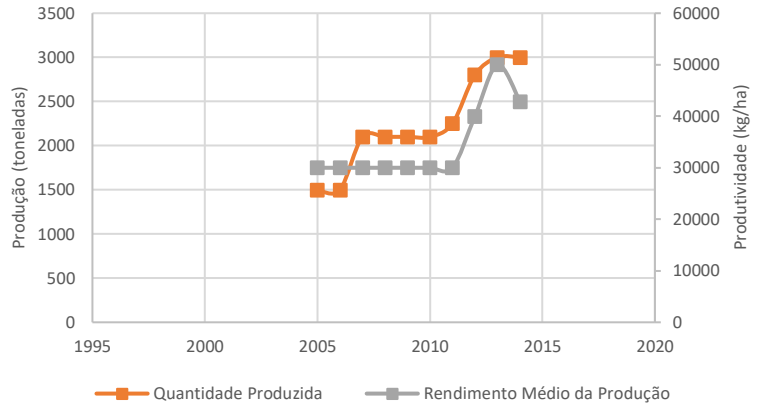


GOVERNO DO TOCANTINS

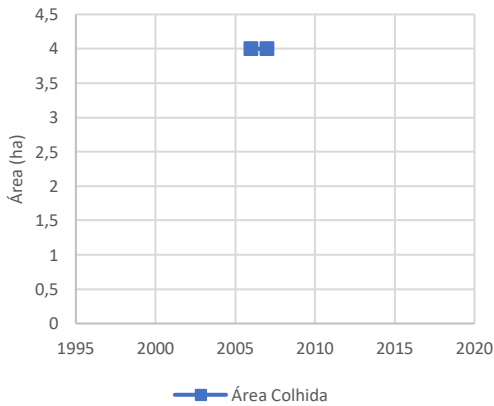
Área Colhida de Cana-de-Açúcar



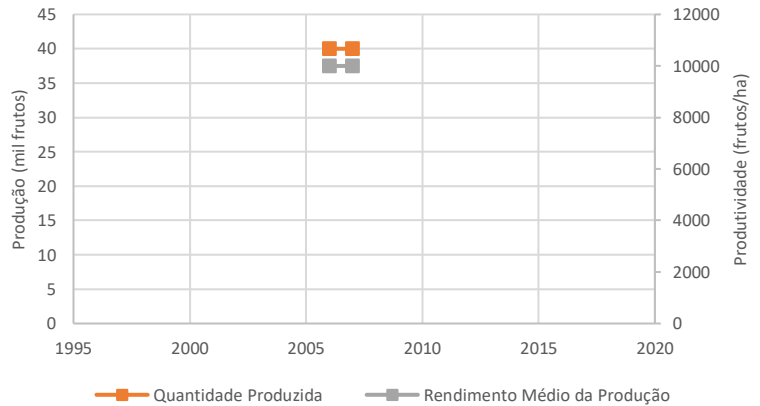
Cultivo de Cana-de-Açúcar



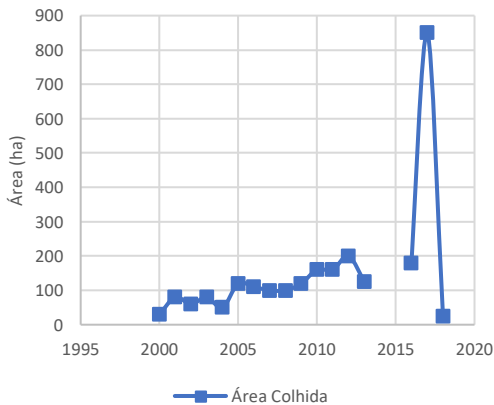
Área Colhida de Coco-da-baía



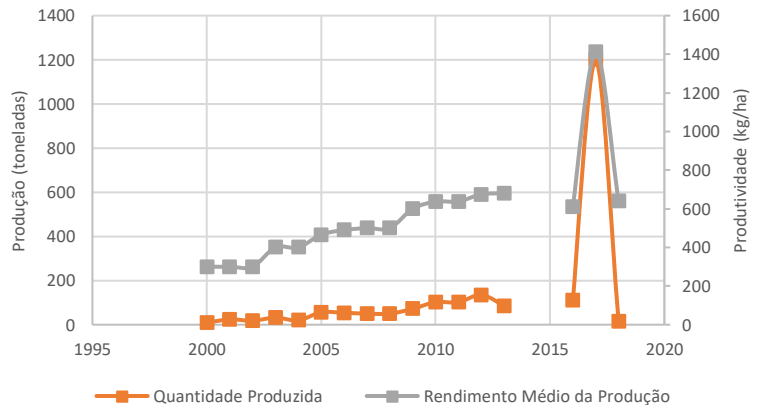
Cultivo de Coco-da-baía

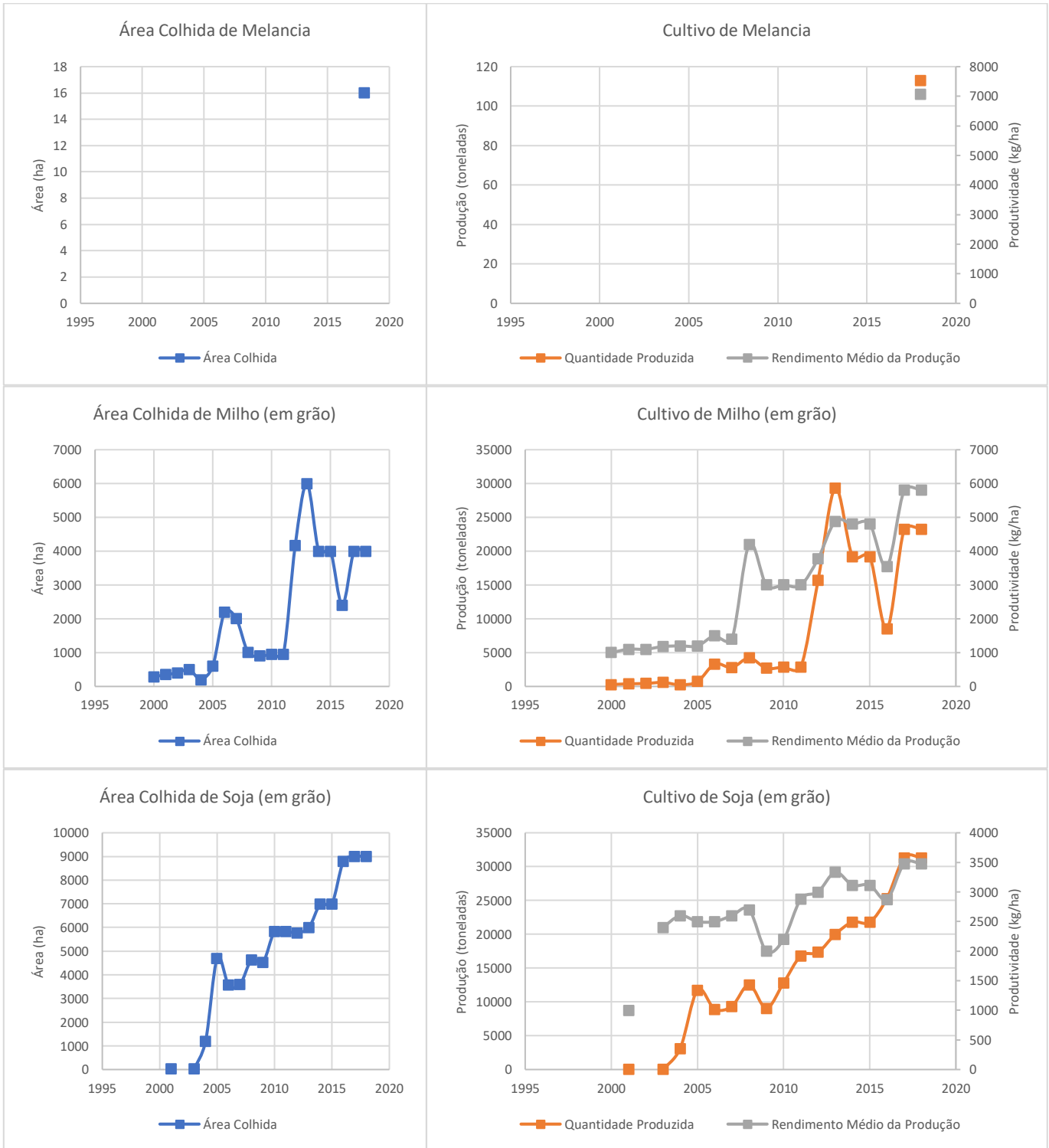


Área Colhida de Feijão (em grão)



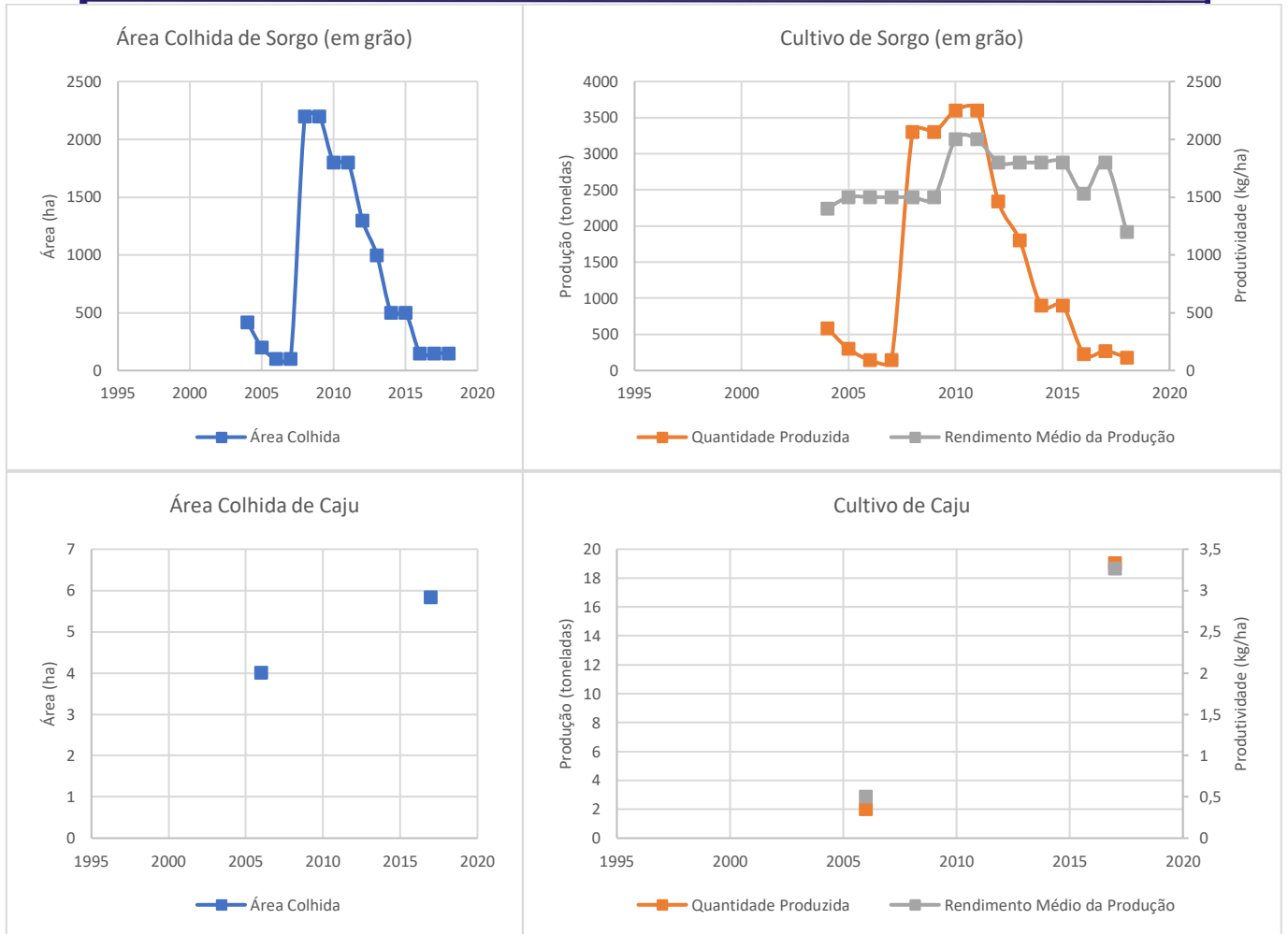
Cultivo de Feijão (em grão)







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).

4.5.3. Tocantinópolis

Este município, com uma população de 22.845 habitantes, segunda a Estimativa Populacional de 2020 do IBGE, também pertence a região programa Bico do Papagaio. Esta região é uma das mais pobres do Estado e, conforme o Inventário Socioeconômico (SEPLAN, 2016), Tocantinópolis se destaca em razão do seu IDH-M médio (0,681), o mais alto regionalmente. Além disso, comparado com os demais municípios do Extremo Norte, este apresenta o segundo maior percentual de abastecimento de água na área urbana, chegando a 82,69% de domicílios, e o maior percentual de esgotamento sanitário urbano (3,91%), composto por rede geral e fluvial. As praias às margens do rio Tocantins são atrativos turísticos importantes e o município faz parte do Programa de Regionalização do Turismo e está incluído no Mapa do Turismo Brasileiro do Ministério do Turismo, inserido na classe de região turística Bico do Papagaio. Também compõem o corredor ecológico Tocantins-Araguaia.

De acordo com a SEPLAN (2016), a estrutura econômica de Tocantinópolis é regida por funcionários públicos, atividades agropecuárias, comércio varejista, prestadores de serviços, pequenas indústrias e pelo mercado informal e no ano de 2006 até 43% da área municipal estava ocupada por estabelecimentos rurais, com muita expressividade da agricultura familiar. Da fitoecologia do município, em 2006 de 46% a 71% correspondiam a mata ou floresta natural (SEPLAN, 2016), verificando-se aumento da contribuição econômica do extrativismo vegetal, que em 2006 rendeu R\$177.000,00 ao município.

Os dados do IBGE (2006) e SEFAZ (2017) mostram que a produção agrícola do município se distribuía da seguinte forma no ano de 2006: 272ha destinados ao cultivo permanente, 144ha a cultivos do tipo temporário, e áreas de pastagens naturais, degradadas e em boas condições possuíam a maior representatividade, totalizando 442, 1.053 e 5.012 hectares, respectivamente. Segundo o Censo Agropecuário de 2006 e 2017, os principais cultivos produzidos no município são: feijão e banana.

Segundo a análise climatológica a temperatura mínima anual do ar de Tocantinópolis varia entre 21°C e 23°C, ocorrendo, no mês de julho, os menores valores mensais, entre 18 e 19°C. A temperatura média anual fica entre 24°C e 27°C. Sua temperatura máxima anual ocorre em média entre 30°C e 33°C, porém nos meses de agosto e setembro pode chegar aos 35°C.

Neste município o acumulado anual de chuvas em média varia entre 1408mm e 1536mm. O período chuvoso dura entre 180 e 200 dias entre os meses de novembro e abril, quando são observadas, em média, a ocorrência de 7 a 8 veranicos anualmente. O mês março apresenta o maior acumulado mensal, até 280mm, e a maior quantidade de dias com registro de chuva, totalizando até 18 dias. Em termos anuais o município de Tocantinópolis registra entre 78 e 88 dias de chuva.

Em termos anuais, observa-se que 60% do céu de Tocantinópolis permanece coberto por nuvens, com maior percentual de cobertura (70%-80%) em janeiro, fevereiro e março, e a menor cobertura (20%-30%) se verifica em julho e agosto. Então a insolação anual varia entre 2200 horas e 2400 horas, com quantidade inferior a 140 horas em fevereiro, e maior quantidade de horas (280-300) em julho e agosto.

A radiação solar global anual no município varia entre 1400KJm⁻² e 1500KJm⁻². A umidade relativa do ar fica entre 70 e 75% em média anual. O valor da evaporação anual varia entre 1360mm e 1530mm, tendo valores entre 66mm e 88mm mensais entre janeiro e abril e entre 220mm e 242mm mensal em agosto. Como resultado da combinação destes elementos e as características do solo, a evapotranspiração de referência de Tocantinópolis varia entre 1010mm e 1210mm anualmente, e, em



escala mensal, o menor valor (110mm) ocorre em fevereiro e abril, abrangendo todo o município, e o maior (150mm) é observado em agosto e setembro.

Tocantinópolis apresenta moderado excedente hídrico no verão, com valores anuais entre 120mm e 400mm, com o período de excedente hídrico se estendendo pelos meses de fevereiro e abril, sendo março o mês com maior excedente (até 140mm). A deficiência hídrica anual varia entre 400mm e 760mm, e ocorre prioritariamente entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto. A maior parte do município se classifica com deficiência hídrica moderada no inverno.

Na Figura 64 disponibiliza-se os gráficos de variação temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias]. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

No gráfico de duração do período de chuvas observa-se que entre 1990 e 2017 tais períodos duraram entre 115 e 220 dias, com maior frequência dos períodos de 185 dias e tendo-se como valor médio do período chuvoso de Tocantinópolis a duração de 184 dias. Em conformidade com os efeitos esperados em ocorrência de El Niño, observa-se uma severa redução na duração do período chuvoso durante o forte evento de 1991/1992, a duração foi de 185 dias no ano hidrológico 1990/1991 diminuindo para 115 dias no ano hidrológico 1991/1992. Um comportamento que merece destaque é o contraditório aumento na duração do período chuvoso associado ao episódio de El Niño de 2006/2007, quando foi registrada a maior duração da série histórica com o valor de 220 dias. Pode-se pensar na possibilidade de domínio de outras condições atmosféricas se contrapondo aos efeitos do El Niño, ou, o mais provável, aceitar que a ausência de dados nos anos vizinhos (2005, 2007, 2008 e 2009) dificultou uma precisa análise do real comportamento desta variável. No episódio de La Niña moderada de 1998/1999 a duração do período chuvoso foi de 215 dias, verificando-se 31 dias a mais de chuva do que a média esperada para Tocantinópolis.

Observa-se, ainda, que a maioria dos anos, entre 1990 e 2019, apresentam entre 79 e 99 dias de chuva, com a segunda maior frequência o intervalo entre 101 e 121 dias, sendo 88 dias o valor médio de dias de chuva em Tocantinópolis. Destaca-se o ano 1994 (neutro) com o registro do maior número de dias de chuva, 143 dias, ou seja, bem acima da média municipal. Identifica-se a clara interferência dos fenômenos ENOS sobre o padrão da distribuição temporal desta variável, com diminuição do número de dias de chuva em eventos El Niño e aumento em La Niña. Ferreira, Ramírez e Gan (2009) mostraram que em eventos de El Niño e em anos de neutralidade ocorre um aumento na frequência de VCANs (maior frequência de VCANs, menor duração dos sistemas associados a este, menor número de dias de chuva) e durante a La Niña diminui a frequência de VCANs, o que pode justificar o comportamento padrão observado. Esta série histórica, sem descontinuidades, mostra a forte tendência de redução do número de dias de chuva em Tocantinópolis, redução da ordem de 40 dias no transcorrer dos 30 anos de dados, sugerindo alguma mudança climática como apontam os relatórios do IPCC (2014).

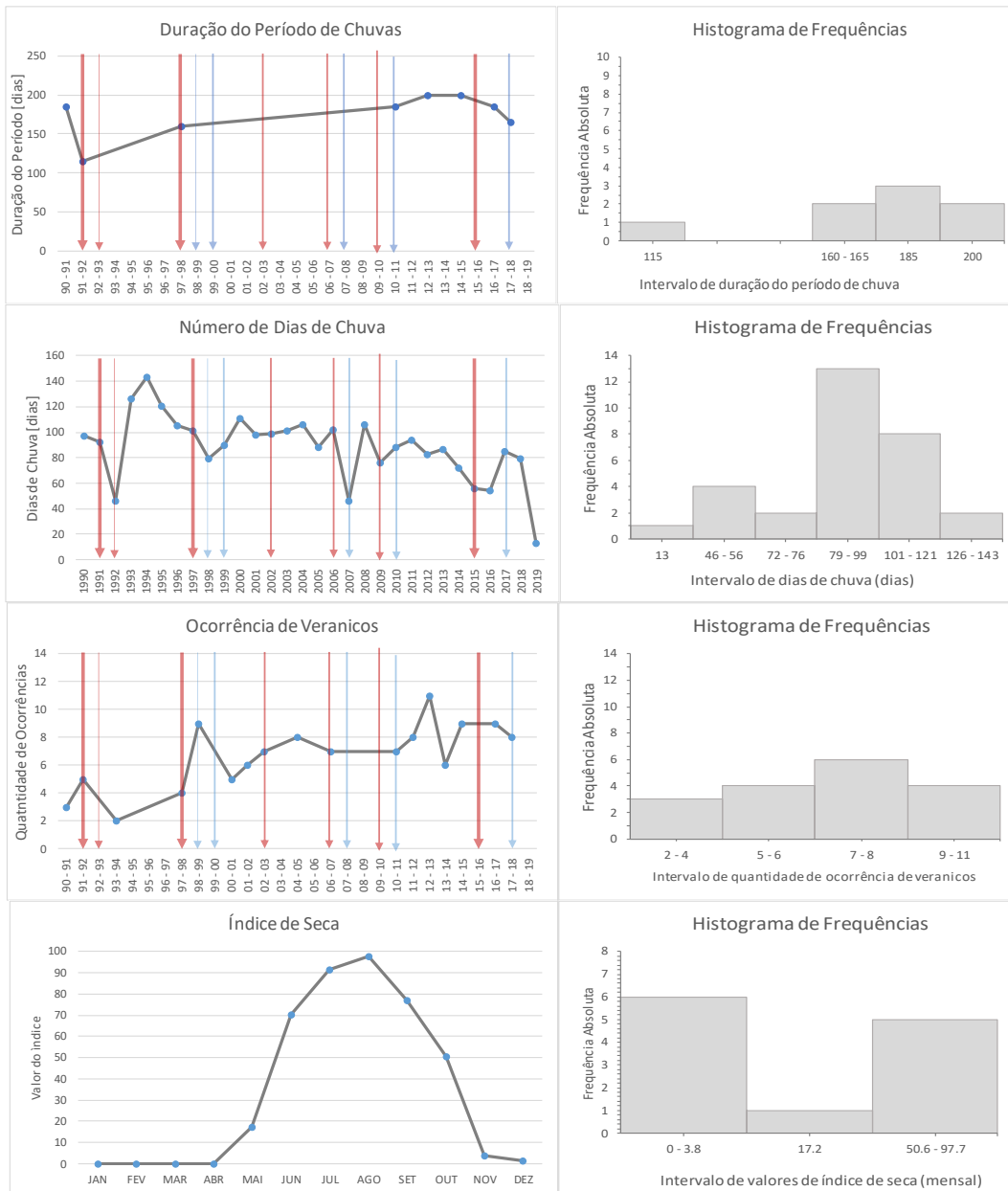
O município de Tocantinópolis registrou durante o período entre 1990 e 2019 um único ano hidrológico (1993/1994) com 2 ocorrências de veranico e no ano hidrológico 2012/2013 foi de maior registro da série histórica, com 11 ocorrências. É mais frequente o registro de 7 ou 8 veranicos por ano hidrológico.

Aqui também foi observado um comportamento temporal em acordo com efeitos esperados em decorrência do El Niño e da La Niña, embora, o padrão não se apresente tão definido quanto para o número de dias de chuva. Provavelmente as mesmas condicionantes que interferem uma variável também interfiram na outra, mas, para a ocorrência de veranicos, possivelmente as condições locais sejam mais dominantes do que as circulações de escala sinótica. Esta variável apresenta acentuada tendência de aumento no transcorrer dos 27 anos da série histórica, série com muitas descontinuidades, contrariando relatos do IPCC (2014).

Assim como em outros municípios da região Bico do Papagaio, da análise do índice de seca em Tocantinópolis, observa-se valores nulos no primeiro trimestre do ano civil, com valor crescente entre abril e julho e decrescente a partir de agosto. Identifica-se o abrupto agravamento do déficit hídrico no decorrer do mês de maio, quando os volumes pluviométricos reduzem drasticamente. A seca ainda aumenta até julho quando é registrado o maior valor de índice de seca correspondente a 1999. A partir de agosto, bem lentamente, a água vai sendo reposta no sistema atmosfera-solo-planta e o índice de seca volta a diminuir, mas a maioria dos cultivos agrícolas ainda devem necessitar de água suplementada por sistemas de irrigação.



Figura 64. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas de duração do período chuvoso [dias], números de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Tocantinópolis. Período dos dados de 1990 – 2019.



Legenda:

NiñaLa

NiñoEI

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2012, 2017 e 2018, com o valor de 636kg/ha, área colhida de 33ha a 11ha e quantidade produzida de 21t a 7t. Apesar dos fatores meteorológicos não serem os mais apropriados com ocorrências de veranicos acima da média, 11 em 2012 e 9 em 2017, o que prejudica o enchimento e maturação dos grãos, a produtividade foi a mais alta para esse município. Outros fatores que podem ter auxiliado, por exemplo, o número de dias com chuva próximo da média 83 dias, 85 dias e 79 dias para 2012, 2017 e 2018, respectivamente, período chuvoso de 200 dias em 2012 e 165 dias em 2017, associado à boas práticas agrícolas e correção dos nutrientes do solo. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2000 e 2001 com o valor de 400kg/ha, área colhida de 30ha e quantidade produzida de 12t. Nestes dois anos as condições meteorológicas mostraram-se mais favoráveis do que prejudiciais ao cultivo do feijão. O que pode ter causado alguma influência negativa foi o elevado número de dias de chuva, que certamente esta associado à maior cobertura de nuvens e condição de radiação solar provavelmente desfavorável, situação que pode ser agravada pela falta de boa prática agrícola. O feijão é um cultivo disseminado no município de Tocantinópolis, pois se tem dados para 15 dos 19 anos da pesquisa PAM. Houve um aumento na área colhida de 2003 a 2008 e depois teve uma queda até 2013, 2017 e 2018, o mesmo ocorreu à quantidade produzida. Condições climáticas adversas associadas a outros fatores, muitos de cunho econômico, podem justificar a redução da área colhida. Mas o singelo aumento na quantidade produzida em 2017 pode estar associado as chuvas bem distribuídas durante o ciclo produtivo da cultura.

No cultivo da banana, Tocantinópolis apresentou o melhor rendimento médio de produtividade nos anos de 2010 a 2012, com o valor de 10.000kg/ha, área colhida de 3ha e quantidade produzida de 30t. Durante este período a precipitação acumulada anual variou entre 1476,2mm em 2010 até 1146,2mm em 2012, com 88, 94 e 83 dias de chuva nos respectivos anos, o que indica que os veranicos ocorridos durante o período chuvoso de cada ano não foram muito duradouros apesar de serem, numericamente, igual ou superior à média. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 700kg/ha, área colhida de 10ha e quantidade produzida de 7t. A carência de dados meteorológicos e de estações de coleta de dados dificultam uma análise mais acurada sobre a interferência dos fatores climáticos sobre o cultivo da banana neste ano de 2000. A banana é um cultivo já disseminado nesse Município, pois verifica-se safras em 15 dos 19 anos da pesquisa PAM analisada, não havendo dados para os últimos 4 anos (2015 a 2018). Houve uma diminuição na área colhida de 2001 a 2014, o mesmo ocorreu à quantidade produzida. O rendimento de produtividade foi maior nos últimos anos de 2010 a 2012 e uma pequena queda de 2013 a 2014. Os valores mais baixos de rendimento foram no primeiro ano em 2000, sendo este o único ano com valor abaixo de 6000kg/ha.

Para o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2005 a 2008, com o valor de 2.400kg/ha, área colhida variando de 100ha a 150ha e quantidade produzida de 240t a 360t, no transcorrer destes anos. Na estação pluviométrica localizada em Tocantinópolis obteve-se dados de número de dias de chuva para os quatro anos, de precipitação faltou apenas para o ano de 2007 e de período chuvoso e de veranico apenas o ano de 2006 possui informação, logo são poucas as informações atmosféricas que ofereçam indícios que justifiquem o bom rendimento desta cultura. Mas deve-se destacar: a ocorrência de um episódio de El Niño (2006/2007), que influencia de forma negativa as variáveis relacionadas com a precipitação pluviométrica, mas de forma positiva as temperaturas; e o episódio La Niña de 2007/2008 que tem influência contrária ao El Niño. Os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2000, 2001, 2003 e 2004 com o valor de 1.200kg/ha. De um modo

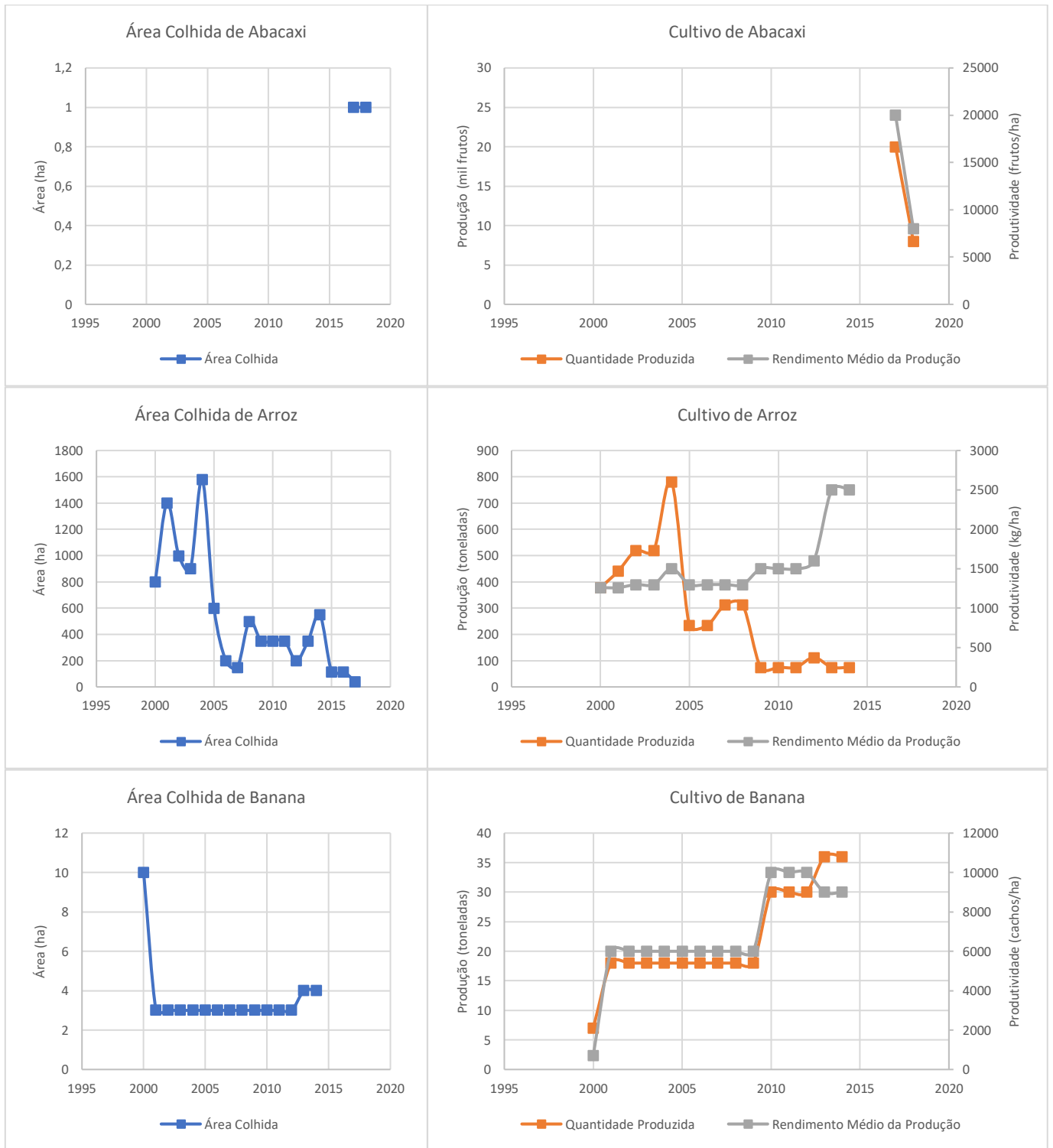


geral, a precipitação pluviométrica anual esteve acima da média municipal que é de 1400mm, exceto em 2001 (1295,3mm). Todos os anos apresentaram número de dias de chuva acima da média de 88 dias, com valores de 111, 98, 101 e 106 dias para os respectivos anos citados. Porém a duração do período chuvoso foi abaixo da média de 184 dias, verificando-se os valores de 175 dias para 2000 e 2001, 2003 sem dados e 180 dias para 2004. O número de veranicos ficou abaixo da média (7 ocorrências) com valores de 5 e 6 eventos em 2000 e 2001, 8 ocorrências em 2004, e 2003 não possui dados. Tais condições não parecem suficientes para justificar os rendimentos de produtividade obtidos. Como fato verifica-se a ocorrência de um episódio La Niña (1999/2000) que pode ter diminuído a temperatura do ar nos meses de junho, julho e agosto de 2000, e o episódio El Niño (2002/2003) que pode ter ocasionado um aumento expressivo na temperatura do ar no primeiro semestre de 2003, mas não há estação meteorológica em Tocantinópolis ou nas proximidades para confirmar estes efeitos.

Em relação ao cultivo de arroz, conforme apresentado na Figura 65, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2013 e 2014, com o valor de 2.500kg/ha, área colhida de 30ha e quantidade produzida de 75t. Estes anos se caracterizam por precipitação anual ligeiramente abaixo da média (cerca de 6% abaixo), mas o período chuvoso foi mais longo nos dois anos o que pode ter resultado em chuva melhor distribuída durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 e 2001 com o valor de 1.260kg/ha. Lembra-se que tanto o excesso quanto a falta de chuva e as anomalias de temperatura durante o ciclo do cultivo podem prejudicar o rendimento médio de produtividade do arroz. Verifica-se que no ano hidrológico 2000/2001, a precipitação acumulada foi de 1567,4mm, com 111 dias de chuva, duração do período chuvoso de 175 dias e 5 ocorrências de veranico, enquanto no ano hidrológico 2001/2002 foram 1295,3mm acumulados de chuva, que se distribuíram em 98 dias, o período chuvoso durou 175 dias e ocorreram 6 veranicos.

Quanto ao cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2017, com o valor de 20.000 frutos/ha, área colhida de 1ha e quantidade produzida de 20 mil frutos. Considerando que a colheita deste cultivo ocorre entre dezembro e fevereiro esta safra 2017 reflete os efeitos do ano hidrológico 2016/2017. Neste ano hidrológico a precipitação anual acumulou 1434,4mm, tendendo ao limite superior da faixa ótima para produtividade máxima do abacaxi. As chuvas se distribuíram em 85 dias de agosto de 2016 até julho de 2017, cujo período chuvoso durou 165 dias quando ocorreram 9 veranicos, provavelmente com poucos dias de duração. Já o pior rendimento foi registrado no ano de 2018 com o valor de 8.000 frutos/ha, área colhida de 1ha e quantidade produzida de 8 mil frutos, safra que reflete o padrão atmosférico do ano hidrológico 2017/2018. A precipitação acumulada foi de 1217,3mm distribuída em 79 dias de chuva, condição que pode ter resultados em veranicos mais intensos e duradouros, mas sem registros para confirmar tal suposição. O abacaxi é um cultivo recente em Tocantinópolis, pois apenas os dois últimos anos apresentam dados de safras na pesquisa PAM, 2017 e 2018.

Figura 65. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Tocantinópolis – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.





GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).

Sem dados para as culturas de melancia, soja (em grãos), sorgo (em grãos) e caju para o período analisado.

4.5.4. Araguaína

Araguaína está localizada na região programa Norte do estado do Tocantins. Foi instalada como município em 1959, com desenvolvimento econômico e social somente a partir de 1960, com a construção da rodovia Belém-Brasília (BR-153), o que fez com que a cidade crescesse em relação às mais próximas, mesmo as maiores e mais antigas. A economia araguainense é bastante diversificada, pois, além da agricultura e da pecuária, destacam-se o comércio local e o Distrito Agroindustrial de Araguaína – DAIARA. Mais recentemente a instalação de faculdades impulsionou a iniciativa privada na construção civil (SEPLAN, 2016). De acordo com a SEFAZ (2017) o IDH médio para a região Norte é da ordem de 0,630, e Araguaína supera este valor, com IDH-M de 0,752, sendo o quarto melhor índice do Estado.

Baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra (SEPLAN, 2007), os cinco principais usos no município são: Palmeiral; Cerrado Sentido Restrito; Floresta Ombrófila Aberta Submontana; Capoeira; e Agropecuária. Este último está presente em todas regiões do município, sem uma área de maior concentração, porém ocupa grande parte do território. Verifica-se em SEPLAN (2016) que no de 2006 até 6% da fitoecologia de Araguaína correspondia a mata ou floresta natural, e que de 43% e 63% da área municipal estava ocupada por estabelecimentos rurais.

Araguaína possui temperatura mínima anual do ar entre 18°C e 22°C, reservando os menores valores para os pontos de maior altitude, que no mês de julho, o mais frio, podem atingir 16°C. Sua temperatura máxima anual fica em torno de 32°C, chegando aos 35°C em agosto e setembro.

Da análise climatológica constata-se que, em média, o total acumulado de chuva varia entre 1664mm e 1792mm, e o mês de março apresenta-se como o mais chuvoso, com total mensal superior a 280mm. O período chuvoso araguainense tem duração média de 192 dias, se estendem entre os meses de outubro e abril, quando são observadas a ocorrência de 4 veranicos em média. No mês de março podem ocorrer até 18 dias com precipitação superior a 1mm. Novembro é o primeiro mês de chuva significativa sobre Araguaína, depois de quase 6 meses sem chuva.

Observa-se que em Araguaína a nebulosidade cobre em média 60% do céu em termos anuais, com maior percentual de cobertura (70%-80%) em janeiro, fevereiro e março, e a menor cobertura (20%-30%) se verifica em julho e agosto. Logo a insolação anual acumula de 2000 a 2400 horas, com quantidade inferior a 140 horas em dezembro e em fevereiro, e maior quantidade (>280 horas) em julho e agosto.

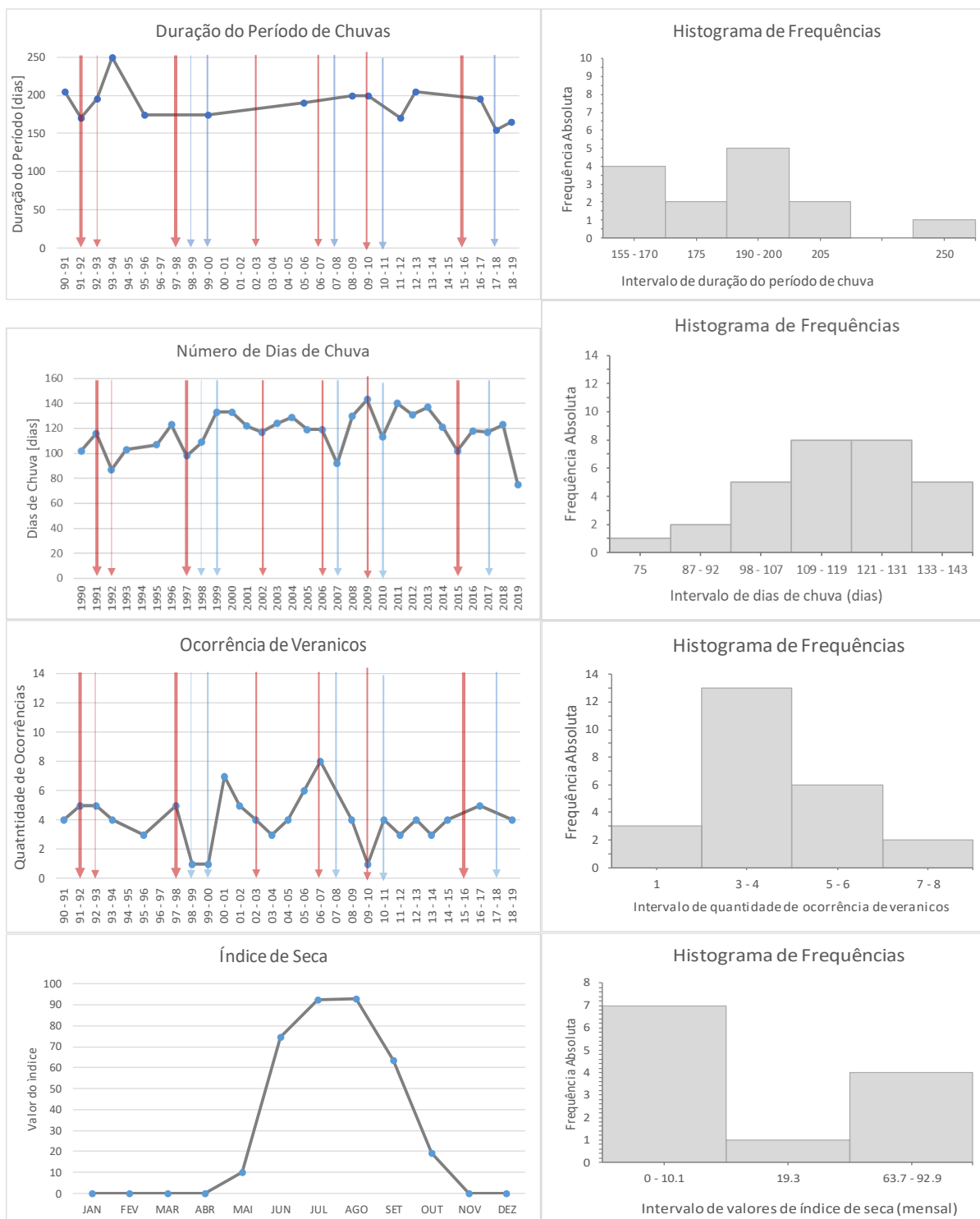
A radiação solar global anual no município varia entre 1400KJm⁻² e 1500KJm⁻², e a umidade relativa do ar fica entre 75% e 80% anualmente. Os menores valores de evaporação são registrados em fevereiro e março (<66mm), os maiores mensais ocorrem em agosto, entre 220mm e 286mm, e em termos anuais a evaporação varia entre 1190mm e 1530mm. Assim, Araguaína apresenta evapotranspiração de referência variando entre 810mm a 1010mm anualmente, e, em escala mensal, o menor valor (110mm) ocorre em janeiro, fevereiro e abril, e o maior (chegando a 160mm) é observado em agosto.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão, com valores entre 200mm e 600mm. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a abril, sendo fevereiro o mês com maior excedente (>140mm). No outro extremo da condição hídrica o município se classifica com grande deficiência hídrica no inverno, cujos valores variam entre 280mm e 580mm, predominantemente entre os meses de junho e setembro, sendo mais intensa em agosto.



Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 66, o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Araguaína com dados obtidos entre 1990 e 2018 para duração do período chuvoso e ocorrência de veranicos e de 1990 a 2019 para as variáveis números de dias de chuva e índice de seca. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Figura 66. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Araguaína – TO. Período dos dados de 1990 – 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



Analisando a duração do período de chuva, verifica-se que, entre 1990 e 2018, as durações do período chuvoso neste município retornaram valores dentro do intervalo de 155 a 250 dias, distribuídos de maneira bastante irregular como mostra o histograma de frequência. Esta variável é computada pela contagem de dias após o acúmulo de 7% da precipitação total anual. Em termos de variabilidade, detecta-se a interferência do El Niño, com anomalia de sinal negativo, sobre a duração do período de chuva em Araguaína. O forte evento de 1991/1992 apresenta a interferência mais significativa, quando a duração ficou em 170 dias, 22 dias menor que a média climatológica do Município. O ano de 1997/1998, evento de forte intensidade, também apresentou duração do período de chuva, abaixo da média, ficando em 185 dias. Entretanto, considerando que, outros eventos El Niño ocorreram no período analisado, sem que se observe qualquer variabilidade na duração do período de chuva, pode-se inferir que outras condicionantes podem ter se sobressaído aos efeitos do El Niño, seja no sentido de potencializar ou descaracterizar as implicações do fenômeno. A análise da série histórica evidencia a tendência de diminuição da duração do período chuvoso em Araguaína, verificando-se uma redução da ordem de 25 dias no transcorrer de 28 anos.

O número de dias de chuva representa a quantidade de dias com chuva acima de 1mm. Da análise de seus gráficos, observa-se a prevalência dos valores na faixa entre 121 e 143 dias. Identifica-se a frequente interferência do fenômeno ENOS em grande parte da distribuição temporal. Segundo Ferreira, Ramírez e Gan (2009) no verão de 1998/1999, na fase inicial da La Niña, houve uma maior atuação de VCANs com longa permanência sobre o continente (norte do Sudeste e sul da Bahia), provavelmente aumentando a nebulosidade no norte do Tocantins. No verão seguinte, 1999/2000, também esteve sob a influência de La Niña. Estas condições podem resultar em chuvas mais frequentes, e percebe-se o aumento na quantidade de dias de chuva entre 1998 e 2000, com respectivos valores anuais de 109, 133 e 133 dias. No ano de 2007, sob a atuação de um El Niño moderado (2006/2007) verifica-se a esperada queda no número de dias de chuva (92 dias) comparado aos anos hidrológicos, ou período seco, 2005/2006 (119 dias) e 2007/2008 (130 dias). Destaca-se que no ano de 1994, de neutralidade quanto à ENOS, há o registro do menor número de dias de chuva (9 dias), provavelmente indicando uma possível dificuldade na coleta desta informação. A série histórica de Araguaína, com 30 anos de dados de número de dias de chuva, apresenta tendência de aumento desta variável, contrariando os relatos do IPCC (2014), exigindo estudos mais aprofundados para identificação das possíveis mudanças climáticas contraditórias.

Períodos de cinco dias ou mais, com chuva abaixo de 1mm, observados durante o período chuvoso, caracterizam o veranico. Analisando-se os gráficos de ocorrência de veranicos, verifica-se que, dentro do período chuvoso de Araguaína, considerando o ano hidrológico, foram identificados pelo menos 1 e no máximo 8 ocorrências de veranicos, por ano, no período entre 1990 e 2018, sendo mais frequente o registro de 3 a 4 veranicos por ano. Observa-se uma tendência de aumento no número de veranicos em decorrência do El Niño, especialmente os de forte intensidade, e redução por ocasião da La Niña, coerente com os respectivos efeitos de redução e aumento das chuvas, descritos por Grimm (2009). Nesta variável também se percebe os efeitos da longa permanência de VCANs sobre o continente, devido a influência da La Niña, como sugerem Ferreira, Ramírez e Gan (2009), ocorrendo dois episódios seguidos de tal fenômeno, 1998/1999 e 1999/2000. Os respectivos verões foram marcados pelos menores valores de ocorrência de veranicos em Araguaína considerando a série histórica 1990-2018. Os dados desta série amostral indicam a estabilidade temporal da variável, sem tendência de aumento ou redução definitivas dos dados no decorrer dos anos.

O índice de seca representa o quanto uma região é árida. Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, observados nos gráficos correspondentes a esta variável (Figura 68) mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando que estes são períodos mais favoráveis à produção agrícola em termos hídricos. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, com progressão abrupta do déficit hídrico em maio e desacelerando em junho. Em julho se estabeleceu o patamar máximo do índice de seca, no valor de 92,9. Geralmente, neste período mais seco do ano a produção agrícola depende de sistemas artificiais de suprimento de água para as culturas, por métodos de irrigação. No segundo semestre do ano o índice de seca vai decaindo continuamente até novembro, porém percebe-se que o déficit hídrico ainda prevalece, exigindo, pelo menos em alguns momentos, o uso da irrigação em algumas culturas.

Um tema muito importante relacionado a problemática ambiental do Município são os focos de queimadas. Do levantamento elaborado a partir dos dados do INPE de 2000 a 2019, mostram uma curva crescente, a partir de 2016, do número de focos de queimadas, como acompanha-se na Figura 67. Vale ressaltar, que a ocorrência de queimadas na região acontece de forma sazonal, com condições meteorológicas favoráveis para o manifesto dos focos de queimadas, condicionados, principalmente, pelas seguintes variáveis meteorológicas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação, nebulosidade, precipitação e vento.

A sazonalidade analisada para o município de Araguaína, mostrou que junho é mês de início do período favorável à ocorrência dos focos de queimadas, e setembro é o mês de fechamento. Em agosto as variáveis umidade relativa e temperatura máxima do ar apresentam valores médios de 55%-60% e 35°C, respectivamente, e no mês de julho a precipitação varia em média entre 5 e 10mm, representando condições muito favoráveis à ocorrência e propagação dos focos de queimadas.

Figura 67. Gráfico de focos de queimadas no município de Araguaína – TO, elaborado a partir de dados do INPE do período de 2000 – 2019.



Fonte: INPE (2019).

Destaca-se que no ano de 2006, segundo SEPLAN (2016), da produção agrícola do município de Araguaína até 1% foi atribuída a culturas permanentes, até 2% à culturas temporárias, e de 45% a 57% corresponderam ao cultivo de pastagens, sendo possível verificar-se em SEFAZ (2017) que 460ha eram ocupados por culturas permanentes e 285ha por culturas temporárias. Os principais cultivos



produzidos no município são: feijão, banana, milho, soja, melancia, arroz, cana-de-açúcar, abacaxi, coco da baia e caju.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 1.280kg/ha, área colhida de 246ha e quantidade produzida de 315t. Isso pode ter ocorrido devido a moderada La Niña de 2017/2018 que resultou em aumento no número de dias de chuva para 123 dias e reduziu a ocorrência de veranicos de 2017 para 2018, e aumentou a duração do período chuvoso de 155 para 165 dias, respectivamente, mostrando evidências de que a precipitação tenha ocorrido de maneira mais bem distribuída durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2001 com o valor de 356kg/ha, área colhida de 160ha e quantidade produzida de 57t, um dos fatores que podem ter prejudicado o enchimento de grãos e a maturação dos mesmos podem estar relacionado a quantidade de veranico, 5 ocorrências de veranicos, que ocorreu no ano hidrológico de 2000/2001, e também o elevado número de dias de chuva, 122 dias.

O abacaxi também é um cultivo de destaque em Araguaína e o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2003 e 2004, com o valor de 24.000 frutos/ha, área colhida variando de 20ha a 18ha e quantidade produzida de 480 mil frutos a 432 mil frutos, nos respectivos anos. Durante a safra 2003, Araguaína estava sob os efeitos de um El Niño moderado, com condições pluviométricas ligeiramente abaixo da média climatológica do município, e em 2004 ingressou para um período de neutralidade quanto aos fenômenos ENOS e as variáveis atmosféricas estudadas mostraram-se ligeiramente acima da média, mas por se tratar de um cultivo de ciclo longo (18 meses) os impactos de pequenas variações em torno da média das variáveis atmosféricas são menos perceptíveis do ponto de vista do rendimento médio da produção. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2008 com o valor de 18.400 frutos/ha, área colhida de 25ha e quantidade produzida de 460 mil frutos. As chuvas bastante acima da média (1735,3mm) no verão 2007/2008, que acumulou 2084,5mm, pode ter sido responsável pela queda no rendimento tanto por causa do excesso hídrico quanto pela provável queda na temperatura diante de muitos dias de chuva (130 dias) e longo período chuvoso (200 dias). O ambiente propício ao cultivo do fruto é explicitado em SEFAZ (2017), que divulgou o rendimento médio da produção do abacaxi no Município, dos anos de 2010 e 2015, cujos valores foram de 20.000 frutos/ha e 22.100 frutos/ha, respectivamente.

Para o cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2001 a 2003, com o valor de 8.800kg/ha, área colhida variando de 180ha a 210ha e quantidade produzida de 1.584t a 1.848t. Com pluviosidade anual de 1706,7mm o ano de 2001 apresentou condições favoráveis ao cultivo de sequeiro da banana. No aspecto hídrico o fenômeno El Niño moderado de 2002/2003, com condições pluviométricas ligeiramente abaixo da média climatológica do município, não mostraram-se tão favoráveis, entretanto este fenômeno costuma elevar a temperatura do ar e as bananeiras se desenvolvem muito bem em ambientes quentes. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 760kg/ha, área colhida de 200ha e quantidade produzida de 152t. Este foi um ano de muita chuva em Araguaína, total acumulado de 2023,2mm, 133 dias de chuva, o período chuvoso durou 230 dias e foram registrados 7 veranicos, e é provável que diante destas condições a temperatura o ar tenha ficado abaixo de valores ideais para a produção de bananas. Segundo Borges *et al.* (2006), a produção do fruto exige calor constante, com temperaturas entre 26°C e 28°C, chuvas bem distribuídas entre 100mm e 180mm por mês e elevada umidade relativa do ar. Estas condições estão presentes no município, exceto pela presença de um período seco, bem marcante e severo, cuja produção só será garantida sob a aplicação de irrigação.

O caju tem boa produtividade quando, segundo Ramos *et al.* (1996), combinadas à solos com boa capacidade de retenção de água e boa drenagem, são atendidas as seguintes condições atmosféricas: sazonalidade da precipitação, com a marcada ocorrência de um período seco (junho a setembro), e totais anuais entre 1400mm e 1600mm, concentrados entre outubro e maio, e umidade relativa do ar variando entre 60% e 85%. Araguaína, em termos médios, atende a todas essas condições atmosféricas. Em 2006, o cultivo de caju apresentou valores de área colhida e quantidade produzida de 6ha e 16t, respectivamente, correspondendo a um rendimento médio de produtividade de 2.666,7kg/ha. Para 2017 a área colhida e quantidade produzida foram 4,5ha e 6t, respectivamente, e o rendimento médio de produtividade foi de 1.333,3kg/ha. A redução na produtividade observada em 2017, além de outros fatores, pode também estar associada ao fenômeno La Niña moderada, que, geralmente, promove o aumento da precipitação, que de fato ficou acima da média climatológica do município com valor de 1800,4mm, e conseqüentemente, também da umidade relativa do ar, tornando o ambiente mais favorável ao aparecimento de doenças.

Araguaína, dentre os 20 municípios tocantinenses analisados e já mencionados, foi o município que apresentou o melhor rendimento de produtividade do cultivo de coco, com o valor de 40.000 frutos/ha, área colhida de 50ha e quantidade produzida de 2.000 mil frutos, nos de 2001 e 2002, cujas condições atmosféricas mostraram-se bastante adequadas a uma boa produtividade deste fruto. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2017 com o valor de 14.300 frutos/ha, área colhida de 90ha e quantidade produzida de 1.287 mil frutos, quando constatou-se chuva acima da média climatológica distribuídas em um período chuvoso significativamente mais curto, de 155 dias, quando para Araguaína o esperado é uma duração de 192 dias.

Para o cultivo de soja, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2004, com o valor de 2.700kg/ha, área colhida de 2.000ha e quantidade produzida de 5.400t. O que deve ter influenciado esse bom resultado no rendimento médio, foi a boa distribuição de chuvas, 1870,1mm ocorridos em 129 dias e duração do período chuvoso de 210 dias, além do baixo número de veranicos (4 ocorrências). Já o pior rendimento ocorreu no ano 2001 com o valor de 650kg/ha, área colhida de 100ha e quantidade produzida de 65t, um dos fatores que pode ter prejudicado o enchimento de grãos e a maturação dos mesmos é a quantidade de veranico, 5 ocorrências, no ano hidrológico de 2000/2001. A soja é um cultivo já disseminado nesse município, pois se tem dados para 14 dos 19 anos analisados da pesquisa PAM. Houve um aumento na área colhida nos últimos 3 anos, de 2016 a 2018, o mesmo ocorreu com a quantidade produzida com ligeira queda no ano de 2018.

Considerando o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 5.123kg/ha, área colhida de 1.040ha e quantidade produzida de 5.328t. As mesmas condições atmosféricas que favoreceram o melhor rendimento médio de produtividade do feijão, também em 2018, contribuiu para o cultivo do milho, ou seja, a moderada La Niña de 2017/2018 que resultou em aumento no número de dias de chuva e na duração do período chuvoso e redução na ocorrência de veranicos, tornando a chuva melhor distribuída no ciclo produtivo do referido grão. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2004, 2005 e 2007 com o valor de 1.300kg/ha. Esse fato pode ser justificado por um comportamento de redução lenta e progressiva nos volumes precipitados, diminuição no número de dias de chuva e de duração do período chuvoso e aumento na ocorrência de veranicos, a partir do ano hidrológico 2004/2005.

Já para o cultivo da melancia, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2002, com o valor de 38.000kg/ha, área colhida de 40ha e quantidade produzida de 1.520t. Esse foi o terceiro



município com o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de melancia dentre os 20 municípios analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados na PAM. No ano hidrológico 2001/2002 as condições hídricas de Araguaína estiveram muito próximas da média municipal, com pluviosidade acumulada de 1630,3mm, número de dias de chuva de 117 dias, duração do período chuvoso de 205 dias e 4 ocorrências de veranico. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 9.963kg/ha, área colhida de 137ha e quantidade produzida de 1.365t, ano hidrológico com condições hídricas e de umidade compatíveis com excedentes, favorecendo o aparecimento de doenças. A melancia é uma cultura bem conhecida nessa região, pois existem dados para os 19 anos da pesquisa PAM.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2015, com o valor de 43.520kg/ha, área colhida de 25ha e quantidade produzida de 1.088t. Este ano de colheita da safra foi marcado pelo episódio 2015/2016 de El Niño forte que corresponde a redução nos parâmetros pluviométricos e aumento nas características de temperatura do ar. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos 2006 a 2009 e 2011 com o valor de 28.000 kg/ha. Estes anos apresentam características atmosféricas muito distintas, tendo-se a ocorrência de episódios de El Niño moderado nos anos 2006/2007 e 2009/2010, e uma La Niña moderada em 2010/2011, entretanto a análise dos dados aponta uma provável irregularidade da distribuição das chuvas no decorrer do ciclo de produção deste cultivo.

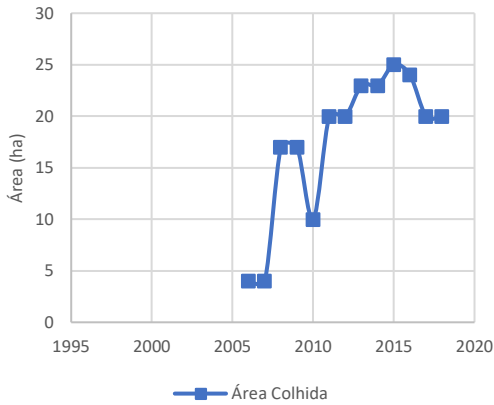
Em relação ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 6.837kg/ha, área colhida de 129ha e quantidade produzida de 882t. Com esse valor de rendimento médio de produtividade, o município de Araguaína foi o terceiro município com o maior valor de produtividade dos 20 municípios analisados no período de 2000 a 2018. A La Niña moderada de 2017/2018, que resultou em aumento no número de dias de chuva e na duração do período chuvoso e redução na ocorrência de veranicos, promovendo uma melhor distribuição das chuvas durante o ciclo produtivo deste grão, pode ter ajudado significativamente para os bom rendimento de produtividade, assim como ocorreu nos cultivos de milho e feijão. Este episódio da La Niña pode ter tornando as condições atmosféricas mais favoráveis à cultura do arroz resultando em melhoria dos indicadores de rendimento de produtividade médio para os dois anos, pois no ano de 2017 o rendimento de produtividade médio foi de 6.608kg/ha. Os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2000 a 2002 com o valor de 1.100kg/ha, um dos fatores que pode ter prejudicado o enchimento de grãos e a maturação dos mesmos é a quantidade de veranicos ocorridos nos anos hidrológicos de 1999/2000 e de 2000/2001, 7 e 5 veranicos respectivamente. Entre 2000 e 2002, o número de dias com chuva nos respectivos anos são de 133 dias, 122 dias e 117 dias, e as durações do período chuvoso são respectivamente, de 230 dias, 180 dias e 205 dias. Vale ressaltar que a intensidade dos veranicos pode causar maiores prejuízos a produção do arroz, assim como o excesso ou a falta de chuva, e as anomalias de temperatura durante o ciclo do cultivo podem prejudicar o rendimento médio de produtividade do arroz.

Figura 68. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Araguaína – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.

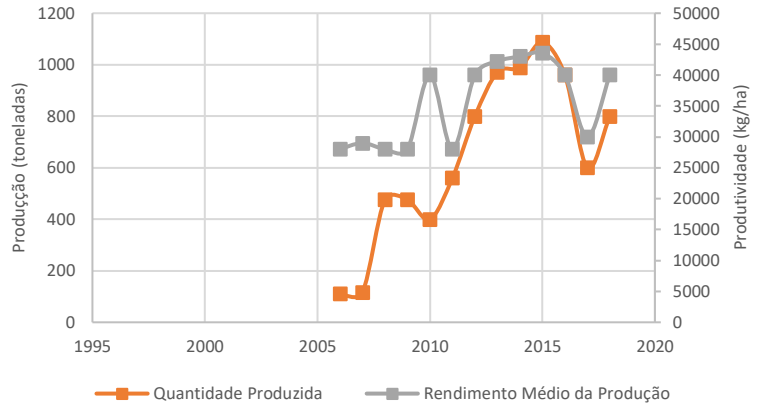




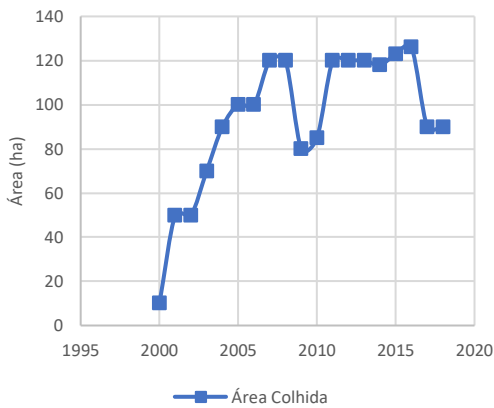
Área Colhida de Cana-de-Açúcar



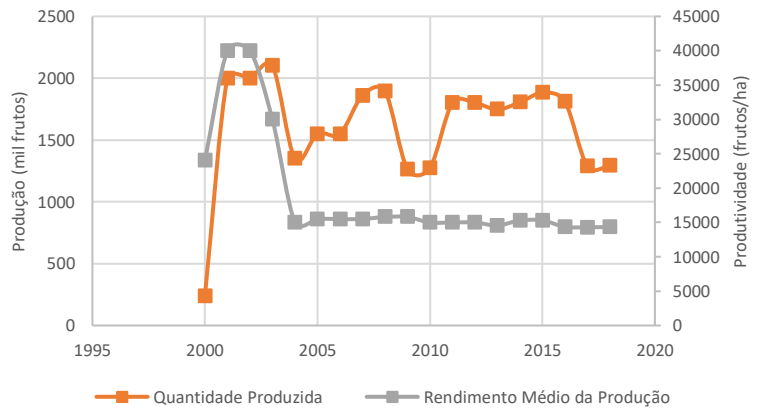
Cultivo de Cana-de-Açúcar



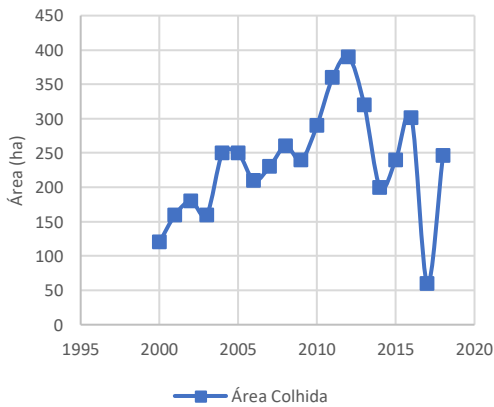
Área Colhida de Coco-da-baía



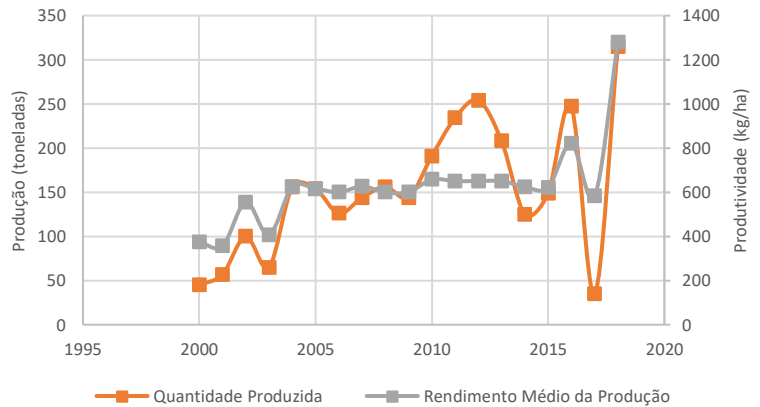
Cultivo de Coco-da-baía

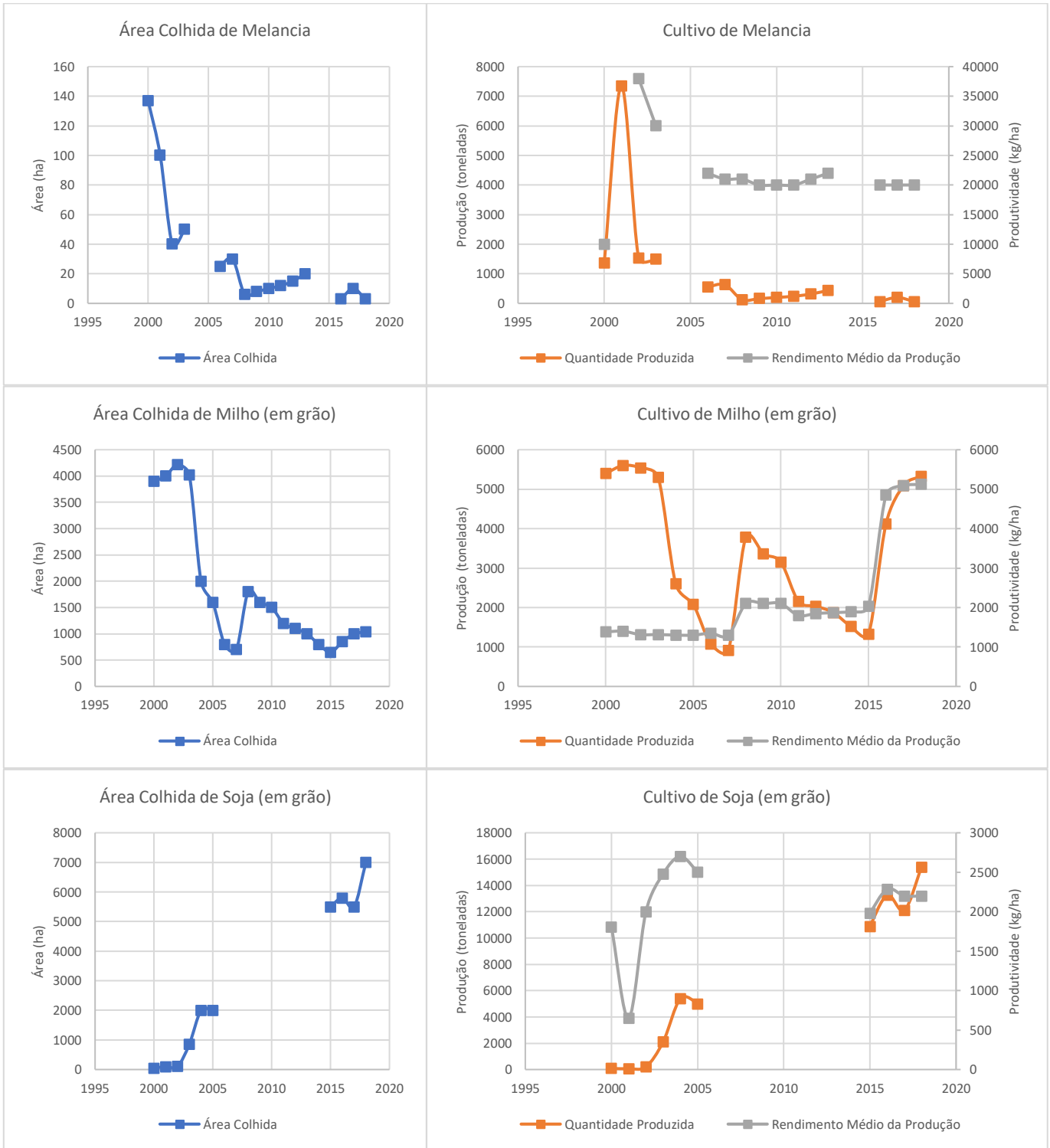


Área Colhida de Feijão (em grão)



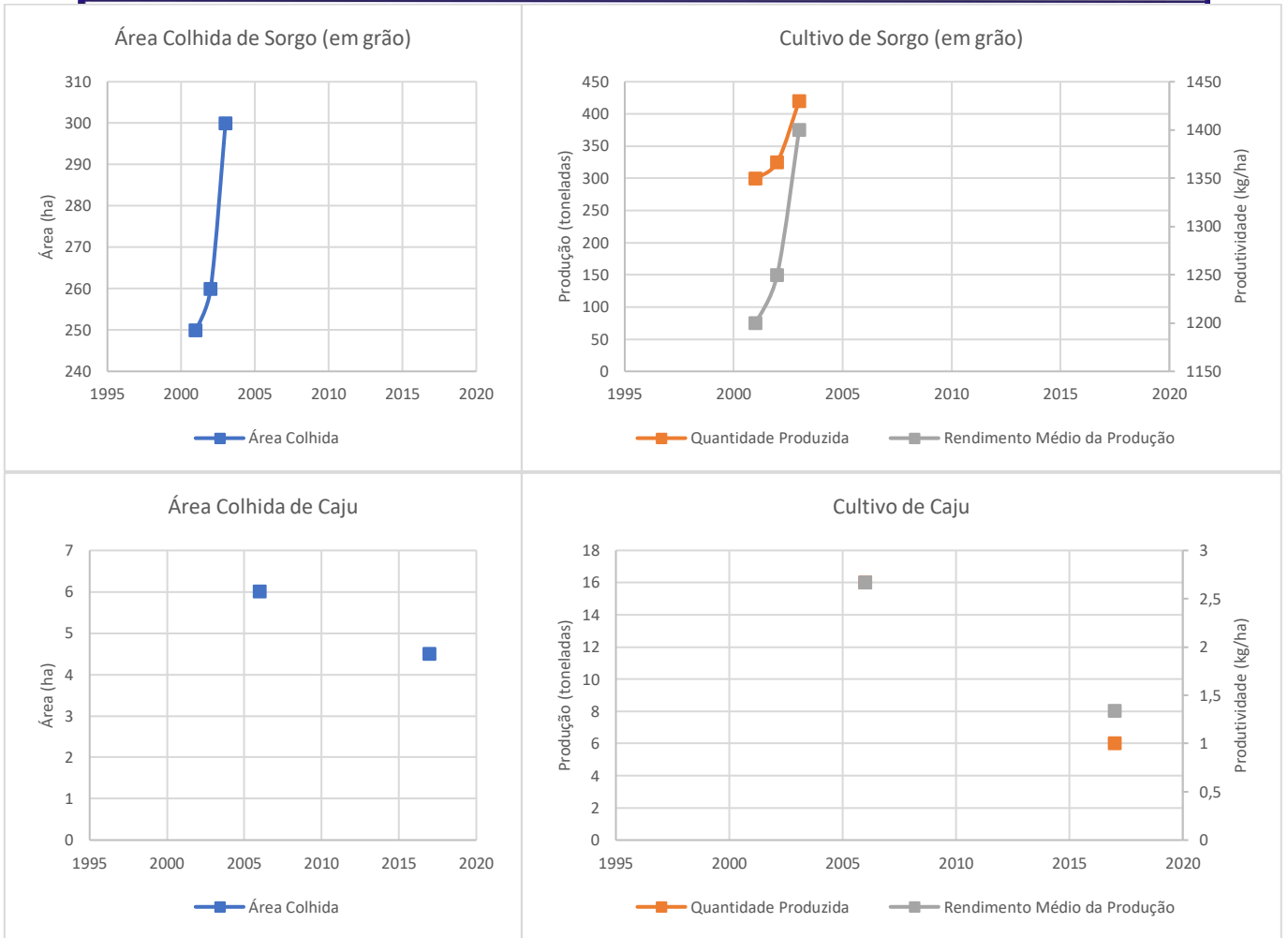
Cultivo de Feijão (em grão)







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).

4.5.5. Campos Lindos

O município pertence a região Nordeste do Tocantins, possui IDH-M de 0,544 e seus 10.312 habitantes (IBGE, 2020). Comparado aos demais municípios desta região Campos Lindos é a maior economia e o segundo mais populoso (IBGE, 2013; SEPLAN, 2016).

Baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra da SEPLAN (2007), dentre os cinco principais usos, aqueles relacionados com a atividade agrícola são: Cultura Temporária, que tem grande concentração na parte leste, onde há um predomínio deste uso em diversas e extensas áreas; e Agropecuária, distribuído pelo território campolindense, porém com maior concentração na porção norte do município. No ano de 2006, segundo dados da SEPLAN (2016), de 43% a 63% da área municipal estava ocupada por atividades agropecuárias, ainda, sobre a fitoecologia do município, menos de 6% correspondia a mata ou floresta natural.

Em Campos Lindos verifica-se que, a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 20°C, ocorrendo em alguns poucos pontos de maior altitude valores de até 18°C e no mês de julho são registrados os menores valores mensais (16°C). Sua temperatura máxima anual fica entre 31°C e 33°C, chegando aos 35°C em agosto e setembro.

Com precipitação total acumulando entre 1408mm e 1664mm, o município tem no mês de janeiro os maiores valores mensais (240mm). O período chuvoso campolindense dura entre 170 e 190 dias, entre os meses de novembro e abril, quando são observadas a ocorrência de até 8 veranicos por ano, em média. Entre os meses de janeiro e março podem ocorrer até 16 dias com precipitação superior a 1mm.

Em Campos Lindos o céu tem cobertura média anual entre 40% e 50%, com maior percentual de cobertura em fevereiro (70%-80%) e a menor cobertura em julho e agosto (20%-30%). Sua insolação anual é de 2200 horas a 2400 horas, sendo fevereiro o mês de menor insolação (140h), e julho e agosto os meses de maior quantidade de insolação (>280 horas).

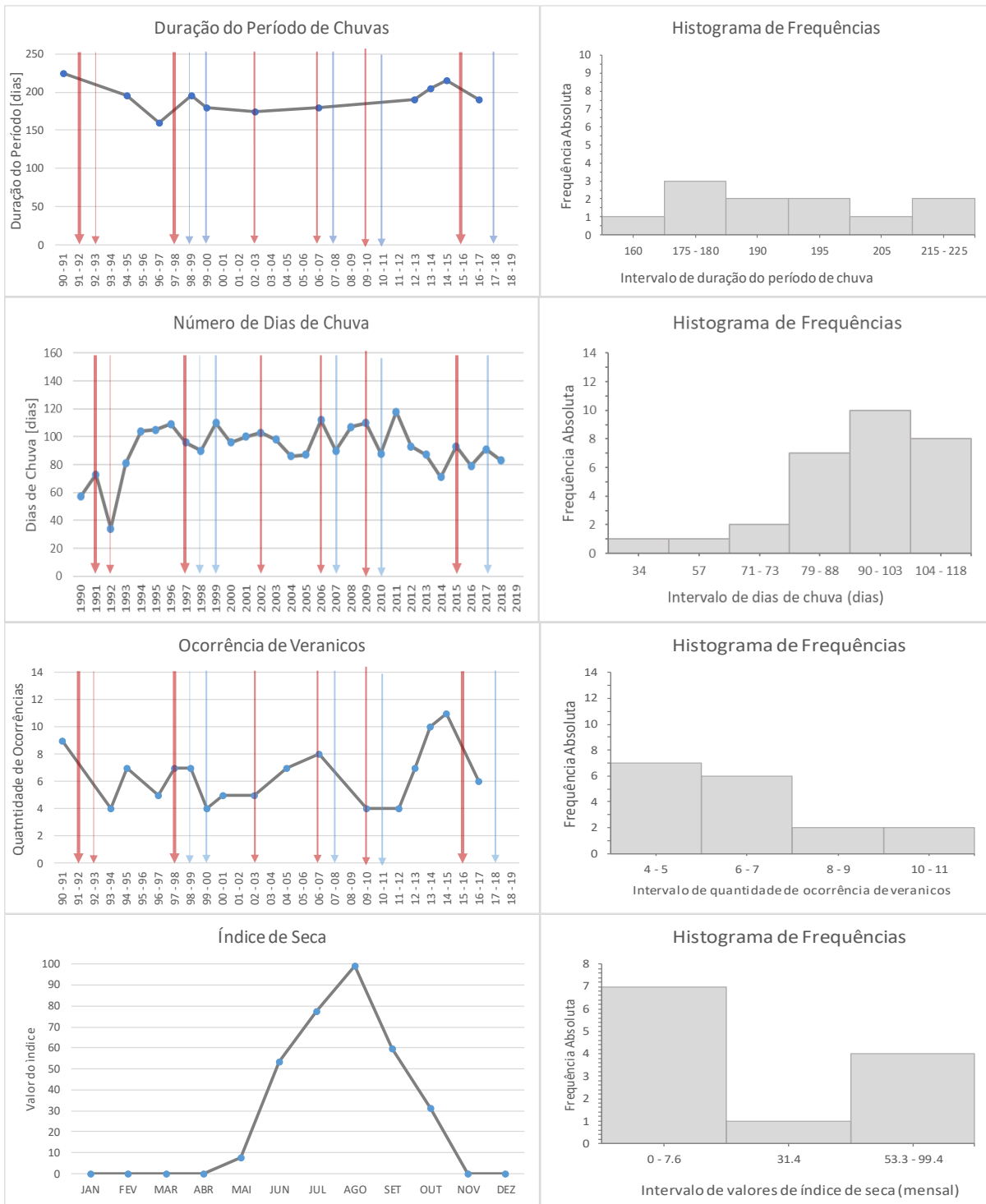
Com radiação solar global anual entre 1500KJm⁻² e 1600KJm⁻², umidade relativa do ar anual entre 65% e 75%, evaporação anual entre 1360mm e 1700mm, Campos Lindos apresenta evapotranspiração de referência entre 1010mm e 1210mm anuais, com menor valor mensal de 120mm entre os meses de janeiro a junho, exceto em março, e o maior (chegando a 160mm) é observado em setembro.

O município tem predomínio de excedente hídrico moderado no verão, com valores entre 200mm e 600mm, cujo período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente. Quanto a deficiência hídrica, o município se divide entre moderada e grande deficiência no inverno, cujos valores predominantes variam entre 520mm e 670mm, verificando-se tal deficiência entre os meses de junho a outubro, sendo mais intensas em agosto.

Na Figura 69 disponibiliza-se os gráficos de variação temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas, obtidos para Campos Lindos: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias]. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.



Figura 69. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Campos Lindos - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:



Fonte: elaboração do autor, 2020.

A duração do período de chuva de Campos Lindos, entre 1990 e 2016, retornaram valores dentro do intervalo de 155 a 225 dias, distribuídos de maneira bastante uniforme no histograma de frequência e cujo valor médio é de 185 dias. Não é identificada uma clara interferência dos fenômenos ENOS sobre esta variável, embora se observe a queda progressiva nos valores entre os verões de 1990 e 1996, período de neutralidade e com o registro de um episódio El Niño fraco em 1992-1993. Percebe-se que em Campos Lindos é comum em anos de neutralidade quanto ao ENOS serem registrados valores acima da média de 185 dias, quando se tem expectativa dessa condição associada à eventos de La Niña. Embora a série histórica desta variável apresente tendência de aumento, o crescimento não é significativo para que se possa suspeitar de mudanças climáticas.

Quanto ao número de dias de chuva, que representa a quantidade de dias com chuva acima de 1mm, Campos Lindos tem valores frequentes na faixa entre 83 e 98 dias. O segundo menor valor da série histórica foi registrado em 1992, 34 dias, um ano hidrológico com a ocorrência de El Niño forte. O maior valor da série amostral (118 dias) está associado ao evento La Niña moderada de 2010-2011. O valor médio climatológico de dias de chuva em Campos Lindos é de 89 dias e sua série histórica de 1990-2019 não aponta indícios de mudanças climáticas no município.

Na ocorrência de veranicos, foram identificados de 4 a 11 ocorrências, por ano, no período entre 1990 e 2016, sendo mais frequente 4 a 5 veranicos por ano durante o período chuvoso de Campos Lindos e o valor médio é de 6 veranicos. Em anos associados ao fenômeno La Niña (1998-1999 e 2010-2011) foi observada a diminuição no número de veranicos. O ano hidrológico 2013-2014, o último verão de um longo período de neutralidade dos fenômenos ENOS, registrou a maior ocorrência de veranicos, com uma queda bem acentuada no número de ocorrências no El Niño forte de 2015-2016, 6 ocorrências, que é o valor médio do município, ressaltando-se que não há dados no ano hidrológico 2014/2015. A série histórica de veranicos evidencia o aumento do número de ocorrência com o passar dos anos, sugerindo alguma mudança climática no município.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Campos Lindos, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando que estes são períodos favorável à produção agrícola em termos hídricos. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, com progressão mais acelerada e uniforme a partir de maio, atingindo o pico de 99,4 no mês de agosto quando, então, a curva torna-se descendente até novembro. Provavelmente, a produção agrícola de Campos Lindos necessite de algum método de irrigação, para garantir o suprimento de água adequado às culturas, neste intervalo entre abril e novembro.

No ano de 2006, segundo dados da SEPLAN (2016), a atividade agropecuária de Campos Lindos se divide da seguinte forma: menos 1% correspondia a culturas permanentes, de 24% a 28% de culturas temporárias, e até 17% advinham do cultivo de pastagens, correspondendo as seguintes áreas ocupadas de acordo com a SEFAZ (2017): 43.402ha, 98ha e 35.912ha, respectivamente. Campos Lindos tem um dos maiores rebanhos de gado bovino da região do Nordeste do Tocantins, com 28.000 cabeças. O maior número de estabelecimentos rurais é de agricultura familiar (318), mas a área da agricultura não familiar é maior (120.981ha). Os principais cultivos produzidos no município são: soja, milho, sorgo, arroz, abacaxi, feijão, melancia e banana.

O estado do Tocantins tem se destacado na produção de soja para o mercado regional, nacional e global. Segundo dados apresentados pela CONAB (2014), a região de interface entre os estados do



Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA) produziu cerca de 3,5 milhões de toneladas de grãos, sendo a soja com 2,2 milhões de toneladas produzidas na safra de 2013/2014. Os principais municípios produtores de soja no Tocantins são: Campos Lindos, Guaraí, Palmas, Aparecida do Rio Negro, Brejinho de Nazaré, Tupirama, Tupirantins, Porto Nacional, Pedro Afonso, Figueirópolis e Cariri do Tocantins (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Em relação a produção do cultivo da soja, Campos Lindos registrou, o melhor rendimento médio de produtividade anos de 2014, 2017 e 2018, com o valor de 3.180kg/ha. O ano hidrológico 2013-2014 foi de precipitação dentro da média climatológica (1497,6mm), embora com maior número de veranicos (11 ocorrências), maior duração do período chuvoso (215 dias) e menor número de dias de chuva (71 dias), mantendo as condições favoráveis. O ano hidrológico 2017-2018 esteve sob a influência de uma La Niña moderada, cujos efeitos esperados são aumento da precipitação durante o período chuvoso e redução das temperaturas em junho-julho-agosto. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2006 com o valor de 2.160kg/ha, área colhida de 42.000ha e quantidade produzida de 90.720t, quando o elevado número de dias de chuva (112 dias) e o alto volume precipitado (1722,2mm) pode ter prejudicado o rendimento da cultura, por dificultar a fotossíntese das plantas. Segundo Cifuentes (2013), o crescente desenvolvimento da produção de soja em Campos Lindos, está associado ao incentivo do governo estadual concedido a produtores rurais no ano de 1997.

O cultivo de sorgo em Campos Lindos, conforme apresentado na Figura 70, apresentou o melhor rendimento médio de produtividade nos anos de 2009 e 2010, com o valor de 2.400kg/ha, área colhida variando de 10.000ha a 9.000ha e quantidade produzida de 24.000t a 21.600t, respectivamente. Isso ocorreu devido ao baixo número de ocorrências de veranicos (4, no ano de 2009; sem registro em 2010), a duração do período chuvoso ser adequado (170 dias em 2009 e 155 dias em 2010) e a quantidade apropriadas do número de dias de chuva (110 dias em 2009 e 88 dias em 2010), além de, provavelmente, a temperatura ter se mantido na faixa apropriada para uma boa produtividade deste cultivo. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2006 com o valor de 1.500kg/ha, área colhida de 200ha e quantidade produzida de 300t, quando a fotossíntese das plantas pode ter sido prejudicada diante do elevado número de dias de chuva, pois outras culturas também tiveram baixo rendimento neste ano.

Outro cultivo de alta representatividade no município é o milho, cujas características climáticas são muito favoráveis a produção deste grão, especialmente nos aspectos relacionados a temperatura. O melhor rendimento médio de produtividade foi registrado no ano de 2009, com o valor de 8.000kg/ha, área colhida de 3.600ha e quantidade produzida de 28.800t. Neste ano a precipitação total acumulada foi de 1802,5mm, ocorreram 110 dias de chuva, a duração do período chuvoso foi de 170 dias quando foram registrados 4 veranicos, e tais condições podem ter sido muito favoráveis ao desenvolvimento desta cultura levando em consideração também o fato do verão de 2008 ter tido chuva acima da média por causa de um evento de La Niña que se manteve até agosto de 2008. Dentre os 20 municípios tocantinenses analisados no período dos 19 anos da pesquisa PAM, o município de Campos Lindos, juntamente com os municípios de Mateiros e Dianópolis foram os que apresentaram o melhor rendimento médio de produtividade com 8.000kg/ha. Já o pior rendimento ocorreu no ano de 2000 com o valor de 1.200kg/ha, área colhida de 800ha e quantidade produzida de 960t. No ano hidrológico 1999-2000 as condições atmosféricas em análise apresentaram valores abaixo da média climatológica do município, precipitação total de 1382,3mm, 96 dias de chuva, duração do período chuvoso de 180 dias e 5 ocorrências de veranicos.

Já para o cultivo da melancia, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2013, com o valor de 22.500kg/ha, área colhida de 30ha e quantidade produzida de 675t. Este cultivo se

adapta melhor a climas quentes e seco, e o ano hidrológico 2012-2013 foi de chuva abaixo da média climatológica, com total acumulado de 1364,7mm, 87 dias de chuva, o período chuvoso teve duração de 205 dias quando foram verificadas 10 ocorrências de veranicos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2010 com o valor de 16.000kg/ha, área colhida de 15ha e quantidade produzida de 240t, quando o total acumulado de chuva foi de 1463,5mm, ocorreram 88 dias de chuva no ano hidrológico 2009/2010 e o período chuvoso durou 155 dias (16% mais curto que a média de 185 dias), e sem dados de veranico para melhor avaliação do impacto sobre o referido cultivo. Provavelmente o menor período chuvoso deve ter tornado as condições hídricas, com excedentes momentâneos, desfavorável à cultura, ou ter promovido um déficit hídrico em um estágio crítico de desenvolvimento da cultura.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2016, com o valor de 1.471kg/ha, área colhida de 620ha e quantidade produzida de 912t. O correspondente ano hidrológico registrou valores das variáveis em análise muito próximos dos valores climatológicos, favorecendo a cultura, sendo precipitação total de 1422,5mm, 79 dias de chuva, 190 dias a duração do período chuvosos e 6 ocorrências de veranicos. Os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2000 a 2003 com o valor de 400kg/ha, com área colhida entre 40 e 200 hectares e quantidade produzida entre 16t e 90t durante o referido período. Esse fato pode ser resultado de valores de precipitação acumulada abaixo da média na maioria destes anos, chuvas distribuídas em maiores quantidades de dias e períodos chuvosos mais duradouros. Sempre deve-se lembrar que as condições meteorológicas associadas às boas práticas agrícolas podem melhorar o rendimento ou diminuir a queda no rendimento quando as condições não forem plenamente adequadas.

Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2005 a 2009, com o valor de 8.500kg/ha, área colhida variando de 50ha a 60ha e quantidade produzida de 425t a 510t. A maioria dos anos hidrológicos em que se verifica os melhores rendimentos apresentam precipitação total anual e número de dias de chuva acima da média climatológica do Município. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 720kg/ha, área colhida de 25ha e quantidade produzida de 18t, que teve chuva total abaixo da média e período chuvoso mais curto. Segundo Borges *et al.* (2006), a produção do fruto exige calor constante, com temperaturas entre 26°C e 28°C, chuvas bem distribuídas entre 100mm/mês e 180mm/mês e elevada umidade relativa do ar, condições facilmente encontradas entre os meses de novembro a abril em Campos Lindos.

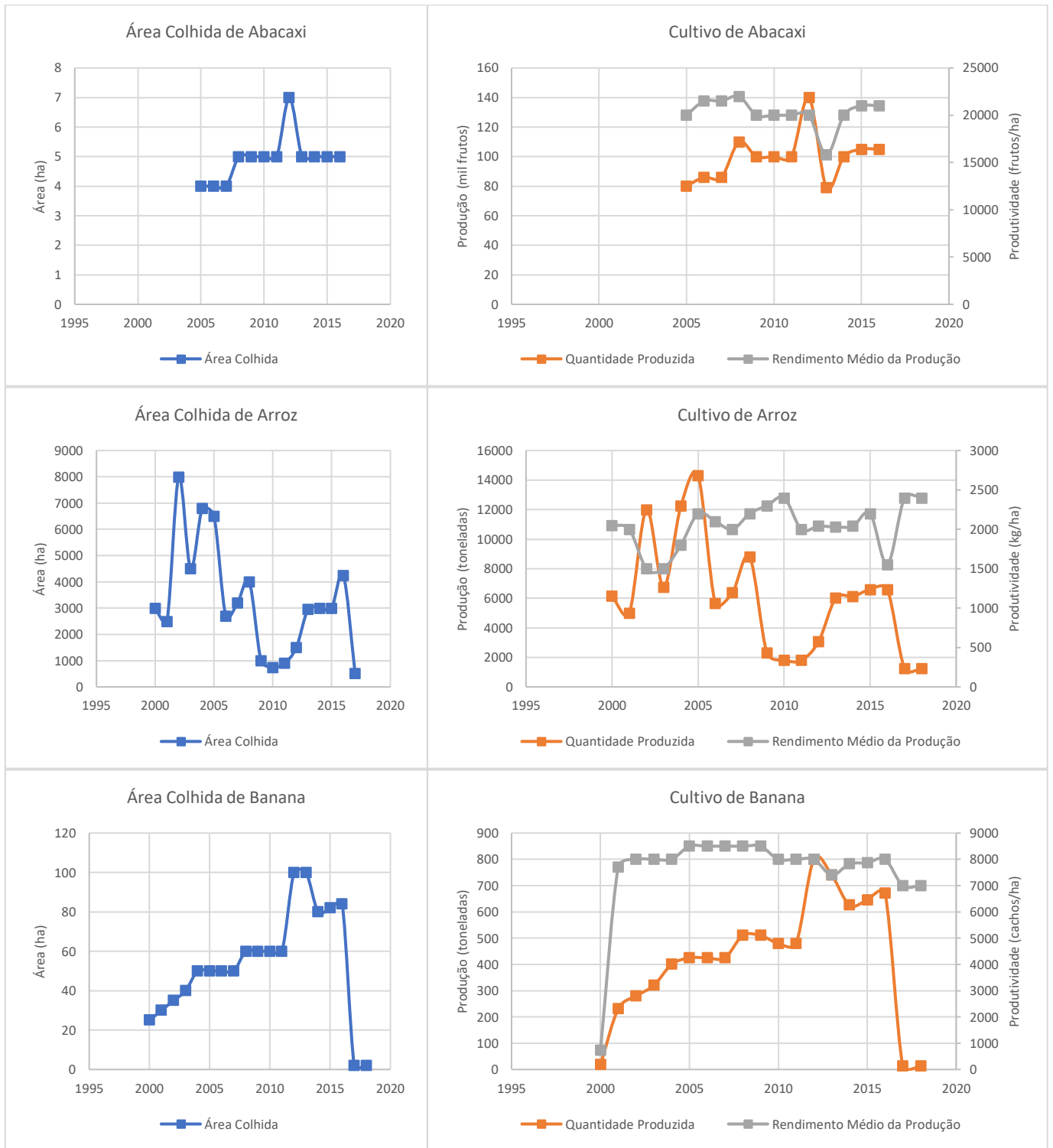
Dados da SEFAZ (2017), mostram que o cultivo do arroz em Campos Lindos apresentou crescimento até a metade do ano agrícola 2017, fato confirmado pelos números finais. O melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2010 e 2017, com o valor de aproximadamente 2.400kg/ha, área colhida de 750 e 521 hectares e quantidade produzida de 1.800t e 1.250t, nos respectivos anos. Os dados atmosféricos não evidenciam condições significativamente favorável ao cultivo deste grão, o volume precipitado em 2010 foi dentro da média climatológica, mas a duração do período chuvoso foi 16% menor que o esperado, porém em 2017 o volume anual das chuvas foi 15% menor, nos conduzindo ao raciocínio de que a distribuição da chuva foi adequada nos momentos mais críticos do cultivo. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2002 e 2003 com o valor de 1.500kg/ha, quando o ano hidrológico 2001-2002, de neutralidade quanto ao fenômeno ENOS e com condições próximo da climatologia municipal, foi sucedido pelo ano hidrológico 2002-2003 de maior restrição hídrica por efeito de um episódio El Niño moderado. Em comum, estes dois anos tem o fato de seus respectivos números de dias de chuva serem maiores que a climatologia local. Destaca-se que, segundo Heinemann *et al.* (2009), o arroz irrigado cultivado nas várzeas do estado do Tocantins, se dá



pelo requerimento de água dos rios, cujos níveis são afetados pelo regime de chuvas. Mesmo para os cultivos de terras altas, também praticado no Estado, a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial são muito importantes, pois o arroz de terras altas é altamente sensível à deficiência hídrica.

Para o cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2008, com o valor de 22.000 frutos/ha, área colhida de 5ha e quantidade produzida de 110 mil frutos. O ano hidrológico 2007-2008 foi marcado por um episódio de La Niña moderada, por isso observa-se precipitação pluvial anual bem acima da média climatológica do Município, acumulando um valor de 1818,8mm (25% acima), que ocorreram em 107 dias de chuva (22% maior que a média). Considerando que esta cultura é de ciclo longo (18 meses) deve-se destacar que o ano hidrológico anterior, 2006-2007, foi marcado por um episódio de El Niño moderado que favorece o aumento da temperatura nos meses de junho, julho e agosto. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2013 com o valor de 15.800 frutos/ha, área colhida de 5ha e quantidade produzida de 79 mil frutos. O ano hidrológico 2012-2013 teve precipitação total anual e número de dias de chuva abaixo da média, porém o período chuvoso teve duração de 205 dias, 11% maior que o esperado, e ocorreram 10 veranicos (média climatológica de 6 ocorrências), e observa-se condições semelhantes no ano hidrológico anterior, sendo assim, tais números apontam para condições desfavoráveis ao cultivo do abacaxi em Campos Lindos. Esse cultivo apresenta dados desde 2005 até 2016.

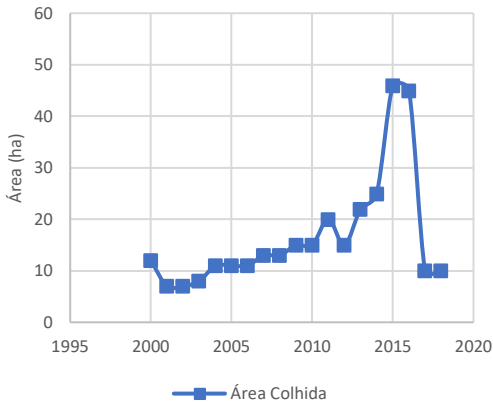
Figura 70. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Campos Lindos – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.



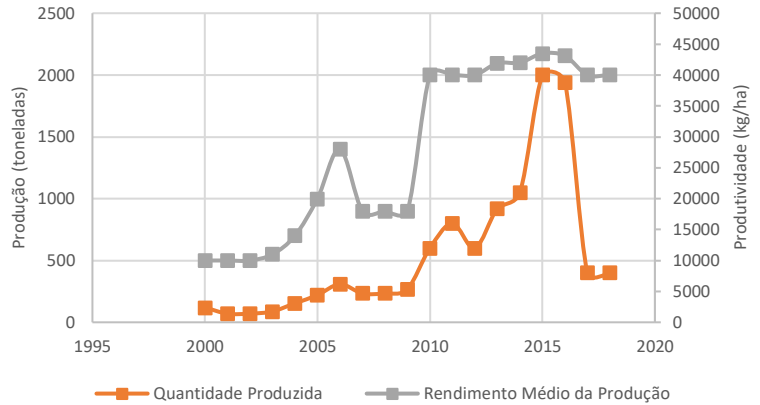


GOVERNO DO TOCANTINS

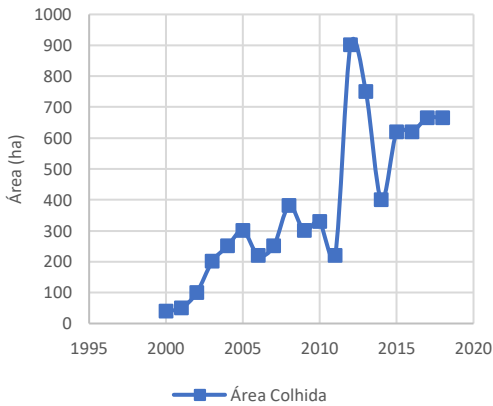
Área Colhida de Cana-de-Açúcar



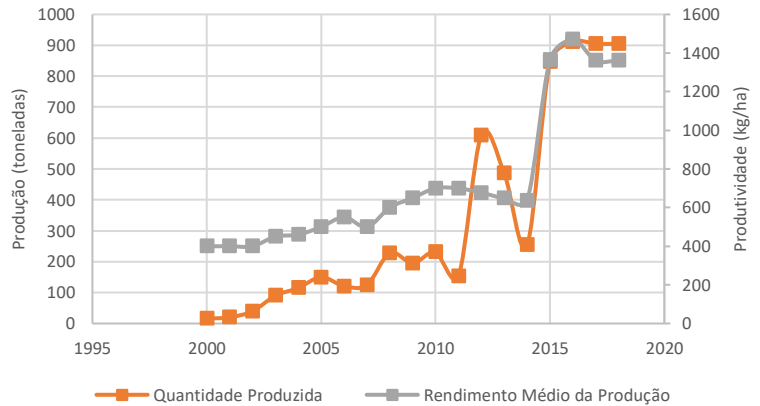
Cultivo de Cana-de-Açúcar



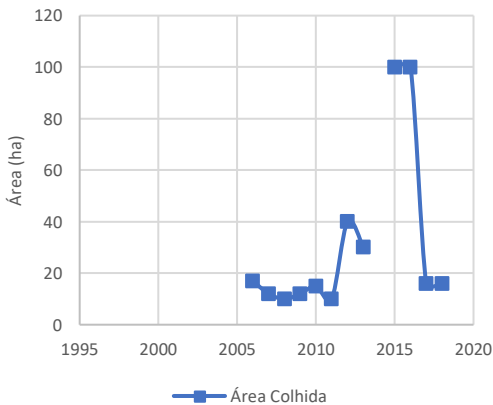
Área Colhida de Feijão (em grão)



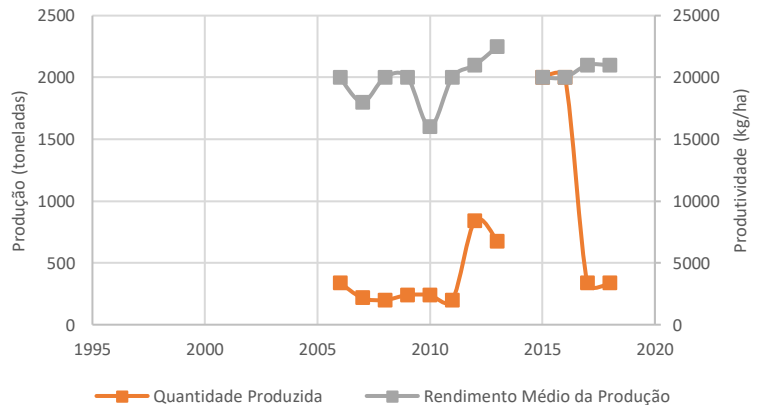
Cultivo de Feijão (em grão)

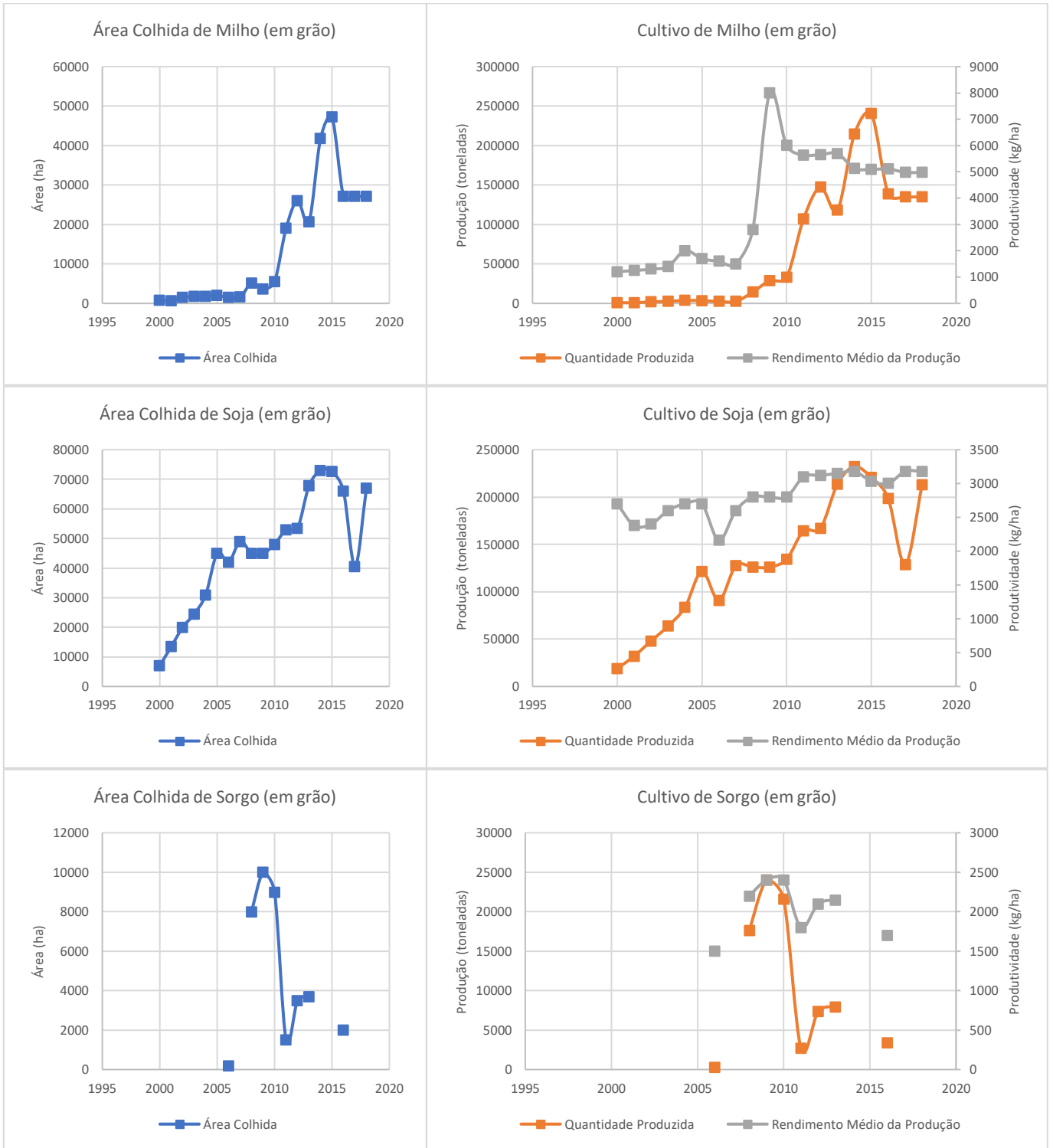


Área Colhida de Melancia



Cultivo de Melancia





Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para a cultura de caju para o período analisado.



4.5.6. Pedro Afonso

O município de Pedro Afonso localiza-se na região Nordeste do estado do Tocantins, situando-se na porção sudoeste desta região, às margens do rio Tocantins, a uma altitude de 201 metros. É o terceiro mais populoso município da região, 17º do Estado, e ocupa a primeira colocação regional, e 3º estadual, em termos do PIB *per capita* (IBGE, 2013; SEPLAN, 2016; CIDADE-BRASIL, 2020).

O Inventário Socioeconômico de Tocantins (SEPLAN, 2016), mostra que parte de três bacias hidrográficas compõem o território desta municipalidade: bacia do rio Tocantins; bacia do rio do Sono; e a bacia do rio Perdida. Segundo a SEPLAN (2007), a cobertura e uso da terra em Pedro Afonso se distribui entre Cerrado Sentido Restrito, Cerradão, Campo, Cultura Temporária (grande concentração na porção centro-oeste) e Agropecuária (concentrada nas porções central e noroeste).

Pedro Afonso tem temperatura mínima anual do ar entre 20°C e 23°C, sendo julho o mês mais frio quando são registrados valores de 18°C. Sua temperatura máxima anual fica entre 32°C e 33°C, chegando aos 37°C nos meses de agosto e setembro.

O regime anual de chuvas tem total acumulado entre 1408mm e 1664mm, cujo valor médio climatológico do Município é de 1643mm, com os maiores acumulados mensais nos meses de janeiro e março (> 280mm). O período chuvoso climatológico dura entre 180 e 190 dias em Pedro Afonso, abrangendo os meses de novembro a abril, quando são observadas a ocorrência de até 7 veranicos por ano, em média. Entre os meses de janeiro e março pode-se verificar até 16 dias com precipitação superior a 1mm.

A cobertura do céu em Pedro Afonso varia entre 40% e 60% em termos de médias anuais, porém a maior cobertura (70%-80%) observa-se em fevereiro e a menor (20%-30%) em agosto. Diante disto se constata uma insolação anual de 2400 a 2600 horas, com quantidade inferior a 140 horas em fevereiro, e maior quantidade (>280 horas) em julho e agosto.

A análise climatológica também mostra que a radiação solar global anual no município varia entre 1500KJm⁻² e 1600KJm⁻². A umidade relativa do ar anual fica entre 70 e 75%. A evaporação anual assume valores entre 1360mm e 1700mm, tendo valores inferiores a 88mm entre dezembro e abril, e superior a 220mm em agosto. Combinando estes elementos e as características do solo de Pedro Afonso, verifica-se a evapotranspiração de referência variando em média entre 1010mm e 1210mm anuais, e, em escala mensal, o menor valor (<120mm) ocorre em fevereiro, e o maior (chegando a 160mm no sudeste) é observado em setembro.

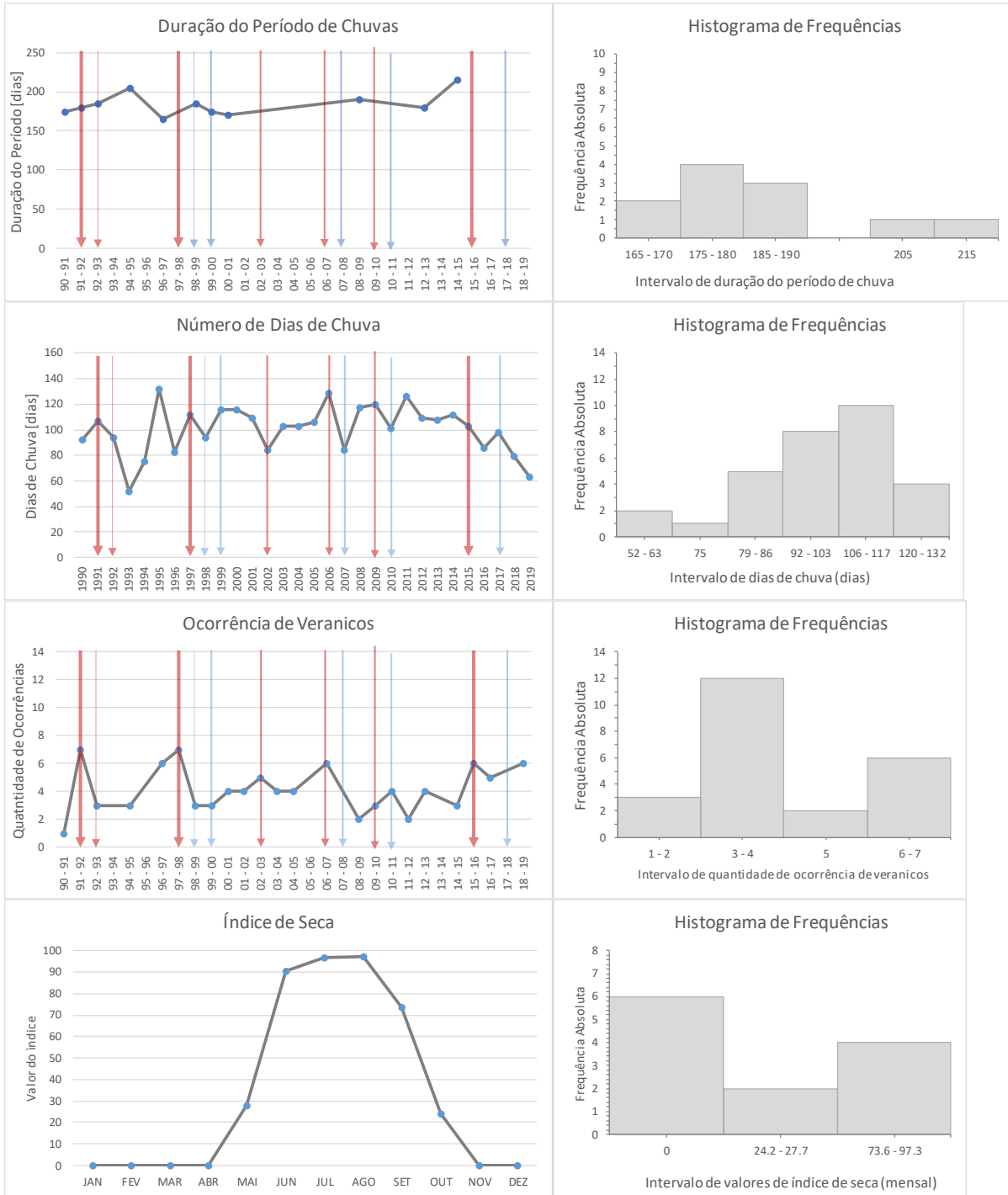
O município se divide em duas características relativo ao índice hídrico, na metade leste moderado excedente hídrico no verão e na metade oeste grande excedente hídrico no verão, cujos valores variam entre 20 e 600mm, verificando-se o período entre os meses de janeiro a abril com predomínio de excedente hídrico. Em Pedro Afonso predomina a moderada deficiência hídrica no inverno, com áreas esparsas ao norte do município com grande deficiência hídrica. Os valores oscilam entre 340mm e 610mm, prevalecendo entre os meses de junho a setembro, sendo mais intensa em agosto.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 71 o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Pedro Afonso, com dados obtidos entre 1990 e 2018 para duração do período

chuvoso e ocorrência de veranicos, e de 1990 a 2019 para as variáveis números de dias de chuva e índice de seca. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.



Figura 71. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Pedro Afonso - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Analisando a duração do período de chuva, verifica-se que, entre 1990 e 2018, as durações do período chuvoso neste município retornaram valores dentro do intervalo de 165 e 215 dias. Pelo histograma de frequência verifica-se que a maioria dos anos (4 anos) registrou períodos entre 175 e 180 dias de duração, entretanto o valor médio climatológico desta variável é de 184 dias. Não identifica-se nesta variável um padrão comportamental claro que pudesse ser associado aos fenômenos ENOS. Entretanto, é mais comum se verificar durações mais curtas associadas à eventos El Niño do que o aumento das durações em eventos La Niña, como deveria ocorrer. Apesar desta série histórica apresentar tendência de aumento dos valores a longo prazo, não há fortes indícios que sugiram alguma mudança climática expressiva em Pedro Afonso.

O número de dias de chuva representa a quantidade de dias com chuva acima de 1mm. Da análise de seus gráficos, observa-se a prevalência dos valores no intervalo de classe entre 106 e 117 dias. Os dois menores valores da série histórica são 52 e 63 dias, correspondendo aos registros dos anos de 1993 e 2019, respectivamente, sendo o primeiro relativo ao ano hidrológico 1992-1993 sob os efeitos de um El Niño fraco que sucedeu um El Niño moderado e o segundo, ano hidrológico 2018-2019, de neutralidade quanto a ocorrência de fenômenos ENOS. O padrão comportamental desta série histórica não sugere a ocorrência de mudanças climáticas, com insignificativa tendência de aumento nos valores desta variável entre 1990 e 2019.

Quanto à veranicos, foi identificado a ocorrência de até 7 registros por ano, no período entre 1990 e 2018, sendo mais comum os anos registrarem de 3 a 4 ocorrências, compatível com o valor médio climatológico de 4 ocorrências. Este município apresenta menor número de registro de veranicos quando comparado a outros municípios da parte norte do Tocantins. Quatro dos cinco maiores valores desta série histórica estão associados a eventos El Niño (1991-1992; 1997-1998; 2006-2007 e 2015-2016), padrão de variabilidade esperada para este evento climático, verificando-se exceção no episódio de intensidade fraca de 1992-1993. De forma análoga, observa-se redução nos registros associados aos eventos La Niña, exceto no ano 2010-2011. A série histórica mostra valores crescentes no decorrer dos 29 anos de análise, porém sem intensidade necessária para sugerir a ocorrência de mudanças climáticas.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Pedro Afonso, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis à produção agrícola nestes períodos. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, evoluindo rapidamente, de 29 para 91 no decorrer do mês de maio, atingindo o pico de 97,3 ao fim do mês de julho, e então, a curva torna-se descendente de agosto até novembro. A produção agrícola de Pedro Afonso neste intervalo entre abril e novembro é mantida pela adoção de métodos variados de irrigação muito presentes no município.

Segundo a SEPLAN (2016) a atividade agropecuária de Pedro Afonso no ano de 2006 apresentava as seguintes proporções: menos de 1% correspondiam a culturas permanentes, de 11% a 20% eram culturas temporárias, e menos de 17% com cultivo de pastagens. A área ocupada pela produção agrícola do município neste mesmo ano se distribuiu da seguinte maneira, segundo levantamento da SEFAZ (2017): 374ha são de lavouras temporárias e 16.538ha de lavouras permanentes, sem informações sobre pastagens. Considerando os dados da pesquisa PAM do IBGE, os principais cultivos produzidos no município são: soja, sorgo, arroz, abacaxi, feijão, milho e cana-de-açúcar.



Pedro Afonso, possui condições favoráveis de solo, clima e relevo, à produção da soja. Isto lhe insere no cenário dos principais municípios produtores de soja no Tocantins, contribuindo para o grande destaque da região agrícola denominada MATOPIBA, na interface entre os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (CONAB, 2014). Segundo dados da SEFAZ (2017), o município produziu em média 45 sacas de soja por hectare anualmente, superando a média nacional de 40 sacas/ha, sendo apontada como uma das grandes promissoras do polo produtivo de soja. Para o cultivo de soja, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2008, 2010 e 2011, com o valor de 2.800kg/ha, área colhida variando de 30.600ha a 14.000ha e quantidade produzida de 85.680t a 39.200t. Nos correspondentes anos hidrológicos em que se constata o melhor rendimento médio do grão verifica-se a ocorrência de episódios de La Niña em 2007-2008 e 2010-2011, e de El Niño em 2009-2010, observando-se valores acima da média em decorrência de La Niñas, e em ambas com o registro de 2 veranicos durante o período chuvoso, e valores de precipitação anual e duração do período chuvoso da média no El Niño. As diferentes condições atmosféricas sugerem que nos momentos mais críticos do desenvolvimento destas culturas as exigências hídricas e de temperatura foram atendidas, podendo ter sido até mesmo por meio de práticas agrícolas adequadas. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2016 com o valor de 1.622kg/ha, área colhida de 17.000ha e quantidade produzida de 27.574t. Neste ano hidrológico 2015-2016 de El Niño forte todos os parâmetros aqui analisados apresentaram-se abaixo da média climatológica do Município, precipitação anual de 1672,5mm, 86 dias de chuva, duração do período chuvoso de 175 dias, com exceção para o número de veranicos que foi de 5 ocorrências, e a temperatura média anual que foi de 28,7°C e o valor climatológico é de 27,8°C. A soja é uma cultura presente nesse município nos últimos 19 anos como mostra a série de dados da pesquisa PAM. Segundo Farias et al. (2009) dentre os elementos climáticos, os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja são a temperatura do ar, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica.

Em relação ao cultivo de sorgo, conforme apresentado na Figura 72, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2001, com o valor de 2.200kg/ha, área colhida de 160ha e quantidade produzida de 352t. Isso ocorreu devido ao baixo número de ocorrências de veranicos, característico do local, a duração de o período chuvoso ser adequado (170 dias) e o número de dias de chuva ser apropriado (109 dias), além da temperatura ficar na faixa apropriada para uma boa produtividade deste cultivo, com valores médios anuais de: $t_{mín}=22,8^{\circ}C$, $t_{méd}=27,5^{\circ}C$; e $t_{máx}=34,7^{\circ}C$. O pior rendimento ocorreu no ano de 2004 com o valor de 1.380kg/ha, área colhida de 5.000ha e quantidade produzida de 6.900t. Neste ano as condições meteorológicas não evidenciam claramente fatos que justifiquem a queda no rendimento médio de produtividade. Existem dados da cultura de sorgo para esse município de 2001 a 2016. O sorgo é um cultivo com boa resistência em climas quentes e longos períodos de seca. Segundo Landau e Sans (2008) as principais variáveis meteorológicas que influenciam na produtividade são: temperatura do ar, radiação solar, precipitação e a disponibilidade de água no solo.

Pedro Afonso é o município tocantinense que apresentou o terceiro maior valor de rendimento médio de produtividade para o cultivo do milho, dentre os 20 municípios analisados no período de 2000 a 2018. Isso ocorreu em 2009, com o melhor rendimento médio de produtividade de 6.000kg/ha, área colhida de 240ha e quantidade produzida de 1.440t. O maior número de dias de chuva (120 dias) e menor ocorrência de veranicos (3 registros), podem ter auxiliado no desenvolvimento da cultura, mesmo que se constate precipitação anual abaixo da média para o Município e menor duração do período chuvoso. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2006, com o valor de 1.500kg/ha, área colhida de 50ha e quantidade produzida de 75t. Esta safra corresponde a um ano hidrológico (2005-2006) de

condições de neutralidade quanto aos eventos ENOS, entretanto com parâmetros meteorológicos acima da média para o município, no que se refere as condições hídricas, devendo-se destacar a 6 ocorrências de veranico durante o período chuvoso.

Para o cultivo do feijão, os melhores dados de rendimento médio de produtividade são observados nos anos de 2000 a 2002 e nos anos de 2009 e 2010, com os valores de 1.000kg/ha, área colhida variando de 60ha a 800ha e quantidade produzida de 60t a 800t. Verifica-se que nestes anos os valores anuais acumulados de precipitação variam cerca de 5% em torno da média climatológica, para mais e para menos, com percentual de variação semelhante para os demais parâmetros analisados, constatando-se que as condições médias do município mostram-se muito adequadas ao bom rendimento médio de produtividade do feijão, associados à boas práticas agrícolas e correção dos nutrientes do solo. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2013 com o valor de 800kg/ha, área colhida de 800ha e quantidade produzida de 640t, quando constata-se 150mm a mais de chuva no ano hidrológico 2012-2013, distribuídos em 108 dias de chuva no ano, e valor médio anual da temperatura máxima do ar (35,1°C) cerca de 0,5°C maior que a média climatológica.

Outro cultivo relevante no município é a cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade desse cultivo, ocorreu nos anos de 2008, 2009 e 2011, com o valor de 90.000kg/ha, área colhida variando de 250ha a 18.000ha e quantidade produzida de 22.500t a 1.620.000t. Juntamente com o município de Arraias, Pedro Afonso foi o que apresentou o segundo melhor rendimento médio de produtividade dentre os 20 municípios analisados. Dois destes anos de melhor rendimento estiveram sob a influência da La Niña, 2007-2008 e 2010-2011, mas todos os três anos apresentaram acumulado anual de chuva acima da média climatológica, maior número de dias de chuva, duração do período chuvoso entre 170 e 190 dias e baixo número de ocorrências de veranicos (entre 2 e 3). Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2004 a 2007, cujos valores foram de 35.000kg/ha, e verifica-se que as variáveis meteorológicas relativas a pluviosidade apresentaram-se ou muito acima ou muito abaixo dos valores médios climatológicos para o Município. Os principais fatores climáticos associados com a produtividade de cana-de-açúcar descritos por Silva *et al.* (2016) são: temperatura do ar, umidade e precipitação. As condições ideais são de temperatura do ar entre 19°C e 32°C, precipitação média anual entre 1.500mm e 2.500mm, e umidade relativa entre 80% a 85% na fase de alongamento da cana e um valor moderado de 45% a 65% na fase de amadurecimento da cana.

Em relação ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2004, com o valor de 2.520kg/ha, área colhida de 1.000ha e quantidade produzida de 2.520t, quando foi registrado maior volume anual de chuva (1833,3mm) e período chuvoso mais longo (205 dias), condição muito favorável ao cultivo do arroz, até mesmo do arroz irrigado. Já o pior rendimento ocorreu no ano de 2001 com o valor de 1.000kg/ha, área colhida de 2.380ha e quantidade produzida de 2.380t, um ano hidrológico com chuva abaixo da média (1598,2mm) e período chuvoso mais curto (170 dias). O arroz é um cultivo consolidado em Pedro Afonso, com informações de safras disponíveis em todos os 19 anos analisados da pesquisa PAM.

Para o cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2000 a 2003 e no período de 2010 a 2018, com o valor de 20.000 frutos/ha, porém neste último período verifica-se que os anos de 2013 e 2016 não possuem informações na pesquisa PAM. Durante estes anos observa-se que a precipitação total anual e o número de dias de chuva estiveram predominantemente acima da média, enquanto a duração do período chuvoso foi abaixo da média na maioria dos anos, e a ocorrência de veranicos é a variável com maior variação do padrão comportamental aos destes anos



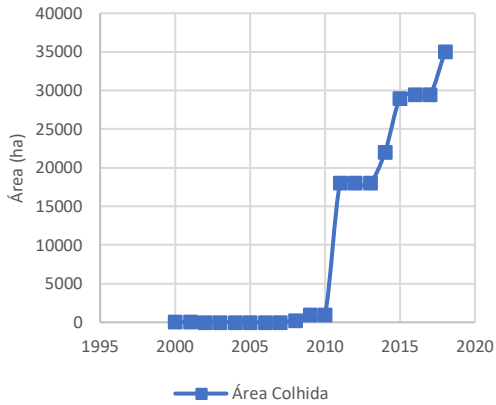
de melhor rendimento. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2007 e 2008 com os valores de 18.000 frutos/ha, área colhida de 30ha e quantidade produzida de 540 mil frutos. Por se tratar de dois anos sob a influência de um episódio El Niño moderado (2006-2007) e na sequência um episódio La Niña moderada (2007-2008), com suas características variabilidades climáticas bem marcadas, as condições meteorológicas da ocasião não favoreceram o desenvolvimento deste cultivo.

Figura 72. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Pedro Afonso – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.

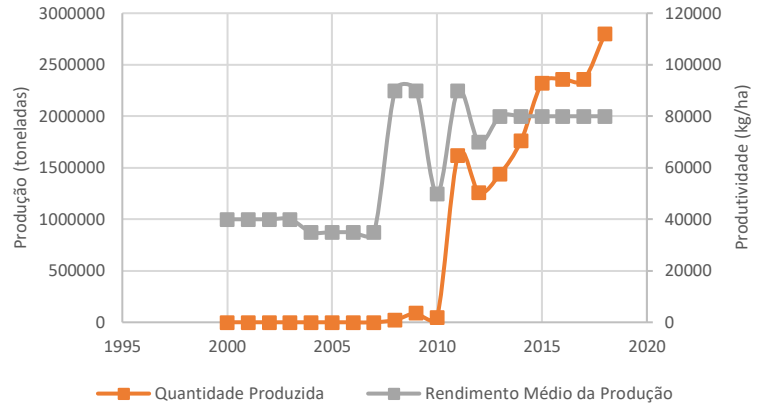




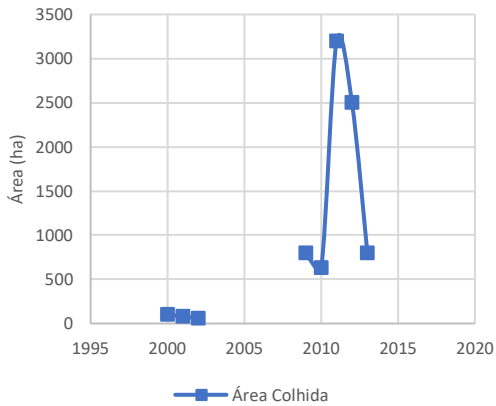
Área Colhida de Cana-de-Açúcar



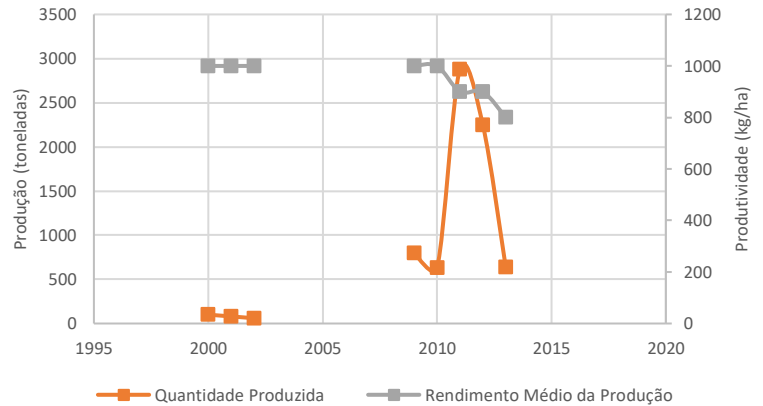
Cultivo de Cana-de-Açúcar



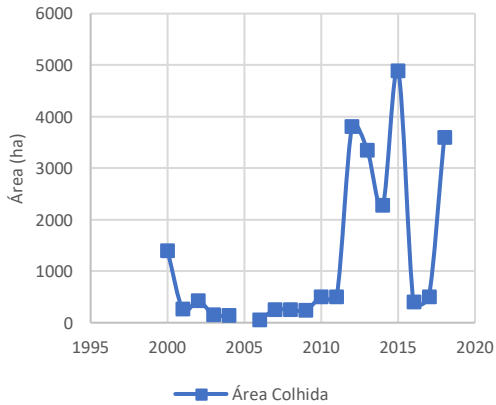
Área Colhida de Feijão (em grão)



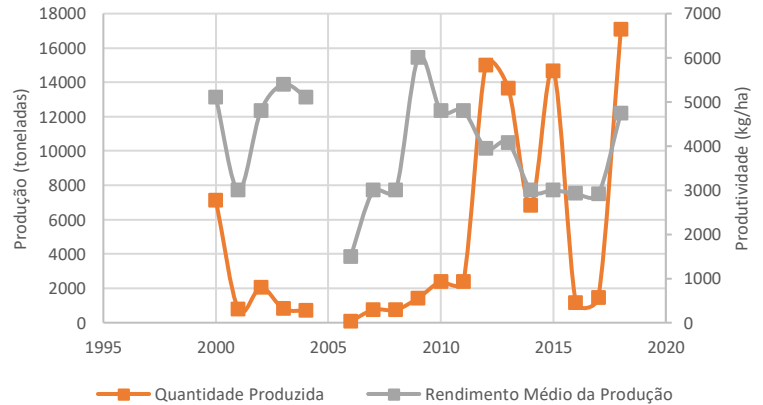
Cultivo de Feijão (em grão)

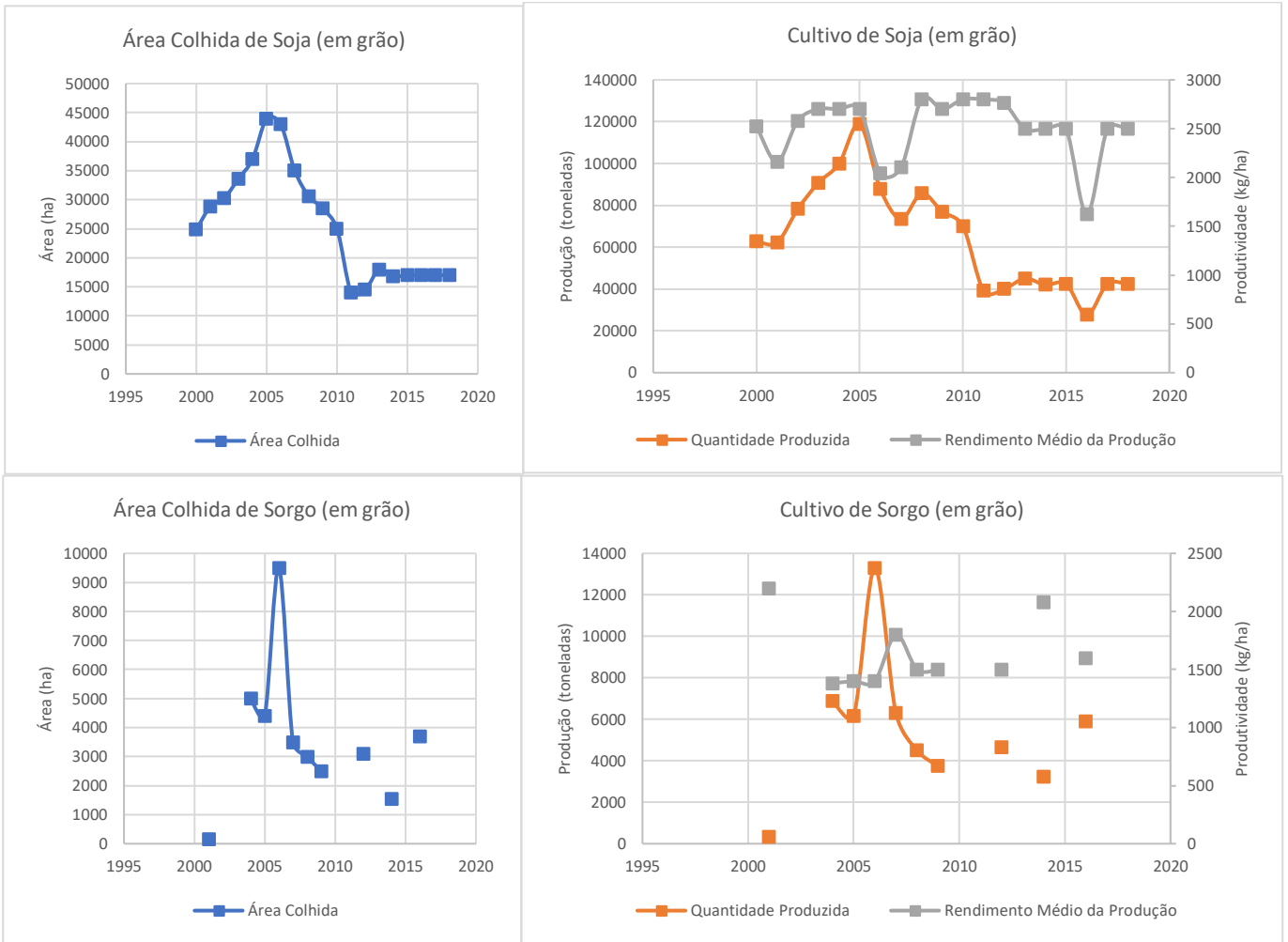


Área Colhida de Milho (em grão)



Cultivo de Milho (em grão)





Fonte: IBGE (2000 a 2018).

Sem dados para as culturas de coco-da-baia, melancia e caju para o período analisado



4.5.7. Colinas do Tocantins

Localizado na região do Noroeste, o município com 35.851 habitantes (IBGE, 2020) é o segundo mais populoso da região e o sétimo do Estado. O IDH-M de Colinas do Tocantins, é o segundo maior desta região com (0,701), atrás apenas do município de Guaraí (0,741). Sua população economicamente ativa, tem 19,45% desenvolvendo atividades de agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura. Do restante, os setores indústria, turismo e alojamento e saúde correspondem a 8,41%, 4,89% e 1,25%, respectivamente, da força de trabalho (SEPLAN, 2016). Em relação ao abastecimento de água, Colinas do Tocantins tem 95,07% dos domicílios atendidos.

A municipalidade está situada nas bacias hidrográficas do rio Tocantins e do rio das Cunhas, com altitude de 227 metros. Encontra-se inserido no bioma amazônico. A cobertura e uso da terra apresenta o predomínio dos tipos Cerrado Sentido Restrito, Cerradão, e Agropecuária, este último ocupando de 70% a 80% do território colinense. Se destaca como um importante produtor de gado bovino no Estado e em 2006 teve uma produção de peixe variando entre 7 e 22 toneladas. (IBGE, 2013; SEPLAN, 2007; 2016; SEFAZ, 2017).

Da análise climática de Colinas do Tocantins, identifica-se que, a temperatura mínima anual do ar fica entre 20°C e 23°C, com mês mais frio julho com 18°C. A temperatura máxima anual varia entre 32°C e 33°C, e nos meses de julho, agosto e setembro são registrados em média valores de 35°C.

A média climatológica da precipitação pluviométrica anual é de 1710,7mm, sendo o mês de março o mais chuvoso com total acumulado superiores a 260mm. O período chuvoso dura entre 180 e 200 dias, mas o valor médio climatológico é de 189 dias, e estende de final de outubro até abril. Neste período podem ocorrer até 8 veranicos por ano, em média. Nos meses de janeiro e março podem ocorrer até 18 dias com precipitação superior a 1mm.

O céu de Colinas do Tocantins tem de 50% a 60% de cobertura de nuvens anualmente, com maior cobertura (70%-80%) de dezembro a março, e a menor (20%-30%) de junho a agosto. Assim, a insolação anual totaliza entre 2200 a 2400 horas, com quantidade inferior a 140 horas em fevereiro, e maior quantidade (>280 horas) em julho e agosto.

Colinas do Tocantins apresenta radiação solar global anual entre 1500KJm⁻² e 1600KJm⁻², umidade relativa do ar anual entre 75% e 80%, evaporação anual de 1360mm a 1530mm, tendo valores inferiores a 66mm entre janeiro e março, e superior a 220mm em agosto, e, portanto, a evapotranspiração de referência varia em média entre 810mm e 1210mm. Em escala mensal, a evapotranspiração de referência tem o menor valor (<120mm) registrado entre os meses de dezembro a abril, exceto em março, e o maior (chegando a 150mm) é observado em agosto e setembro.

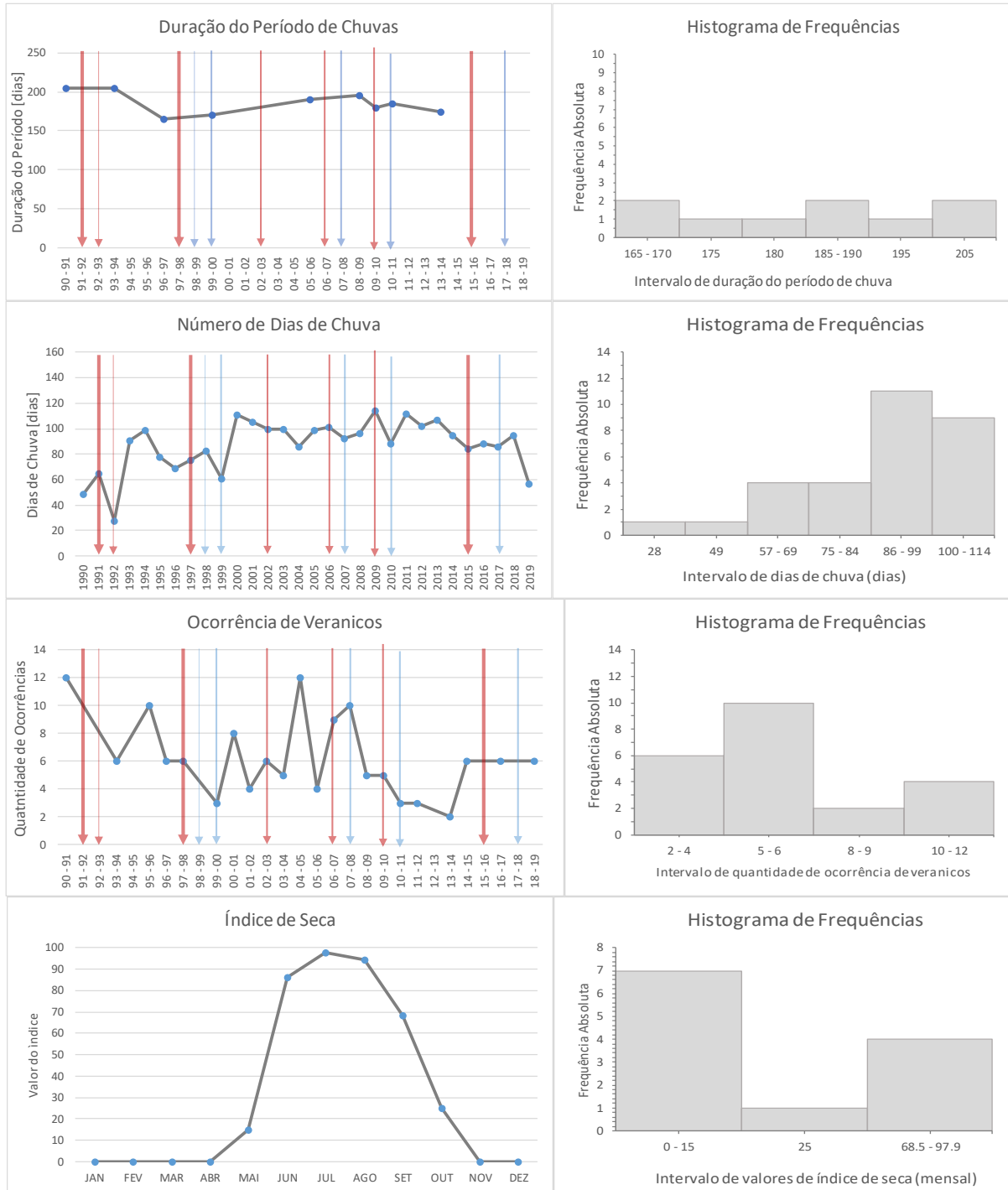
O município apresenta duas classes relativas ao índice hídrico, no leste moderado excedente hídrico no verão e nas demais áreas, grande excedente hídrico no verão, cujos valores variam entre 200mm e 600mm, e entre os meses de dezembro a abril observa-se o predomínio de excedente hídrico. Predomina a deficiência hídrica de inverno, representada pelo índice de seca, com valores que variam entre 370mm e 600mm, predominando entre os meses de junho a setembro, sendo mais intensa em agosto.

Nos gráficos da Figura 73 observa-se o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o

município de Colinas do Tocantins, com dados obtidos entre 1990 e 2018 para duração do período chuvoso e ocorrência de veranicos e de 1990 a 2019 para as variáveis números de dias de chuva e índice de seca. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.



Figura 73. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Colinas do Tocantins - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Para análise da duração do período de chuva de Colinas do Tocantins foram utilizados dados do período entre 1990 a 2018. As durações do período chuvoso neste município retornaram valores dentro do intervalo de 165 e 225 dias, com uniforme distribuição de frequência dos dados. Destaque-se que nos anos hidrológicos 1995-1996 e 1996-1997, este último com a interferência de um El Niño forte, a duração do período de chuva apresentou o menor valor da série histórica. Foi durante o evento moderado de La Niña (1999-2000) que houve o registro da maior duração do período chuvoso de toda a série amostral. Este conjunto de dados não apresenta padrões que sugiram alguma mudança climática no Município.

Para o número de dias de chuva, observa-se que no intervalo de maior frequência os valores variam entre 86 e 99 dias, com um total de 11 dados agrupados, porém o valor que corresponde a média climatológica é de 87 dias. Os dois menores valores da série histórica são 28 dias e 57 dias, correspondendo aos registros dos anos de 1992 e 2019, respectivamente, no primeiro com a ocorrência de fenômeno El Niño moderado e no último ano de neutralidade quanto a ocorrência de fenômenos ENOS. Compatível com o padrão esperado para anos de La Niña, observa-se o aumento do número de dias de chuva nos anos hidrológicos 1999-2000, 2007-2008 e 2010-2011. Esta série histórica apresenta uma importante tendência de aumento no número de dias de chuva em Colinas do Tocantins, aumento este da ordem de 29% da amplitude total dos dados, sugerindo uma possível mudança climática no local.

Na ocorrência de veranicos, foi identificado pelo menos 2 e no máximo 12 ocorrências deste evento, por ano, no período entre 1990 e 2019, sendo mais frequente os anos registrarem de 5 a 6 veranicos. Os valores extremos da série foram registrados em anos de neutralidade quanto aos fenômenos ENOS. Também se verifica a tendência de diminuição, em cerca de 3 ocorrências a menos de veranicos, com o passar dos anos, sugerindo alguma mudança climática local.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Colinas do Tocantins, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agropecuárias. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, com rápida evolução, de 15 para 86 durante o mês de maio, atingindo o pico de 98 no início do mês de julho, e então, a curva torna-se descendente de julho até novembro. A produção agrícola de Colinas do Tocantins deve ser mantida neste intervalo entre abril e novembro com o suporte de métodos de irrigação.

Da atividade agropecuária de Colinas do Tocantins no ano de 2006, menos de 1% corresponderam à culturas permanentes, menos de 2% eram de culturas temporárias, e de 58% a 76% correspondiam ao cultivo de pastagens (SEPLAN, 2016). Segundo dados da SEFAZ (2017), no ano de 2006, 687ha da área municipal estavam destinados à lavouras permanente e 356ha à lavouras temporárias.

Segundo Ramos *et al.* (1996), para uma boa produtividade do caju é necessário que sejam atendidas as seguintes condições atmosféricas: sazonalidade da precipitação, com a marcada ocorrência de um período seco (junho a setembro), e totais anuais entre 1400mm e 1600mm, concentrados entre outubro e maio, e umidade relativa do ar variando entre 60% e 85%. Tais condições estão presentes em Colinas do Tocantins. A área colhida de 4ha que resultaram em 41t do fruto em 2006, ano com condições meteorológicas acima das ideais para o pleno desenvolvimento desta cultura. Em 2017 as condições atmosféricas apresentavam-se mais favoráveis, com valores muito próximos às médias climatológicas, porém não foram registrados dados sobre a produção de caju no município.



Para o cultivo de soja, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2012, 2013 e 2014, com o valor de 2.900kg/ha, área colhida com valores de 150ha, 200ha e 300ha e quantidade produzida de 435t, 580t e 870t, respectivamente. Durante estes anos a precipitação total acumulada variou entre 1509,6mm e 1901,5mm, com número de dias de chuva acima da média, sendo para os respectivos anos 102 dias, 107 dias e 95 dias, duração do período chuvoso de 175 dias em 2013 e 200 dias em 2014, quando foram registrados 2 e 6 veranicos respectivamente (sem dados destas duas últimas variáveis em 2012). Já os piores rendimento ocorreram nos anos de 2005 e 2007 com o valor de 2.500kg/ha. Os dados meteorológicos apontam evidências que justifiquem a queda no rendimento médio, apenas verifica-se a ocorrência de um El Niño moderado no ano hidrológico 2006-2007 com chuva abaixo da média, 1597mm, período chuvoso mais longo, 195 dias, e 10 ocorrências de veranico.

Quanto ao cultivo do milho, conforme apresentado na Figura 74, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2017, com o valor de 2.700kg/ha, área colhida de 50ha e quantidade produzida de 135t, com precipitação total anual de 1813mm, distribuídos em 86 dias de chuva no decorrer do ano hidrológico 2016-2017. O pior rendimento ocorreu no ano 2004 com o valor de 1.450kg/ha, área colhida de 500ha e quantidade produzida de 725t. Este foi um ano de chuvas ligeiramente acima da média, totalizou 1807,3mm, ocorreram 86 dias de chuva e o período chuvoso foi bem extenso, durou 215 dias (médio=189 dias), o que propiciou a ocorrência de um elevado número de veranicos, 12 no total.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2012, 2014 e 2018, com o valor de 600kg/ha. Em todos os três anos o número de dias de chuva foi acima da média climatológica, que é de 87 dias, registrando 102 dias em 2012 e 95 dias nos outros anos. Entretanto em 2012 choveu cerca de 200mm a menos do que a climatologia indica e nos outros anos a chuva acumulada superou a climatológica. Mas a duração do período chuvoso em torno de 190 dias e a ocorrência de 6 veranicos nos anos de 2014 e 2018 podem ter favorecido a cultura tanto em termos hídricos quanto térmicos. No ano 2000 foi registrado o pior rendimento médio de produtividade, com o valor de 250kg/ha, área colhida de 80ha e quantidade produzida de 20t, ano sob a influência de uma La Niña moderada. A precipitação anual foi de 1958,6mm, 14% acima da média climatológica, ocorreram 111 dias de chuva, 24 dias a mais que a média, o período chuvoso durou 225 dias (36 dias a mais) e ocorreram 12 veranicos, o dobro do esperado, condições que somadas podem acarretar em múltiplos prejuízos a produção do referido grão.

Em relação ao cultivo do coco da baía, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2013 a 2018, com o valor de 13.000 frutos/ha, área colhida que variou ao longo dos anos de 30ha a 3ha e quantidade produzida de 390 mil frutos a 39 mil frutos. Verifica-se que durante este período a precipitação total acumulada anualmente teve valores abaixo da média climatológica em decorrência de El Niño (2015-2016) e acima da média em anos de neutralidade ou de La Niña (2017-2018). Foi comum os anos apresentarem número de dias de chuva acima do esperado, com valores entre 84 e 107 dias, reduzindo um pouco os períodos de estiagem, também favorecido pela adequada duração dos períodos chuvosos, entre 175 dias e 200 dias. A ocorrência de veranicos apresentou-se dentro do esperado, 6 eventos por ano hidrológico, exceto em 2013 quando houve o registro de apenas 2 veranicos. Nos anos de 2008 e 2009 foram registrados os piores rendimentos médios de produtividade, de acordo com os dados da pesquisa PAM de 2008 a 2019, cujos valores foram de 12.500 frutos/ha, área colhida de 10ha e quantidade produzida de 125t. Nestes dois anos que contemplam um episódio

de La Niña (2007-2008) e início de um El Niño (2009-2010), os excedentes da La Niña não foram suficientes para aplacar os déficits promovidos pelo El Niño.

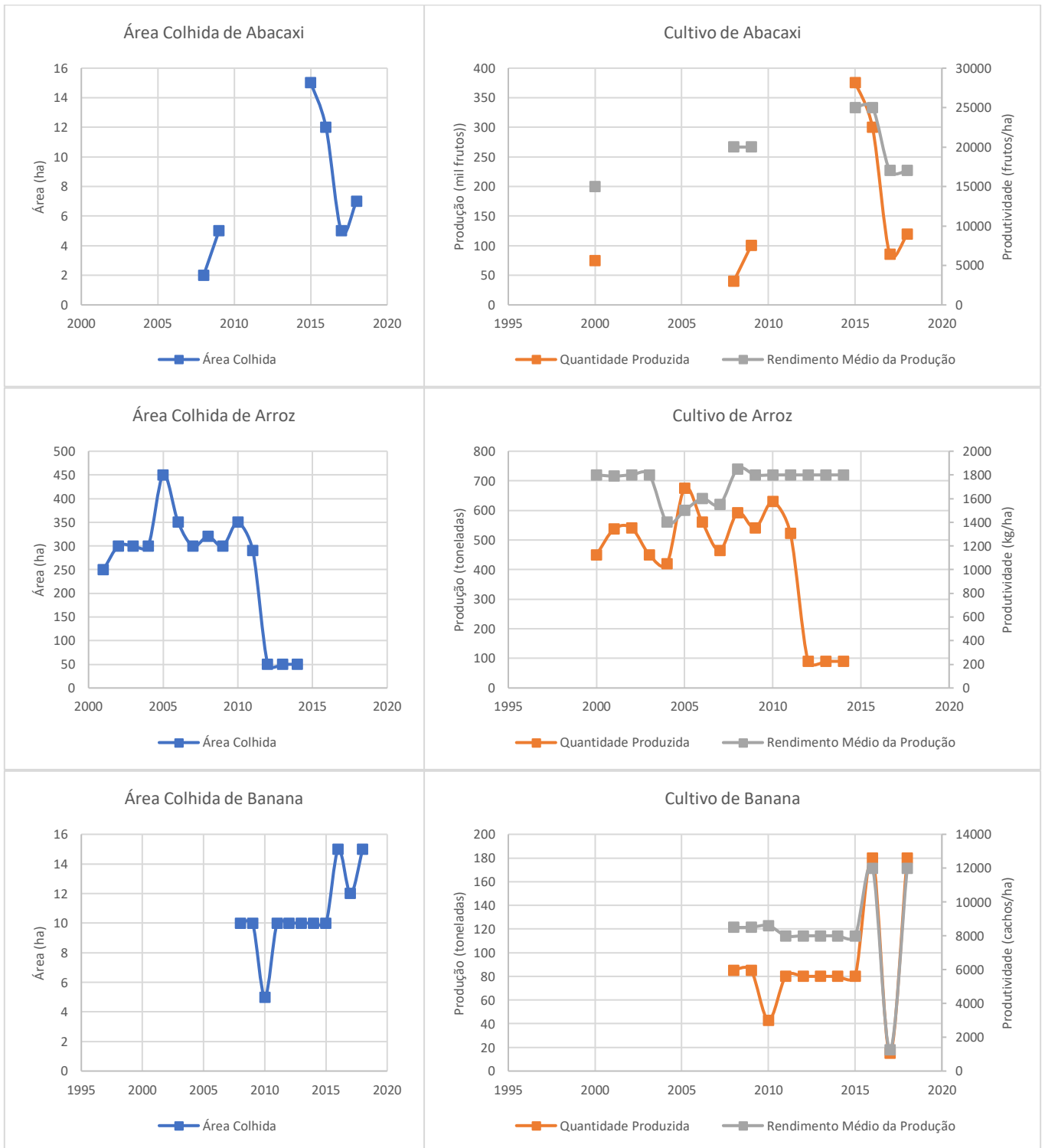
Em relação ao cultivo da banana, os melhores rendimentos médios de produtividade ocorreram nos anos de 2016 e 2018, com o valor de 12.000kg/ha, área colhida de 15ha e quantidade produzida de 180t. O primeiro foi um ano de El Niño forte, com acentuada redução nos volumes precipitados e no outro ano ocorreu uma La Niña forte, com aumento expressivo no volume de chuvas. Mas considerando a concentração das chuvas predominantemente entre outubro e abril em Colinas do Tocantins, os volumes garantem a totais acumulados superiores a 100mm/mês necessários para garantir a produtividade mesmo em plantios de sequeiro. Esse foi o terceiro município com o melhor rendimento médio de produtividade da banana dentre os 20 municípios analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados. O pior rendimento médio deste cultivo ocorreu no ano de 2017 com o valor de 1.250kg/ha, área colhida de 12ha e quantidade produzida de 15t. Este foi um ano em que o total acumulado de chuva foi de 1813mm, distribuídos em 86 dias durante o ano hidrológico 2016-2017. A carência de dados dificulta a constatação da influência das condições meteorológicas sobre a queda do rendimento médio de produtividade.

Em relação ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2008, com o valor de 1.850kg/ha, área colhida de 320ha e quantidade produzida de 592t. Sendo este um ano de La Niña moderada, pode-se esperar melhores condições hídricas, favoráveis ao enchimento de grãos diante de precipitação anual acima da média climatológica, neste caso totalizando 1962,1mm. As chuvas foram distribuídas em 96 dias, com duração do período chuvoso de 195 dias e 5 ocorrências de veranicos, que podem ter auxiliado na maturação dos grãos. Já o pior rendimento ocorreu no ano de 2004 com o valor de 1.400kg/ha, área colhida de 300ha e quantidade produzida de 420t. Neste ano pode-se destacar a longa duração do período chuvoso (215 dias), condição que pode resultar em dificuldades para a implantação da cultura se o período chuvoso começar antes do esperado, ou com a colheita ao se prolongar para além de abril.

Para o cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade foi observado nos anos de 2015 e 2016, com o valor de 25.000 frutos/ha, área colhida de 15ha e 12ha e quantidade produzida de 375 mil frutos e de 300 mil frutos, respectivamente. O ano hidrológico (neutro) de 2014-2015, com chuvas abaixo da média, deu lugar a um ano hidrológico sob os efeitos de um El Niño de forte intensidade (2015-2016), no qual também registrou chuva abaixo da média climatológica. Sendo o abacaxi uma cultura de ciclo longo (18 meses), verifica-se condições hídricas no ano hidrológico 2013/2014 favoráveis a implantação da cultura, e provavelmente as condições hídricas dos anos seguintes foram suficientes para a manutenção da cultura e as condições térmicas adequadas ao desenvolvimento e maturação dos frutos, e com menores riscos de doenças diante do ambiente mais seco. O pior rendimento ocorreu no ano de 2000 com o valor de 15.000 frutos/ha, área colhida de 5ha e quantidade produzida de 75 mil frutos. Este foi um ano de La Niña moderada (1999-2000), que sucedeu um outro episódio de fraca intensidade (1998-1999). Os excedentes hídricos do ano 2000, podem ter sido bastante importantes para a queda no rendimento, pois foram registrados 1958,6mm de precipitação pluvial, total anual, 111 dias de chuva, período chuvoso com 225 dias de duração e 8 ocorrências de veranico.



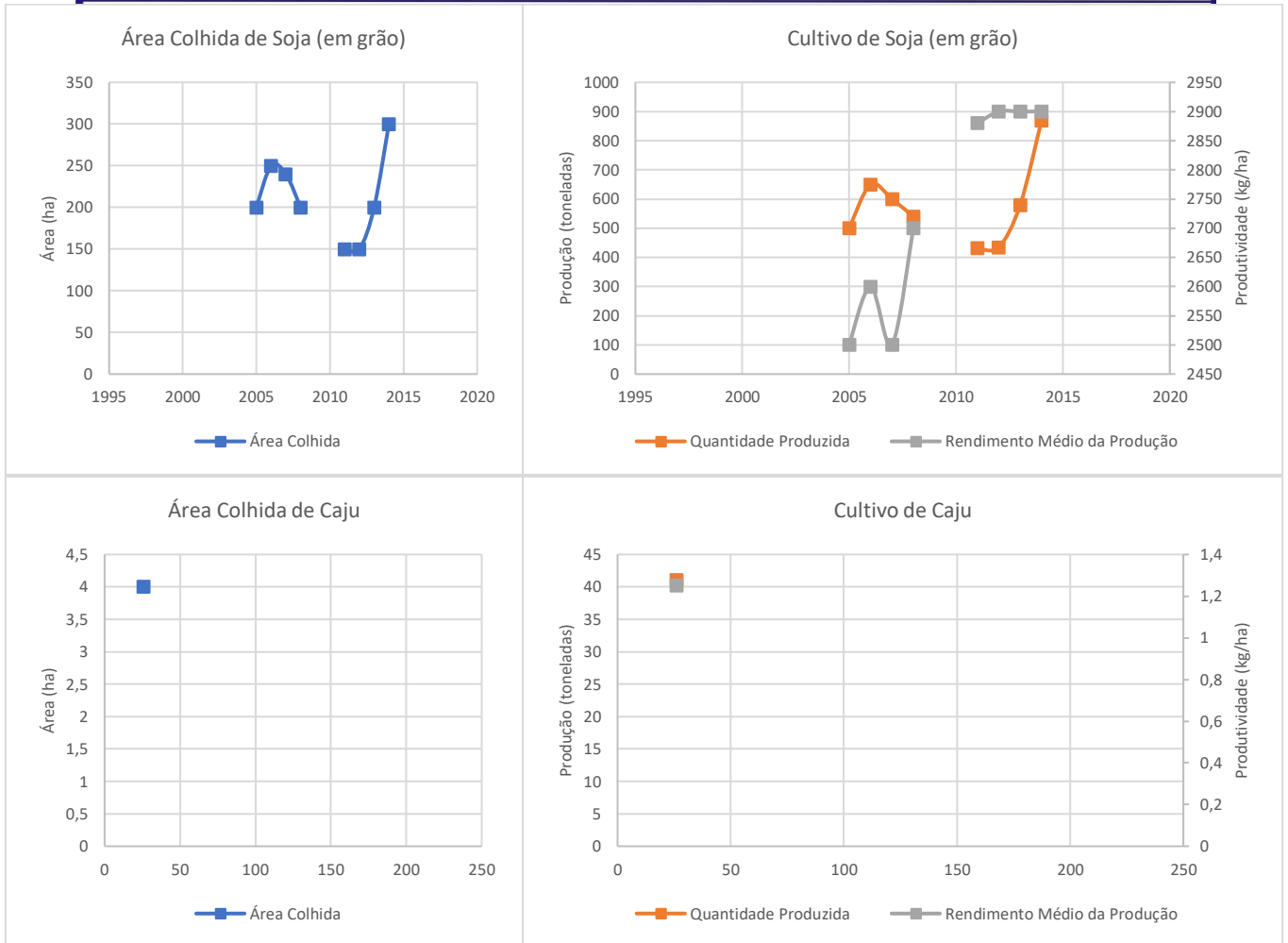
Figura 74. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Colinas do Tocantins – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).

Sem dados para as culturas de cana-de-açúcar, melancia e sorgo (em grãos) para o período analisado.

4.5.8. Mateiros

Este município pertence a região Leste (Jalapão), possui 2.729 habitantes, conforme estimativa para 2020 (IBGE, 2020) e seu IDH-M é de 0,607 (IBGE, 2013). O Jalapão é uma das áreas críticas e prioritárias para a conservação do Cerrado e, por sua extensão, uma região-chave em termos da conservação da biodiversidade global (BORGES e CORDEIRO, 2003; SANTOS *et al.*, 2013). Atualmente, a região está resguardada por quatro unidades de conservação de proteção integral: a Estação Ecológica Serras Geral do Tocantins (EESGT), o Monumento Natural Canyons e Corredeiras do Rio Sono (MONACC), o Parque Estadual do Jalapão (PEJ) e abriga parte do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (PNNRP), representando o maior conjunto de unidades de conservação e de proteção integral de todo o Cerrado (SEFAZ, 2017). A região também reúne cinco unidades de conservação de uso sustentável: as áreas de proteção ambiental APA Serra da Tabatinga e APA do Jalapão; e as reservas particulares do patrimônio natural: RPPN Catedral do Jalapão, RPPN Fazenda Calixto e RPPN Mina d'Água (Reserva Minnehaha).

Baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra (SEPLAN, 2007), os três principais usos, no município, são: Campo; Cerrado Sentido Restrito; e Cultura Temporária. Este último possui maior concentração nas regiões sul e nordeste, principalmente nas áreas limítrofes de Mateiros. Com área total de 9.681,7km² e 493 metros de altitude, cerca de 12% da área municipal é ocupada por estabelecimentos rurais e de 25% a 45% da fitoecologia do local corresponde a mata ou floresta natural (SEPLAN, 2007; 2016; SEFAZ, 2017).

A temperatura mínima anual do ar de Mateiros registra valores médios entre 18°C e 20°C, com valores de 16°C nos meses de junho, julho e agosto, que são os mais frios do ano. A temperatura máxima anual varia entre 30°C e 33°C, e o mês de setembro registra os maiores valores mensais, chegando aos 35°C.

O regime anual de chuvas apresenta totais acumulados de 1280mm até 1536mm. No mês de janeiro são registrados os maiores volumes mensais, superiores a 240mm. O período chuvoso mateirense tem duração entre 160 e 170 dias, se estendem entre os meses de novembro a março, quando são observadas a ocorrência de até 9 veranicos, em média. De janeiro a março podem ocorrer 14 dias com precipitação superior a 1mm.

A nebulosidade cobre em média 50% do céu de Mateiros em termos anuais, com maior percentual de cobertura (60%-70%) de novembro a março, e a menor (20%-30%) entre junho e agosto. Diante disto se constata uma insolação anual de 2400 a 2600 horas, com média mensal de 160 horas de dezembro a março, e maior número de horas (>280) em julho e agosto.

A radiação solar global anual no município varia entre 1500KJm⁻² e 1700KJm⁻². A umidade relativa do ar anual fica predominantemente entre 60 e 65%. O valor da evaporação anual varia entre 1870mm e 2210mm, tendo valores mensais próximos de 88mm em fevereiro, e no mês de setembro supera os 286mm. Assim, Mateiros apresenta evapotranspiração de referência variando entre 1210mm a 1410mm anualmente, com o menor valor mensal em janeiro e março (<130mm), e o maior (>150mm) é observado em setembro.

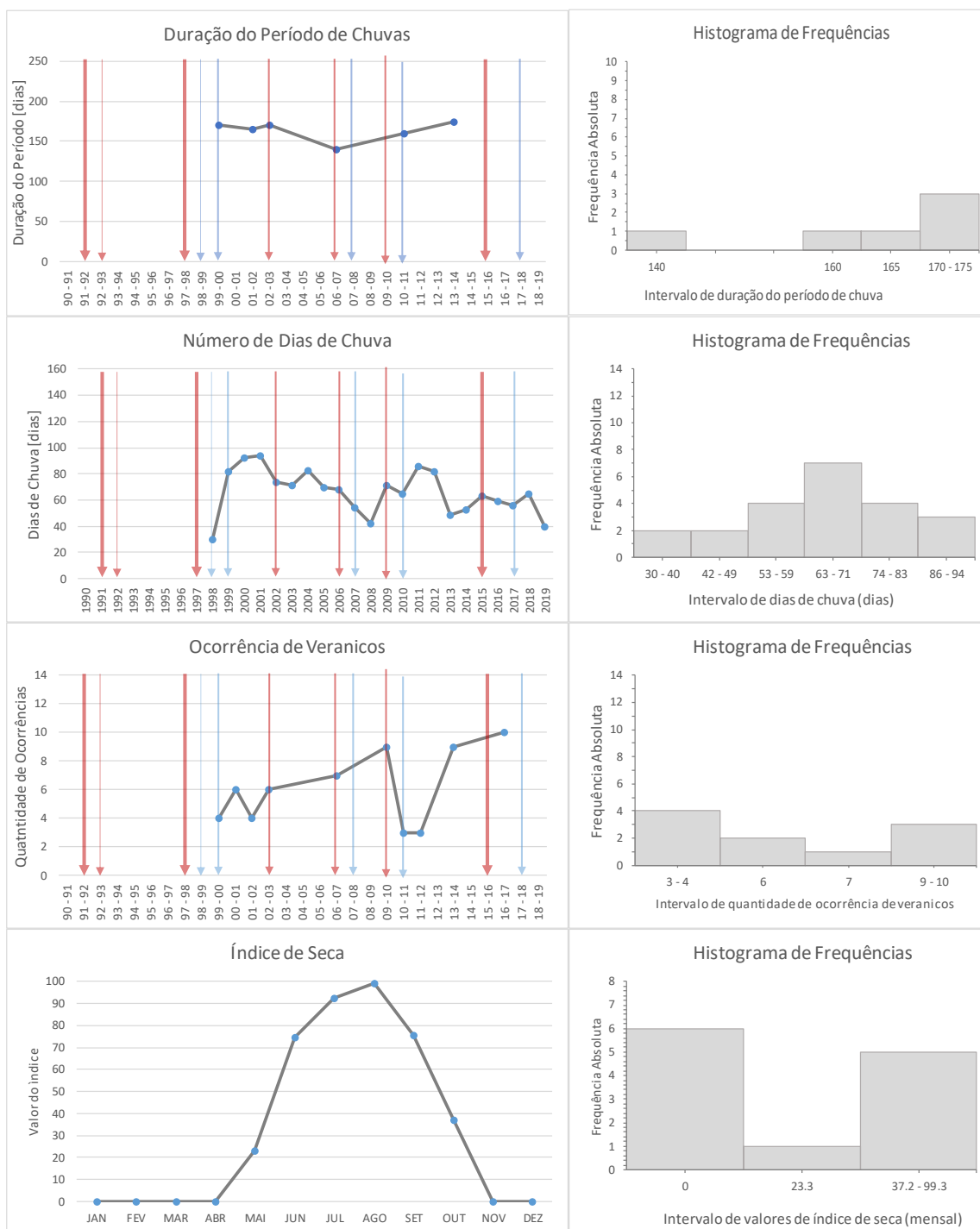
O município apresenta grande excedente hídrico no verão na maior parte de seu território, com valores entre 200mm e 600mm. O período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente (chegando a 140mm). O município se classifica com



grande deficiência hídrica no inverno, cujos valores variam entre 340mm e 640mm. A deficiência se concentra, predominantemente, entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 75 o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Mateiros com dados obtidos entre 1998 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Figura 75. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Mateiros - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



Para análise da duração do período de chuva de Mateiros foram utilizados dados do período entre 1999 a 2016, com ausência de informações em alguns anos do período, logo totalizando 10 anos de dados observados. As informações desprezadas atendem aos critérios adotados para garantir a consistência dos dados de cada estação, conforme recomendação do TdR. As durações do período chuvoso neste município retornaram valores dentro do intervalo de 140 e 195 dias, com maior de frequência dos dados na faixa entre 170 e 175 dias. O valor médio desta variável é de 167 dias. A pouca quantidade de dados torna difícil inferir sobre a variabilidade decorrente de El-Niño ou de La Niña, entretanto constata-se que o maior valor da série ocorreu em um ano hidrológico sob os efeitos de La Niña moderada (1999-2000) e o menor valor está associado a um evento El Niño moderado (2006-2007). Esta série histórica evidencia uma redução da ordem de 18% na duração do período chuvoso entre os anos de 1999 e 2016, sugerindo alguma mudança climática no município de Mateiros.

Quanto ao número de dias de chuva, foram utilizados dados do período entre 1998 a 2019. Mateiros tem valores frequentes na faixa entre 63 e 71 dias, com o menor valor de 30 dias (em 1998). Na distribuição temporal analisada, observa-se que os dois maiores números de dias de chuva foram registrados em anos de neutralidade quanto aos fenômenos ENOS. Se verifica, também, que, comumente, os valores ficam abaixo da média climatológica, que é de 67 dias, em anos de registro de eventos El Niño, e apresentam valores significativamente superiores (>80 dias) em anos de La Niña. A série histórica do número de dias de chuva mostra tendência de redução de seus valores, da ordem de 20 dias, no transcorrer dos anos que compõem a série, talvez como resposta de alguma mudança climática local.

Do gráfico de ocorrência de veranicos, verifica-se que Mateiros registrou anos com pelo menos 3 veranicos e um único ano (2016) com 10 ocorrências, sendo este os valores extremos da série histórica, cujos dados foram obtidos entre os anos de 1999 e 2016. O intervalo de classe que acumula o maior número de registros tem valores entre 3 e 4 veranicos por ano. Também observa-se o aumento no número de veranicos associados a presença de El Niño, comportamento coerente com a esperada redução das chuvas provocadas por este tipo de fenômeno.

Os dados mensais, do período entre 1998 e 2019, do índice de seca de Mateiros, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agropecuárias. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, evoluindo rapidamente de 23 para 75 no decorrer do mês de maio, atingindo o pico de 99 no fim do mês de julho, e então, a curva torna-se descendente de agosto até novembro. A produção agrícola de Mateiros deve ser mantida neste intervalo entre abril e novembro com o suporte de métodos de irrigação.

Dados da SEPLAN (2016) mostram que, da atividade agropecuária de Mateiros no ano de 2006, menos de 1% correspondia à culturas permanentes, de 6% a 10% eram de culturas temporárias, e menos de 17% correspondiam ao cultivo de pastagens. O município tem muita expressividade no setor agrícola da região na qual se insere, sendo de longe a maior área plantada do Jalapão, totalizando 39.395ha de lavoura temporária (SEPLAN, 2016). Considerando os dados da PAM do IBGE, os principais cultivos produzidos no município são: soja, milho, arroz e banana.

O cultivo da soja em Mateiros registrou, o melhor rendimento médio de produtividade no ano de 2015, com o valor de 3.150kg/ha, área colhida de 35.000ha e quantidade produzida de 110.250t. Este ano hidrológico apresentou total acumulado de chuvas abaixo da média climatológica (1513,9mm), com

valor anual de 1075,4mm, chuvas que se distribuíram em 63 dias durante o ano, sendo esperado 66 dias de chuva em Mateiros. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002 com o valor de 1.440kg/ha, área colhida de 13.020ha e quantidade produzida de 18.749t, ano com acumulado anual de chuva de 1396,8mm, 74 dias de chuva, período chuvoso com 170 dias de duração e 6 ocorrências de veranicos. O município apresenta condições favoráveis ao cultivo da soja, com volumes de precipitação adequados, embora sazonais.

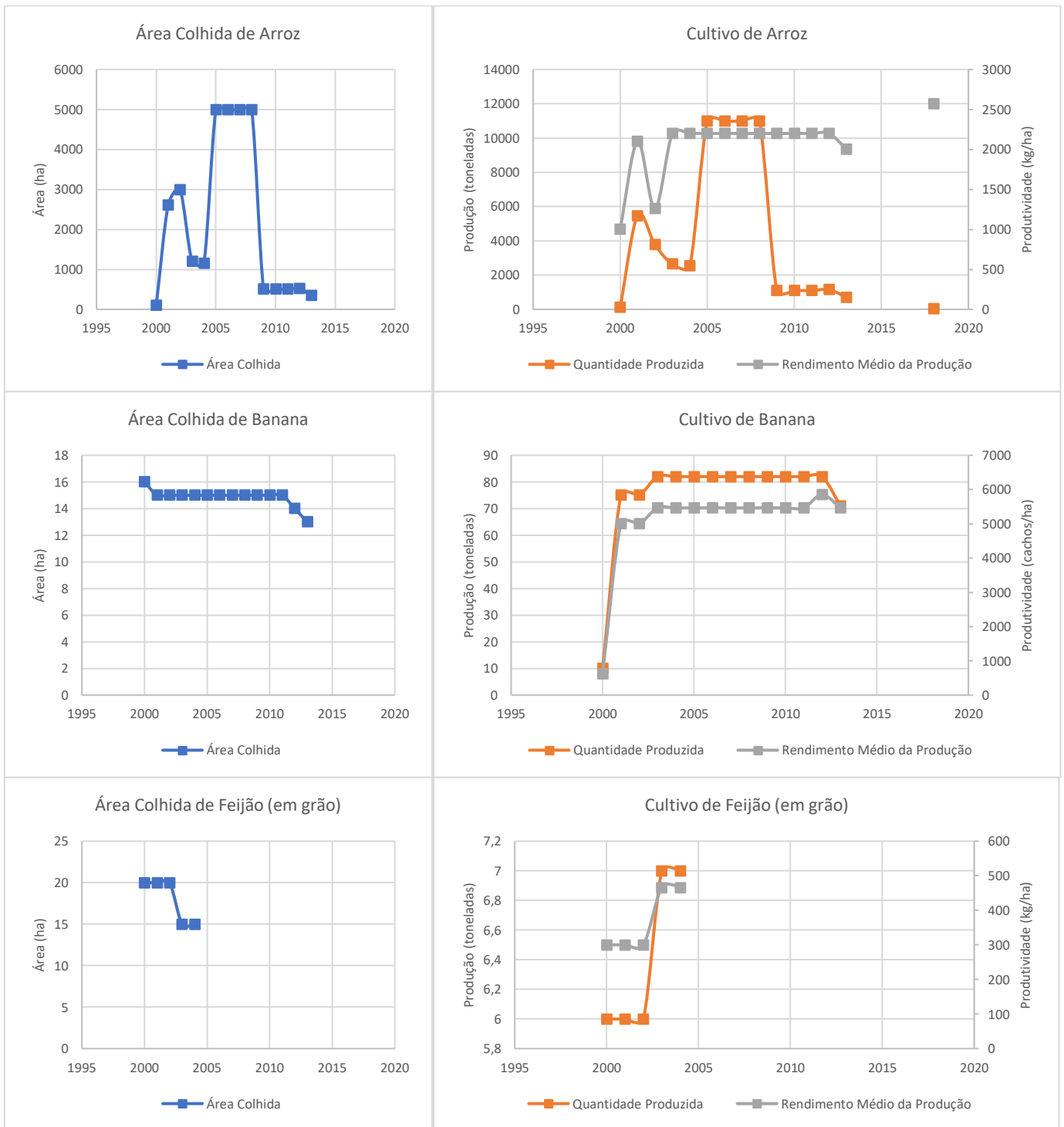
O município de Mateiros, juntamente com os municípios de Campos Lindos e Dianópolis, dentre os 20 analisados na pesquisa PAM, foram os que apresentaram o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de milho com o valor de 8.000kg/ha, registrados no ano de 2009 em Mateiros, cuja área colhida foi de 4.500ha e quantidade produzida de 36.000t. Verifica-se que tal resultado provavelmente se deve ao volume anual de precipitação pluvial de 2514,6mm, bem distribuídos durante o ciclo de desenvolvimento do cultivo, já que foram registrados 71 dias de chuva, o período chuvoso teve duração de 170 dias e ocorreram 9 veranicos. Os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2000 e 2001 com valores de 1.500kg/ha, dois anos com muitos dias de chuva, 92 dias e 94 dias, respectivamente, não há evidências meteorológicas para justificar a baixa produtividade, pois considerando o número de veranicos (6 e 4 ocorrências) e as durações dos respectivos períodos chuvosos destes anos (195 dias e 165 dias), o rendimento de produtividade poderia ser maior. As características climáticas do município são muito favoráveis a produção deste grão, especialmente nos aspectos relacionados a temperatura. Há necessidade de adequação apenas em termos das condicionantes hídricas, por conta da sazonalidade da precipitação. Bergamaschi e Matzenauer (2009), destacam que os cenários de mudanças climáticas apontam para a elevação das temperaturas noturnas, com provável impacto negativo sobre o potencial produtivo do milho, especialmente em regiões tropicais. O aumento de chuvas intensas, com potencial para a ocorrência de granizos, pode, também, representar grande impacto na produtividade deste grão.

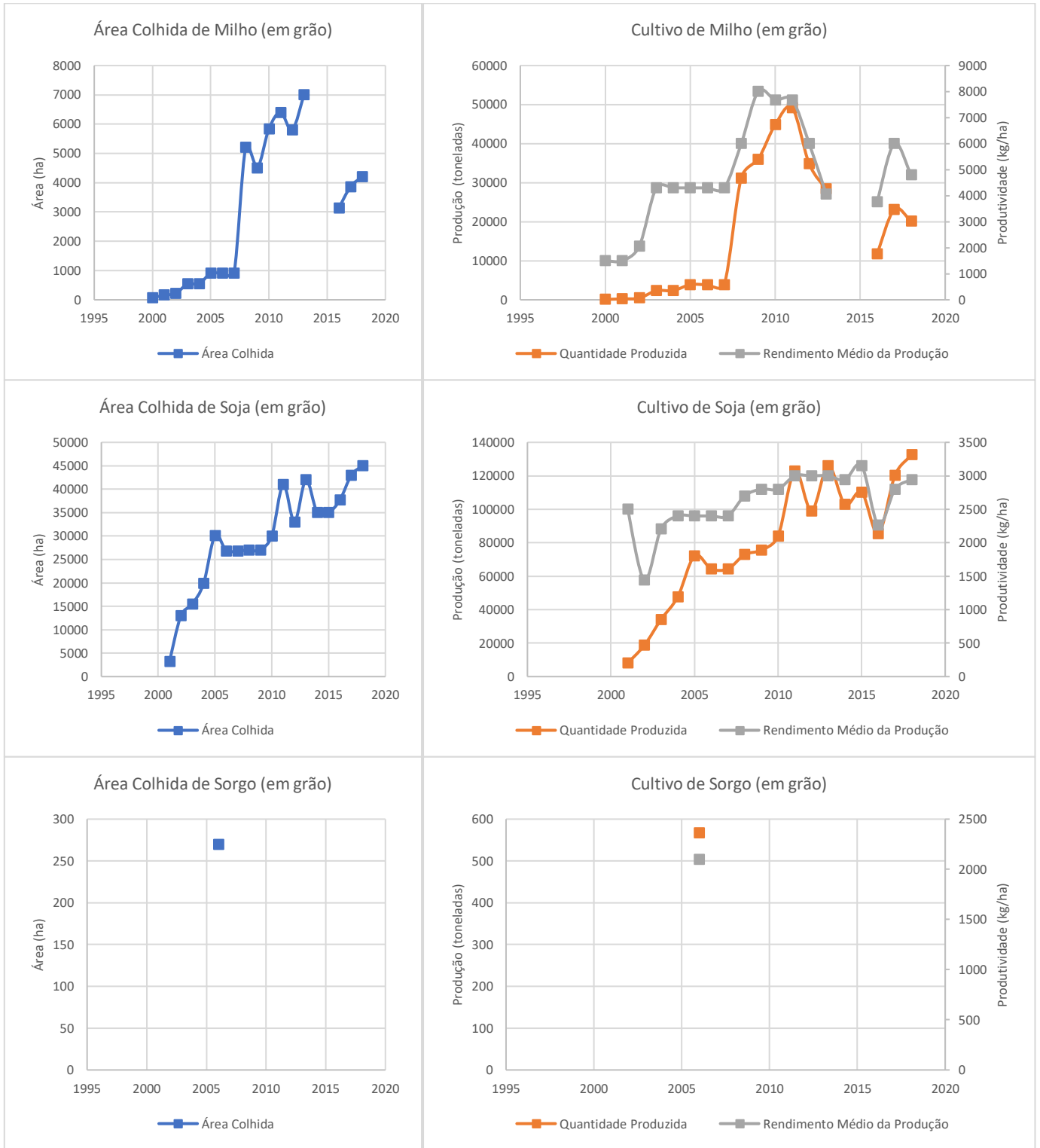
Em relação ao cultivo da banana, conforme apresentado na Figura 76, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2012, com o valor de 5.857kg/ha, área colhida de 14ha e quantidade produzida de 82t. Neste ano hidrológico as chuvas foram bem distribuídas em 82 dias no decorrer do ano, com valor total acumulado de 2120,5mm, favorecendo o desenvolvimento das bananeiras e dos frutos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 625kg/ha, área colhida de 16ha e quantidade produzida de 10t. A ocorrência de uma La Niña moderada provocou chuvas acima da média climatológica de Mateiros, foram 92 dias de chuva e um longo período chuvoso de 195 dias, longo para os padrões desta municipalidade, que também registrou 6 veranicos.

Em relação ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor 2.571kg/ha, área colhida de 7ha e quantidade produzida de 18t. Mesmo sob a influência de uma La Niña moderada, o ano hidrológico 2017-2018 apresenta condições meteorológicas muito próximas dos valores de médias climatológicas do Município. O pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 1.000kg/ha, área colhida de 100ha e quantidade produzida de 100t, mais um ano de La Niña moderada, mas agora com totais acumulados de chuva acima da média, cujo valor chegou a 1743,6mm, 92 dias de chuva e período chuvoso com duração de 195 dias, ambos bem acima da média, e 6 ocorrências de veranicos. Tais excedentes dificultam o desenvolvimento das plantas e enchimento e maturação dos grãos.



Figura 76. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Mateiros – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.





Fonte: IBGE (2000 a 2018).

Sem dados para as culturas de abacaxi, cana-de-açúcar, coco-da-baía, melancia e caju para o período analisado.



4.5.9. Palmas

Palmas, capital do estado do Tocantins, situa-se na região Central em uma altitude de 260 metros. Sendo o município mais populoso do Estado, com 306.296 habitantes (IBGE, 2020; SEPLAN, 2016; CIDADE-BRASIL, 2020). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia R\$1.303.585 e R\$7.676,45, passando para R\$4.886.729 e R\$20.187,26 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual, mostrou um avanço para R\$8.246.273 e R\$28.754,00. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuário para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$7.077; R\$39.237 e R\$57.027; respectivamente. Para o setor indústria os valores foram: R\$302.837, R\$752.661 e R\$1.086.602. Por último tem-se os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social, para os anos de 2002, 2012 e 2017, que foram: R\$836.229; R\$3.457.526; R\$369; e R\$6.053.654,756; respectivamente.

Palmas possui uma área territorial de 2.218,9km² e três tipos de uso e cobertura da terra são identificados no município: Cerrado Sentido Restrito; Cerradão; e Agropecuária, estando esta última concentrada nas porções leste e oeste do município. Em 2006, aproximadamente 17% da área municipal estava ocupada por estabelecimentos rurais e da fitoecologia do município de 7% a 13% era de mata ou floresta natural (SEPLAN, 2007; 2016; SEFAZ, 2017). Por toda a sua importância econômica, social, cultural, histórica e ambiental, a capital tocantinense necessita conhecer detalhadamente as condições atmosféricas e hidrológicas reinantes em seu território e entornos. Lembra-se que conhecer os processos e suas consequências possibilita planejar a ocupação e gestão dos espaços, minimizando impactos econômicos, sociais e ambientais.

As médias climatológicas referentes a temperatura do ar em Palmas são: $T_{\min} = 23,8^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{méd}} = 28,8^{\circ}\text{C}$; e $t_{\max} = 35,6^{\circ}\text{C}$. A análise climatológica mostra que nos meses de junho e julho são registrados os menores valores mensais de temperatura mínima do ar, com valor de 16°C , e que no mês de setembro são comumente registrados os maiores valores mensais, chegando aos 37°C .

A precipitação anual climatológica do município é de 1789mm, e verifica-se que nos meses de janeiro e de março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, superiores a 240mm. O período chuvoso de Palmas dura entre 170 e 180 dias, sendo o valor médio climatológico de 177 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de novembro e abril, quando são observadas a ocorrência de até 8 veranicos por ano, em média, segundo a análise climática. Em janeiro e março podem ocorrer 18 dias com precipitação acima de 1mm.

Observa-se que em Palmas a nebulosidade cobre em média 50% do céu em termos anuais, com maior percentual de cobertura (60%-70%) de novembro a março, e a menor cobertura (20%-30%) se verifica em junho e agosto. Diante disto se constata uma insolação anual de 2400 a 2600 horas, com valor climatológico de 2425,9h, com média mensal inferior a 160 horas de novembro a março, e maior quantidade de horas de insolação (>280) em julho e agosto.

A radiação solar global anual no município varia entre 1400KJm⁻² e 1600KJm⁻². A umidade relativa do ar média climatológica anual é de 68,3%. O valor climatológico da evaporação anual é de 2011,2mm, tendo valores mensais próximos de 88mm em fevereiro, e no mês de agosto supera os 308mm. Como resultado da combinação destes elementos e as características do solo, Mateiros apresenta

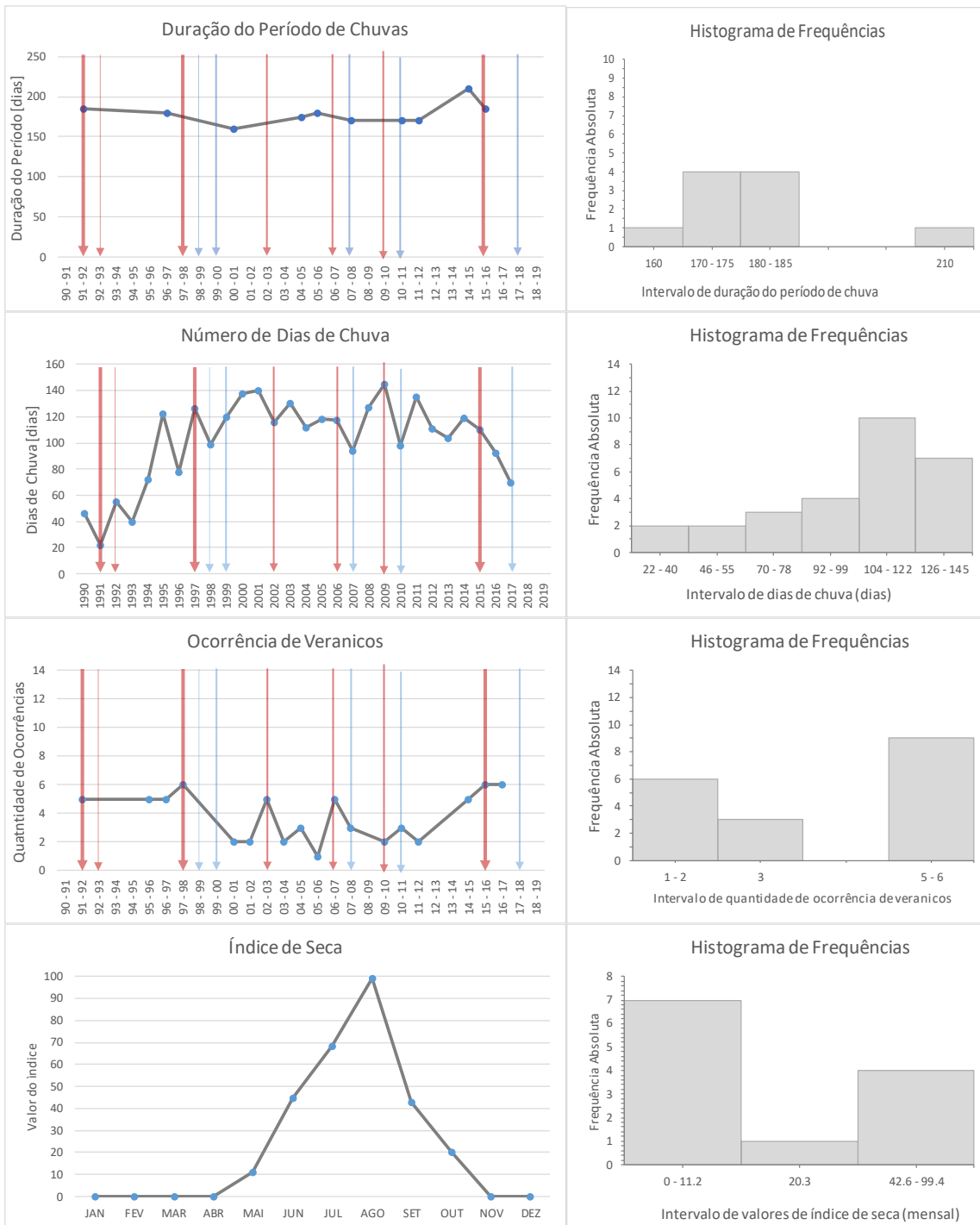
evapotranspiração de referência variando entre 1010mm a 1210mm anualmente, e, em escala mensal, o menor valor (<110mm) ocorre em fevereiro, e o maior (>170mm) é observado em setembro.

No município prevalece o grande excedente hídrico no verão, com valores entre 200mm e 600mm, e duração entre os meses de janeiro a março, sendo março o mês com maior excedente (chegando a 120mm). Em Palmas predomina a deficiência hídrica moderada no inverno, cujos valores anuais variam entre 400mm e 610mm, predominantemente, entre os meses de junho e setembro, sendo mais intensa em agosto.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 77 o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Palmas com dados obtidos entre 1990 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.



Figura 77. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Palmas - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña

El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Analisando a duração do período de chuva, verifica-se que, entre 1990 e 2018, as durações do período chuvoso neste município retornaram valores dentro do intervalo de 160 dias e 210 dias. Pelo histograma de frequência verifica-se que a maioria dos anos registrou períodos entre 170 e 185 dias de duração. Observa-se nesta variável um padrão comportamental de acordo com o esperado em decorrência dos fenômenos ENOS, com singela diminuição das durações em anos hidrológicos sob condições de El Niño e aumento em situações de La Niña. Destaca-se que o número restrito de anos observados dificulta uma análise acurada desta variável. Quanto a mudanças climáticas, não se observa padrões que apontem indícios de tais mudanças, pois os dados da estação meteorológica (OMM 83033) mostram uma tendência muito inexpressiva de diminuição da duração do período chuvoso em Palmas, enquanto a estação pluviométrica (1048003) vai no sentido contrário, aumento na duração, mas também insignificante.

O número de dias de chuva representa a quantidade de dias com chuva acima de 1mm. Da análise de seus gráficos, observa-se a prevalência dos valores no intervalo de classe entre 104 dias e 122 dias. O menor valor da série histórica é de 22 dias, registrado no ano de 1991 na estação pluviométrica de Palmas (1048003) sob os efeitos iniciais de um El Niño forte. Observa-se a clara tendência de um importante aumento no número de dias de chuva no município, condição explicitada tanto na série de dados da estação meteorológica quanto da estação pluviométrica, aumento da ordem de 18 dias e 47 dias nas respectivas estações, sugerindo uma provável mudança climática em Palmas, que pode estar associada ao barramento do rio Tocantins para a construção da usina hidrelétrica do Lajeado.

Quanto aos veranicos, foi identificado a ocorrência de até 6 registros por ano, no período entre 1990 e 2019, sendo mais comum os anos registrarem de 5 a 6 ocorrências. Pode-se perceber que os maiores valores da série estão frequentemente associados à ocorrência de eventos EL Niño, enquanto os menores valores se associam com mais frequência com eventos La Niña. Nesta variável verifica-se a tendência de aumento no número de veranicos, mas não de forma que sugira alguma mudança climática no município, sendo necessário uma investigação mais profunda para compreender os impactos decorrente da formação do lago da usina hidrelétrica do Lajeado.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Palmas, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agropecuárias. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, evoluindo uniformemente até agosto, quando atinge o pico de 99, e então, a curva torna-se descendente de agosto até novembro. A produção agrícola de Palmas deve ser mantida neste intervalo entre abril e novembro com o suporte de métodos de irrigação.

Dados da SEPLAN (2016) mostram que, da atividade agropecuária de Palmas, no ano de 2006, de 2% a 4% correspondiam à culturas permanentes, de 11% a 20% eram de culturas temporárias, menos de 17% correspondiam ao cultivo de pastagens. Considerando os dados da pesquisa PAM do IBGE, os principais cultivos produzidos no município são: sorgo, soja, milho, arroz, melancia, feijão, coco da baía, cana-de-açúcar, banana e abacaxi. Em relação ao caju, as informações foram tiradas do Censo Agropecuário de 2006 e 2017.

Segundo Ramos *et al.* (1996), para uma boa produtividade do caju é necessário que sejam atendidas as seguintes condições atmosféricas: sazonalidade da precipitação, com a marcada ocorrência de um período seco (junho a setembro), e totais anuais entre 1400mm e 1600mm, concentrados entre outubro e maio, e umidade relativa do ar variando entre 60% e 85%. Os dados climatológicos de Palmas revelam condições muito favoráveis a este cultivo. Em 2006, Palmas teve 7ha de área colhida e 2t



produzidas de caju, valores que conduzem a um rendimento médio de produtividade de 285,7kg/ha. O ano hidrológico 2005/2006, que influenciou a safra 2006, foi marcado por chuvas acima da média, acumulando 2149,3mm no ano, foram observados 117 dias de chuvas, o período chuvoso durou 185 dias e ocorreram 5 veranicos, todos valores acima da média climatológica do Município. Para o ano de 2017, houve diminuição na área colhida com 5,386ha, porém a quantidade produzida teve crescimento, foram 11 toneladas, resultando em um rendimento médio de produtividade de 2.042,3kg/ha. Os dados meteorológicos disponíveis são de precipitação acumulada anual, 1663,7mm (abaixo da média), 111 dias de chuva, e temperaturas do ar acima dos valores climatológicos, condições que podem ter auxiliado no desenvolvimento e maturação dos frutos.

Em relação ao cultivo de sorgo, conforme apresentando na Figura 78, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 2.996kg/ha, área colhida de 253ha e quantidade produzida de 758t. Os fatores meteorológicos que podem ter influenciado esse rendimento podem ser: a moderada La Niña de 2017-2018 que resultou em aumento no número de dias de chuva e reduziu a ocorrência de veranicos, tornando as condições atmosféricas mais favoráveis à cultura. Esse rendimento médio de produtividade tornou Palmas o segundo município com o valor mais alto de rendimento dentre todos os 20 municípios tocantinenses analisados na pesquisa PAM do período de 2000 a 2018, perdendo apenas para Porto Nacional, cujo melhor rendimento médio de produtividade do sorgo foi de 3.000kg/ha. Palmas apresentou os piores rendimentos médios de produtividade nos anos de 2011 a 2013 com valores de 1.500kg/ha. Este período começou sob a influência de uma La Niña moderada (2010-2011) por isso com volumes acumulados de precipitação bem acima da média, cerca de 250mm a mais de chuva. Observa-se que com a menor duração do período chuvoso, menor registro de veranicos e maior número de dias de chuva, vários estágios de desenvolvimento da cultura podem ter sido prejudicados, uma vez que os dados meteorológicos sugerem uma condição mais úmida.

No ano de 2014 Palmas apresentou o valor mais alto de rendimento de produtividade para o cultivo de soja dos 20 municípios tocantinenses acompanhados na pesquisa PAM. O valor do rendimento foi de 3.612kg/ha, obtido em uma área colhida de 7.208ha onde foram produzidas 26.035t. O ano hidrológico 2013/2014 apresentou todas as condições atmosféricas acima da média climatológica do Município, garantindo a disponibilidade hídrica necessária, distribuição das chuvas adequadas ao desenvolvimento da cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002 com o valor de 2.100kg/ha, área colhida de 2000ha e quantidade produzida de 4.200t. Neste ano as chuvas acumularam 1696,8mm, quase 100mm abaixo do esperado, e os dados meteorológicos sugerem que elas foram mal distribuídas durante o ciclo produtividade da soja, uma vez que se constata maior número de dias de chuva (116), maior duração do período chuvoso (195 dias) e maior ocorrência de veranicos (5 eventos).

Já para o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2008, com o valor de 5.160kg/ha, área colhida de 500ha e quantidade produzida de 2580t, sendo este um ano de La Niña moderada, assim maior número de dias de chuva, o que pode ter melhorado a distribuição da precipitação total deste ano (1710,3mm). Não há dados sobre a ocorrências de veranicos e a duração do período chuvoso, impedindo uma análise mais aprofundada. O pior rendimento médio desta cultura ocorreu no ano 2010 com o valor de 1.600kg/ha, área colhida de 570ha e quantidade produzida de 912t. Este ano de El Niño teve uma redução significativa no número de dias de chuva, fato que pode ter prejudicado o desenvolvimento das plantas considerando que o volume anual precipitado foi

ligeiramente acima do esperado, totalizando 1805,6mm, evidenciando que as chuvas não foram bem distribuídas.

Já para o cultivo da melancia, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2014, com o valor de 45.000kg/ha, área colhida de 6ha e quantidade produzida de 270t, um ano com condições atmosféricas acima da média climatológica do Município, garantindo a disponibilidade hídrica e distribuição das chuvas adequadas ao desenvolvimento da cultura, como ocorreu em outros cultivos. Esse foi o município com o melhor rendimento médio de produtividade para o cultivo da melancia segundo os dados da pesquisa PAM. 2017 foi o ano do pior rendimento médio de produtividade da melancia em Palmas, com valor de 17.625kg/ha, área colhida de 24ha e quantidade produzida de 423t, e provavelmente isto se deve ao menor volume precipitado e maior número de dias de chuva.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2014, com o valor de 2.400kg/ha, área colhida de 80ha e quantidade produzida de 192t, um ano favorável a diversos cultivos, quando os dados meteorológicas apontam para uma adequada quantidade de chuva, boa distribuição temporal da precipitação. Esse valor de rendimento médio de produtividade tornou o município de Palmas o terceiro com o maior valor de rendimento de acordo com os dados analisados da pesquisa PAM. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 333kg/ha, área colhida de 90ha e quantidade produzida de 30t. Neste ano uma La Niña moderada foi responsável por aumentar em 30 dias o número de dias de chuva e em cerca de 250mm o volume total precipitado, tornando as condições desfavoráveis ao referido cultivo, também nos aspectos térmicos. A produtividade do feijão, segundo Ferreira *et al.* (2003), é influenciada, principalmente, pelos seguintes fatores climáticos: radiação solar, precipitação pluvial e temperatura.

O município de Palmas juntamente com os municípios de Porto Nacional e Dianópolis, apresentaram o segundo melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de coco da baía. Em Palmas, este resultado foi atingido nos anos de 2005 e 2006, com o valor de 20.000 frutos/ha, área colhida de 40ha e quantidade produzida de 800 mil frutos. Apesar deste dois anos registrarem valores bem distintos com relação a quantidade de chuva acumulada (1791,7mm em 2005 e 2149,3mm em 2006) e número de veranicos (1 e 5 eventos, respectivamente), as condições atenderam às exigências de clima quente e úmido da cultura, com precipitação mensal não inferior a 130mm. Os piores rendimentos foram identificados no período entre 2011 e 2013, com o valor de 10.000 frutos/ha. Neste período foram identificados prejuízos em outros cultivos diante de indícios de uma condição ambiental mais úmida como apontam os dados meteorológicos.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2015, com o valor de 74.368kg/ha, área colhida de 19ha e quantidade produzida de 1.413t. O bom resultado deste ano pode ser atribuído a maior duração do período chuvoso (185 dias), considerando que em termos de quantidade de chuva o total anual foi bem abaixo do esperado (1393,7mm). Já os piores rendimentos ocorreram no período que incluiu os anos de 2000 a 2010, exceto em 2003, com o valor de 30.000kg/ha. De um modo geral, estes foram anos em que predominaram volumes precipitados e número de dias de chuva acima da média, as durações do período chuvoso ocorreram entre 160 dias e 195 dias, e a ocorrência de veranicos foi bastante variável, entre 1 e 5 eventos.

Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2015, com o valor de 10.750kg/ha, área colhida de 4ha e quantidade produzida de 43t, resultado que pode ter sido contribuído pela melhor distribuição da chuva de 1393,7mm em 111 dias do ano, cujo período chuvoso teve duração de 185 dias. O pior rendimento ocorreu no ano 2017 com o valor de 222kg/ha,

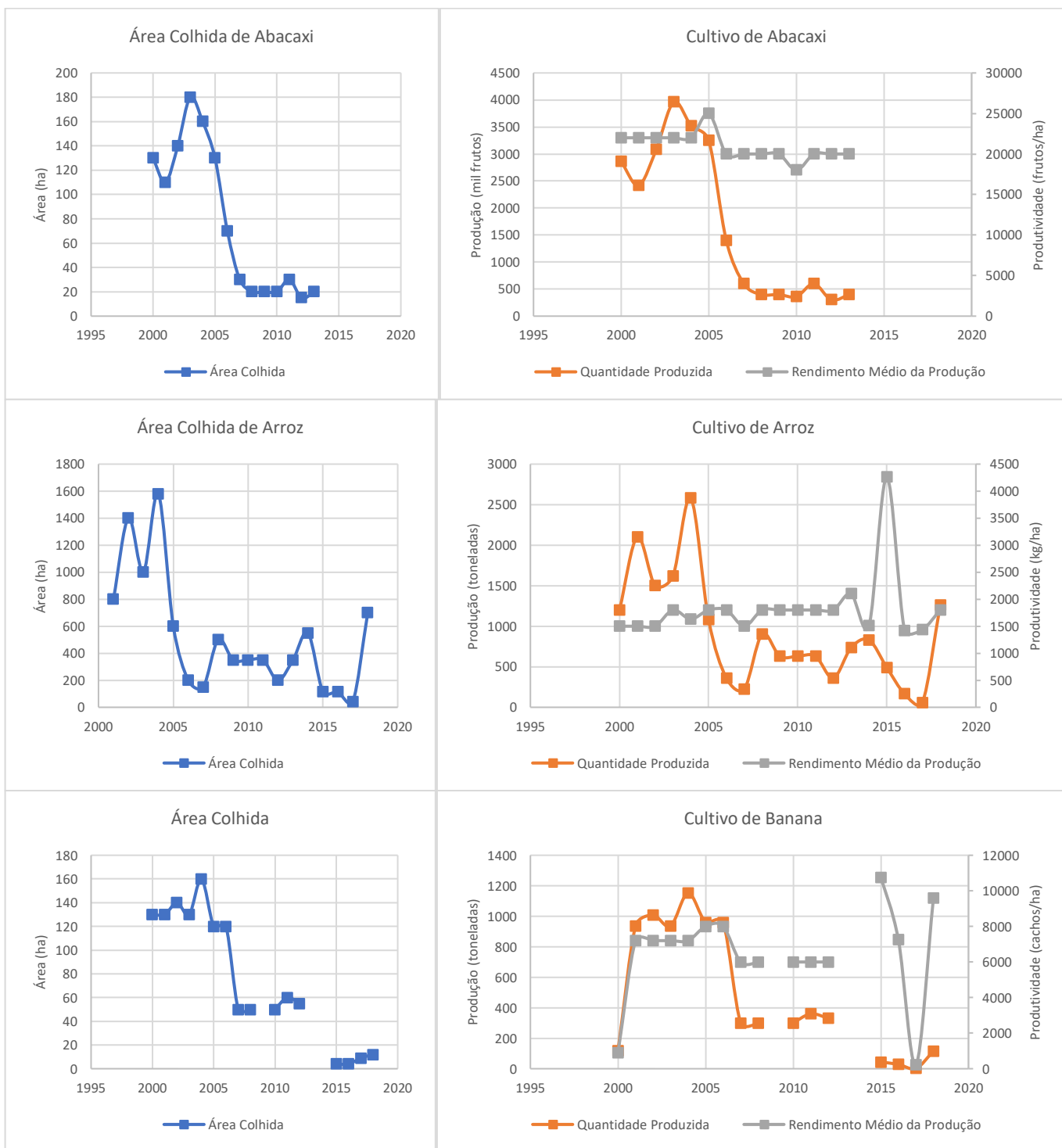


área colhida de 9ha e quantidade produzida de 2t, o qual o menor volume acumulado da precipitação e maior número de dias chuva mostrou-se desfavorável também à outros cultivos.

Em relação ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2015, com o valor de 4.261kg/ha, área colhida de 115ha e quantidade produzida de 490t. Mesmo com menor quantidade de chuva acumulada durante o ano, o aumento do número de dias de chuva, como ocorreu em outros cultivos Em 2016 foi registrado o pior rendimento médio de produtividade desta cultura, com o valor de 1.422kg/ha, área colhida de 116ha e quantidade produzida de 165t, sendo tal resultado, provavelmente, reflexo de chuvas abaixo do esperado para o Município e maior número de veranicos, 6 eventos, durante o período chuvoso de 170 dias.

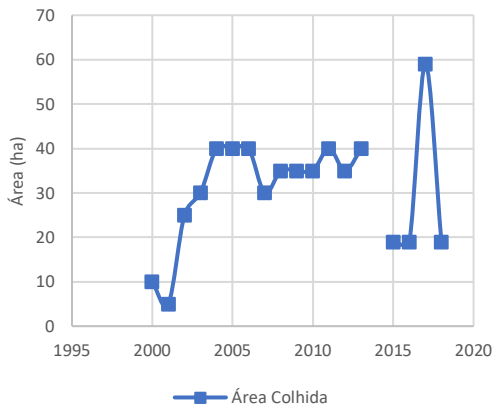
O município de Palmas obteve para o cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade no ano de 2005, os 25.000 frutos/ha foram obtidos em uma área colhida de 130ha e quantidade produzida de 3.250 mil frutos. As condições de neutralidade quanto aos fenômenos ENOS estabeleceram o comportamento climatológico do Município, sendo estas condições muito favoráveis ao cultivo do abacaxi. Esse foi o terceiro município com o melhor rendimento médio de produtividade de abacaxi segundo os dados da pesquisa PAM, juntamente com Porto Nacional, Arraias e Darcinópolis. O pior rendimento ocorreu no ano 2010 com o valor de 18.000 frutos/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 360 mil frutos. Sendo este um ano de El Niño, com redução no número de dias de chuva e 3 ocorrências de veranico durante os 170 dias do período chuvoso, pode ter afetado a distribuição do total de 1805,6mm de chuva no decorrer do ano, desfavorecendo a referida cultura. Os dados analisados dos abacaxizeiros em Palmas são do período de 2000 a 2013, disponíveis pela PAM do IBGE. Houve um decréscimo da área colhida, mesmo ocorrendo algumas oscilações no período analisado, de 130ha em 2000 a 20ha em 2013.

Figura 78. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Palmas – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.

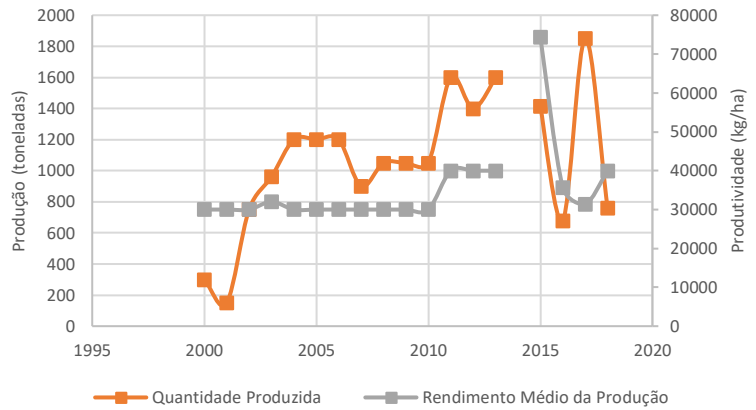




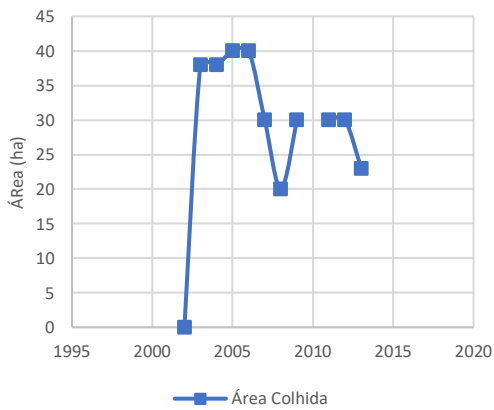
Área Colhida de Cana-de-Açúcar



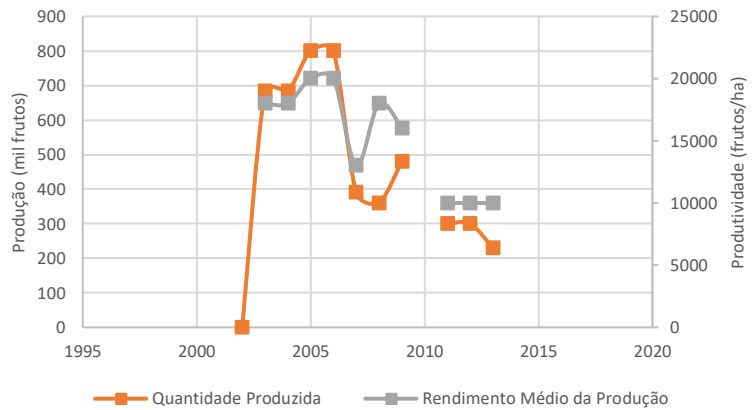
Cultivo de Cana-de-Açúcar



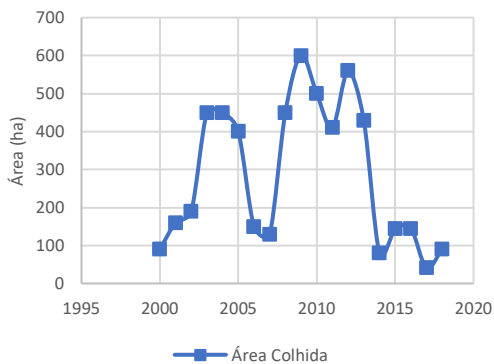
Área Colhida de Coco-da-baía



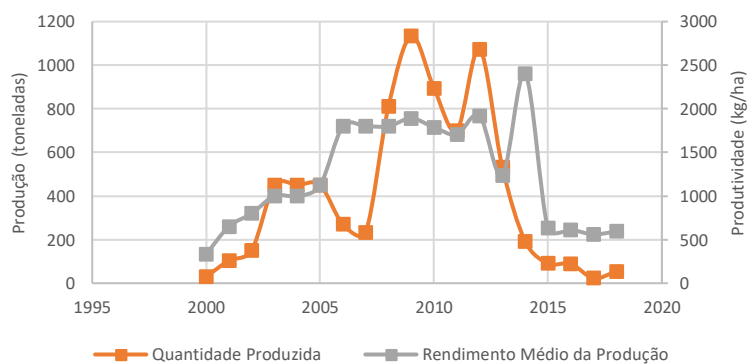
Cultivo de Coco-da-baía

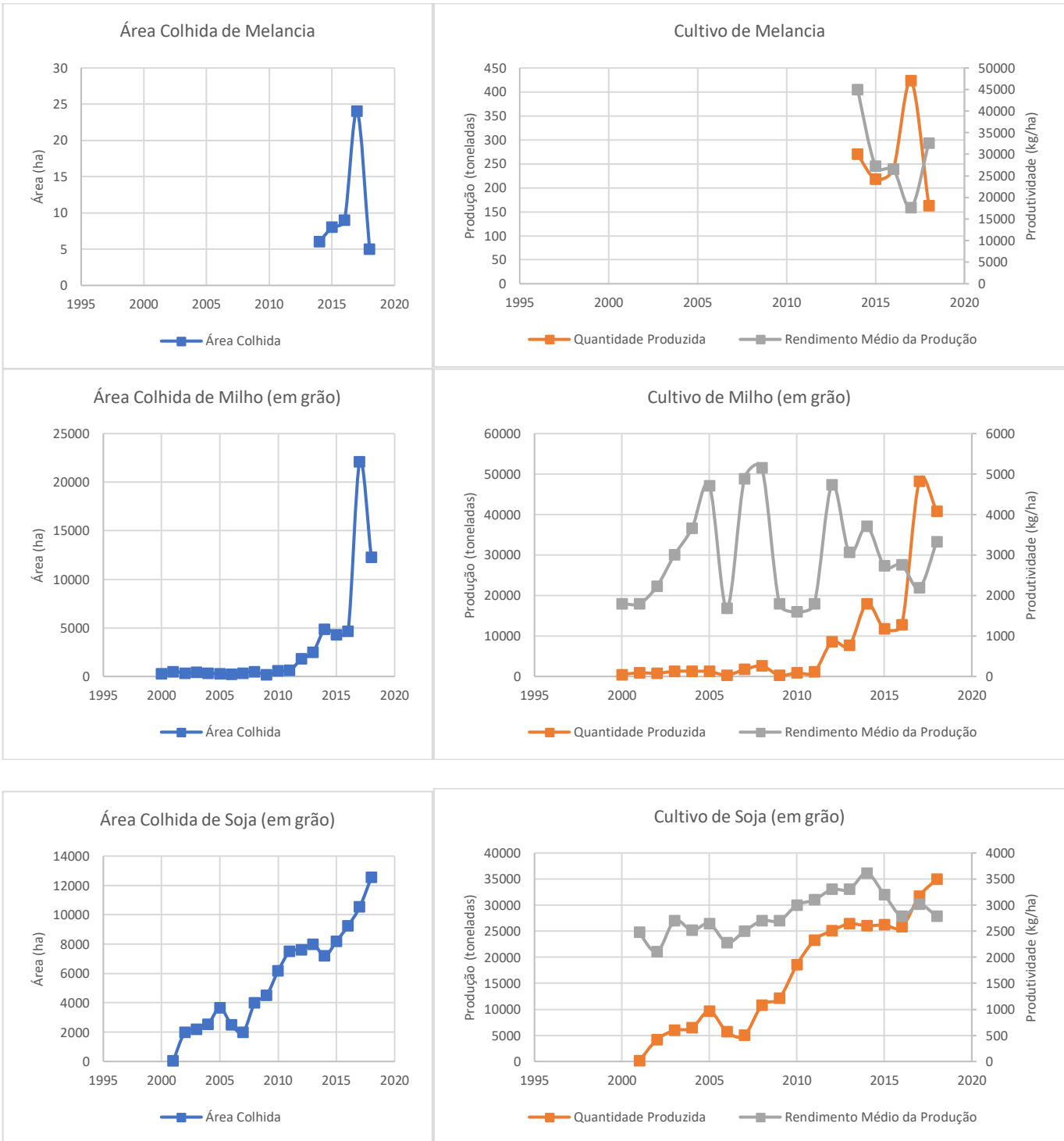


Área Colhida de Feijão (em grão)



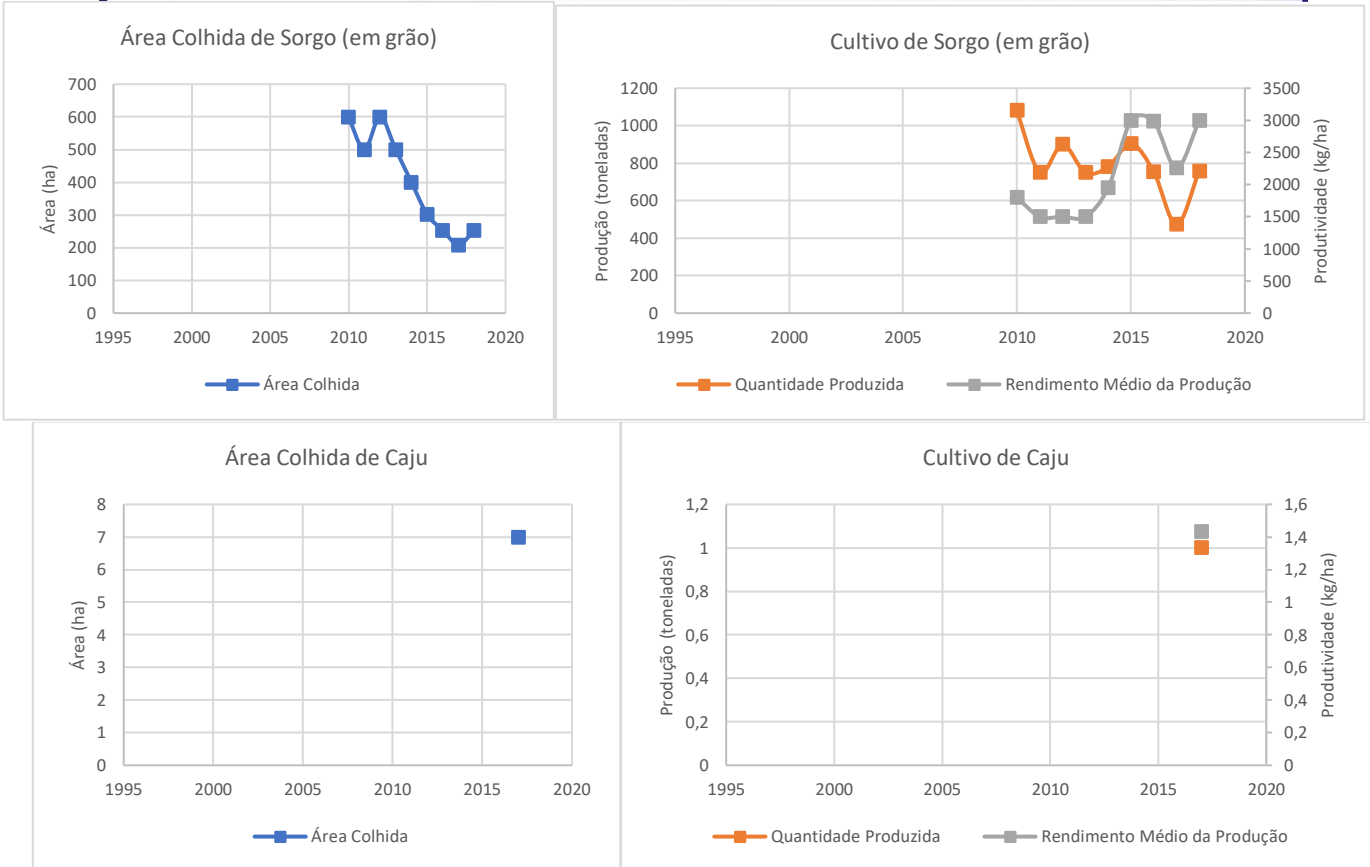
Cultivo de Feijão (em grão)







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).

4.5.10. Porto Nacional

Este é mais um importante município da região Central do Tocantins, e possui 53.316 habitantes (IBGE, 2020; SEPLAN, 2016). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondiam, respectivamente, a R\$200.201 e R\$4.368,73, passando para R\$866.502 e R\$17.408,73 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual aponta aumento para valores de R\$2.627.604 e R\$49.738,85; respectivamente. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuário para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$13.176; R\$111.683; e R\$227.678; respectivamente. Para o setor industrial os valores foram: R\$45.688; R\$179.414; e R\$374.650. Por último temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social, para os anos de 2002, 2012 e 2017, que foram: R\$121.151; R\$481.861,09; e R\$160.4610,108; respectivamente.

Há predomínio de três tipos de uso e cobertura da terra em Porto Nacional, são eles: Cerrado Sentido Restrito; Floresta Estacional Semidecidual Aluvial; e Agropecuária, este ocupando grande parte do município e espalhado por toda área municipal de 4.449,9km² e altitude de 234 metros (SEPLAN, 2007; 2016; CIDADE-BRASIL, 2020).

Porto Nacional apresenta temperatura mínima anual climatológica de 23,8°C, com os menores valores registrados na Serra das Cordilheiras e os maiores nas áreas mais baixas e próximas do rio Tocantins. Em julho e agosto os valores de T_{\min} variam entre 16°C e 17°C. A média climatológica da temperatura média anual é de 28,8°C, e da temperatura máxima anual é de 35,6°C. Nos meses de agosto e setembro são registrados os maiores valores mensais, chegando aos 37°C.

O regime anual de chuvas tem valor climatológico de 1492,3mm. No mês de março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, entre 240mm e 300mm. O período chuvoso em Porto Nacional tem duração média climatológica de 178 dias, se estendendo entre os meses de novembro a abril. Observa-se a ocorrência de até 8 veranicos por ano, em média. Nos meses de janeiro e março podem ocorrer até 18 dias com precipitação superior a 1mm. A média climatológica anual de dias de chuva é de 87 dias.

Observa-se que em Palmas a nebulosidade cobre em média 47,7% do céu em termos anuais, com maior cobertura de novembro a março (60%-70%), e menor em junho e agosto (20%-30%). O valor climatológico da insolação anual é de 2356,3 horas, com média mensal inferior a 160 horas de novembro a março, e maior quantidade (>280 horas) em julho e agosto.

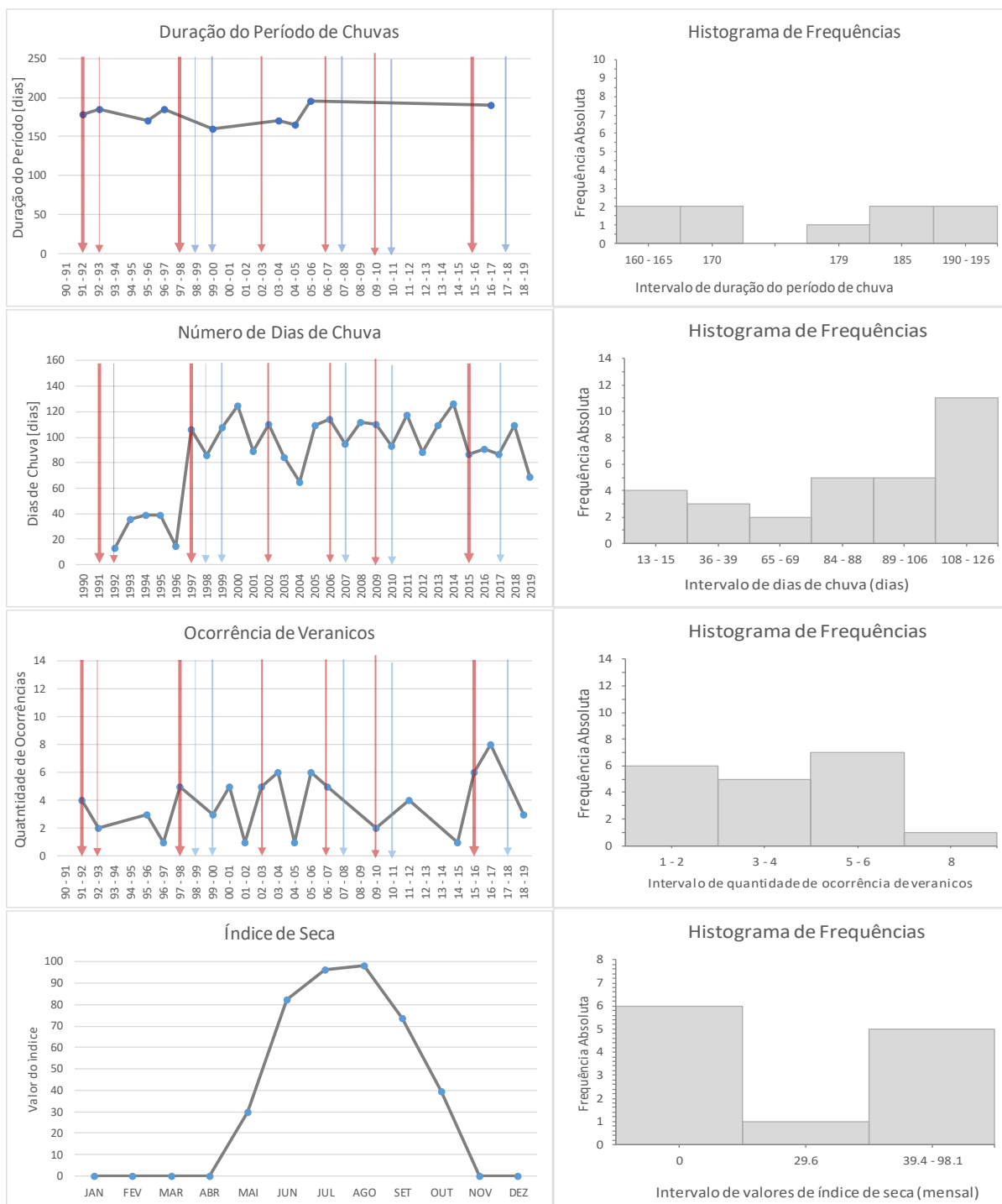
A radiação solar global anual no município assume valores entre 1400KJm⁻² e 1600KJm⁻². A média climatológica da umidade relativa do ar anual é de 69,2%, e da evaporação anual é 1718,6mm, tendo valores mensais próximos de 88mm em fevereiro, e no mês de agosto supera os 308mm. Desta forma evapotranspiração de referência varia entre 1010mm a 1210mm anualmente, e, em escala mensal, o menor valor (<110mm) ocorre em fevereiro, e o maior (>170mm) é observado em setembro.

O município apresenta grande excedente hídrico no verão na maior parte de seu território, com valores entre 200mm e 800mm. O período de excedente hídrico se estende, principalmente, entre os meses de janeiro a março, sendo março o mês com maior valor, até 160mm. Em Porto Nacional predomina a grande deficiência hídrica no inverno, cujos valores anuais variam entre 400mm e 730mm, predominantemente, entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto.



Na Figura 79 disponibiliza-se os gráficos de variação temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias]. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Figura 79. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Porto Nacional - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



Analisando a duração do período de chuva, verifica-se que, entre 1991 e 2018, as durações do período chuvoso neste município retornaram valores dentro do intervalo de 150 e 210 dias. Pelo histograma de frequência verifica-se grande uniformidade na distribuição dos dados. Não observa-se nesta variável um padrão comportamental que pudesse ser associado aos fenômenos ENOS. Esta série histórica mostra tendência de diminuição da duração do período chuvoso, sem que este resultado seja suficientemente expressivo para indicar uma mudança climática.

Da análise dos gráficos do número de dias de chuva, observa-se a prevalência dos valores no intervalo de classe entre 108 e 126 dias. O menor valor da série histórica é de 13 dias, registrado no ano hidrológico 1991-1992 sob o efeito de um El Niño forte. Em Porto Nacional também observa-se clara tendência de aumento no número de dias de chuva, praticamente dobrando a quantidade de dias de chuva no Município entre os anos de 1992 e 2019, sugerindo um forte impacto de mudança climática, que pode estar associada ao barramento do rio Tocantins para a construção da usina hidrelétrica do Lajeado.

Quanto aos veranicos, foi identificado a ocorrência de até 8 registros por ano, no período entre 1991 e 2019, sendo mais comum os anos registrarem de 5 a 6 ocorrências, sendo a média climatológica de 4 ocorrências de veranicos em Porto Nacional. Comumente os valores acima da média são registrados em anos em que se observa a ocorrência de episódios El Niño.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Porto Nacional, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agrícolas. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, evoluindo rapidamente de 30 para 82, progredindo positivamente até agosto, quando atinge o pico de 98, e então, a curva torna-se descendente de agosto até novembro. A produção agrícola de Porto Nacional deve ser mantida, neste intervalo entre abril e novembro, com o suporte de métodos de irrigação. Em 2001 teve início em Porto Nacional o Projeto de Irrigação São João, destinado a implantação de infraestrutura para irrigação de uma área de 5.129ha para o cultivo de frutas (SEPLAN, 2016).

Segundo a SEPLAN (2016) no ano de 2006 a atividade agropecuária de Porto Nacional se fragmentava assim: de 2% a 4% correspondiam à culturas permanentes, de 6% a 10% eram de culturas temporárias, e de 32% a 44% correspondiam ao cultivo de pastagens. Porto Nacional tem um dos maiores rebanhos bovinos da região Central do Estado, com 110.798 reses (SEPLAN, 2016). Considerando os dados da PAM do IBGE, os principais cultivos produzidos no município são: cana-de-açúcar, arroz, coco, feijão, banana, abacaxi, melancia, milho, soja e sorgo. Os dados para análise do cultivo de caju foram adquiridos pelo censo Agropecuário de 2006 e 2017.

No ano de 2003 o cultivo da melancia atingiu o melhor rendimento médio de produtividade, com o valor de 40.000kg/ha, área colhida de 10ha e quantidade produzida de 400t. O resultado deve ter refletido a condição atmosférica deste ano sob efeito de um El Niño moderado, com acumulado anual de chuva (1273,7mm), número de dias de chuva (84 dias) e duração do período chuvoso (170 dias) abaixo da média climatológica do Município, apenas o número de veranicos foi maior (6 eventos), com características hídricas e térmicas adequadas ao cultivo da fruta. Porto Nacional e Gurupi, obtiveram o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de melancia, considerando os 19 anos de dados dos 20 municípios tocantinenses acompanhados na pesquisa PAM. O pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 5.000kg/ha, área colhida de 32ha e quantidade produzida de 160t. Este ano de La

Niña moderada foi marcado por condições meteorológicas muito desfavoráveis a este cultivo, principalmente nos aspectos térmicos, pois o volume anual de chuva foi de 1935,5, número de dias de chuva 125 dias, duração do período chuvoso de 180 dias e 5 veranicos, quando a média climatológica do Município aponta os seguintes valores, respectivamente: 1492,3mm, 87 dias, 178 dias e 4 veranicos. Observando-se a duração do período chuvoso e o excesso de dias de chuva no ano, supõem-se que as chuvas fora do período chuvoso foram muito frequentes.

Em relação ao cultivo do sorgo, conforme apresentado na Figura 80, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2015, com o valor de 3.000kg/ha, área colhida de 3.000ha e quantidade produzida de 9.000t. Apesar dos fatores meteorológicos não serem os mais apropriados com muitas ocorrências de veranicos (6 registros), duração do período chuvoso mais curto (150 dias) e menor volume precipitado (1291,9mm), a produtividade foi a mais alta dos 19 anos analisados da pesquisa PAM, sendo este, também, o melhor resultado do Estado. Um dos motivos pode ser relacionado a esse cultivo ser mais resistente a questão de diminuição hídrica do que os demais grãos analisados nessa pesquisa. Outros fatores que podem ter auxiliado nisso também, além da temperatura, são as boas práticas agrícolas e correção dos nutrientes do solo. Em 2017 observa-se o pior rendimento médio de produtividade do sorgo, com o valor de 1.500kg/ha, área colhida de 2.100ha e quantidade produzida de 3.150t. Neste ano choveu cerca de 400mm a menos que o esperado para o Município, ocorrendo 87 dias de chuva como normalmente acontece, desta forma pode-se inferir que as condições hídricas podem ter responsáveis pela queda no rendimento de produtividade do grão.

Para o cultivo de soja, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2011 a 2013, com valores de 3.000kg/ha, a área colhida aumentou no decorrer dos três anos passando de 20.540ha para 27.000ha e quantidade produzida também aumento, passou de 61.620t para 81.000t. Este período começou em um ano hidrológico sob efeitos de uma La Niña moderada (2010-2011) com a maioria dos parâmetros aqui analisados (precipitação anual, número de dias de chuva e duração do período chuvoso) com valores acima da média climatológica do Município, sendo que somente a ocorrência de veranicos esteve dentro do esperado (4 eventos). No ano hidrológico 2011-2012 as condições normais dominaram o cenário meteorológico, para se constatar mais chuva e maior quantidade de dias de chuva no ano seguinte (2012-2013), mas com duração do período chuvoso significativamente menor (150 dias). A temperatura média do ar, em termos anuais, aumentou de 28,1°C para 29,5°C no decorrer deste três anos, mostrando que o cultivo da soja em Porto Nacional se beneficia de condições hídricas e térmicas acima da média climatológica. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2016 com o valor de 2.100kg/ha, área colhida de 39.500ha e quantidade produzida de 82.950t, sendo este um ano de El Niño forte, com número elevado de ocorrência de veranicos, 8 no total, ou seja, o dobro do esperado. Este excesso de período secos e quentes durante o período chuvoso, que foi de 190 dias, resultou em condições desfavoráveis à cultura, principalmente em lavouras que não fazem uso de métodos de irrigação, pois as chuvas, com total anual de 1422,2mm, também foram um pouco abaixo da média climatológica. Porto Nacional apresenta condições de solo, clima e relevo, favoráveis à produção desta cultura. Isto lhe insere no cenário dos principais municípios produtores de soja no Tocantins, contribuindo para o grande destaque na região agrícola denominada MATOPIBA (CONAB, 2014).

Já para o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2017, com o valor de 4.380kg/ha, área colhida de 14.303ha e quantidade produzida de 62.654t. Mesmo com menor volume de chuva acumulado durante o ano (1090,6mm) distribuídos em 87 dias de chuva e sem dados de outros parâmetros, as condições térmicas normais podem ter sido determinantes para o bom



resultado desta safra. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2005 e 2007 com valores de 2.400kg/ha, no primeiro ano com excesso de chuva (1803,1mm) e no segundo com déficit de chuva (1268,4mm), sendo este último ano hidrológico de ocorrência de um episódio El Niño moderado (2006-2007).

O município de Porto Nacional apresentou o melhor rendimento médio de produtividade para o cultivo do feijão dentre os 20 municípios tocantinenses analisados no período de 2000 a 2018 da pesquisa PAM. Este resultado foi obtido em 2002, com o valor de 2.525kg/ha, em uma área colhida de 80ha e quantidade produzida de 202t. Os dados de precipitação anual, número de dias de chuva, duração do período chuvoso e número de veranicos neste anos foram, respectivamente: 1624mm, 110 dias, 210 dias e 5 ocorrências. Eles sugerem uma melhor distribuição das chuvas durante o ciclo de produção da cultura desde a implantação das lavouras até a colheita. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2004 e 2005 com o valor de 700kg/ha. Destaca-se que no ano hidrológico 2004-2005 a chuva bem acima da média, o maior número de dias de chuva, o alongamento do período chuvoso e o maior registro de veranicos, podem ter sido os fatores prejudiciais à produção do feijão.

Entre os 20 municípios tocantinenses acompanhados na pesquisa PAM, no período de 2000 a 2018, Porto Nacional, juntamente com Dianópolis e Palmas, foram os que apresentaram o segundo melhor rendimento médio de produtividade para o cultivo do coco da baía. Em Porto Nacional o valor deste índice foi de 20.000 frutos/ha, registrado em vários anos, o que indica que esse é um Município com condições propícias para essa cultura, tanto em aspectos físicos quanto atmosféricos. O pior resultado ocorreu no ano 2003, de moderado El Niño, com parâmetros hídricos abaixo da média climatológica e maior registro de veranicos, que, provavelmente, conduziram ao rendimento médio de produtividade de 11.214 frutos/ha, área colhida de 107ha e quantidade produzida de 1.200 mil frutos.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o município de Porto Nacional apresentou o terceiro melhor rendimento médio de produtividade, dentre os 20 municípios analisados no período de 2000 a 2018 da pesquisa PAM. Esse fato ocorreu nos anos de 2003 a 2008, com exceção de 2006, cujos valores foram de 80.000 kg/ha, para uma área colhida variando de 128ha a 280ha, que refletiu em variações na quantidade produzida de 10.240t para 22.400t. As condições meteorológicas deste período também foram muito diversificadas, apresentando anos de El Niño, outros de La Niña e ainda alguns de neutralidade. Uma análise detalhada de cada ano possibilitaria um entendimento mais apurado sobre as influências das condições atmosféricas no bom resultado desta cultura. Já o pior rendimento médio de produtividade ocorreu no ano 2011 com o valor de 41.431kg/ha, área colhida de 290ha e quantidade produzida de 12.015t, este que foi um ano de La Niña moderada com precipitação anual de 1788,6mm, 117 dias de chuva, duração do período chuvoso de 180 dias, todos valores acima da média climatológica de Porto Nacional, mas com 4 veranicos. Estes dados sugerem potencial dificuldade com os tratos culturais por causa do excesso de chuva, e condições térmicas e de insolação inadequadas em estádios críticos da cultura.

Segundo os dados da pesquisa PAM, Porto Nacional apresentou o maior rendimento médio de produtividade da bananicultura dos 20 municípios tocantinenses analisados, juntamente com Dianópolis. Seu melhor resultado ocorreu no ano de 2015, com o valor de 20.000kg/ha, área colhida de 45ha e quantidade produzida de 900t. Apesar da menor quantidade precipitada no ano hidrológico de 2014/2015, total anual de 1291,9mm distribuídos em 87 dias de chuva, a menor duração do período chuvoso (150 dias) e os seis veranicos registrados deram condições térmicas, de calor constante, favoráveis ao desenvolvimento desta cultura. O pior rendimento ocorreu no ano 2000, foram 800kg/ha

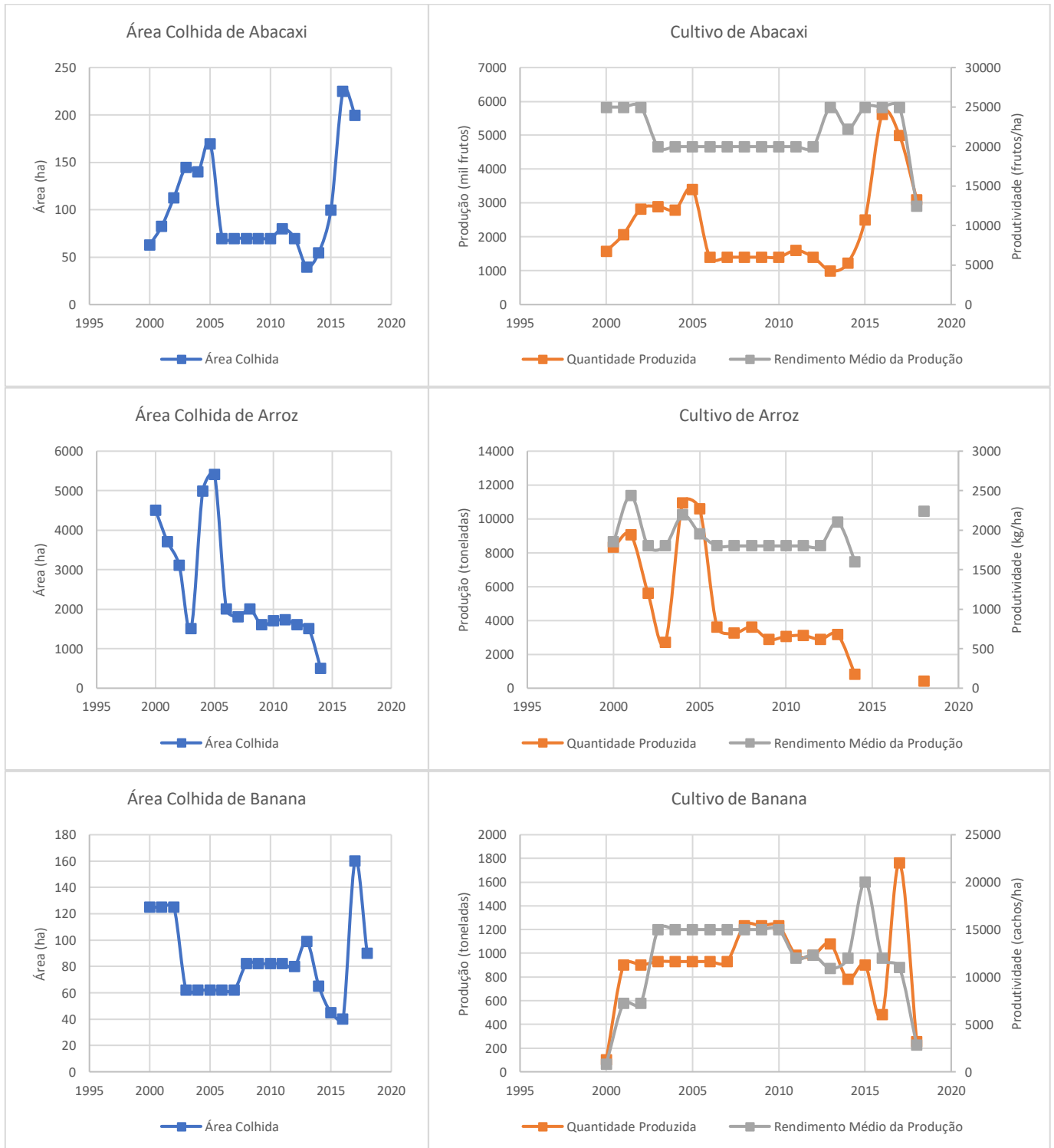
em uma área colhida de 125ha e quantidade produzida de 100t. Sendo este um ano hidrológico de La Niña moderada as condições meteorológicas apresentaram-se muito desfavoráveis a este e outros cultivos, principalmente nos aspectos térmicos. O total anual precipitado foi 1935,5mm, 125 dias de chuva, duração do período chuvoso de 180 dias e 5 veranicos, todos acima da média climatológica do Município.

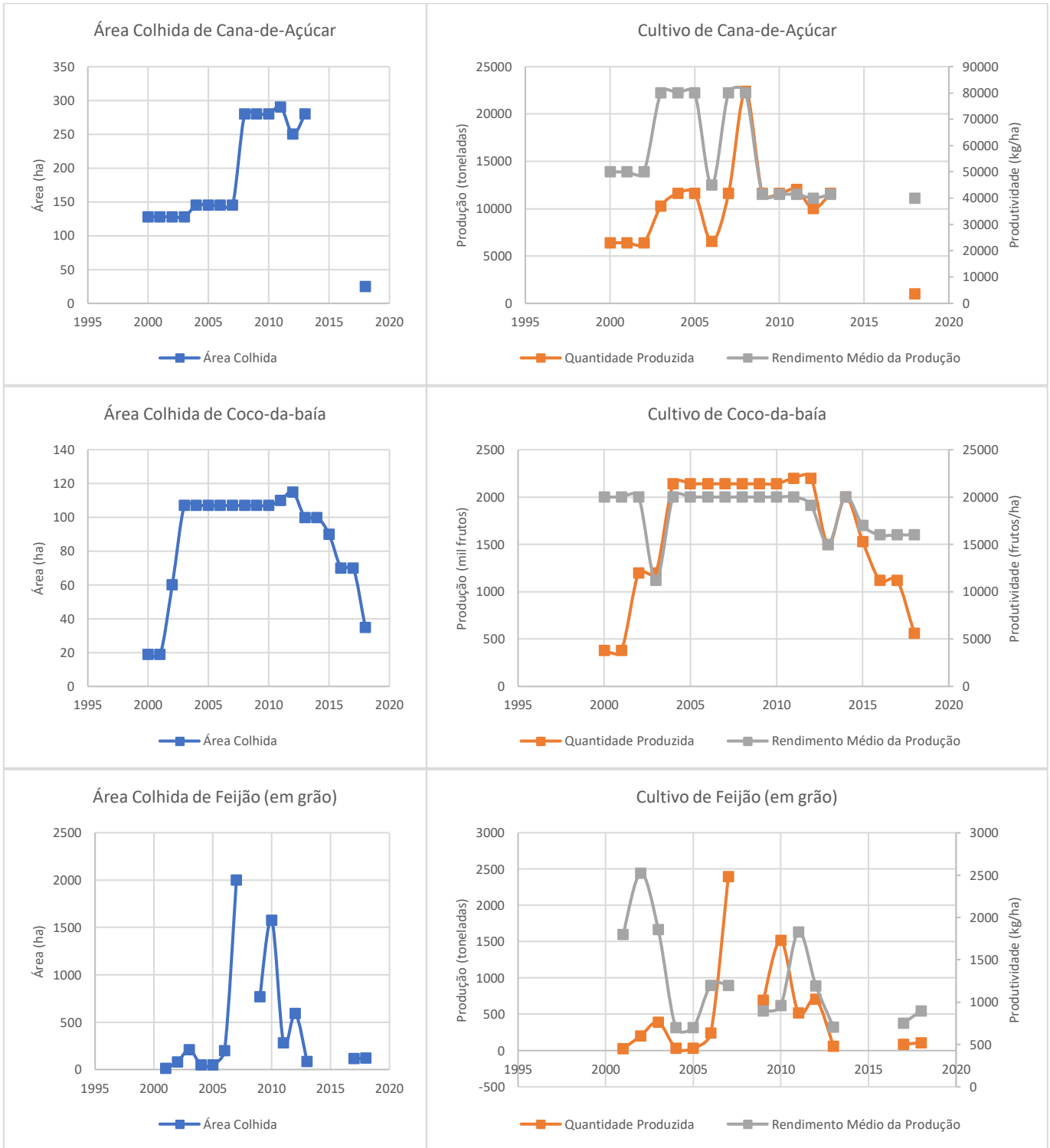
Em relação ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2001, com o valor de 2.439kg/ha, área colhida de 3.710ha e quantidade produzida de 9.051t. Com precipitação anual de 1485,8mm e apenas um veranico no decorrer do 185 dias do período chuvoso, as condições mostraram-se favoráveis a esta cultura de grande exigência hídrica, favorável até mesmo para lavouras de sequeiro. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2014 com o valor de 1.600kg/ha, área colhida de 500ha e quantidade produzida de 800t, que apesar de ter condições semelhantes à 2001, precipitação anual de 1530,2mm, 180 dias de período chuvoso e um veranico, as dificuldades pode estar associada ao elevado número de dias de chuva, 126 no total, que podem ter dificultado tanto a implantação da cultura quanto o momento da colheita.

Para o cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu em sete anos (2000 a 2002, 2013 e de 2015 a 2017), com valores de 25.000 frutos/ha. Esse foi o terceiro município com o melhor rendimento médio de produtividade deste fruto, juntamente com Palmas, Arraias e Darcinópolis, considerando os 20 municípios analisados nos 19 anos da pesquisa PAM. A diversidade de condições meteorológicas registradas em uma quantidade tão grande de anos, evidenciam o quão favoráveis são as condições ambientais de Porto Nacional a este cultivo. No ano de 2018 foi registrado o pior rendimento médio de produtividade do abacaxi, com o valor de 12.508 frutos/ha, área colhida de 248ha e quantidade produzida de 3.102 mil frutos. A análise das séries históricas apontam o excesso de chuva, com total anual de 1783,9mm, acima da média climatológica como esperado em anos de La Niña, como provável responsável pela quebra na produtividade, mas em associação com outras condicionantes agrícolas.



Figura 80. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Porto Nacional – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.

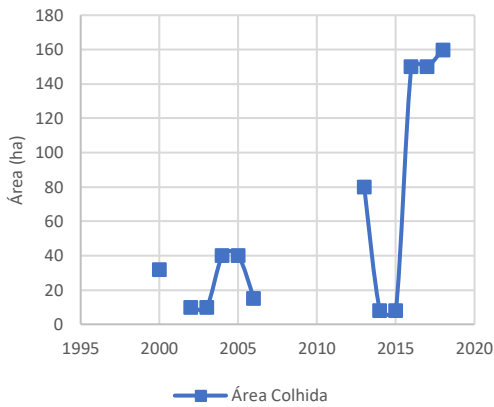




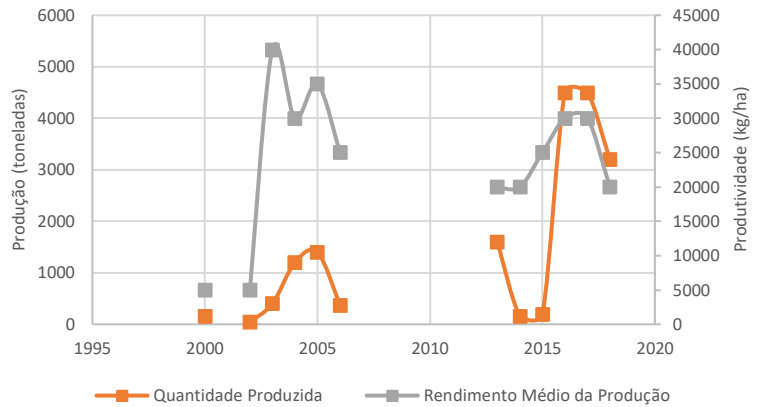


GOVERNO DO TOCANTINS

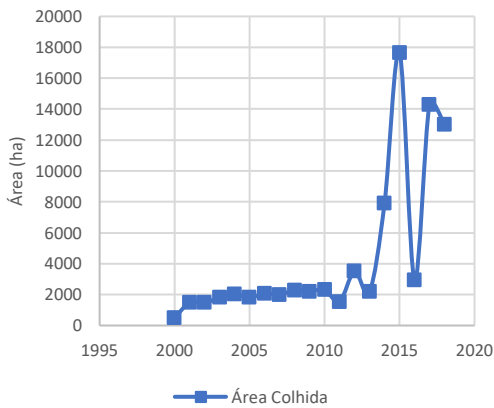
Área Colhida de Melancia



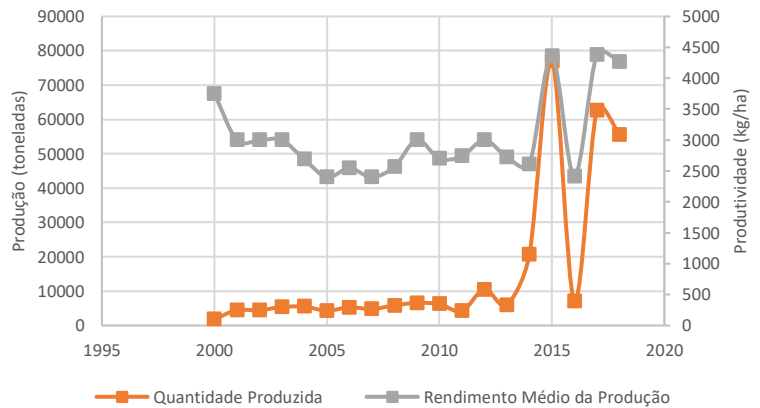
Cultivo de Melancia



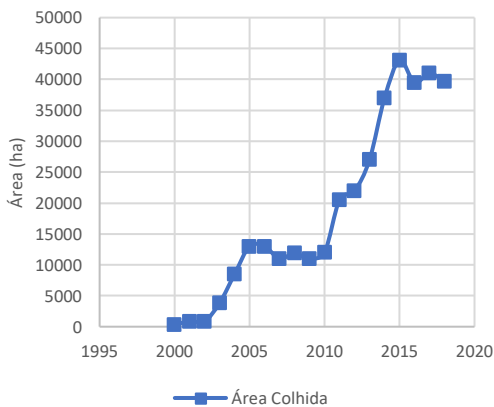
Área Colhida de Milho (em grão)



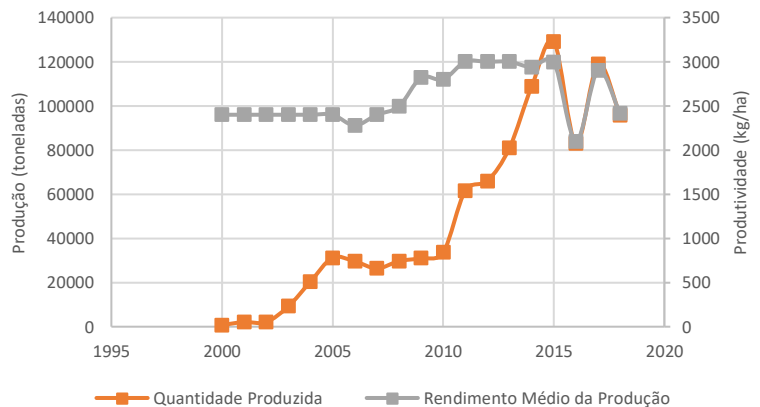
Cultivo de Milho (em grão)

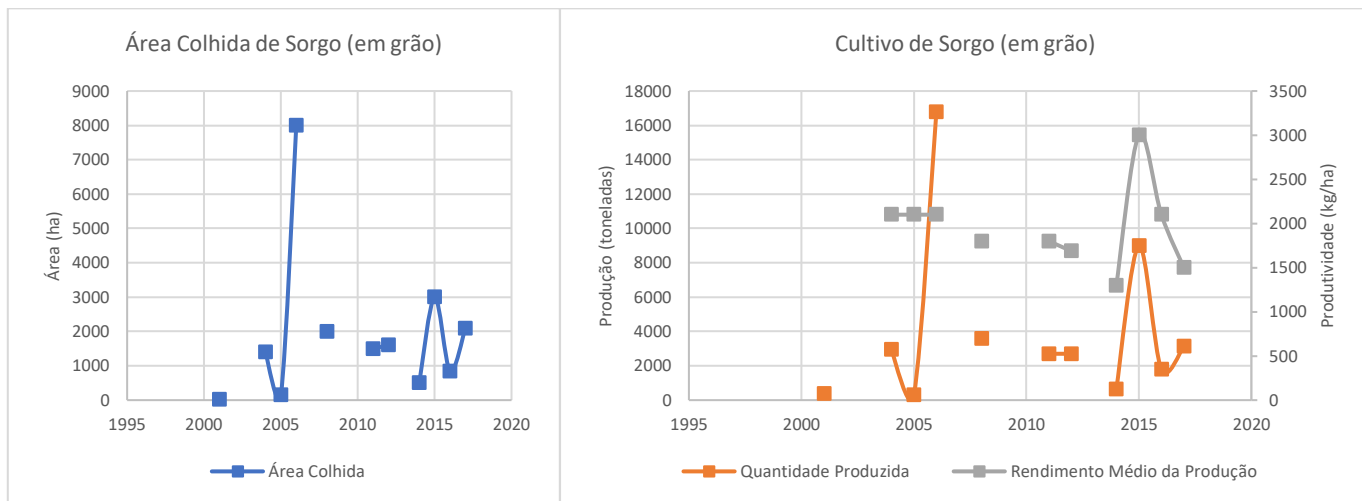


Área Colhida de Soja (em grão)



Cultivo de Soja (em grão)





Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de caju para o período analisado.



4.5.11. Caseara

Caseara é um município da região Centro-Oeste do Tocantins, situada a 196 metros de altitude. O município está localizado sobre as bacias hidrográficas do rio Araguaia, rio do Côco e do rio Caiapó. São cinco os principais tipos de uso e cobertura da terra que predominam no município: Cerradão; Cerrado Sentido Restrito; Floresta Estacional Semidecidual Aluvial; Floresta Ombrófila Densa Submontana; e Agropecuária. A agropecuária é o uso predominante, ocupando mais da metade do território e distribuído por todas as regiões, sem maior concentração em alguma área específica de Caseara (IBGE, 2013; SEPLAN, 2007; 2016; CIDADE-BRASIL, 2020).

Segundo o Inventário Socioeconômico do Tocantins (SEPLAN, 2016), Caseara se estende por uma área territorial de 1.691,6km², onde, em 2006, mais de 83% é ocupada por estabelecimentos rurais e menos de 6% de sua fitoecologia era de mata ou floresta natural.

A análise climatológica de Caseara, mostra que a temperatura mínima anual varia entre 22°C e 23°C, sendo os meses de julho e agosto os mais frios. Sua temperatura média anual encontra-se entre 26°C e 27°C e a máxima anual varia entre 32°C e 33°C. Agosto e setembro registram os maiores valores mensais de $T_{máx}$, chegando aos 37°C.

Caseara apresenta valores anuais acumulados de precipitação entre 1536mm e 1792mm, sendo a média climatológica de 1552,6mm. Nos meses de janeiro e de março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, superiores a 240mm. O período chuvoso tem duração climatológica de 181 dias. Estes dias chuvosos se estendem entre os meses de outubro a abril, quando são observadas a ocorrência de até 9 veranicos por ano, em média. Em março podem ocorrer até 18 dias de chuva, sendo o valor climatológico anual de 98 dias.

A nebulosidade cobre entre 50% e 60% do céu em termos anuais, com maior percentual de cobertura (70%-80%) em fevereiro e março, e menor cobertura (20%-30%) de junho a agosto. Diante disto se constata uma insolação anual de 2200 a 2400 horas, com média mensal inferior a 140 horas em fevereiro, e maior número de horas de insolação em julho e agosto (>280).

A radiação solar global anual no município varia entre 1400KJm⁻² e 1500KJm⁻². A umidade relativa do ar, média anual, fica entre 65% e 75%. A evaporação anual varia entre 1360mm e 1530mm, tendo valores mensais próximos de 66mm em fevereiro, e no mês de agosto supera os 242mm. Assim, Caseara apresenta evapotranspiração de referência variando entre 810mm e 1010mm anualmente, e, em escala mensal, o menor valor ocorre em fevereiro e abril (<110mm), e o maior (até 160mm) é observado em agosto.

O município apresenta grande excedente hídrico na maior parte de seu território, com valores entre 200mm e 600mm, cujo período de excedente hídrico se estende pelos meses de dezembro a março, sendo março o mês com maior valor, até 120mm. Em Caseara predomina a deficiência hídrica moderada no inverno, cujos valores anuais variam entre 370mm e 670mm, se estabelecendo entre os meses de maio e setembro, sendo mais intensa em agosto.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 81 o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Caseara com dados obtidos entre 1993 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam

a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Para análise da duração do período de chuva de Caseara foram utilizados dados do período entre 1993 a 2018, retornando valores dentro do intervalo de 145 e 225 dias, com maior de frequência dos dados na faixa entre 185 e 190 dias. Não foram claramente identificadas variabilidades decorrente de El-Niño ou de La Niña. Porém constata-se que, a maior amplitude entre dois anos consecutivos ocorreu entre os anos hidrológicos de 2005-2006 e 2006-2007, cujas respectivas durações são de 225 dias e 145 dias (valores extremos das série histórica), decréscimo compatível com a passagem de um ano de neutralidade para o seguinte sob efeito de um El Niño moderado. Esta série histórica mostra a tendência de redução da duração do período chuvoso, da ordem de 20 dias a menos de duração entre 1993 e 2018, sugerindo uma análise com relação a possíveis mudanças climáticas em Caseara.

Quanto ao número de dias de chuva, foram utilizados dados do período entre 1990 a 2019. Caseara tem valores frequentes na faixa entre 104 e 118 dias, com o menor valor de 32 dias (em 1992). Se verifica que, comumente, ocorre redução dos números em anos de registro de El Niño. Durante os eventos La Niña constata-se o aumento no número de dias de chuva, mas com associação não tão frequente e nem tão expressivo como o correspondente efeito do El Niño. Nesta variável não percebe-se indícios suficientemente fortes que sugiram alguma mudança climática no Município, apesar da série de dados apresentar tendência de crescimento do número de dias de chuva durante o período analisado.

Do gráfico de ocorrência de veranicos, verifica-se que Caseara registrou anos com até 8 eventos, sendo 3 ocorrências o número que representa a climatologia municipal. O intervalo de classe que acumula o maior número de registros tem valores entre 1 e 2 veranicos por ano. Esta variável é a que apresenta a menor compatibilidade entre as variabilidades apresentadas na série histórica e a ocorrência dos fenômenos ENOS. Quanto à mudanças climáticas pode-se levantar a possibilidade de haver alguma, pois os dados históricos mostram a tendência de diminuição de cerca de 20% no número de ocorrências de veranicos nestes 25 anos analisados.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Caseara, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano, com condição idêntica nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agropecuárias. O índice cresce a partir de abril, evolui rapidamente no decorrer do mês de maio, atingindo o pico de 96 no início do mês de julho, quando então, a curva torna-se descendente, primeiro muito lentamente em julho e de forma mais acentuada entre agosto e novembro. A produção agrícola de Caseara deve ser mantida no intervalo entre abril e novembro com o suporte de métodos de irrigação.

Em SEPLAN (2016) verifica-se que, da atividade agropecuária de Caseara no ano de 2006, menos de 1% correspondia à culturas permanentes, de 6% a 10% eram de culturas temporárias, e de 18% a 31% correspondiam ao cultivo de pastagens. Vale ressaltar que os cultivos de soja e milho, vêm se consolidando no Município, contribuindo de forma significativa na economia do Estado.

Para o cultivo de soja, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 3.150kg/ha, área colhida de 31.397ha e quantidade produzida de 98.901t. Pode-se inferir que a moderada La Niña de 2017-2018 resultou em aumento no número de dias de chuva, tornando as condições favoráveis a cultura pela melhor distribuição da chuva. Já o pior rendimento ocorreu no ano



2004, cujo valor de 2.100kg/ha foi obtido em uma área colhida de 2.400ha com quantidade produzida de 5.040t. Todos os parâmetros meteorológicos mostram-se acima da média climatológica do Município, condição que pode ter dificultado a produção da soja em Caseara.

Já para o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2012, com o valor de 5.085kg/ha, área colhida de 1.220ha e quantidade produzida de 6.204t, sendo este um ano hidrológico típico de Caseara, com os seguintes valores: precipitação anual de 1469mm, 99 dias de chuva, período chuvoso com 185 dias de duração e 2 veranicos. Os piores rendimentos foram observados no período que abrange os anos de 2000 a 2008, com o valores de 1.500kg/ha. Com tantos anos apresentando baixos rendimentos, certamente as condições meteorológicas não devem ser as que mais influenciaram tais resultados.

O cultivo da melancia apresentou o melhor rendimento médio de produtividade nos últimos cinco anos da pesquisa PAM utilizada neste diagnóstico, ou seja, de 2014 a 2018, com o valor de 10.000kg/ha. Durante estes anos verifica-se que a precipitação anual ficou sempre abaixo do valor climatológico de Caseara, que é de 1552,6mm, o número de dias de chuva e duração do período chuvoso estiveram bem próximos da média e a quantidade de veranicos foi muito diversa, de 1 a 7 ocorrências em diferentes anos. Este dados mostram que os padrões climatológicos de Caseara atendem as exigências desta cultura com muita tranquilidade, especialmente os aspectos hídricos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2013 com o valor de 8.000kg/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 160t., mesmo com condições meteorológicas bem próximas da climatologia anual do Município. A melancia se adapta melhor a clima quente e seco, temperatura variando entre 25°C e 30°C e precipitação média em torno de 500mm por ciclo (SEAGRO, 2019c). Os valores de precipitação anual, número de dias de chuva, duração do período chuvoso e ocorrência de veranico no ano hidrológico 2012-2013 foram os seguintes, respectivamente: 1457,7mm, 102 dias, 185 dias e 2 veranicos.

Em relação ao cultivo do feijão, conforme apresentado na Figura 82, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2017, obtendo o valor de 1.112kg/ha em uma área colhida de 260ha e 289 toneladas produzidas. Isso ocorreu devido ao baixo número de ocorrências de veranicos, apenas um durante o período chuvoso que durou 170 dias, e a precipitação anual de 1312,2mm foi distribuída em 104 dias. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2013 e 2014 com o valor de 600kg/ha, área colhida de 40ha e 45ha e quantidade produzida de 24t e 27t, respectivamente. Os dados meteorológicos analisados não fornecem evidências que justifique a piora no rendimento da cultura, pois o ano hidrológico 2012-2013 tem condições muito próxima das climatologia local e em 2013-2014 a chuva foi abaixo da média (1294,9mm) e a duração do período chuvoso também (155 dias).

Caseara é o município que apresenta o terceiro melhor rendimento médio de produtividade do cultivo do coco da baía, dentre os 20 municípios tocantinenses analisados na pesquisa PAM. Este resultado positivo ocorreu no ano de 2017, sendo obtido o valor de 19.214 frutos/ha a partir de uma área colhida de 14ha em que foi produzida de 269 mil frutos. Com aproximadamente 240mm a menos de chuva e 104 dias de chuva no ano, a produção poderia ter sofrido com a restrição hídrica, porém a ocorrência de apenas um veranico durante os 170 dias do período chuvoso e a sazonalidade da precipitação garantiram o necessário para um bom rendimento do coco da baía. Nos anos de 2008 e 2009 foram registrados os piores rendimentos médios, correspondendo aos valores de 6.000 frutos/ha, área colhida de 24ha e quantidade produzida de 144 mil frutos. Nestes dois anos se constata o aumento no número de dias de chuva, 113 e 138 dias respectivamente, maior duração dos períodos chuvosos, 190 e 205 dias respectivamente, e apenas um veranico em cada ano, com precipitação anual de 1354mm e

1845,1mm respectivamente. Tais números sugerem que os aspectos térmicos ideais podem ter sido comprometidos com tantos dias de chuva e/ou com maior quantidade de nuvens.

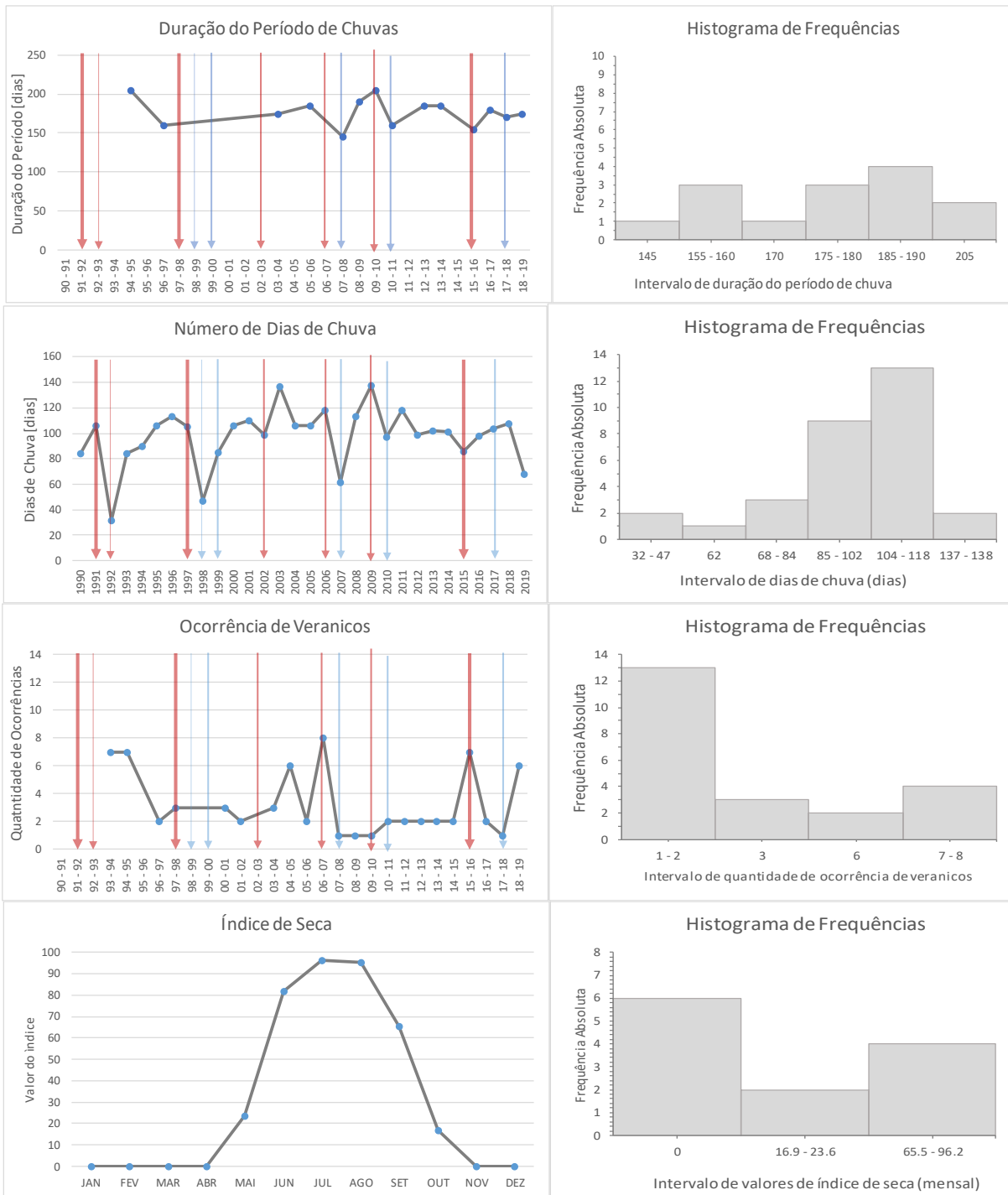
Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2013, com o valor de 9.000kg/ha, área colhida de 35ha e quantidade produzida de 315t. Este foi um ano típico de Caseara, neutro quanto aos fenômenos ENOS, precipitação anual de 1457,7mm, 102 dias de chuva no ano, período chuvoso com 185 dias de duração e 2 veranicos, condições favoráveis em todas as etapas de desenvolvimento da cultura. O pior rendimento ocorreu no ano 2000, sob efeito de uma La Niña moderada, com aproximadamente 430mm a mais de chuva que o esperado em um ano normal, 10 dias a mais de chuva e período chuvoso 24 dias mais longo, resultando em valores de 500kg/ha, área colhida de 30ha e quantidade produzida de 15t.

O melhor rendimento médio de produtividade cultivo de arroz ocorreu no ano de 2015. Foram 3.000kg/ha colhidos em uma área de 570ha que produziu 1.710t do grão. Já os piores rendimentos ocorreram entre 2001 a 2003 e também nos anos de 2007 e 2008, com o valor de 1.300kg/ha. O ano hidrológico 2002-2003 foi o segundo mais chuvoso da série histórica 1990-2019 de Caseara, mesmo estando sob a influência de um El Niño moderado, com valor anual de precipitação acumulada de 2173,2mm e 137 dias de chuva. No sentido oposto, o ano hidrológico 2006-2007 foi o mais seco desta série histórica, com valor de 929,9mm de precipitação anual, 62 dias de chuva, período chuvoso com 145 dias de duração e somente um veranico.

O município de Caseara se apresenta como o segundo município com o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo do abacaxi, atrás apenas de Dianópolis e Formoso do Araguaia, totalizando 26.000 frutos/ha, com área colhida de 15ha e de 20ha e quantidade produzida de 390 mil frutos e de 520 mil frutos, dados relativos aos anos de 2016 e 2017, respectivamente. Deve-se destacar que o ano hidrológico 2015-2016 teve os efeitos de forte El Niño e o ano hidrológico seguinte, 2016-2017, foi de neutralidade. Mesmo assim ambos apresentaram precipitação total acumulada abaixo da média climatológica (1255,5mm e 1312,2mm, respectivamente), número de dias de chuva próximos à média (98 dias e 104 dias, respectivamente), duração do período chuvoso também perto da média (180 dias e 170 dias, respectivamente) e correspondentes 2 e 1 veranico. Tais valores ainda apresentam-se dentro das faixas limites exigidos por tal cultivo. Já o piores rendimentos ocorreram nos anos 2008 e 2009 com o valor de 18.000 frutos/ha, área colhida de 5ha e quantidade produzida de 90 mil frutos. Primeiro é fundamental recordar que o ano de 2007 foi marcado por uma seca severa no Município, principalmente em se tratando de uma cultura de ciclo longo, aproximadamente 18 meses (SEAGRO, 2019b). Estes dois anos hidrológicos de menor rendimento para o abacaxi, 2007-2008 e 2008-2009, apresentaram características meteorológicas que sugerem que os aspectos térmicos podem ter sido do ponto de vista agrícola, considerando que maior quantidade de dias de chuva podem também corresponder a maior quantidade de nuvens e conseqüentemente menor insolação. Nesse município, haviam informações sobre o cultivo de abacaxi nos dados IBGE nos seguintes momentos: no ano 2000, no período entre 2008 a 2013, e também nos anos de 2016, 2017 e 2018. Apesar de varias oscilações da quantidade de área colhida ao longo desses anos, houve uma diminuição de 50ha em 2000 para 15ha em 2018.



Figura 81. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Caseara - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.

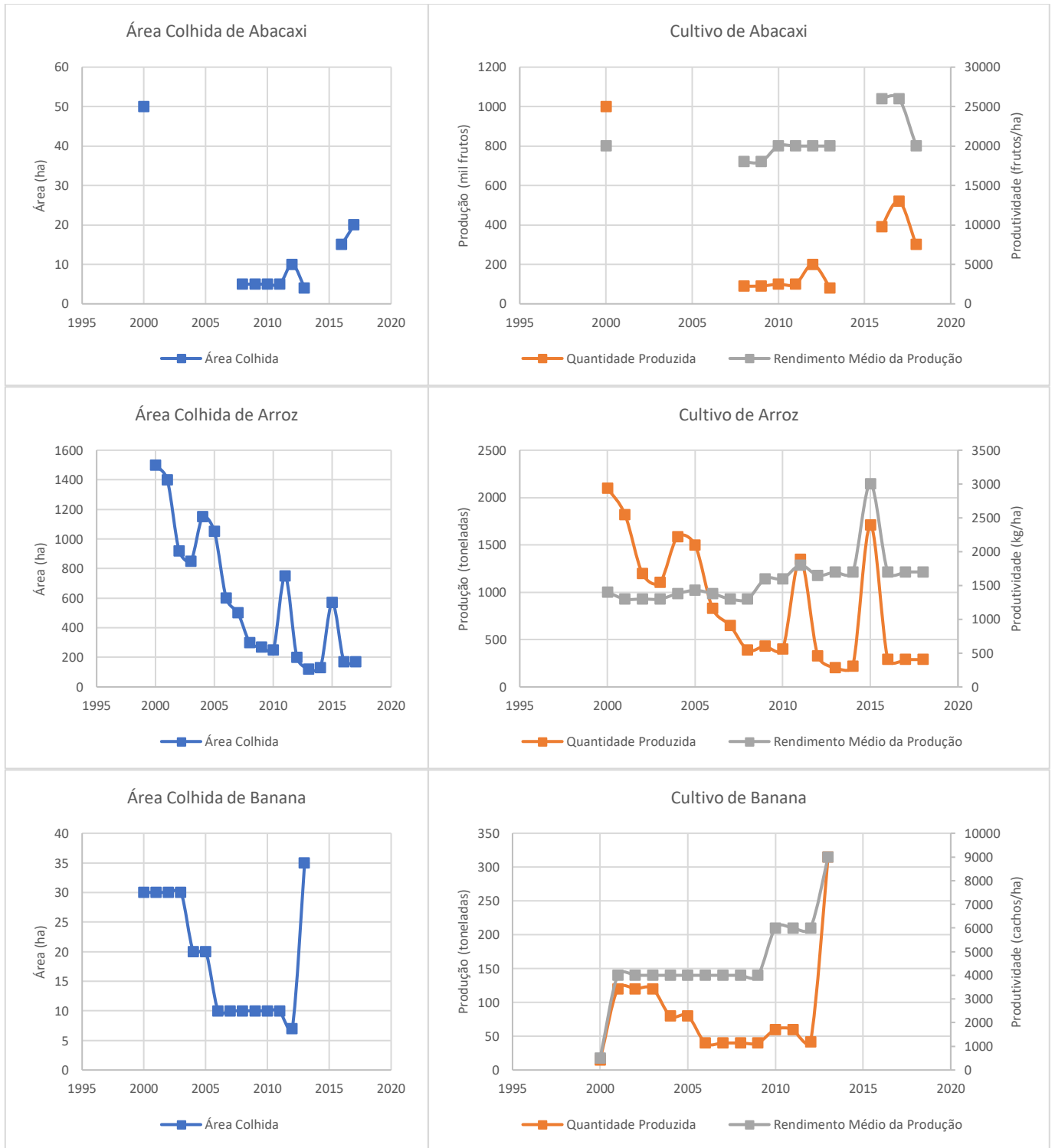


Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.

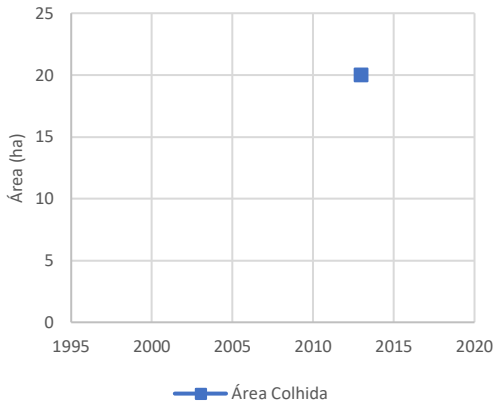
Figura 82. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Caseara – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.



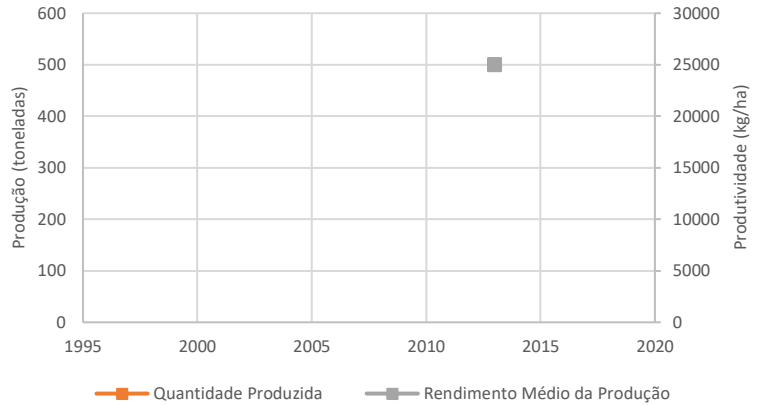


GOVERNO DO TOCANTINS

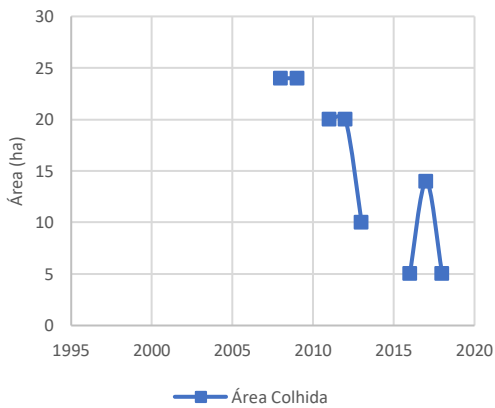
Área Colhida de Cana-de-Açúcar



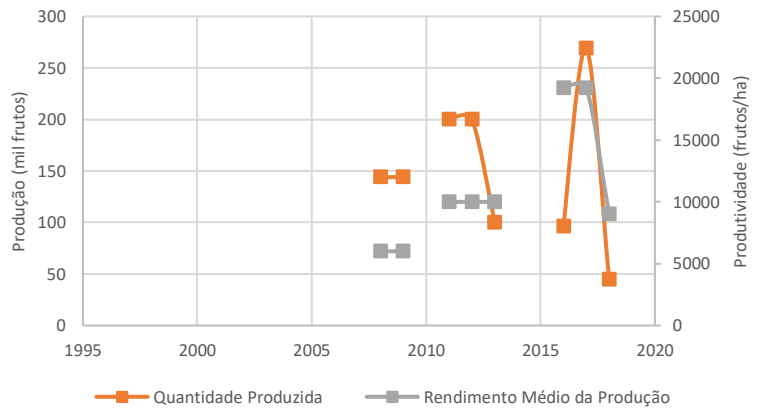
Cultivo de Cana-de-Açúcar



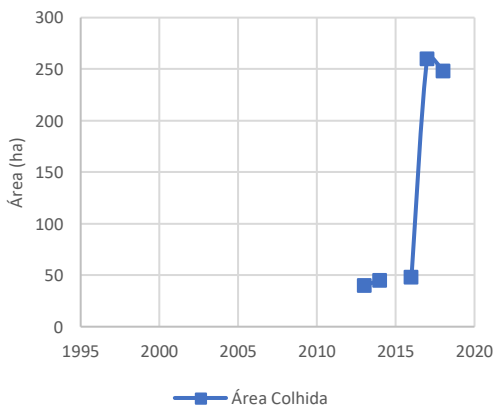
Área Colhida de Coco-da-baía



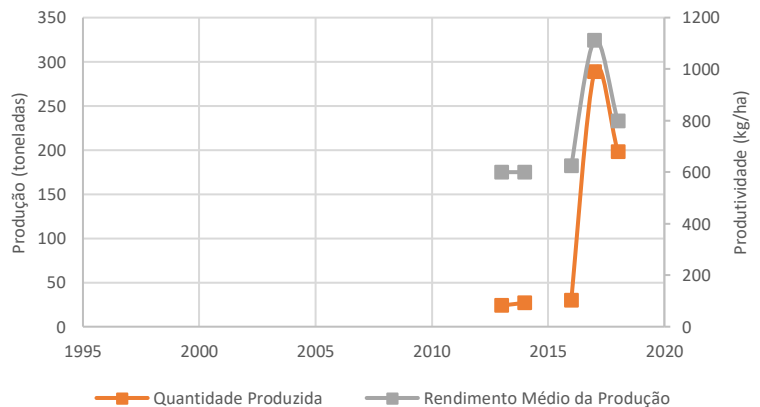
Cultivo de Coco-da-baía

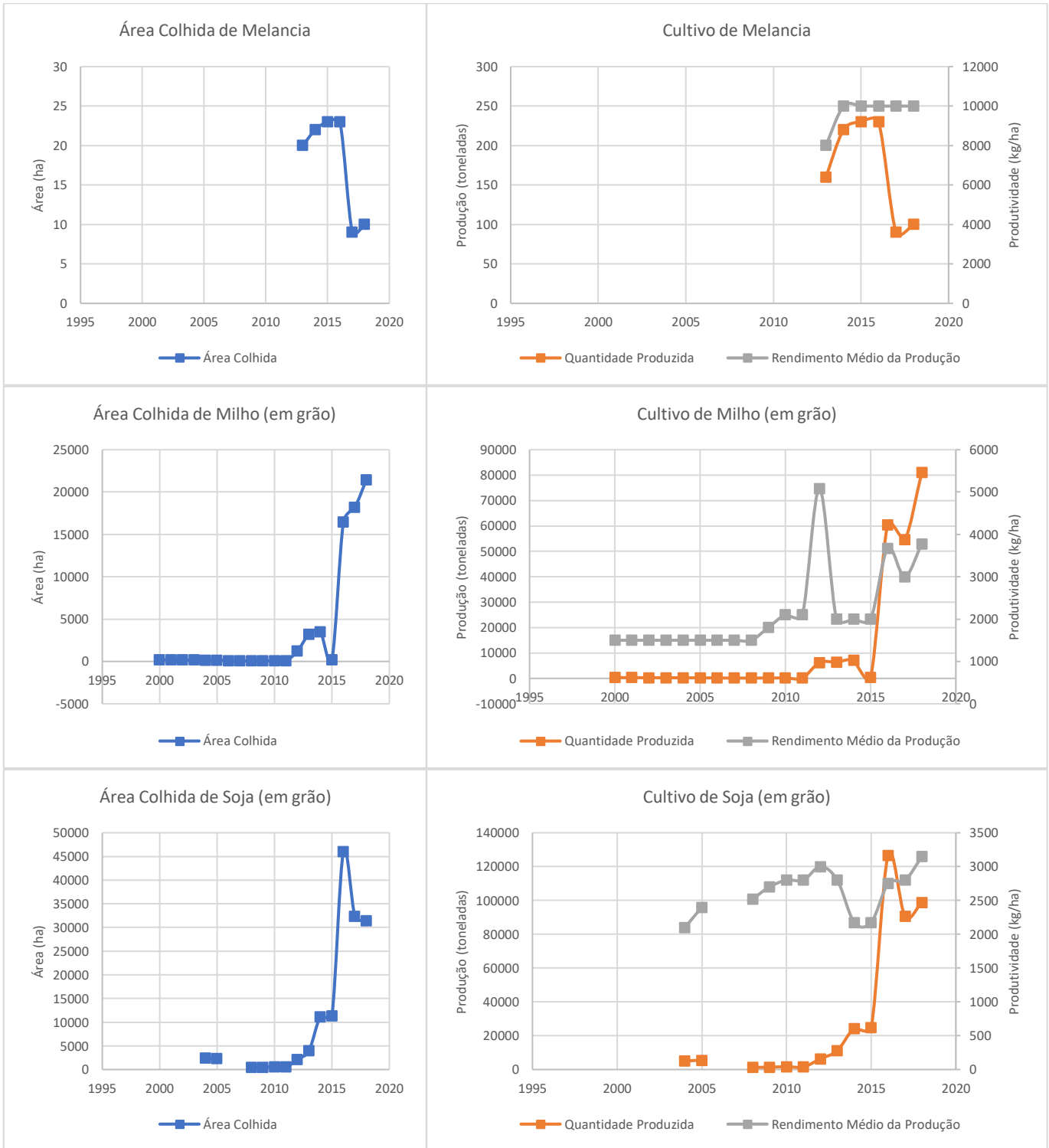


Área Colhida de Feijão (em grão)



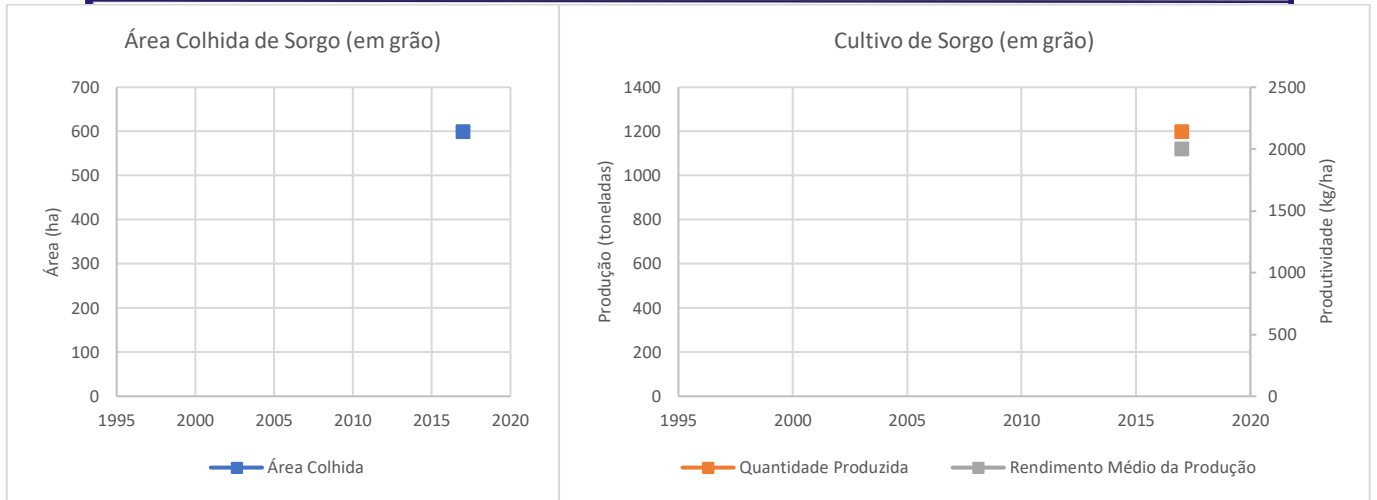
Cultivo de Feijão (em grão)







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de caju para o período analisado.

4.5.12. Paraíso do Tocantins

O quinto município mais populoso do Tocantins (51.891 habitantes), pertence a região Centro-Oeste. Com 1.268,1km² de área e 411 metros de altitude (IBGE 2020, CIDADE-BRASIL, 2020). Quanto ao uso e cobertura do solo, Paraíso do Tocantins apresenta: Cerrado Sentido Restrito, Cerradão, e Agropecuária (concentrada na parte oeste do município) (SEPLAN, 2007). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia a R\$187.686,00 e R\$4.870,54, ambos passando para R\$764.692,82 e R\$16.744,24 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capital* anual mostrou um avanço para R\$1.196.353,00 e R\$23.756,02. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuário para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$4.951,00; R\$23.688,13; e R\$22.352,00; respectivamente. Para o setor da indústria os valores foram: R\$20.762,00; R\$160.748,85; e R\$244.742,00. Por último temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social, que para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$133.512,00; R\$471.365,11; e R\$786.840,79; respectivamente.

Paraíso do Tocantins apresenta temperatura mínima anual com valores entre 18°C e 23°C. Sua temperatura média anual encontra-se entre 24°C e 27°C e a máxima anual varia entre 30°C e 33°C. Em setembro são registrados os maiores valores mensais de $T_{máx}$, chegando aos 37°C.

O regime anual de chuvas assume valores entre 1792mm e 1920mm, sendo o valor climatológico anual de 1928,8mm. No mês de março são registrados os maiores valores mensais de precipitação, de até 320mm. O período chuvoso de Paraíso dura entre 170 e 180 dias, com média climatológica de 178 dias. Os dias chuvosos se estendem entre os meses de novembro a abril, quando são observadas a ocorrência de até 8 veranicos por ano, com média climatológica de 4 ocorrências. Nos meses de janeiro e março pode chover em 18 dias. A média climatológica anual do número de dias de chuva em Paraíso do Tocantins é de 108 dias.

A cobertura média de nuvens fica em torno de 50% neste Município, com maior percentual (70%-80%) de novembro a março, e a menor em julho (10%-20%). Diante disto se constata uma insolação anual de 2200 a 2400 horas, com média mensal inferior a 140 horas em fevereiro, e maior quantidade (>280 horas) em julho e agosto.

A radiação solar global anual no Município varia entre 1400KJm⁻² e 1600KJm⁻². A umidade relativa do ar, média anual, fica entre 65% e 70%. A evaporação anual varia entre 1530mm e 1870mm, tendo valores mensais próximos de 88mm de janeiro a março, e no mês de agosto supera os 264mm. Como resultado da combinação deste elementos e as características do solo, Paraíso do Tocantins apresenta evapotranspiração de referência variando entre 1010mm a 1210mm anualmente, e, em escala mensal, o menor valor ocorre em fevereiro (100mm-110mm), e o maior é observado em setembro (até 170mm).

A maior parte de seu território apresenta grande excedente hídrico no verão, com valores anuais entre 400mm e 800mm, dados que se estende pelos meses de dezembro a março, sendo fevereiro e março os meses com maior excedente, entre 120mm e 180mm mensais. Verifica-se o predomínio da deficiência hídrica moderada no inverno, com valores anuais que variam entre 400mm a 640mm, se estabelecendo entre os meses de junho e setembro, de forma mais severa em agosto.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 83, o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de



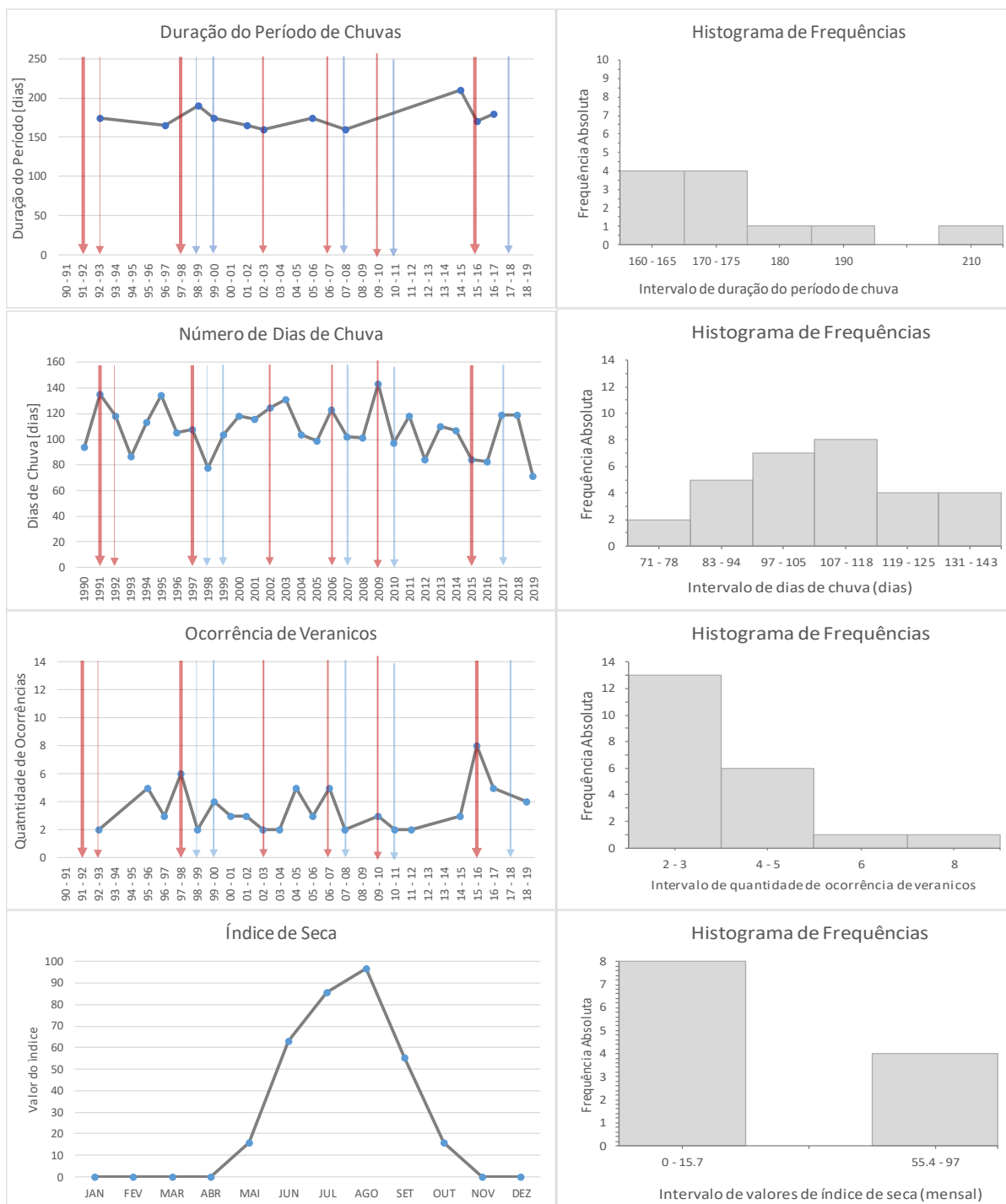
dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Paraíso do Tocantins com dados obtidos entre 1990 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Para análise da duração do período de chuva de Paraíso do Tocantins foram utilizados dados do período entre 1992 a 2018. As durações do período chuvoso neste município retornaram valores dentro do intervalo de 160 e 210 dias, com maior de frequência dos dados na faixa entre 160 e 175 dias. O padrão comportamental desta variável não possibilita uma clara associação dos aumentos das durações com as La Niñas, nem das reduções com os El Niños, como seria esperado. O pequeno aumento das durações do período chuvoso entre os anos de 1992 e 2018, evidenciado pela tendência dos dados da série histórica, não é suficiente para supor alguma mudança climática no Município.

Quanto ao número de dias de chuva, foram utilizados dados do período entre 1990 a 2019. Paraíso do Tocantins tem valores frequentes na faixa entre 107 e 118 dias, com o menor valor de 71 dias (em 2019). Verifica-se aumento dos números em alguns anos com registro de La Niña, mais precisamente nos episódios 1999-2000, 2010-2011 e 2017-2018. O efeito oposto, aumento do número de dias de chuva, também é percebido quando associado ao evento El Niño, com maior frequência constatada nos episódios de 1991-1992, 1997-1998, 2006-2007, 2009-2010 e 2015-2016. A série histórica mostra a tendência deste conjunto de dados de diminuir a quantidade de dias de chuva com o passar dos anos, redução da ordem de 25%, sugerindo o estabelecimento de alguma mudança climática neste Município.

Do gráfico de ocorrência de veranicos, verifica-se em Paraíso do Tocantins pelo menos 2 e até 8 eventos por ano. O intervalo de classe que acumula o maior número de registros tem valores entre 2 e 3 veranicos anualmente. Observa-se a redução na ocorrência de veranicos associados aos eventos La Niña em três episódios deste fenômeno, 1999-2000, 2010-2011 e 2017-2018, todos de moderada intensidade. A tendência de aumento da série de dados de veranico, abrangendo os anos de 1992 a 2018, aponta apenas uma ocorrência a mais por ano, representando um aumento da ordem de 12%, suficiente para uma investigação sobre a possibilidade de haver alguma mudança climática em Paraíso do Tocantins.

Figura 83. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Paraíso do Tocantins - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Paraíso do Tocantins, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agropecuárias. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, evolui rapidamente no decorrer do mês de maio, atingindo o pico de 97 em agosto, quando, então, a curva torna-se descendente, de maneira uniforme, entre agosto e novembro. A produção agrícola de Paraíso do Tocantins deve ser mantida com o suporte de métodos de irrigação no intervalo entre os meses de abril a novembro.

No município de Paraíso do Tocantins, o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de sorgo ocorreu no ano de 2017, com o valor de 2.500kg/ha, área colhida de 200ha e quantidade produzida de 500t. Neste ano verifica-se que a precipitação acumulada ficou abaixo da média climatológica anual, com valor de 1450,8mm quando o esperado é de 1928,8mm, porém o maior número de dias de chuva registrados, 119 dias (esperado 108 dias), pode ter auxiliado a cultura tornando a chuva melhor distribuída no ciclo da cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2018 com o valor de 1.500kg/ha, área colhida de 200ha e quantidade produzida de 300t. Este ano hidrológico sob efeito de um evento moderado de La Niña destaca-se pela maior duração do período chuvoso, chegando a 190 dias, podendo dificultar a cultura tanto no momento do plantio quanto durante a colheita.

Para o cultivo de soja, conforme apresentado na Figura 84, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2016, com o valor de 2.894kg/ha, área colhida de 2.073ha e quantidade produzida de 6.000t. O forte El Niño registrado no ano hidrológico 2015-2016 provocou precipitação em volume bem abaixo do esperado, foram somente 1286,5mm, que ocorreram em 83 dias de chuva, um período chuvoso que durou 180 dias e com 5 veranicos. Estas condições meteorológicas, isoladamente, não justificam o tão bom rendimento de produtividades tão bons, conduzindo à suposição de que outros fatores que podem ter auxiliado a cultura, como as boas práticas agrícolas e a correção dos nutrientes do solo. Já o piores rendimentos ocorreram nos anos de 2004 a 2007 com o valor de 2.400 kg/ha. Mais uma vez os dados meteorológicos não evidenciam justificativas para tal rendimento, devendo ter outros fatores que determinam o rendimento médio de produtividade da soja no município de Paraíso do Tocantins.

O melhor rendimento médio de produtividade cultivo do milho foi obtido no ano de 2018, com o valor de 5.064kg/ha, área colhida de 219ha e quantidade produzida de 1.109t. Pode-se inferir que a moderada La Niña de 2017-2018, que resultou em aumento no número de dias de chuva (119 dias) e ampliação do período chuvoso (190 dias), certamente distribuiu melhor as chuvas, tornando as condições atmosféricas mais favoráveis à cultura. Os menores rendimentos ocorreram no período entre os anos de 2004 a 2008, com o valor de 1.500kg/ha, observando-se durante estes anos a redução progressiva na área colhida, de 300ha para 140ha, e igualmente na quantidade produzida, de 450t para 210t. Há uma associação clara entre a redução da área colhida e a diminuição do volume anual de chuva a cada ano, cujos valores passaram de 2039,1mm em 2004 para 1544,4 em 2007, tendo uma pequena recuperação no volume pluviométrico em 2008, acumulando 1740,9mm.

Já para o cultivo da melancia, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2017 e 2018, com o valor de 25.000kg/ha, área colhida de 7ha e quantidade produzida de 175t. O ano de 2017 começa neutro e a partir de julho se estabelece um episódio de La Niña moderado, que tende a diminuir as temperaturas médias no trimestre junho-julho-agosto. Verifica-se ainda em 2017 precipitação acumulada abaixo da média climatológica anual, com valor de 1450,8mm, mas número de dias de chuva, 119 dias, favorável à cultura tornando devido a melhor distribuição das chuvas. Situação semelhante é constatada no ano de 2018, cujo período chuvoso já estava sob efeito da La Niña moderada, tornando-o mais amplo. Os menores rendimentos ocorreram nos anos de 2013 a 2016 com o valor de 20.000kg/ha. Mesmo com o progressivo aumento na área colhida durante o período analisando, as condições meteorológicas foram continuamente se degradando e deixando o cenário bem desfavorável ao cultivo da melancia, pois o volume de chuva, que já estava abaixo

da média em 2013 (1752,9mm), baixou ainda mais com o passar dos anos, chegando a 1286,5mm em 2016, e também constata-se a diminuição do número de dias de chuva no decorrer do período.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2010 a 2012, com o valor de 50.000kg/ha. Mesmo com volume precipitado anual dentro da média climatológica ou abaixo dela, a sua distribuição ao longo do ano mostra-se favorável a cultura, quando verifica-se maior número de dias de chuva em anos com maiores volumes acumulados. Os menores rendimentos ocorreram no período entre os anos de 2000 a 2006 e em 2017 e 2018 com o valor de 30.000kg/ha. A variabilidade atmosférica observada em todos estes anos dificulta a identificação de características que justifiquem o rendimento médio de produtividade obtivo, levando a supor que outros fatores agrícolas foram determinantes para tais resultados.

Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2013, com o valor de 8.000kg/ha, área colhida de 5ha e quantidade produzida de 40t. O menor volume de chuva acumulado no ano de 2013 (1752,9mm) ainda atende as necessidades da cultura, porém sugere condições térmicas mais favoráveis. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 720kg/ha, área colhida de 25ha e quantidade produzida de 18t. A La Niña moderada não provocou alterações significativas nas variáveis meteorológicas aqui analisadas, pois a chuva acumulada em 2000 foi de 1987,7mm, ocorreram 118 dias de chuva, período chuvoso de 180 dias e 3 veranicos, podendo assim, talvez ter afetado as condições térmicas ideais. Lembra-se que, segundo Borges *et al.* (2006), a produção do fruto exige calor constante, com temperaturas entre 26°C e 28°C, chuvas bem distribuídas entre 100 e 180mm/mês e elevada umidade relativa do ar.

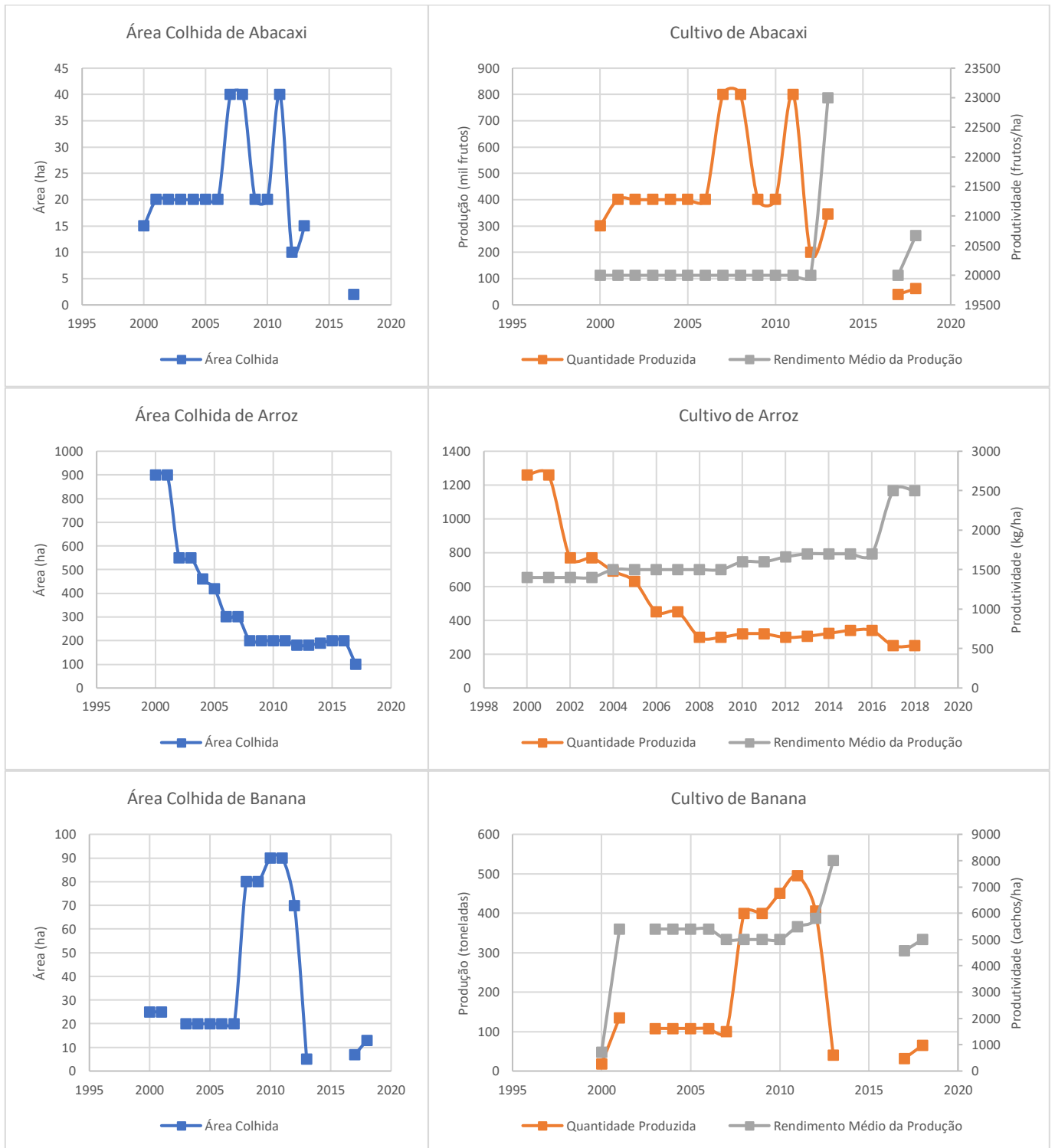
Nos anos de 2017 e 2018 foram obtidos os melhores rendimentos médios de produtividade do cultivo de arroz, com o valor de 2.500kg/ha, área colhida de 100ha e quantidade produzida de 250t. Assim como ocorreu em outros cultivos, estes dois anos apresentaram o melhor rendimento médio de produtividade. Já foi discutido que tal desempenho deve estar associado à melhor distribuição das chuvas neste dois anos, diante do maior número de dias de chuva e período chuvoso mais amplo. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2000 a 2003 com o valor de 1.400kg/ha. Os volumes precipitados registrados neste anos são impressionantes, sobretudo nos anos de 2002 e 2003, cujos valores foram de 2656,7mm e 3531,2mm, com 125 e 131 dias de chuva respectivamente. Tais condições dificultam enormemente a implantação da cultura, os tratamentos culturais e até mesmo a colheita.

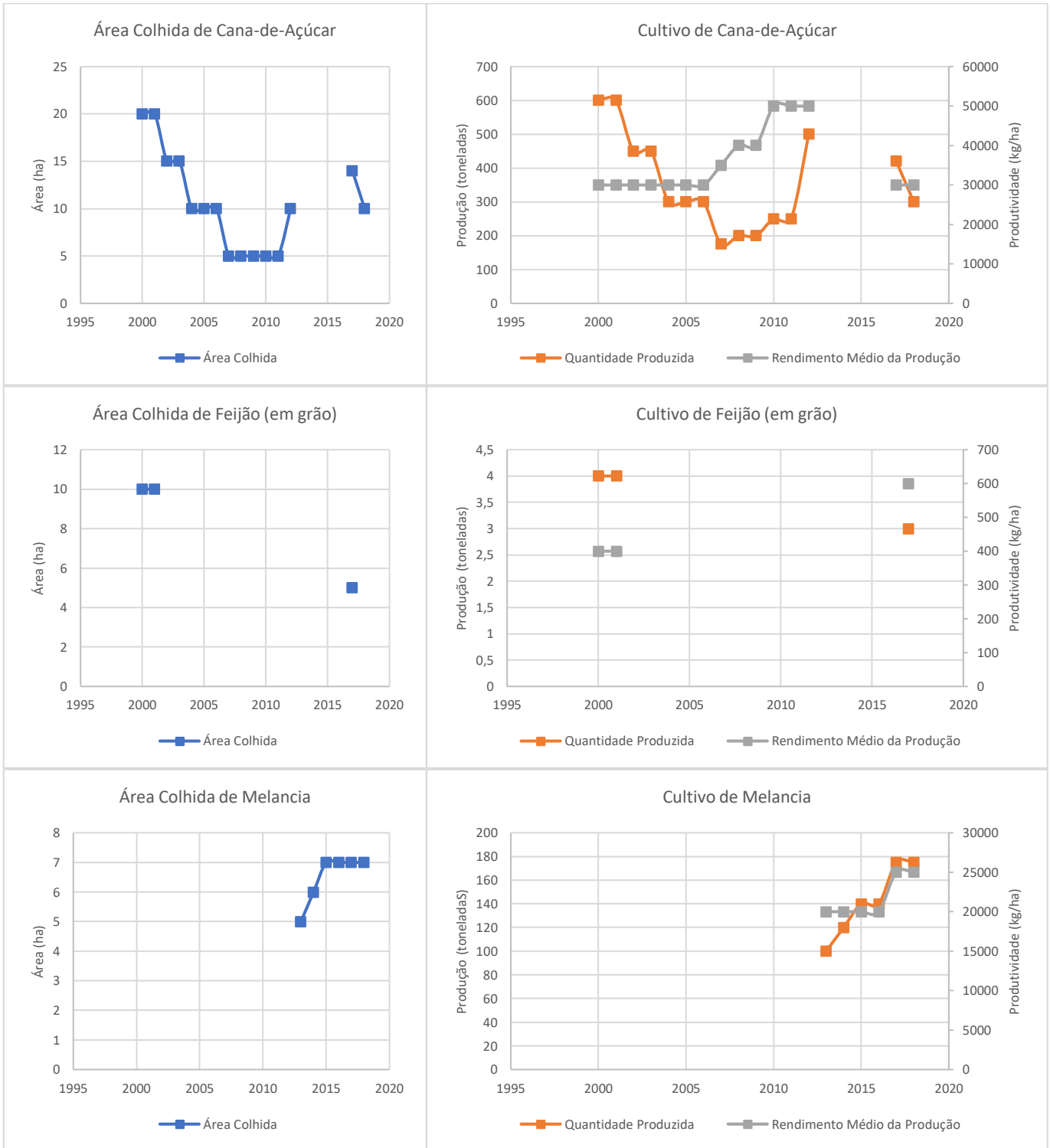
Para o cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2013, com o valor de 23.000 frutos/ha, área colhida de 15ha e quantidade produzida de 345 mil frutos. Este ano apresentou bons rendimentos também para outras culturas, evidenciando que o menor volume de chuva acumulado (1752,9mm) atende as necessidades dos abacaxizeiros e propicia condições térmicas mais favoráveis, considerando-se que o número de dias de chuva e a duração do período chuvoso assumem valores dentro da média climatológica anual do Município. De 2000 a 2012 Paraíso do Tocantins apresentou o pior rendimento, cujo valor foi de 20.000 frutos/há, sugerindo a adoção de práticas agrícolas inadequadas para esta cultura. Esse tipo de cultivo, como visto em Sanches e Matos (2013), consegue resistir em ambientes de climas com longos períodos de seca, elevadas temperaturas e umidade relativa abaixo de 85%.



GOVERNO DO TOCANTINS

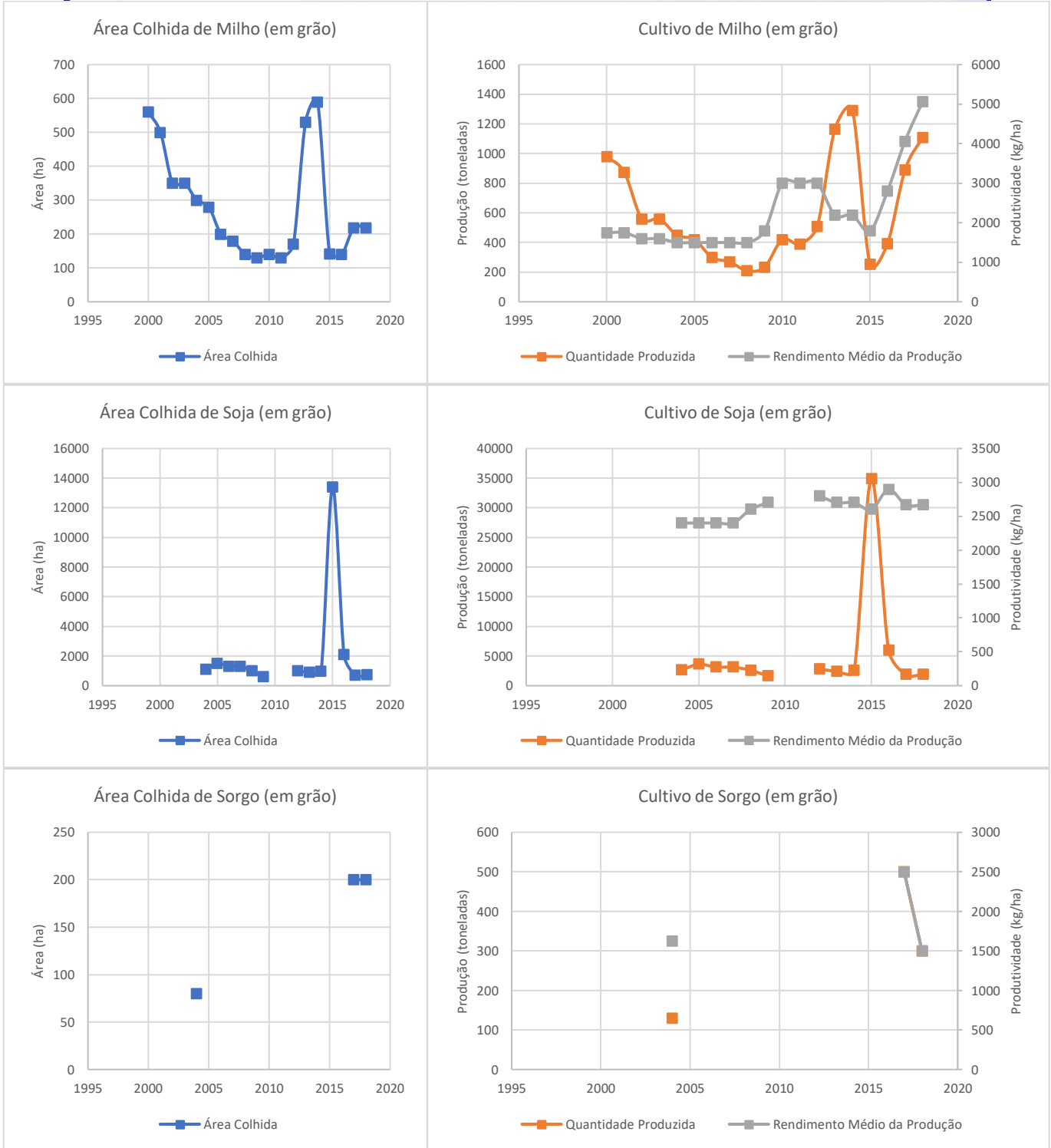
Figura 84. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Paraíso do Tocantins – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.

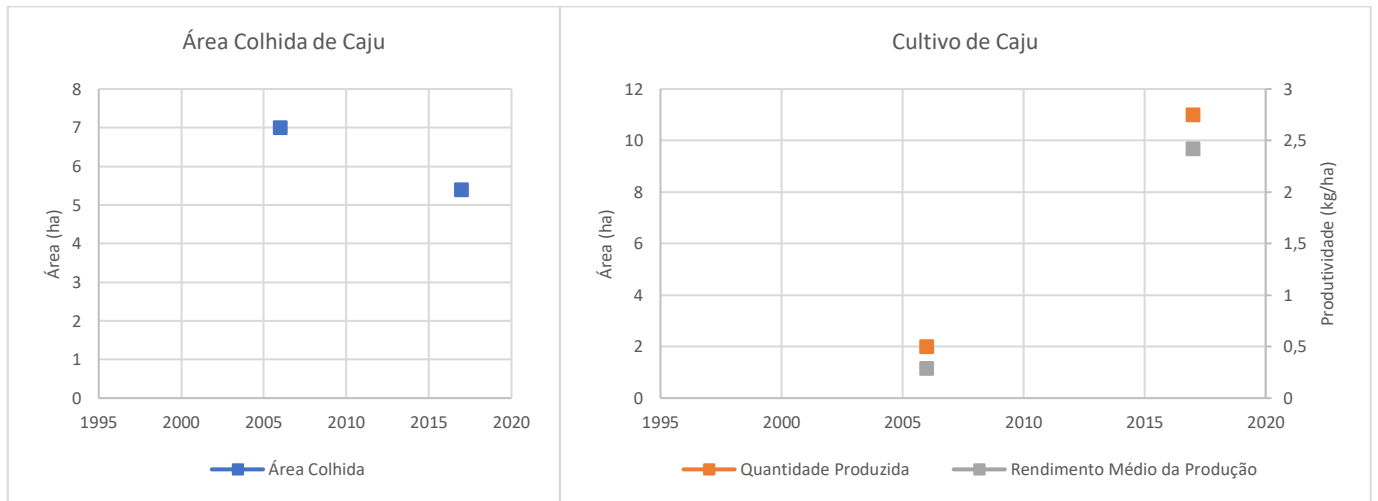






GOVERNO DO TOCANTINS





Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de coco-da-baia para o período analisado.



4.5.13. Pium

Localizado na região programa Centro-Oeste, o município de Pium tem 7.743 habitantes (IBGE, 2020). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia R\$25.342,00 e R\$5.085,71, passando para R\$74.047,76 e R\$10.779,99 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual mostrou um avanço para R\$139.640,00 e R\$18.529,68. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuária para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$13.095,00; R\$31.564,34; e R\$64.253,00 respectivamente.

A 279 metros de altitude e se estendendo por uma área de 10.013,8km², a cobertura e uso da terra no município está organizado da seguinte forma: Parque de Cerrado; Floresta Estacional Semidecidual Aluvial; Cerrado Sentido Restrito; Cerradão; e Agropecuária (na metade leste) (SEPLAN, 2007, 2016).

Verifica-se através da análise climatológica de Pium, que o município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, e que o mês mais frio é julho registrando valores mensais entre 18°C e 19°C. A temperatura máxima anual fica em torno de 33°C, mas nos meses mais quentes, agosto e setembro, os valores podem chegar aos 37°C.

A precipitação anual em Pium acumula valores entre 1536mm e 1920mm, sendo o valor climatológico de 1792,2mm. Seu período chuvoso tem duração climatológica de 174 dias, entre os meses de novembro a abril, quando são registrados em média até 6 veranicos. Entre os meses de janeiro e março podem ocorrer períodos de até 16 dias com precipitação superior a 1mm e a média climatológica anual do número de dias de chuva é 87 dias.

A nebulosidade no Município varia entre 50% e 60%, o que conduz a insolação com duração entre 2200 horas e 2400 horas anualmente. A umidade relativa do ar, em média anual, varia entre 65% e 70%.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 85, o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Pium com dados obtidos entre 1990 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Para análise da duração do período de chuva deste município foram utilizados dados do período entre 1990 a 2018. As durações retornaram valores no intervalo de 145 dias e 205 dias, com dados bem distribuídos no histograma de frequência. Como esperado, identifica-se a redução da duração do período chuvoso em Pium diante da ocorrência do episódio El Niño moderado de 2009-2010. Verifica-se neste série histórica a tendência de diminuição da duração do período chuvoso entre 1990 e 2018, em acordo com o relatado pelo IPCC (2014), redução da ordem de 10 dias, sendo este um indício da possibilidade de se identificar alguma mudança climática no Município.

Quanto ao número de dias de chuva, foram utilizados dados do período entre 1990 a 2019. Pium tem valores frequentes na faixa entre 88 e 95 dias. O menor valor da série histórica é 57 dias e foi registrado no ano de 1993, ano hidrológico sob efeitos de um El Niño fraco. Dos sete episódios de El Niño ocorridos entre 1990 e 2019, seis deles provocaram queda no número de dias de chuva relativo ao ano

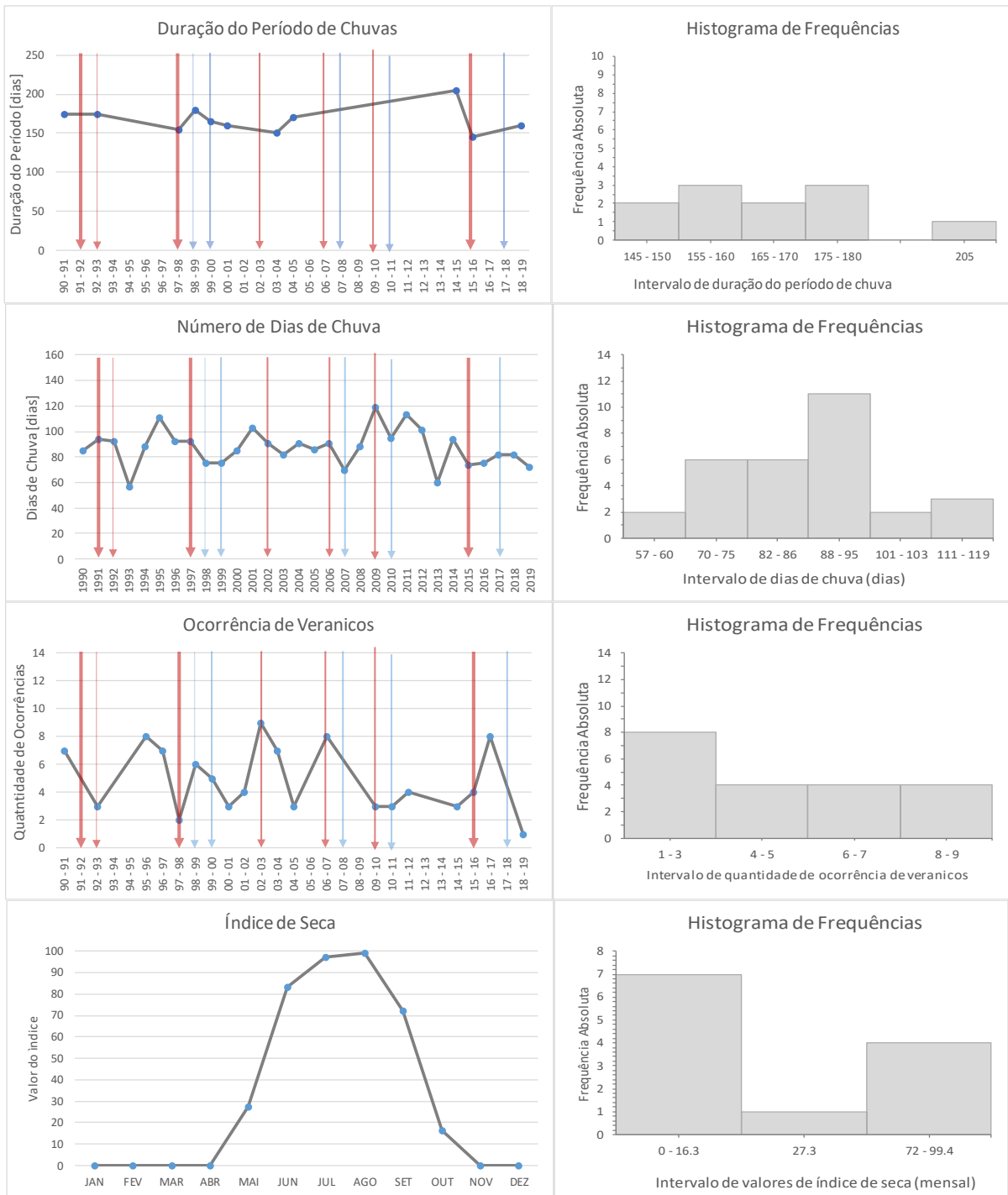
imediatamente anterior, não se identificando relação somente no episódio de 1991-1992 de moderada intensidade. A variabilidade inversa é identificada em quatro episódios de La Niña, 1998-1999, 1999-2000, 2007-2008 e 2010-2011, todos de moderada intensidade. A tendência de redução do número de dias de chuva desta série histórica não mostram evidências claras que apontem a ocorrência de alguma mudança climática no local.

Do gráfico de ocorrência de veranicos, verifica-se que Pium registra até 9 eventos por ano. O intervalo de classe que acumula o maior número de registros tem valores entre 1 e 3 veranicos por ano. O único episódio El Niño que apresentou um esperado aumento no número de veranicos foi 2005-2006. A La Niña apresentou maior anos com a esperada redução de veranicos, nos episódios de 1998-1999, 1999-2000 e 2017-2018. A série histórica desta variável apresenta forte tendência de diminuição do número de veranicos, sugerindo a ocorrência de alguma mudança climática no Município.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Pium, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agropecuárias. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, evolui rapidamente durante o mês de maio, atingindo o pico de 99 no início de agosto, quando, então, a curva torna-se descendente, de maneira bastante uniforme, entre agosto e novembro. A produção agrícola de Pium deve ser mantida com o suporte de métodos de irrigação no intervalo entre abril e novembro.



Figura 85. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Pium - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:
La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Em relação ao uso das terras destinadas para atividades de cultivos agrícolas no ano de 2006, de acordo com a SEFAZ (2017), 291 hectares estavam ocupados por lavouras temporária e 11.104ha por lavoura permanente.

Para o cultivo de soja, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2016, com o valor de 3.043kg/ha, área colhida de 10.391ha e quantidade produzida de 31.615t. Apesar dos fatores meteorológicos não serem os mais apropriados com muitas ocorrências de veranicos, período chuvoso de 180 dias e poucos dias de chuva nesse ano, condições que prejudicam o enchimento e maturação dos grãos, supondo-se que para esta cultura a adoção de boas práticas agrícolas e correção dos nutrientes do solo são determinantes. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2001 com o valor de 2.000kg/ha, área colhida de 320ha e quantidade produzida de 640t, ano com chuva acima da média climatológica, total anual de 2017,5mm e maior número de dias de chuva (103 dias). Segundo Rocha (2012), a expansão agrícola da soja vem transformando o Cerrado em uma grande potência agrícola, tendo um preço colateral em relação aos recursos naturais, ocasionando de forma brusca a perda da vegetação nativa.

Em relação ao cultivo do feijão, conforme apresentado na Figura 86, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2009, com o valor de 1.800kg/ha, área colhida de 600ha e quantidade produzida de 1.080t. Resultado que certamente foi favorecido pelo maior volume precipitado (2641,3mm), maior número de dias de chuva (119 dias), duração de o período chuvoso ser adequado (170 dias) e baixo número de veranicos (3 ocorrências). O pior rendimento ocorreu no ano 2017 com o valor de 847kg/ha, área colhida de 3.335ha e quantidade produzida de 2.825t. Neste ano a chuva total anual ficou abaixo da média climatológica (1428,2mm) distribuídos em 82 dias de chuva, que podem ter sido insuficientes para garantir o pleno desenvolvimento da cultura.

Em relação ao cultivo de sorgo, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2016 e 2018, com o valor de 2.333kg/ha, área colhida de 640ha e quantidade produzida de 1.493t. O ano de 2016 teve características apropriadas ao evento El Niño presente, volume de chuva e número de dias de chuva abaixo da média e elevado número de veranicos, enquanto os dados de 2018 foram totalmente compatíveis com a ocorrência da La Niña, volume precipitado e número de dias de chuva acima da média e menor registro de veranicos. Já o pior rendimento ocorreu no ano de 2013 com o valor de 1.800kg/ha, área colhida de 500ha e quantidade produzida de 900t, que se caracterizou por ser um ano seco, com aproximadamente 700mm a menos de chuva no ano e 27 dias a menos de chuva.

Já para o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2016, com o valor de 4.065kg/ha, área colhida de 3.670ha e quantidade produzida de 14.920t. Este ano de El Niño forte foi marcado por volume precipitado (1495,3mm) e número de dias de chuva (75 dias) abaixo da média climatológica, porém o período chuvoso de 180 dias pode ter auxiliado para condições atmosféricas mais favoráveis. Já os piores rendimentos ocorreram no período entre os anos de 2000 a 2006, com o valor de 1.800kg/ha. Esse período extenso com baixo rendimento de produtividade pode estar refletindo a adoção de práticas agrícolas inadequadas, pois a diversidade atmosférica, isoladamente, não justifica tais resultados. Entre outras questões levantadas por Bergamaschi e Matzenauer (2009), destaca-se os cenários de mudanças climáticas que se caracterizam, por elevação das temperaturas noturnas, com provável impacto negativo sobre o potencial produtivo do milho, especialmente em regiões tropicais. O aumento de chuvas intensas, com potencial para a ocorrência de granizo, pode, também, representar grande impacto na produtividade deste grão.



O melhor rendimento médio de produtividade para o cultivo da melancia ocorreu no ano de 2016, com o valor de 29.737kg/ha, área colhida de 304ha e quantidade produzida de 9.040t. De forma análoga ao discutido em outros cultivos, apesar deste ano de El Niño apresentar condições meteorológicas que na sua maioria podem parecer desfavorável às culturas, ele não é tão prejudicial a esse cultivo quando for moderado. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002 com o valor de 5.000kg/ha, área colhida de 10ha e quantidade produzida de 50t, um ano de longo período chuvoso para os padrões de Pium, 195 dias, podendo oferecer prejuízos em praticamente todos os estádios de desenvolvimento da cultura, do plantio a colheita.

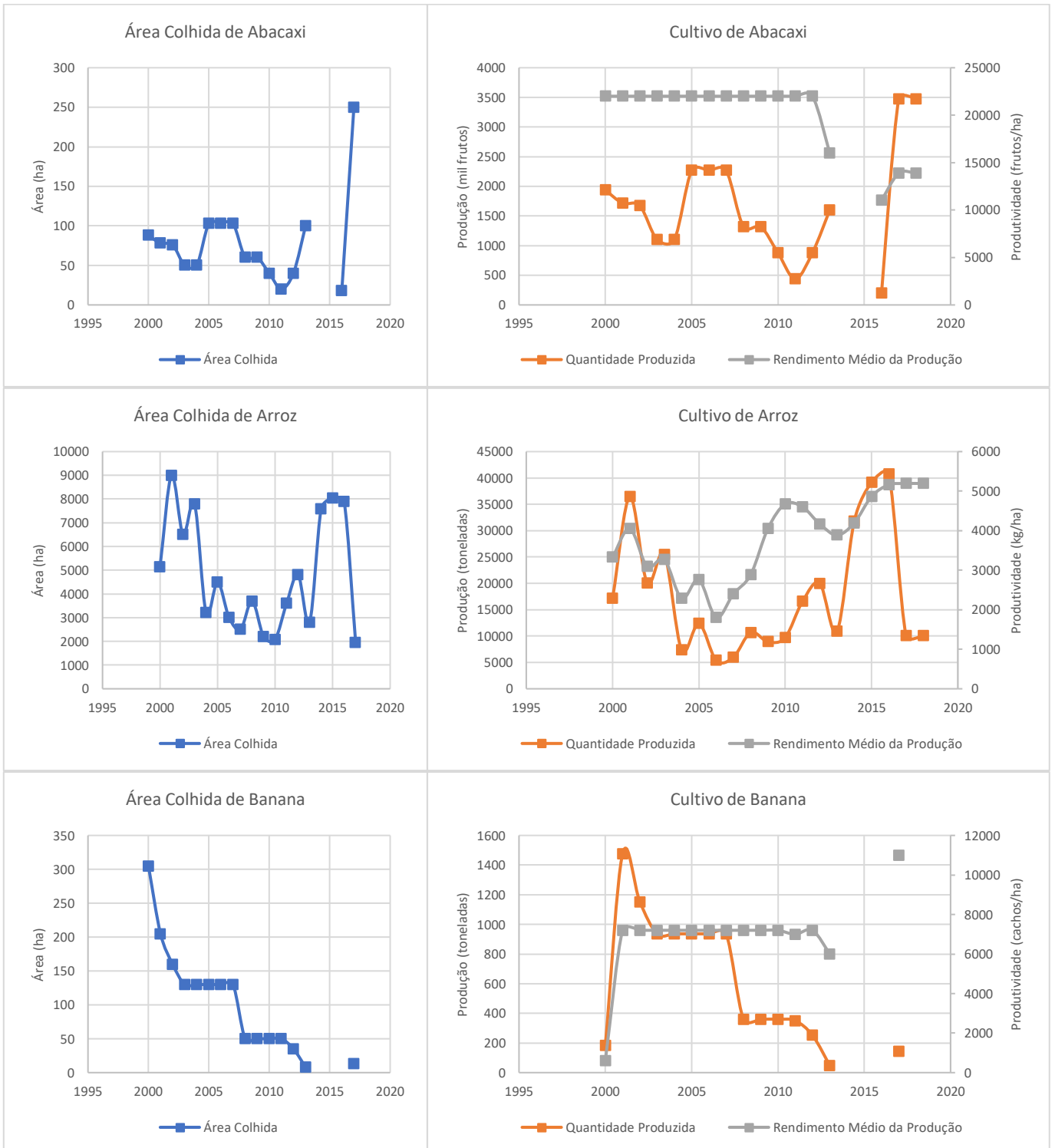
Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no período entre os anos de 2000 a 2009, com o valor de 31.000kg/ha, área colhida de 11ha e quantidade produzida de 341t. Para esta cultura de ciclo longo (cerca de 1 ano), a avaliação desta grande quantidade de anos com bom rendimento não apontou condições específicas que justifiquem tais resultados, devendo-se cogitar que a adoção de boas práticas e manejos adequados tiveram maior participação no desempenho da cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2016 com o valor de 18.000kg/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 360t. Para esta cultura provavelmente o menor volume precipitado pode ter sido responsável pela queda de rendimento médio de produtividade.

Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2017, com o valor de 11.000kg/ha, área colhida de 13ha e quantidade produzida de 143t. Esse foi o quinto município com o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo da banana dentre os 20 municípios analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados na PAM. As bananeiras podem ter se beneficiado de condições de horas de sol e temperaturas mais propícias ao cultivo, uma vez que choveu menos em 2017, tanto em volume quanto em quantidade de dias de chuva. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 600kg/ha, área colhida de 305ha e quantidade produzida de 183t.

O melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de arroz em Pium ocorreu em 2017, com o valor de 5.192kg/ha, área colhida de 1.950ha e quantidade produzida de 10.125t. Este resultado foi o quinto maior dentre os 20 municípios analisados no período de 2000 a 2018 da pesquisa PAM. O menor volume precipitado e menor número de dias de chuva, favorece para que outros fatores meteorológicos como a radiação solar, o fotoperíodo e a temperatura, todos interferidos de algum modo pela precipitação pluviométrica, tenham valores mais adequados à cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2006 com o valor de 1.800kg/ha, área colhida de 3.000ha e quantidade produzida de 5.400t. A semeadura do arroz precisa ocorrer no início do período chuvoso, especialmente no estado do Tocantins, com estabelecimento da lavoura até 20 de dezembro, preferencialmente, pois, caso ocorra em período mais avanço, as chuvas abundantes e características da região, podem dificultar a operação de plantio, e 2005-2006 foi um ano hidrológico de maior duração do período chuvoso (190 dias) e maior volume precipitado em Pium (2096,8mm).

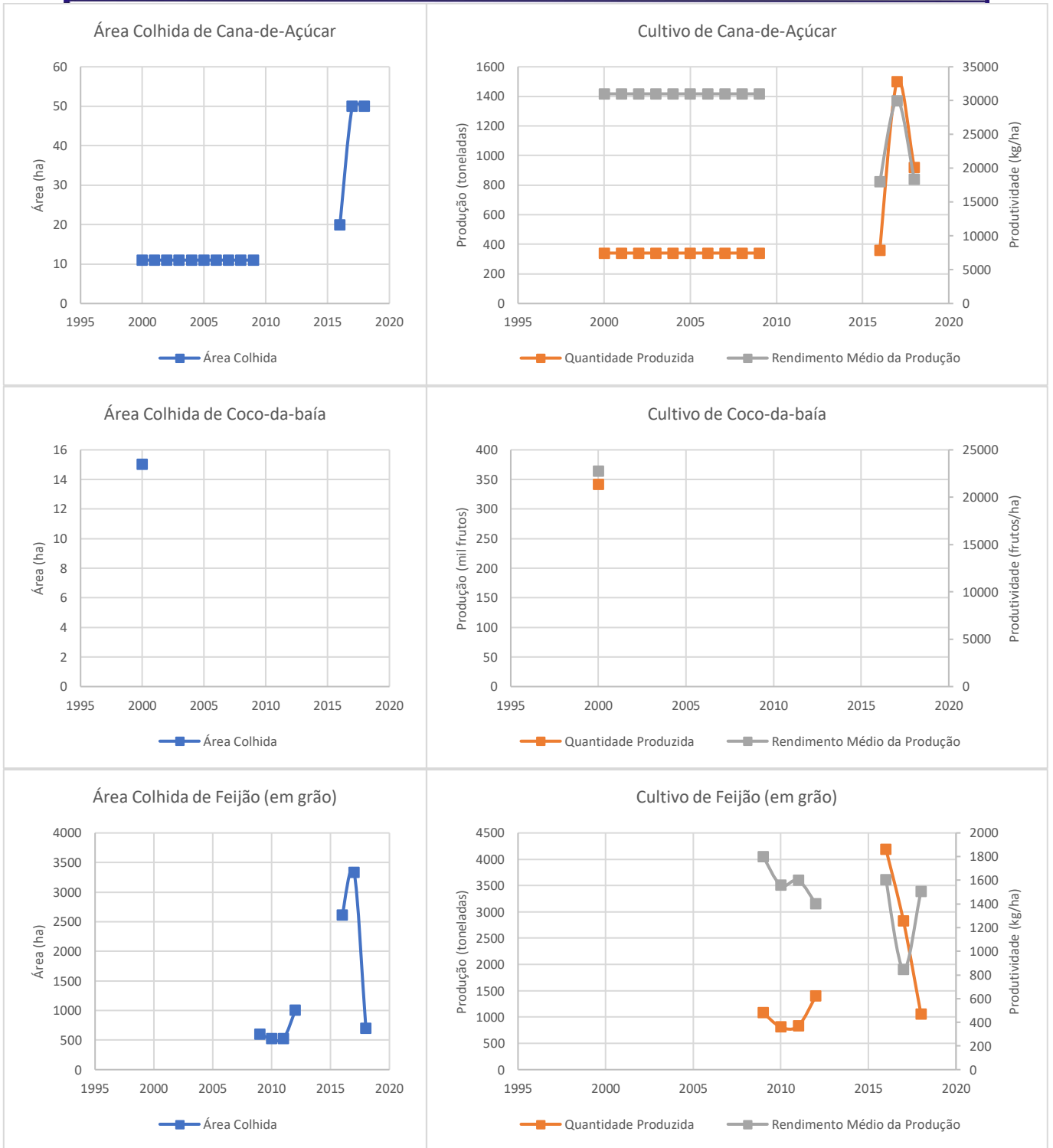
Para o cultivo do abacaxi, os melhores rendimentos médios de produtividade ocorreram entre os anos de 2000 a 2012, com o valor de 22.000 frutos/ha. Provavelmente este resultado está melhor relacionado com as técnicas agrícolas praticadas do que com as condições atmosféricas, considerando que o Município apresenta características adequadas ao desenvolvimento deste cultivo. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2016 com o valor de 11.000 frutos/ha, área colhida de 18ha e quantidade produzida de 198 mil frutos. Esta é mais uma cultura que provavelmente o menor volume precipitado durante o ano hidrológico 2015-2016 pode ter sido responsável pela queda de rendimento médio de produtividade.

Figura 86. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Pium – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.





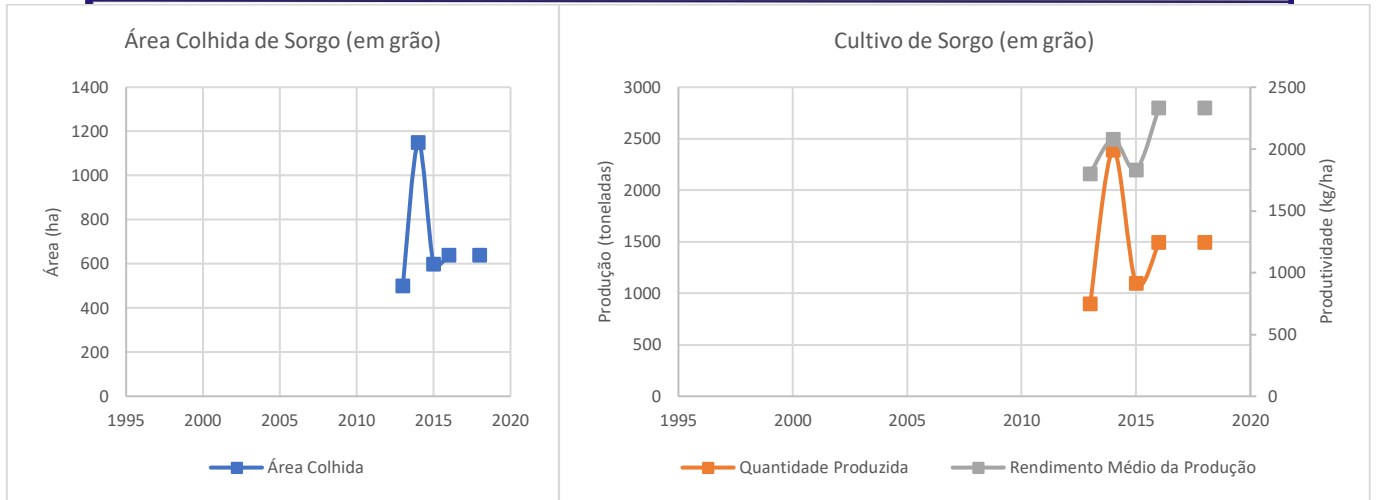
GOVERNO DO TOCANTINS







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de caju para o período analisado.

4.5.14. Dianópolis

O município localiza-se a 702 metros de altitude, tem 22.424 habitantes, sendo o mais populoso da região programa Sudeste do Tocantins (IBGE, 2013; IBGE, 2020; CIDADE-BRASIL, 2020). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia R\$52.785,00 e R\$3.269,66, passando para R\$306.191,68 e R\$15.567,22 em 2012. Na última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual, os respectivos valores diminuíram para R\$299.061,00 e R\$13.757,54. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuária para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$4.781,00; R\$114.182,74; e R\$32.826,00 respectivamente. Para o setor indústria os valores foram: R\$9.266,00; R\$24.455,87; e R\$15.787,00. Por último temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social, os quais, para os anos de 2002, 2012 e 2017, foram: R\$34.207,00; R\$152.121,83; e R\$229.217,28; respectivamente.

Sua área territorial de 3.217,3km² se estende sobre duas bacias hidrográficas, a bacia do Ribeirão Corda, e a bacia do rio Tocantins (SEPLAN, 2016). Baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra da SEPLAN (2007), cinco principais tipos predominam: Campo; Campo Rupestre; Cerrado Sentido Restrito; Agropecuária (maior concentração na metade oeste, mas sem ocupar grandes áreas); e Cultura Temporária (na região fronteira no nordeste do município).

A análise climatológica de Dianópolis mostra que, sua temperatura mínima anual do ar ocorre entre 18°C e 22°C. A temperatura máxima anual varia entre 31°C e 33°C, mas nos mês mais quente, setembro, os valores podem chegar aos 35°C. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1408 e 1536mm. O período chuvoso tem duração de 160 dias a 170 dias, se estendendo entre os meses de novembro e abril, quando são observadas a ocorrência de até 8 veranicos em média. Durante o mês de fevereiro podem ocorrer até 14 dias com precipitação superior a 1mm, e em termos anuais são esperados entre 68 dias e 88 dias de chuva.

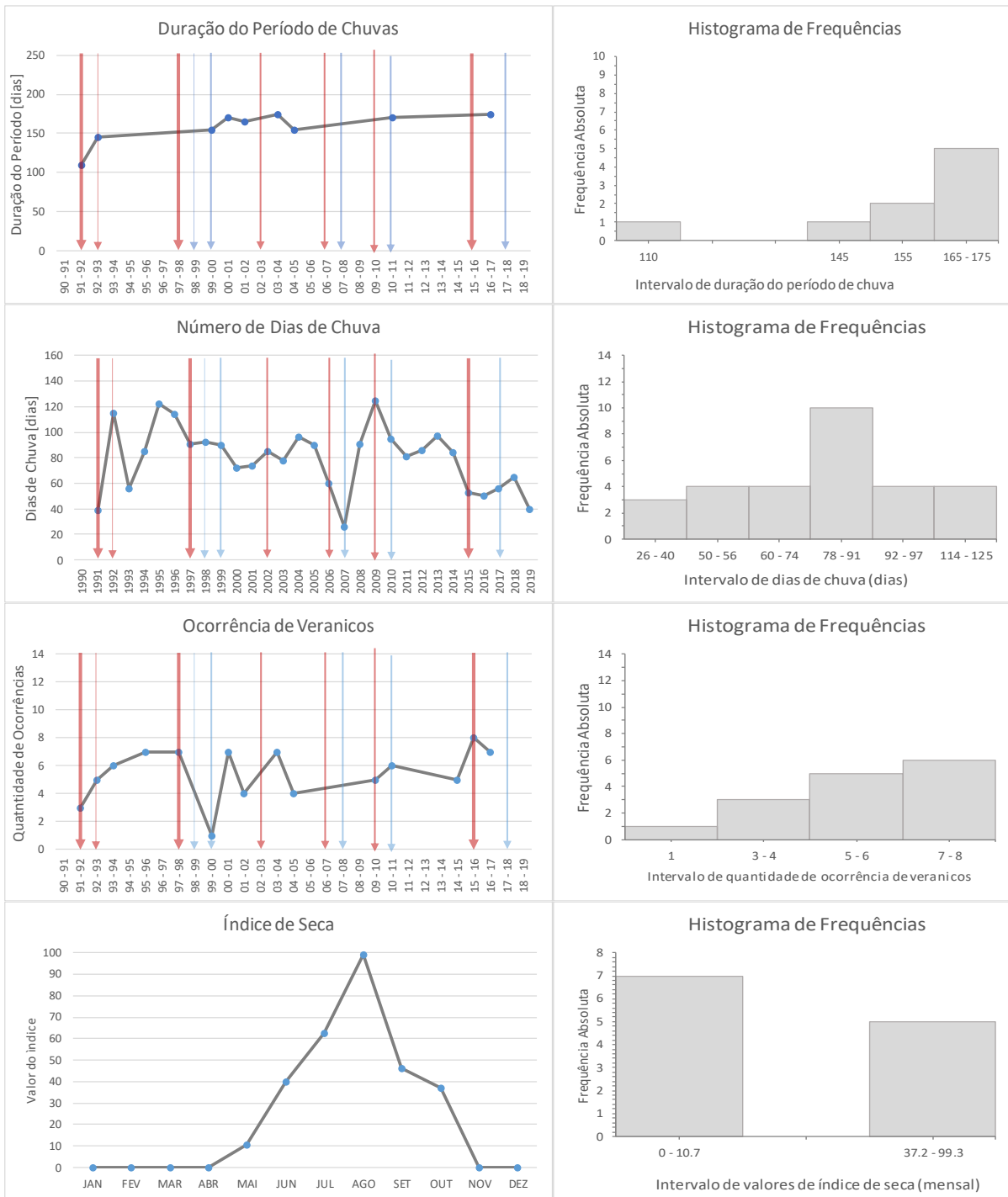
O Município apresenta insolação anual entre 2400 horas e 2600 hora, a umidade relativa do ar varia entre 60% e 65% anualmente, sendo março o mês com maior percentual de umidade relativa do ar, com valores entre 80% e 85%.

Em Dianópolis prevalece o grande excedente hídrico no verão, com valores entre 200mm e 600mm, ocorrendo entre os meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente. A deficiência hídrica se concentra no inverno, entre os meses de junho e setembro, sendo mais intensa em agosto e setembro, e predomina no município a deficiência hídrica moderada no inverno, com valores entre 370mm e 640mm.

Na Figura 87 disponibiliza-se os gráficos de variação temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias]. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.



Figura 87. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Dianópolis - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña

El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Os dados de duração do período chuvoso abrangem os anos entre 1991 e 2016. A duração do período de chuva para Dianópolis, mantém um padrão entre 110 dias e 200 dias, sendo o intervalo de maior frequência entre 165-175 dias. Não identifica-se a interferência dos fenômenos ENOS nos dados desta série histórica, apenas no ano hidrológico de 1998-1999 verifica-se a redução da duração do período chuvoso em decorrência de um episódio de La Niña fraca. A tendência de aumento da duração do período de chuvas desta série histórica pode sugerir a ocorrência de alguma mudança climática em Dianópolis, mas este padrão contraria os relatórios do IPCC (2014).

Para o número de dias de chuva, observa-se que a frequência prevalece nas faixas entre 78 dias e 91 dias, tendo a menor frequência (apenas 3 anos) o intervalo de classe com valores entre 26 e 40 dias. Identifica-se na distribuição temporal a influência dos episódios El Niño dos anos 1992-1993, 2002-2003 e 2015-2016, no sentido de provocar a diminuição do número de dias de chuva com relação aos valores do ano hidrológico imediatamente anterior. Quanto a La Niña, verifica-se o aumento do dias de chuva nos episódios de 2007-2008 e 2017-2018. Esta série histórica sugerem a ocorrência de mudanças climáticas no Município, pois apontam uma tendência de redução do número de dias de chuva de até 25 dias entre os anos de 1990 e 2019.

Na ocorrência de veranicos, foi identificado pelo menos 1 e no máximo 8 ocorrências por ano, no período entre 1991 e 2016, sendo mais frequente o registro de 7 a 8 veranicos por ano, no município. Um dos maiores valores da série está associado com a atuação da La Niña de moderada intensidade de 1999-2000. De acordo com os estudos divulgados pelo IPCC (2014), esta série histórica sinaliza o aumento de ocorrência de veranicos, se verificando a tendência de até 2 registros a mais entre 1991 e 2016.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Dianópolis, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agropecuárias. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento uniforme até atingir o pico de 99 no início do mês de agosto. A partir de então, a curva torna-se descendente entre agosto e novembro, com clara desaceleração no mês de setembro. A produção agrícola de Dianópolis deve ser mantida com o suporte de métodos de irrigação entre abril e novembro.

Segundo dados da SEPLAN (2016) no ano de 2006 a atividade agropecuária de Dianópolis se dividia da seguinte forma: menos 1% correspondendo a culturas permanentes, de 24% a 28% a culturas temporárias, e até 17% ao cultivo de pastagens. A maioria dos estabelecimentos rurais era de agricultura familiar (257), mas a área da agricultura não familiar mostrava-se maior (133.476ha). Considerando os dados da pesquisa PAM do IBGE, os principais cultivos produzidos no município são: soja, milho, feijão, arroz, coco da baía, cana-de-açúcar, abacaxi e banana.

O município de Dianópolis desenvolve o projeto de irrigação Manuel Alves, que compreende uma área-piloto de aproximadamente 5.000ha, cujo seu principal destino são os cultivos de frutas e grãos. Consiste em uma barragem de perenização do rio Manuel Alves e implantação de sistema de captação, distribuição e drenagem de água, beneficiando a população do município, e algumas comunidades de municípios vizinhos em outros estados (SEPLAN, 2016).

O cultivo de soja apresenta o melhor rendimento médio de produtividade em Dianópolis no ano de 2012, com o valor de 3.400kg/ha, área colhida de 28.300ha e quantidade produzida de 96.220t. As condições meteorológicas mostraram-se favoráveis ao cultivo da soja, com maior volume de chuva do



que esperado (1716,8mm) e 86 dias de chuva, condição a tornou melhor distribuída temporalmente. Esse valor de rendimento médio de produtividade tornou o município de Dianópolis o segundo com o maior valor de rendimento entre os 20 municípios analisados nos 19 anos da pesquisa PAM. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002 com o valor de 1.500kg/ha, área colhida de 5.150ha e quantidade produzida de 7.725t. Neste ano com 85 dias de chuva teve volume precipitado abaixo da média (1316,5mm) desfavorável à cultura.

Dianópolis juntamente com os municípios de Campos Lindos e Mateiros, apresentaram o maior valor de rendimento médio de produtividade para o cultivo do milho. Este bom resultado ocorreu nos anos de 2009 e 2010, com o valor de 8.000kg/ha, área colhida de 4.300ha e quantidade produzida de 34.400t. Estes dois foram anos hidrológicos de muita chuva, cujos valores de precipitação acumulada, número de dias de chuva, duração do período chuvoso e ocorrência de veranicos são, para os respectivos anos: 2365,6mm e 1570,8mm; 125 dias e 95 dias; 165 dias e 170 dias, e 5 e 6 veranicos. Estas condições melhoraram a distribuição temporal das chuva durante o período chuvoso. O pior rendimento ocorreu no ano 2003 com o valor de 2.500kg/ha, área colhida de 500ha e quantidade produzida de 1.250t. Esse ano apresentou parâmetros meteorológicos bem próximos da média climatológica do município, mesmo sob influência de um El Niño moderado, devendo ser considerada a possibilidade do resultado de rendimento refletir a adoção práticas agrícolas inadequadas. As características climáticas do município são favoráveis a produção deste grão, especialmente nos aspectos relacionados a temperatura. Há necessidade de adequação apenas em termos das condicionantes hídricas, que por sua sazonalidade, ou obrigará o pousio do campo ou exigirá um sistema de irrigação para a manutenção das lavouras durante o período seco, principalmente entre agosto e outubro.

Dos 20 municípios consultados na pesquisa PAM, Dianópolis apresentou o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo da banana, juntamente com Porto Nacional, com 20.000kg/ha. A área colhida em Dianópolis para obter esse rendimento foi de 200ha e quantidade produzida de 4.000t, nos anos de 2015 e 2016. Segundo Borges *et al.* (2006), a produção da banana exige calor constante, com temperaturas entre 26°C e 28°C, chuvas bem distribuídas entre 100 e 180mm/mês e elevada umidade relativa do ar, condições facilmente encontradas entre os meses de novembro a abril em Dianópolis, principalmente em áreas inseridas no projeto de irrigação Manuel Alves. A importância deste projeto fica evidente quando se constata que o ano de 2016 foi segundo mais seco da série histórica totalizando 895,4mm precipitados no ano e 50 dias de chuva. Apesar de o pior rendimento ter ocorrido no ano 2000 com o valor de 473kg/ha, área colhida de 38ha e quantidade produzida de 18t, as condições meteorológicas não eram tão desfavoráveis quanto em 2016 e os fatores para o baixo rendimento podem estar associados a baixa tecnologia utilizada na época. A área colhida em 2000 era de 38ha aumentando consideravelmente em 2014 para 75 ha, e chegando a 290ha em 2018.

Em relação ao cultivo do coco da baía, conforme apresentado na Figura 88, o município de Dianópolis juntamente com Palmas e Porto Nacional apresentou o melhor rendimento médio de produtividade com o valor de 20.000 frutos/ha. Este resultado em Dianópolis foi atingido no período que abrangem os anos de 2004 a 2010, com área colhida de 2ha e quantidade produzida de 40 mil frutos. Em seis anos as condições meteorológicas são muito diversas, não sendo possível associar estes dados ambientais com os resultados de rendimento. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2017 com o valor de 7.000 frutos/ha, área colhida de 5ha e quantidade produzida de 35 mil frutos. Este resultado pode ser atribuído

a má distribuição das chuvas durante o ciclo de desenvolvimento do cultivo, pois foram registrados apenas 56 dias de chuva para precipitar 1469,3mm acumulados em todo o ano.

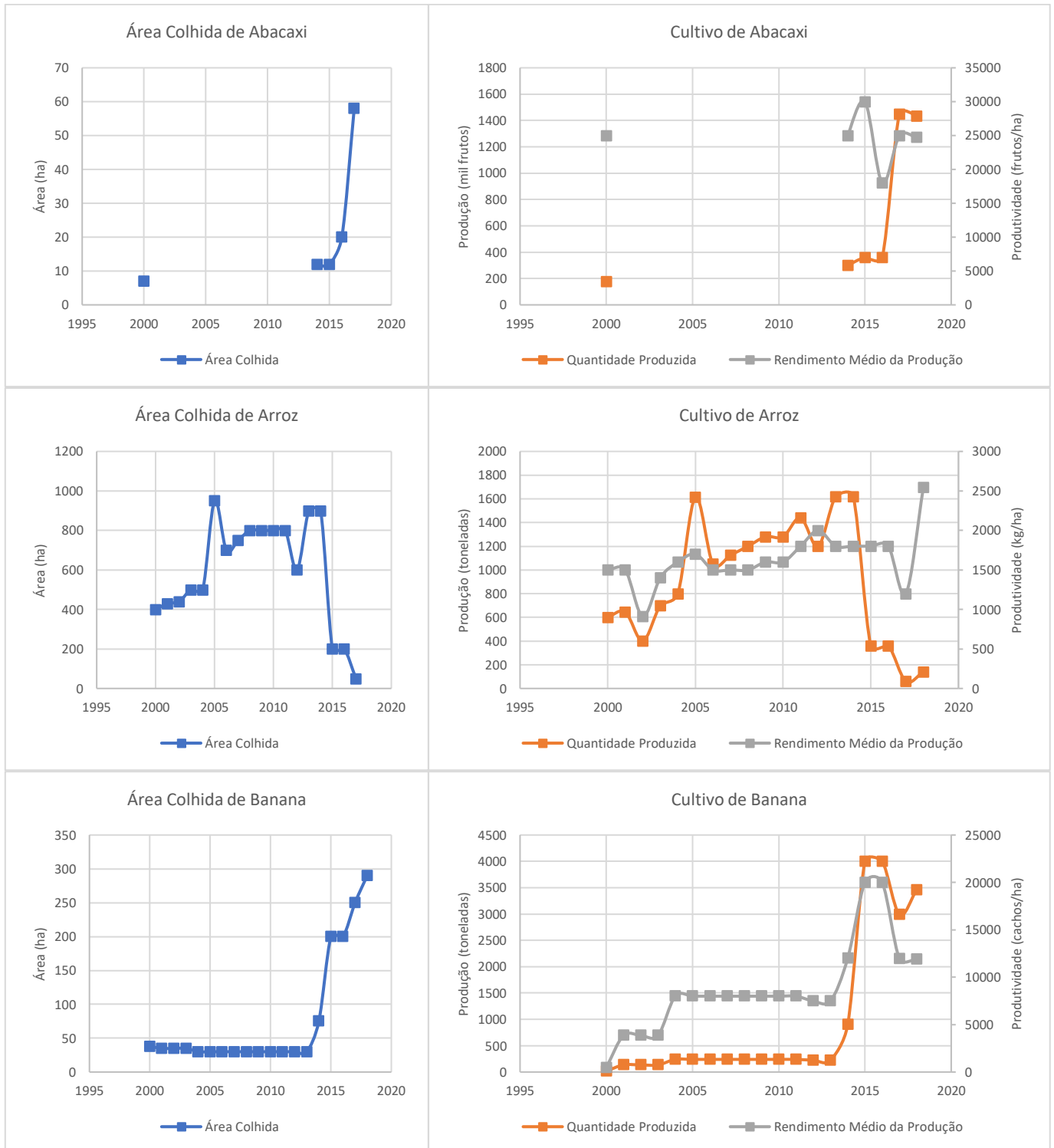
Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 53.333kg/ha, área colhida de 60ha e quantidade produzida de 3200t. Este ano de La Niña moderada aponta dados contrários ao esperado, ou seja, a precipitação anual e o número de dias de chuva ficaram abaixo da média climatológica, com os respectivos valores de 1341,7mm e 65 dias. Provavelmente foi adotado algum método de irrigação para garantir a produtividade desta cultura, já que os valores meteorológicos claramente não são suficientes. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2000 a 2003 com valores de 12.000kg/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 240t. Verifica-se o predomínio de volumes precipitados abaixo da média climatológica anual do Município entre 2000 e 2003.

Em relação ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 2.545kg/ha, área colhida de 55ha e quantidade produzida de 140t. Esta é uma cultura amplamente cultivada em Dianópolis e não apresentou impacto na produtividade do grão diante das condições hídricas desfavoráveis do ano de 2018, sugerindo a adoção de irrigação na produção, especialmente tendo em vista que o Município participa do Projeto de Irrigação Manuel Alves. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002 com o valor de 909kg/ha, área colhida de 440ha e quantidade produzida de 400t. Maior número de dias de chuva (85 dias) e menor volume precipitado (1316,5mm) podem ter contribuído para o fraco rendimento da cultura.

O melhor rendimento médio de produtividade do abacaxi ocorreu nos municípios de Dianópolis e de Formoso do Araguaia e esse cultivo esta presente em vários municípios tocantinenses. Em Dianópolis este bom resultado ocorreu no ano de 2015, com o valor de 30.000 frutos/ha, área colhida de 12ha e quantidade produzida de 360 mil frutos. Esta safra 2015 se desenvolveu em um ano hidrológico com volume precipitado (1145,5mm), número de dias de chuva (53 dias) e duração do período chuvoso (150dias), todos abaixo da climatologia municipal, apenas os veranicos foram acima, no total de 8 eventos. Estas condições se mostraram suficientes tanto no aspecto hídrico quanto relativo à temperatura e fotoperiodismo da cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2016 com o valor de 18.000 frutos/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 360 mil frutos, nesse caso, o desenvolvimento do fruto ocorreu em um ano hidrológico sob os efeitos de El Nino intenso de 2015-2016 com números de dias de chuva abaixo do média (50 dias), maior número de veranicos (7), período chuvoso mais duradouro (175 dias) e volume precipitado anual muito abaixo da média climatológica (895,4mm), influenciando significativamente o rendimento dessa cultura. Nos dados obtidos através da pesquisa PAM do IBGE, há informações sobre o cultivo do abacaxi no ano de 2000 e depois somente a partir de 2014. Então, observa-se que a área colhida teve um aumento de 7ha para 58ha ao longo desse período, e, com exceção do ano de 2016, o rendimento médio de produtividade do abacaxi foi superior a 24.000 frutos/ha.



Figura 88. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Dianópolis – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de sorgo e caju para o período analisado.

4.5.15. Natividade

Este é um município da região Sudeste do Tocantins, situada a 357 metros de altitude (IBGE, 2013, CIDADE-BRASIL, 2020). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual no ano de 2002 correspondia a R\$26.073,00 e R\$2.829,41, passando para R\$81.543,82 e R\$9.039,33 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual, mostrou um avanço para R\$114.534,00 e R\$12.299,64,00. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuária para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$2.477,00; R\$8.928,31; e R\$17.328,00 respectivamente. Para o setor indústria os valores foram: R\$2.674,00; R\$13.369,89/ e R\$9.339,00. Por último, temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$32.192,00; R\$53.902,59; e R\$811.491,01; respectivamente.

Se estendendo por uma área territorial de 3.240,7km², o município possui cinco tipos principais de uso e cobertura da terra: Cerradão; Cerrado Sentido Restrito; Campo Rupestre; Campo; e Agropecuária. (SEPLAN, 2007; 2016). A agropecuária apresenta-se dispersa pelo território municipal, sem concentração em nenhuma região.

Em Natividade, constata-se a temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, a temperatura máxima anual entre 28°C e 33°C, e setembro é o mês mais quente com valores que podem chegar aos 37°C. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1280mm e 1536mm. Seu período chuvoso tem duração de 160 a 180 dias, abrangendo os meses de novembro a abril, durante os quais são observadas a ocorrência de até 8 veranicos. Entre janeiro e março podem ocorrer até 14 dias com precipitação superior a 1mm.

No Município há ocorrência de duas classes de excedente hídrico no verão, moderado e grande. A deficiência hídrica é observada entre os meses de junho e outubro, sendo mais intensa em agosto. A maior parte do município tem grande deficiência hídrica no inverno.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 89, o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Natividade com dados obtidos entre 1990 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Analisando a duração do período de chuva, verifica-se que, entre 1990 e 2018, durações que retornaram valores dentro do intervalo de 160 e 190 dias. A pequena quantidade de registros desta variável hidrológica prejudica a avaliação da distribuição de frequência, a identificação de possíveis interferência dos fenômenos ENOS e de sinais que apontem para mudanças climáticas.

O número de dias de chuva representa a quantidade de dias com chuva acima de 1mm. Da análise de seus gráficos, observa-se a prevalência dos valores no intervalo de classe entre 15 dias e 120 dias. Os dois menores valores da série histórica são 15 dias e 20 dias, correspondendo aos registros dos anos hidrológicos de 1996-1997 e 2006-2007, respectivamente, sendo o primeiro um ano de neutralidade e o segundo de La Niña moderada. Já os dois maiores valores da série, 120 dias e 115 dias, registrados nos anos hidrológicos de 1991-1992 e 2008-2009, respectivamente, se deram durante a ocorrência de um El Niño forte no primeiro caso, e um ano neutro no segundo registro. Cabe destacar a grande

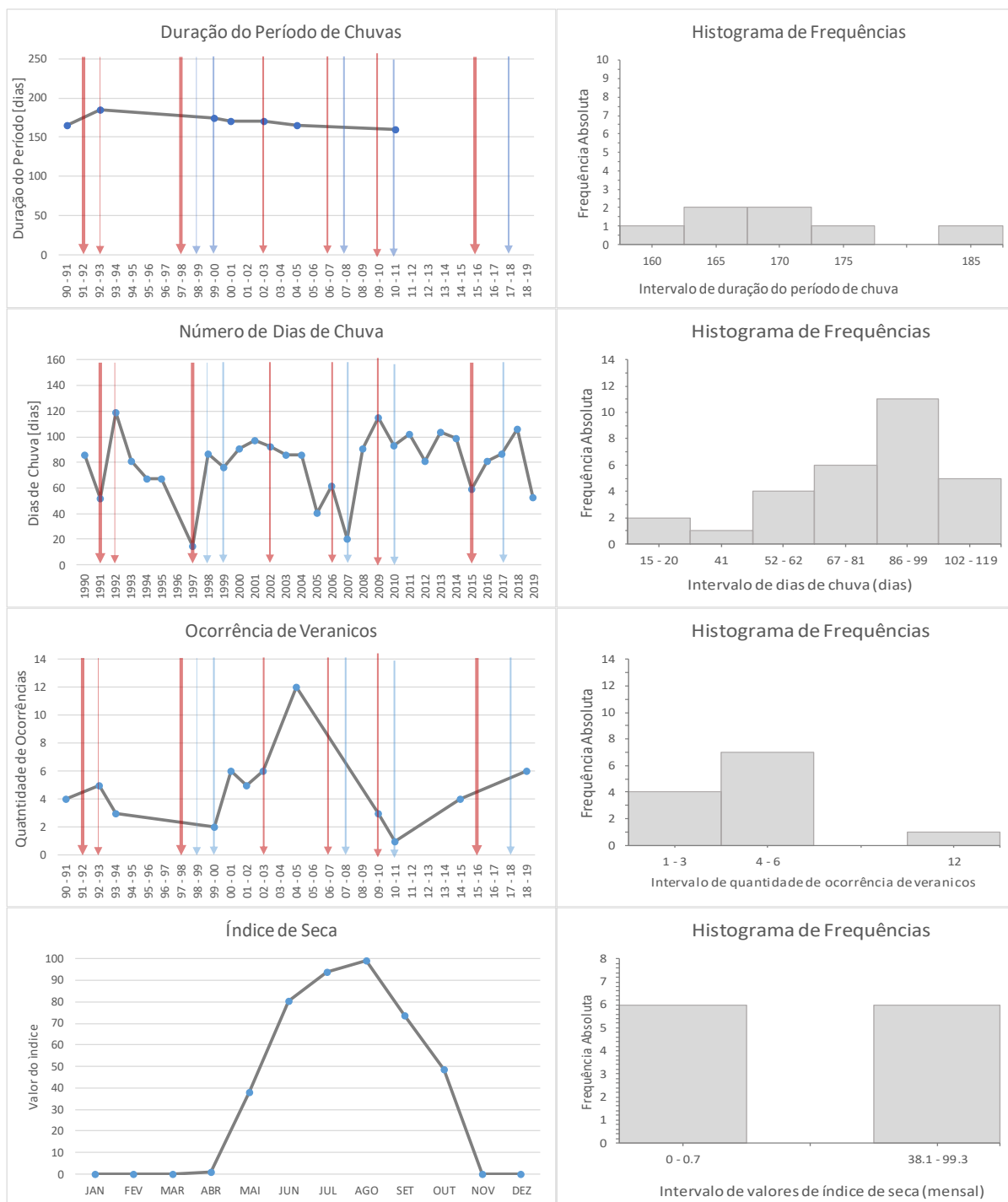


amplitude numérica desta série histórica e também a tendência tímida de aumento no número de dias de chuva em Natividade, sem apontar indícios de mudança climática.

Quanto à veranicos, foi identificado a ocorrência de até 12 registros por ano, no período entre 1990 e 2018, sendo mais comum os anos registrarem de 4 a 6 ocorrências, e o valor de 5 ocorrências representativo do valor climatológico do Município. Este é um dos municípios tocantinenses com o maior registro de ocorrência de veranicos, embora tenha sido registrado em um único ano hidrológico (2004-2005), ano neutro quanto aos fenômenos ENOS. A leve tendência de aumento no número de veranicos e o pequeno volume de dados não justificam supor a ocorrência de alguma mudança climática local.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Natividade, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis à produção agrícola. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento bastante uniforme até fim de junho, desacelerando o ritmo nos meses de junho e julho. Logo após atingir o pico, com valor do índice de seca de 99, a curva torna-se descendente de agosto até novembro. A produção agrícola de Natividade é mantida com a adoção de métodos variados de irrigação entre abril e novembro. Observa-se condições hídricas bastante restritivas no município, especialmente entre os meses de junho a outubro, e a garantia de produção agrícola, pecuária e de abastecimento exige, muitas vezes, a formação de reservatórios.

Figura 89. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Natividade - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Fonte: elaboração do autor, 2020.



Da atividade agropecuária de Natividade em 2006 (SEPLAN, 2016), menos de 1% corresponderam à culturas permanentes, menos de 2% eram de culturas temporárias, e menos de 17% corresponderam ao cultivo de pastagens. Segundo a SEPLAN (2016), o município de Natividade destaca-se na região programa Sudeste do Estado por seu plantel bovino com valor aproximado de 55.865 reses. No Município encontra-se numa enorme área de cultura irrigada, cerca de 1,2 milhões de hectares, muito favorável a grande produtividade de grãos e da pecuária, mesmo que seu território seja muito susceptível a ocorrências de alagamentos e inundações no período chuvoso. Porém, a Embrapa (2003) afirma que a única restrição que se relaciona com a potencialidade agropecuária de Natividade envolve o solo da região, por possuir baixa fertilidade, solos rasos e concrecionários.

O município de Natividade, juntamente com os municípios de Formoso do Araguaia e Peixe, foram os que apresentaram altos valores de rendimento médio de produtividade do cultivo de soja, ocupando o quarto lugar dentre os 20 municípios tocantinenses analisados para o período de 2000 a 2018 da pesquisa PAM. Para o cultivo de soja em Natividade, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2015, com o valor de 3.300kg/ha, área colhida de 1.000ha e quantidade produzida de 3.300t. A ausência de dados meteorológicos neste anos impede a análise de sua influencia sob os resultados obtidos Já o pior rendimento ocorreu no ano 2017 com o valor de 1.891kg/ha, área colhida de 2.300ha e quantidade produzida de 4.350t, ano que se destaca por um pequeno aumento no número de dias de chuva (87 dias) quando o esperado seriam 79 dias, sugerindo que a queda no rendimento médio do grão possa ser atribuída a outros fatores agrícolas.

Já para o cultivo do milho, conforme apresentado na Figura 90, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2017, com o valor de 4.792kg/ha, área colhida de 120ha e quantidade produzida de 575t. Isso ocorreu devido ao número de dias de chuva adequado, além da temperatura ficar na faixa apropriada para uma boa produtividade deste cultivo. Já o pior rendimento ocorreu nos anos 2005, 2007 e 2008 com o valor de 2.000kg/ha. Apenas o ano hidrológico 2004-2005 possui dados meteorológicos quando verifica-se uma forte seca em Natividade, cujo volume acumulado de chuva foi de 867,9mm e 41 dias de chuva.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2004 e 2005, com o valor de 45.000kg/ha, área colhida que dobrou ao longo dos 4 anos de 6ha para 12ha e o mesmo ocorreu com a quantidade produzida de 270t para 540t. Sendo esta uma cultura de ciclo longo as condições nos anos hidrológicos de 2002-2003, 2003-2004 foram favoráveis à implantação e desenvolvimento da cultura, e a seca do verão 2004-2005 ocorreu em uma fase de desenvolvimento da cana-de-açúcar menos sensível aos aspectos hídricos. Já o pior rendimento ocorreu entre os anos de 2000 a 2002 com o valor de 20.000kg/ha, área colhida de 6ha e quantidade produzida de 120t. Verifica-se que neste anos o número de dias de chuva teve valores bem acima da média climatológica, com os respectivos valores de 91 dias, 97 dias e 92 dias, desfavorecendo o desenvolvimento das plantas provavelmente pela diminuição da insolação e da temperatura média do ar.

Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no período que abrange os anos de 2009 a 2017, com o valor de 10.000kg/ha, área colhida aumentando ao longo desses anos de 30ha para 40ha, porém com ligeiro decréscimo no ano de 2017 (37ha), comportamento também observado com a quantidade produzida, cujos respectivos valores foram de 300t para 400t e 2017 teve 370t produzidas. A grande variabilidade dos dados meteorológicos em conjuntos tão amplos de anos dificulta a análise da devida contribuição destes nos resultados obtidos, que provavelmente se

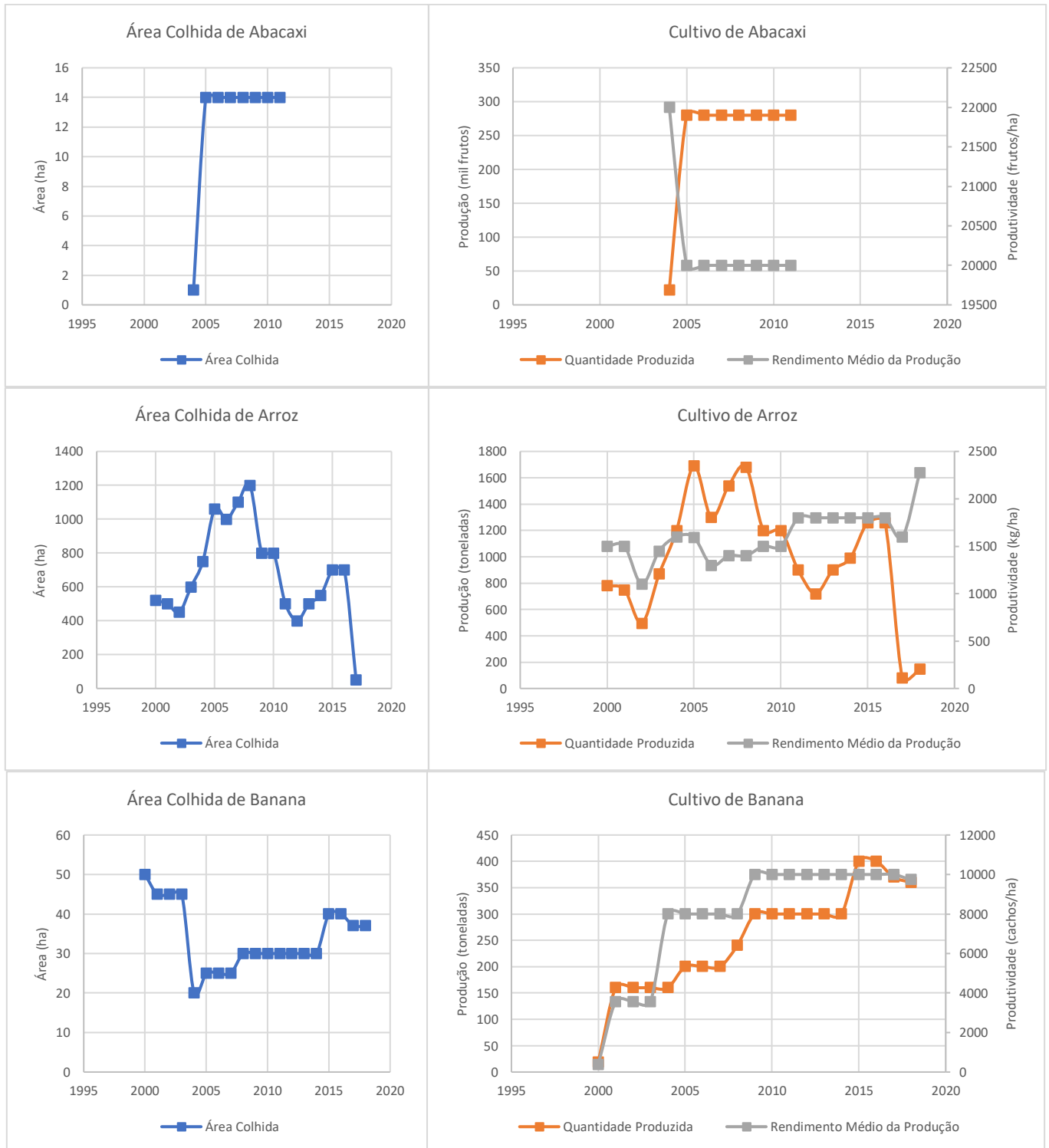
deve a práticas agrícolas adequadas. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 380kg/ha, área colhida de 50ha e quantidade produzida de 19t, ano hidrológico de La Niña moderada, apresentando volume precipitado (1546,6mm) acima da média climatológica anual e maior número de dias de chuva (91 dias).

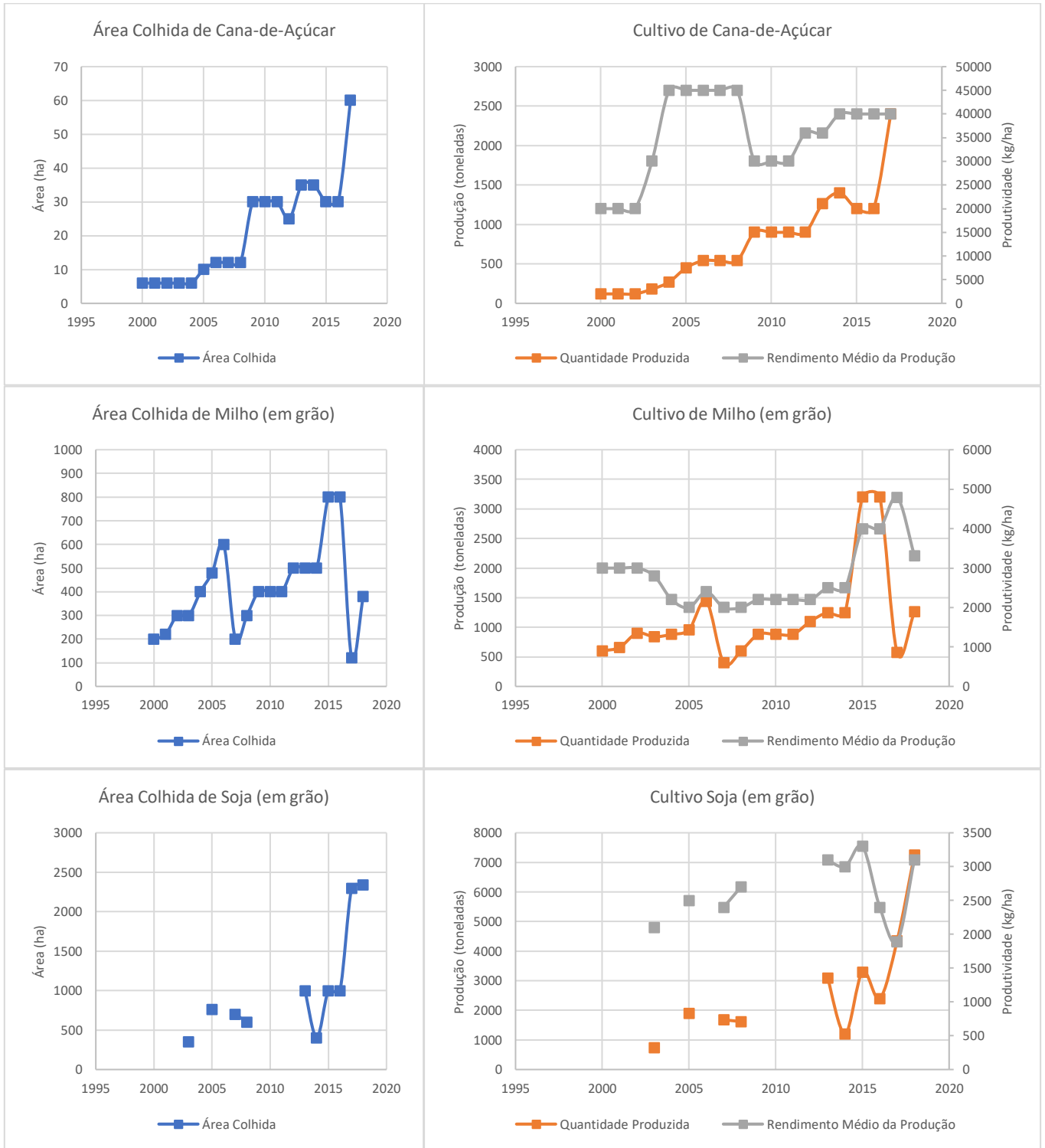
Quanto ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 2.277kg/ha, área colhida de 65ha e quantidade produzida de 148t, um ano de La Niña moderada que promoveu maior número de dias de chuva (106 dias) e período chuvoso mais longo (185 dias), distribuindo melhor o volume anual precipitado (1449mm). Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002 com o valor de 1.100kg/ha, área colhida de 450ha e quantidade produzida de 495t.

Para o cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu em 2004, com o valor de 22.000 frutos/ha, área colhida de 1ha e quantidade produzida de 22 mil frutos. Neste ano hidrológico o volume precipitado foi acima da média (1682,1mm), distribuídos em 86 dias de chuva e período chuvoso de 165 dias, mas a maior ocorrência de veranicos, 12 o total, pode ter sido determinante para o bom rendimento, principalmente se foram veranicos de curta duração. Já os menores rendimentos médios de produtividade ocorreram com o valores de 20.000 frutos/ha, ocorrendo entre os anos de 2005 a 2011, resultados que provavelmente refletem a adoção de práticas agrícolas não apropriadas para este cultivo.



Figura 90. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Natividade – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.





Fonte: IBGE (2000 a 2018).

Sem dados para as culturas de coco-da-baia, feijão (em grãos), melancia, sorgo (em grãos) e caju para o período analisado.



4.5.16. Arraias

Este município de 10.534 habitantes está situado a 740 metros de altitude na região programa Sudeste do Tocantins, é considerado o mais alto do Estado. Ocupa a primeira posição da região nos quesitos trabalho e rendimento (IBGE, 2013; IBGE, 2020; CIDADE-BRASIL, 2020). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia R\$34.443,00 e R\$3.138,36, passando para R\$120.302,63 e R\$11.355,73 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual, mostrou um avanço para R\$157.609,00 e R\$14.692,69. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuária para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$11.182,00; R\$36.728,51 e R\$35.048,00; respectivamente. Para o setor indústria os valores foram: R\$2.128,00; R\$7.642,09; e R\$11.408,00. Por último, temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social, que para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$19.334,00; R\$63.380,46; e R\$98.116,22; respectivamente.

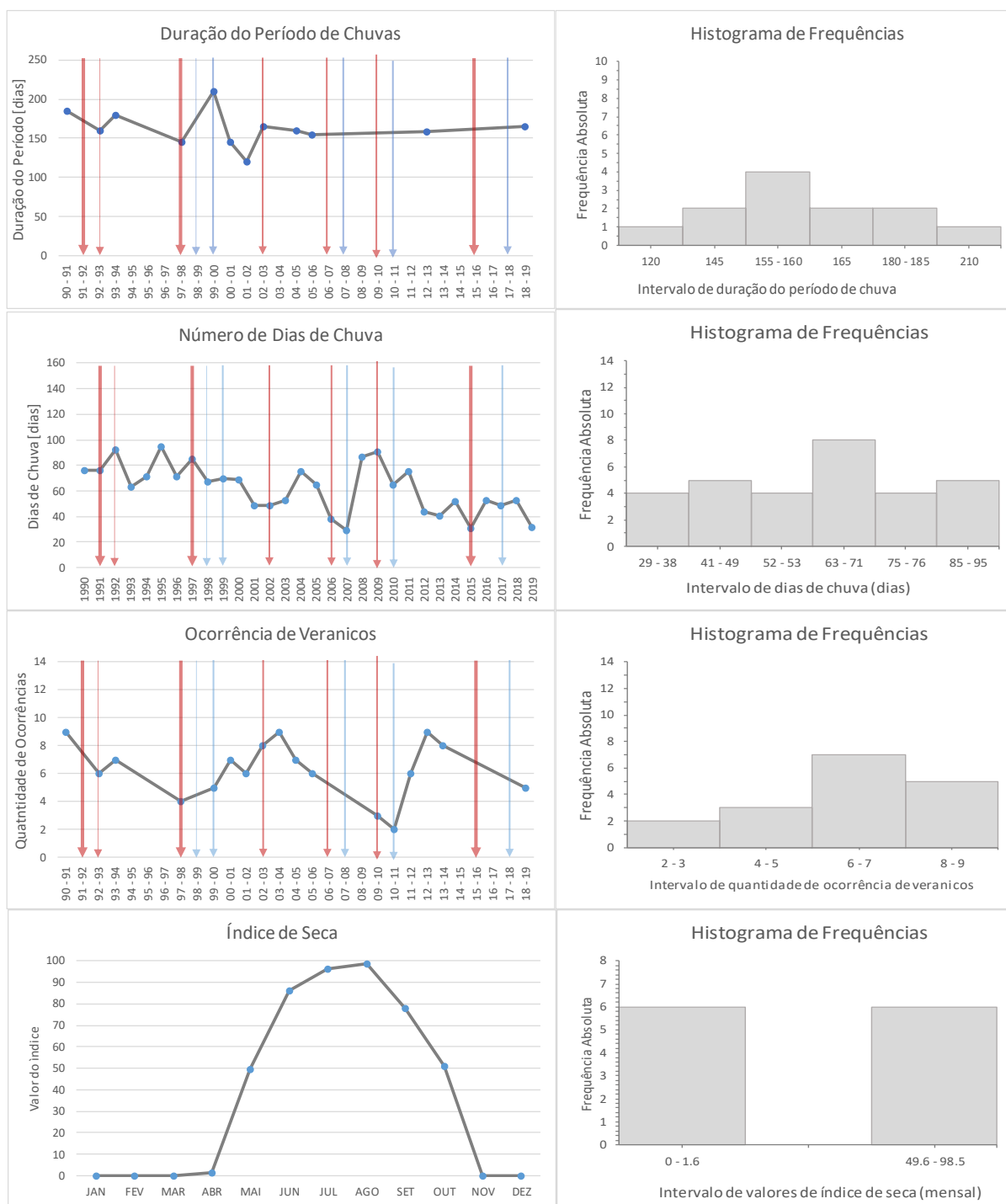
Com área territorial de 5.786,9km², baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra da SEPLAN (2007), o município apresenta cinco principais tipos predominantes: Agropecuária; Cerradão; Cerrado Sentido Restrito; Campo Rupestre; e Campo. A agropecuária está presente em todas as regiões no município, com maior concentração no leste e norte. No ano de 2006, segundo dados da SEPLAN (2016), de 26% a 43% da área municipal era ocupada por estabelecimentos rurais e de 14% a 24% de sua fitoecologia era de mata ou floresta natural.

Da análise climatológica de Arraias, constata-se que a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 22°C, mas ocorrem valores de 20°C nos pontos altos das serras arraianas, sendo os valores mais baixos registrados no mês de julho. A temperatura máxima anual no município é de 35°C, mas nas regiões serranas podem ser registrados valores entre 28°C e 32°C, e setembro é o mês mais quente, com valores que podem chegar aos 39°C, principalmente no sul do município. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1152mm na parte oeste crescendo até 1408mm em direção ao leste arraiano. Seu período chuvoso tem duração de 150 a 160 dias, entre os meses de novembro a março, durante os quais são observadas a ocorrência de 7 a 8 veranicos. De janeiro a março podem ocorrer até 14 dias com precipitação superior a 1mm.

Verifica-se o predomínio de grande excedente hídrico no verão no município, se concentrando entre os meses de janeiro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente. Há grande deficiência hídrica de inverno, que é observada entre os meses de maio e outubro, sendo mais intensa em agosto.

Na Figura 91 disponibiliza-se os gráficos de variação temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias]. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña. Lembra-se que as estações pluviométricas de Arraias apresentam muitas falhas e seus dados foram descartados. Por isso, os dados de precipitação utilizados para a elaboração dos gráficos aqui apresentados foram obtidos na estação localizada no município de Conceição do Tocantins, distante cerca de 90km ao norte de Arraias.

Figura 91. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Arraias - TO (estação de Conceição do Tocantins). Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



De forma geral, de 1990 a 2018, a duração do período de chuva em Conceição do Tocantins (Arraias) apresenta valores entre 120 dias e 210 dias, sendo o intervalo de maior frequência com durações entre 155 dias e 160 dias. Contrariando o que esperado, curiosamente em três episódios de El Niño identifica-se aumento da duração do período de chuva relativo ao ano hidrológico imediatamente anterior, ocorrendo nos seguintes anos: 1992-1993, 2002-2003 e 2009-2010. Este padrão é identificado também em associação com episódios La Niña, nos anos hidrológicos 1998-1999 e 2017-2018. No ano hidrológico 1991-1992 identifica-se o encurtamento do período chuvoso associado a um forte El Niño, e no ano hidrológico 2010-2011 este padrão se associa a ocorrência de uma La Niña moderada. Desta forma, não constata-se a clara relação entre o comportamento temporal desta variável em Conceição do Tocantins e a ocorrência de fenômenos ENOS. A tendência de diminuição da duração do período chuvoso sugere a ocorrência de alguma mudança climática neste Município, padrão em acordo com os relatos do IPCC (2014).

Para o número de dias de chuva, conforme apresentado na Figura 92, observa-se que há maior frequência no intervalo de classe entre 63 dias e 71 dias, tendo em vista que os dados de Conceição do Tocantins (Arraias) se distribuem pelos valores entre 20 dias e 95 dias. Nesta variável constata-se a esperada influência dos eventos El Niño, com a redução do número de dias de chuva em decorrência dos episódios 1992-1993, 1997-1998, 2006-2007 e 2009-2010. Nos episódios La Niña de 1998-1999, 2007-2008, 2010-2011 e 2017-2018 identifica-se o aumento do número de dias de chuva. Certamente Conceição do Tocantins já observa os impactos das mudanças climáticas, pois percebe-se uma clara tendência de severa diminuição do número de dias de chuva neste Município, redução da ordem de 35 dias entre 1990 e 2019.

Na ocorrência de veranicos em Conceição do Tocantins (Arraias), foi identificado pelo menos 2 e no máximo 9 ocorrências por ano, no período entre 1990 e 2018, sendo mais frequente o registro de 6 a 7 veranicos por ano. Nos anos hidrológicos 1992-1993 e 2002-2003 foram os únicos que apresentaram interferência esperada pela atuação do El Niño, registrando aumento no número de veranicos em relação ao dado do ano anterior, padrão também associado aos episódios La Niña de 1998-1999 e 1999-2000. Porém, com relação a redução no número de ocorrência de veranicos, verifica-se maior número de associações com eventos El Niño ocorridos nos anos hidrológicos de 1991-1992 e 2009-2010 (menor valor da série histórica). A redução esperada em decorrência de La Niña é verificada apenas no ano hidrológico 2017-2018. O padrão comportamental desta série histórica não aponta a ocorrência de mudanças climáticas em Conceição do Tocantins.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Conceição do Tocantins (Arraias), mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando que este é um período mais favorável à produção agrícola em termos hídricos. A partir da segunda quinzena de março o índice de seca apresenta crescimento, muito lento até abril, quando então a curva passa a apresentar inclinação bastante acentuada até junho. O pico da curva é atingido em início de agosto, com valor para 98 para o índice, e a partir daí a curva torna-se descendente até novembro. Provavelmente, a produção agrícola de Conceição do Tocantins (Arraias) necessite de algum método de irrigação, para garantir o suprimento de água adequado às culturas neste intervalo, entre fim de março e novembro. Considerando os dados da pesquisa PAM do IBGE, os principais cultivos produzidos no município são: cana-de-açúcar, arroz, feijão, milho, banana e abacaxi.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, Arraias, juntamente com Pedro Afonso, apresentam o segundo melhor rendimento médio de produtividade dos 20 municípios tocantinenses analisados no período de 2000 a 2018 através dos dados da pesquisa PAM do IBGE. Em Arraias este melhor rendimento médio de produtividade ocorreu entre os anos de 2009 a 2011, com valor de 90.000kg/ha, área colhida que variou de 4.500ha a 3.000ha e quantidade produzida entre 405.000t para 270.000t, respectivamente. Nestes anos predominou volumes precipitados acima da média climatológica de Conceição do Tocantins, mais dias de chuva do que o esperado, períodos chuvosos um pouco mais curtos nos quais registraram entre 3 e 6 veranicos. Condições semelhantes podem ter ocorrido também em Arraias conduzindo a uma boa distribuição das chuvas durante o ciclo do cultivo. Já o pior rendimento ocorreu no ano de 2016 com o valor de 35.000kg/ha, área colhida de 200ha e quantidade produzida de 7.000t, sendo este um ano hidrológico sob efeitos de um El Niño forte, o que resultou em 10 dias a menos de chuva em Conceição do Tocantins, podem ter ocorrido o mesmo em Arraias.

Já para o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2018, com o valor de 3.071kg/ha, área colhida de 700ha e quantidade produzida de 2.150t. Os efeitos de uma La Niña moderada neste ano hidrológico resultaram em 1211mm precipitados no ano, 53 dias de chuva, período chuvoso com duração de 165 dias e 5 veranicos, dados registrados na estação pluviométrica de Conceição do Tocantins. Arraias também deve ter apresentado boas condições de desenvolvimento da cultura em decorrência da boa distribuição das chuvas e adequado número de veranicos. O pior rendimento ocorreu no ano 2012, com o valor de 2.000kg/ha, área colhida de 1.100ha e quantidade produzida de 2.200t. Este resultado pode estar associado ao número elevado de ocorrência de veranicos, 9 no total, e 18 dias a menos de chuva, cujos valores foram obtidos na estação pluviométrica de Conceição do Tocantins, mas com padrão provavelmente, se refletindo em Arraias. Cabe reforçar que o milho é um cultivo com grande risco de ser impactado pelas mudanças climáticas, principalmente tendo em vista cenários que apontam para o aumento da temperatura noturna do ar, tornando as condições desfavoráveis, principalmente nas regiões tropicais.

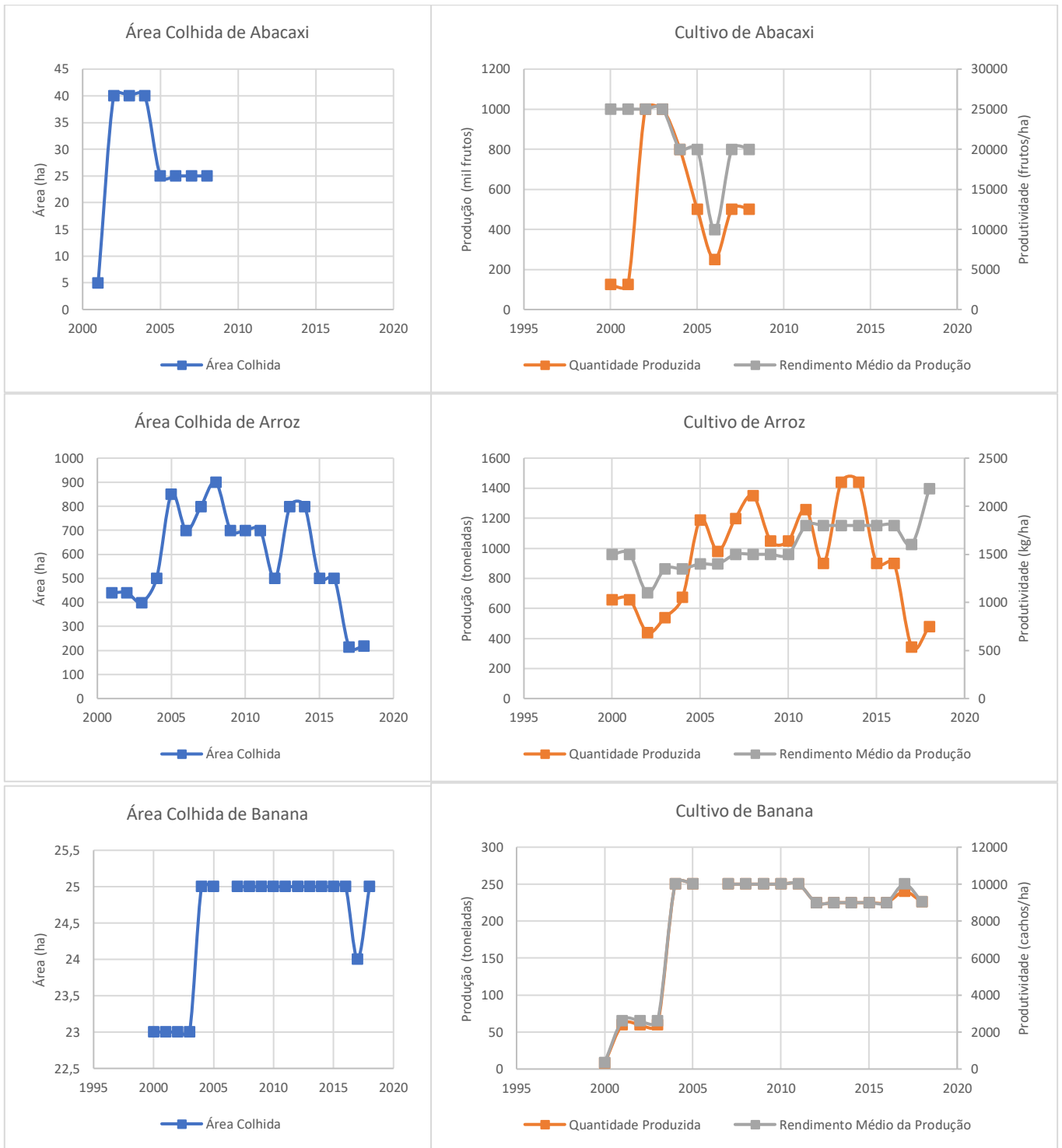
Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu entre os anos de 2004 a 2011 e no ano de 2017, com o valor de 10.000kg/ha. Entre os anos de 2004 a 2011 a área colhida foi de 25ha e quantidade produzida de 250t, em 2017 a área colhida foi de 24ha resultando em 240t de quantidade produzida. Tendo em vista a ampla variabilidade das condições atmosféricas em tantos anos de dados, deve-se atribuir estes bons resultados a adoção de práticas agrícolas adequadas a este cultivo. Já o pior rendimento ocorreu no ano de 2000, com o valor de 347kg/ha, área colhida de 23ha e quantidade produzida de 8t, um ano de La Niña moderada, apresentando encurtamento do período chuvoso e grande ocorrência de veranicos em Conceição do Tocantins, provavelmente tendo ocorrido uma condição semelhante em Arraias.

O melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de arroz ocorreu no ano de 2018, com o valor de 2.182kg/ha, área colhida de 220ha e quantidade produzida de 480t. Em Conceição do Tocantins os efeitos da La Niña moderada neste ano hidrológico resultaram em 1211mm precipitados no ano, 53 dias de chuva, período chuvoso com duração de 165 dias e 5 veranicos, e Arraias deve ter percebido condições semelhantes, adequadas ao desenvolvimento da cultura em decorrência da boa distribuição das chuvas e adequado número de veranicos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002, com o valor de 1.100kg/ha, área colhida de 400ha e quantidade produzida de 440t. Conceição do Tocantins registrou uma severa seca neste ano hidrológico, com volume anual precipitado de 990,4mm e apenas 49 dias de chuva, seca que deve ter atingido os municípios vizinhos também, como Arraias.



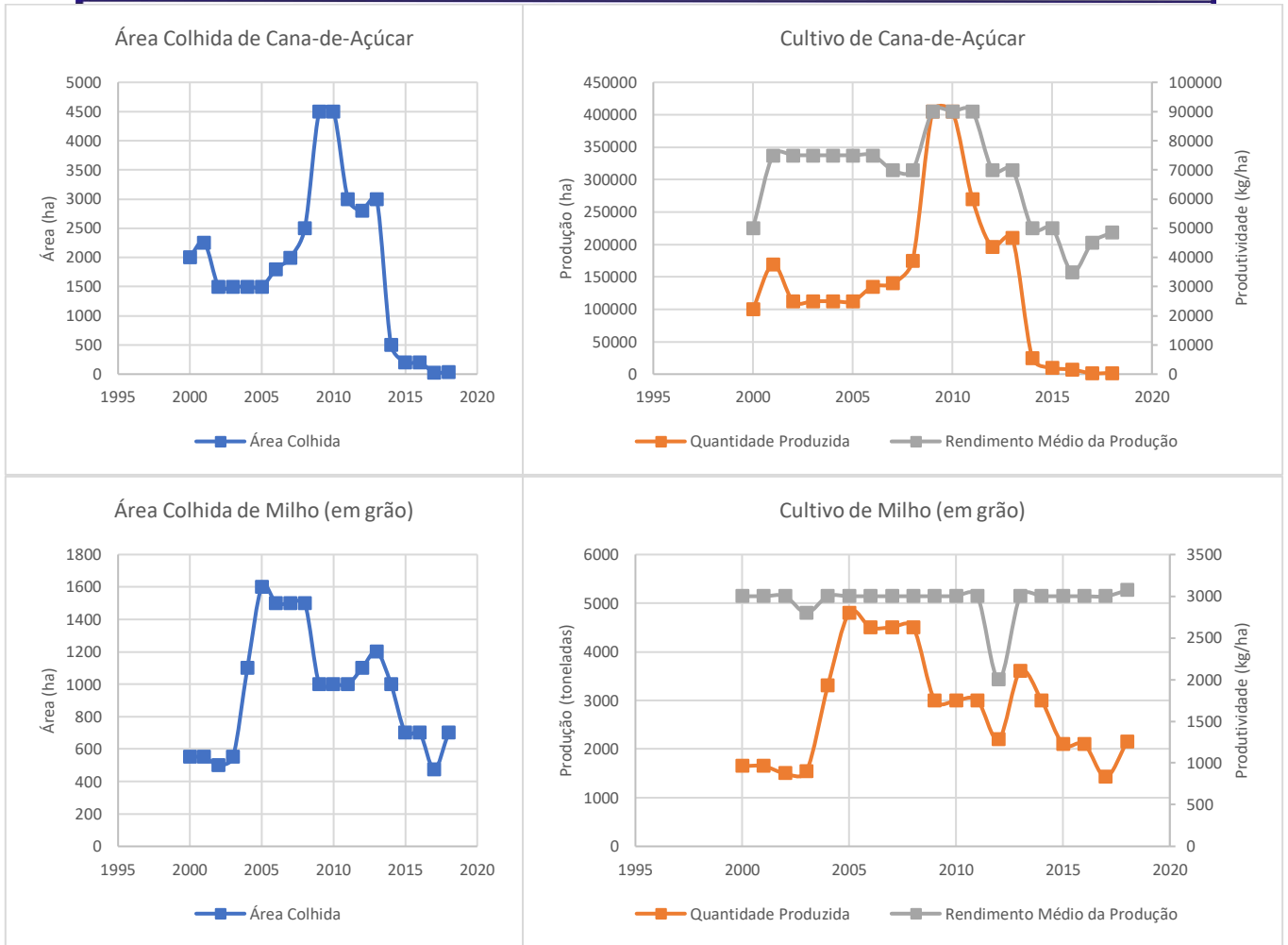
O município de Arraias apresentou o terceiro melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de abacaxi dos municípios tocaninenses, juntamente com Darcinópolis, Palmas, Porto Nacional e Colinas do Tocantins, cujos valores corresponderam a 25.000 frutos/ha. Em Arraias isso ocorreu entre os anos de 2000 a 2003, com área colhida aumentando ao longo dos anos de 5ha para 40ha e o mesmo ocorre com a quantidade produzida de 125 mil frutos para 1000 mil frutos, respectivamente. Os dados de Conceição do Tocantins não apresentam condições claramente favoráveis ao cultivo do fruto, podendo supor que condições meteorológicas semelhantes também ocorreram em Arraias. Assim, os bons rendimentos da cultura devem estar associada à práticas agrícolas adequadas. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2006 com o valor de 10.000 frutos/ha, área colhida de 25ha e quantidade produzida de 250 mil frutos, sendo este mais um ano de seca severa na região de Arraias. Vale ressaltar que os dados disponíveis desse cultivo para o município de Arraias foram registrados apenas entre 2000 a 2008 e por isso foram analisados e comparados às condições meteorológicas só para esses anos. A área colhida aumentou de 5ha em 2000 para 40 ha em 2002, diminuindo para 25ha entre os anos de 2005 a 2008. Com exceção do ano de 2006, e os anos de melhor rendimento médio de produtividade (2000 a 2003), os demais anos ficaram com rendimento médio deste cultivo com valor de 20.000 frutos/ha.

Figura 92. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Arraias – TO. Período dos dados de 2000 – 2018. Para a cultura de caju os dados são de 2006 e 2017.





GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).

Sem dados para as culturas de coco-da-baia, feijão (em grãos), melancia, soja (em grãos), sorgo (em grãos) e caju para o período analisado.

4.5.17. Peixe

Localizado na região programa Sul do Tocantins, o município de Peixe, com 11.873 habitantes (IBGE, 2020). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia R\$45.086,00 e R\$5.164,48, passando para R\$306.192,00 e R\$15.567,22 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual, diminuindo para R\$299.061,00 e R\$13.757,54. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuária para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$8.377,00; R\$42.491,57; e R\$117.590,00 respectivamente. Para o setor indústria os valores foram: R\$11.557,00; R\$387.810,01; e R\$292.811,00. Por último, temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social, que para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$19.964,00; R\$69.131,72; e R\$117.609,78; respectivamente.

Com 246 metros de altitude, se estende por uma área de 5.291,2km², sobre quatro bacias hidrográficas: bacia do rio Santo Antônio, bacia do rio Santa Tereza, bacia do rio Tocantins, e bacia do rio São Valério. Baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra (SEPLAN, 2007), há um predomínio de três usos da terra, no município, são eles: Cerrado Sentido Restrito, ocupando áreas extensas por todo o território, exceto na região oeste; Agropecuária, com maior ocupação na metade leste do município; e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, presente em todas as regiões. No ano de 2006, segundo dados da SEPLAN (2016), de 43% a 63% da área municipal era ocupada por estabelecimentos rurais e de 7% a 13% de sua fitoecologia era formada por mata ou floresta natural.

Da análise climatológica de Peixe, constata-se que a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 20°C, sendo os valores mais baixos, até 16°C, registrados no mês de julho. A temperatura máxima anual no município é de 33°C, e setembro é o mês mais quente, com valores que podem chegar aos 37°C. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1280mm, na metade sul, chegando a 1536mm na metade norte. O período chuvoso tem duração de 170 a 180 dias na maior parte do território, porém na porção leste dura entre 160 e 170 dias. Este período de chuvas se estende pelos meses de novembro a abril, durante os quais são observadas a ocorrência até 8 veranicos. Em fevereiro podem ocorrer até 14 dias com precipitação superior a 1mm.

O excedente hídrico moderado no verão predomina no município e se concentra entre os meses de janeiro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente do período. A grande deficiência hídrica no inverno é observada entre os meses de julho e outubro, sendo mais intensa em agosto.

Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 93 o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Peixe, com dados obtidos entre 1990 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

A duração do período de chuva do município de Peixe, mantém um padrão entre 145 dias e 190 dias, estando a maior frequência alocada no intervalo de classe com valores entre 175 dias e 180 dias, sendo o valor de 170 dias representante da climatologia deste Município. Não se verifica relação clara e farta entre o comportamento desta variável com ocorrência dos fenômenos ENOS. Entretanto, constata-se que no ano hidrológico 2009-2010, sob influência em um El Niño moderado, evidencia a esperada



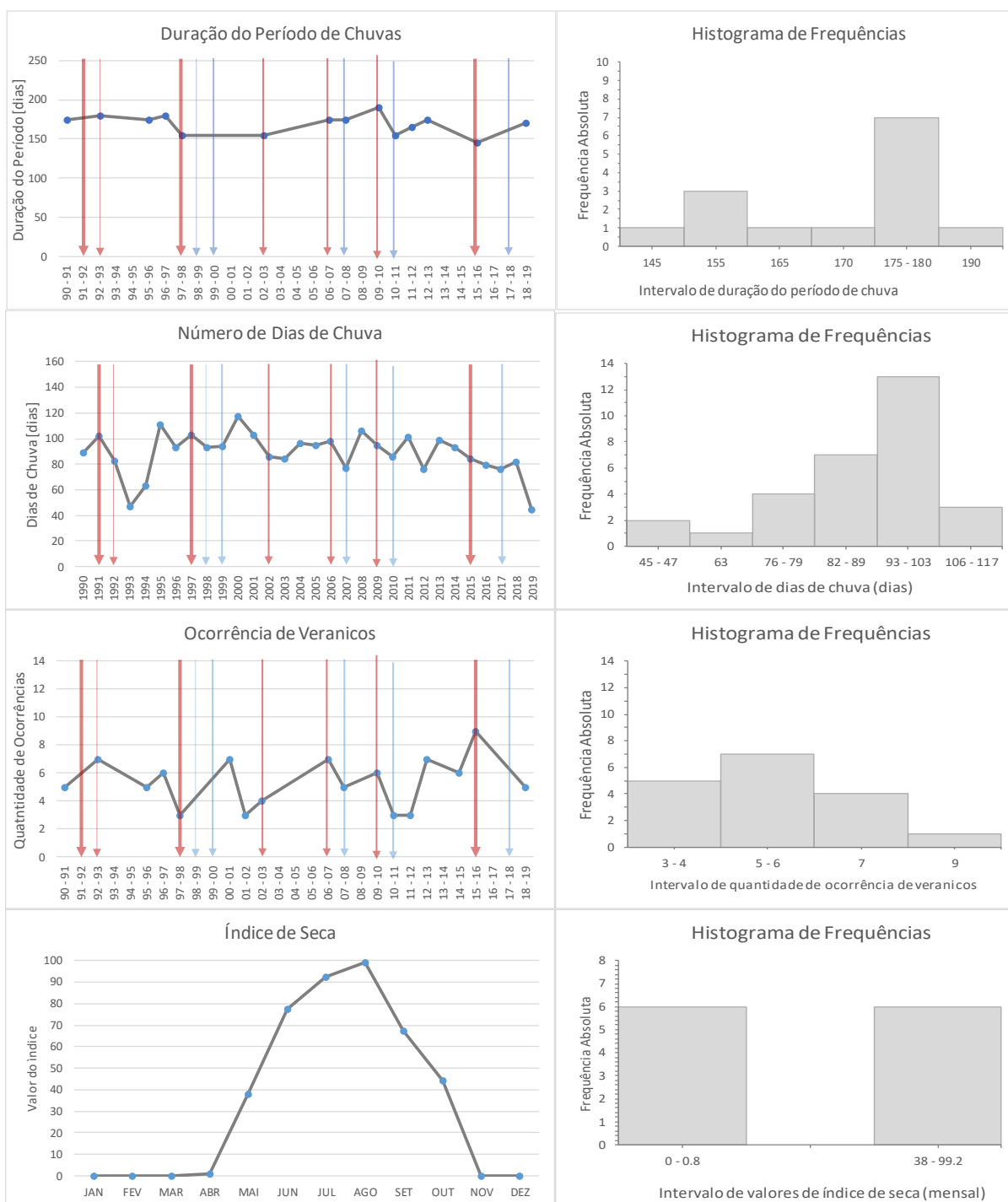
redução na duração do período chuvoso de um ano para o outro. Outra associação a este fenômeno é observada no episódio 1991-1992, com singelo aumento da variável em análise. Com relação a La Niña, nos episódios de 1999-2000 e 2017-2018 verifica-se o compatível alongamento do período chuvoso. Com expressiva tendência de encurtamento do período chuvoso em Peixe, em conformidade com os relatos do IPCC (2014), esta série histórica sugere a ocorrência de mudanças climáticas no Município.

Para o número de dias de chuva, observa-se que há maior frequência no intervalo de classe entre 93 dias e 103 dias. Identifica-se na distribuição temporal a influência dos fenômenos ENOS em todos os anos em que foram registrados tais eventos, verificando-se diminuição do número de dias de chuva em decorrência de episódios El Niño, e aumento quando ocorrem episódios La Niña, sendo os respectivos episódio 1992-1993 (El Niño fraco) e 2007-2008 (La Niña moderada) os anos com a maior amplitude de valores. A série histórica apresenta tendência de redução no número de dias de chuva, mas não de forma tão expressiva que sugiram mudanças climáticas em Peixe

Na ocorrência de veranicos, foi identificado pelo menos 3 e no máximo 9 ocorrências por ano, no período entre 1990 e 2018, sendo mais frequente o registro de 5 a 6 veranicos por ano. Nos anos hidrológicos de 2006-2007 e 2009-2010, associados com a presença do El Niño, foi observado redução na ocorrência de veranicos. A carência de dados dificulta a análise das influências dos fenômenos ENOS. Mesmo com a tendência de aumento no número de veranicos, esta série histórica não sugere fortemente alguma mudança climática em Peixe entre 1990 e 2018.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Peixe, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando que este é um período mais favorável à produção agrícola em termos hídricos. A partir da segunda quinzena de março o índice de seca apresenta crescimento, muito lento até abril, quando a curva apresenta inclinação bem acentuada até junho. O pico da curva é atingido em início de agosto, com valor para 99 para o índice, e a partir daí a curva torna-se descendente até novembro.

Figura 93. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Peixe - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



Levando em consideração o censo agropecuário de 2006 e 2017, os principais cultivos produzidos no município são: melancia, soja e sorgo.

Em relação ao cultivo de sorgo, conforme apresentado na Figura 94, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2010, com o valor de 2.900kg/ha, área colhida de 200ha e quantidade produzida de 580t. Esse foi o terceiro município com o melhor rendimento médio de produtividade dentre os 20 municípios analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados na PAM. Os fatores meteorológicos que provavelmente influenciaram o rendimento médio desta produção pode ser o volume de chuva dentro da média e o menor período chuvoso, que pode ter auxiliado no momento da implantação da cultura ou da colheita. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2015 com o valor de 1.750kg/ha, área colhida de 40ha e quantidade produzida de 70t, isso se deve a menor precipitação em Peixe, menor duração do período chuvoso e maior quantidade de veranicos.

O município de Peixe, juntamente com os municípios de Formoso do Araguaia e Natividade, foram os que apresentaram altos valores de rendimento médio de produtividade do cultivo de soja, ocupando o quarto lugar dentre os 20 municípios tocantinenses analisados para o período de 2000 a 2018. Este bom resultado de Peixe ocorreu no ano de 2012, com o valor de 3.300kg/ha, área colhida de 9.000ha e quantidade produzida de 29.700t. Sendo este um ano bastante seco no Município, com precipitação anual de 976,7mm, o bom rendimento deve ser atribuído a adoção de sistema de irrigação que garantiu as condições hídricas ótimas, enquanto naturalmente os aspectos térmicos e solares eram atendidos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002 com o valor de 1.748kg/ha, área colhida de 250ha e quantidade produzida de 437t. Este ano teve precipitação anual acima da média climatológica do Município e período chuvoso cerca de 15 dias mais curto.

Já para o cultivo do milho, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2017, com o valor de 5.120kg/ha, área colhida de 2.500ha e quantidade produzida de 12.800t. Isso ocorreu devido o número de dias chuvosos ser apropriado, além da temperatura ficar na faixa favorável para uma boa produtividade deste cultivo. Já os piores rendimentos ocorreram nos anos de 2002, 2004 e 2006 com o valor de 1.700kg/ha. Todos estes foram anos de chuva acima da média em Peixe.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2009, com o valor de 2.142kg/ha, área colhida de 140ha e quantidade produzida de 300t. Isso ocorreu devido a duração do período chuvoso ser maior que a média climatológica e mais adequado e o número de dias chuvosos mais amplo e apropriado para a melhor distribuição das chuvas. Esse foi o quinto município com o melhor rendimento médio de produtividade dentre os 20 municípios tocantinenses analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados da PAM. O pior rendimento ocorreu no ano 2012 com o valor de 73kg/ha, área colhida de 150ha e quantidade produzida de 11t, sendo este um ano de seca severa em Peixe.

O melhor rendimento médio de produtividade do cultivo do coco da baía ocorreu em 2010, com o valor de 7.000 frutos/ha, área colhida de 9ha e quantidade produzida de 63 mil frutos. Ano que provavelmente o período chuvoso mais curto e menor número de veranicos podem ter favorecido a cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2004 com o valor de 5.000 frutos/ha, área colhida de 10ha e quantidade produzida de 50 mil frutos, ano com excesso de chuva e maior quantidade de dias de chuva.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu em 2013, com o valor de 44.444kg/ha, área colhida de 18ha e quantidade produzida de 800t. Nesse ano hidrológico

verifica-se cerca de 280mm a mais de precipitação e 10 dias a mais de chuva, garantindo boas condições hídricas para a cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2001 com o valor de 31.000kg/ha, área colhida de 15ha e quantidade produzida de 465t, um ano marcado por menor volume precipitado (1133mm), mais quantidade de dias de chuva (103 dias) e menor quantidade de veranicos.

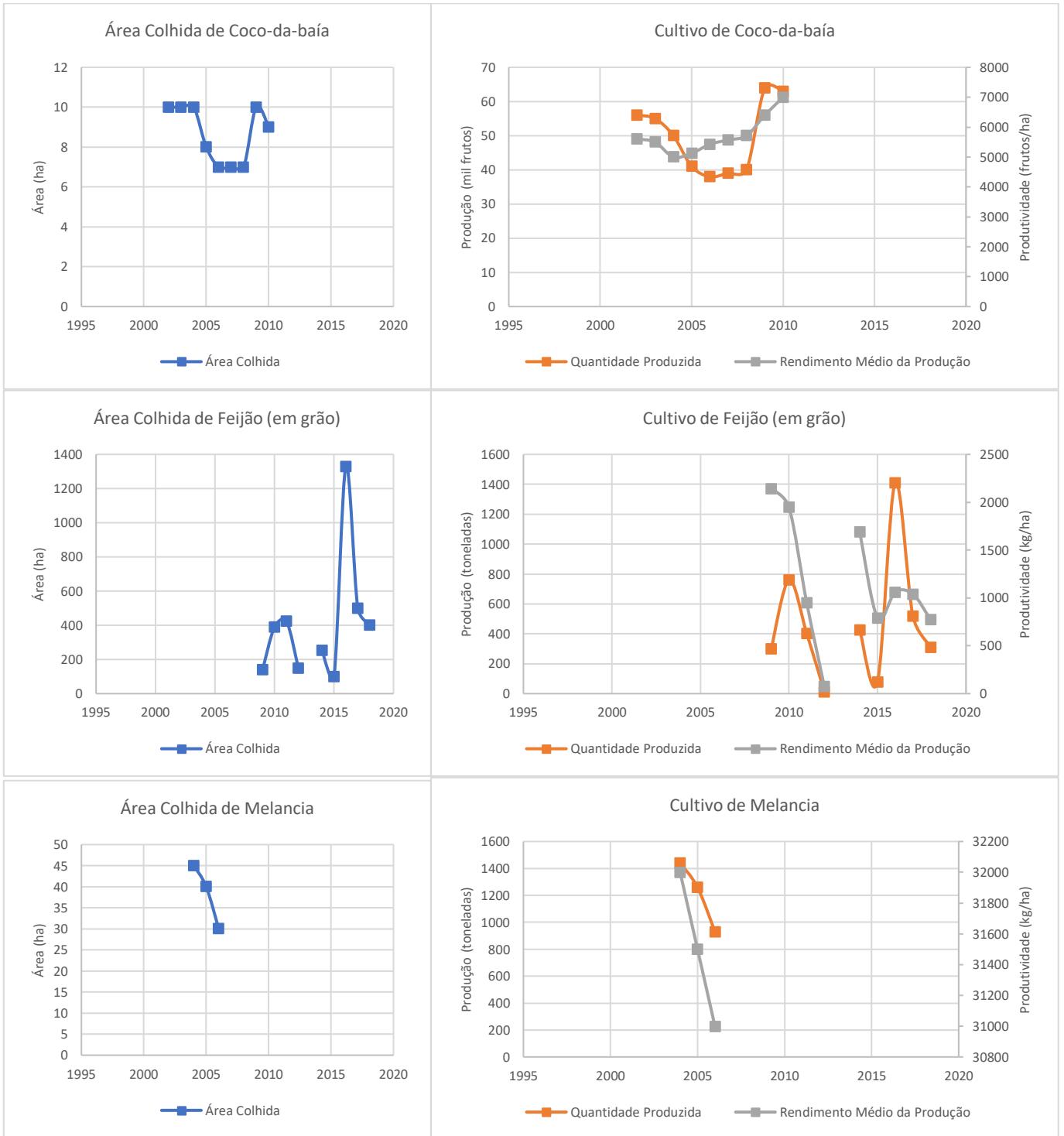
Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2015, com o valor de 8.200kg/ha, área colhida de 35ha e quantidade produzida de 287t. O curto período chuvoso (145 dias) e os 9 veranicos podem ter favorecido o desenvolvimento das plantas e a maturação dos frutos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 660kg/ha, área colhida de 100ha e quantidade produzida de 66t, cujos excedentes destes parâmetros relacionados com a precipitação apresentam valores desfavoráveis à cultura.

Quanto ao cultivo de arroz, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2018, com o valor de 2.925kg/ha, área colhida de 1.060ha e quantidade produzida de 3.100t. Apesar da ocorrência de uma La Niña, este foi um ano típico de Peixe. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002 com o valor de 950kg/ha, área colhida de 1.600ha e quantidade produzida de 1.520t, com precipitação anual acima da média e período chuvoso mais curto.



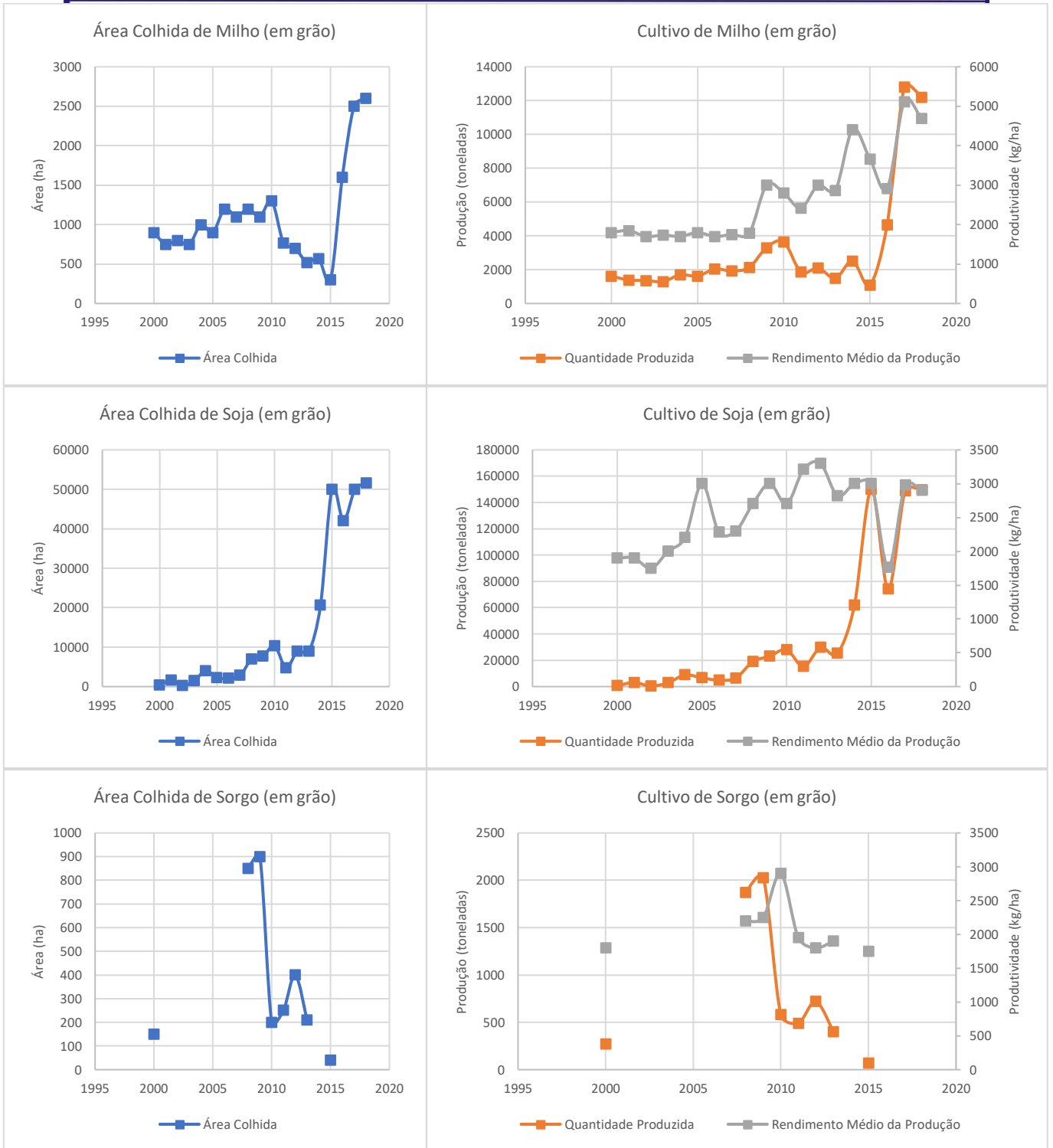
Figura 94. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Peixe – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de abacaxi e caju para o período analisado.

4.5.18. Gurupi

Localizado na região programa Sul do Tocantins, o município de Gurupi, com 87.545 habitantes, é o mais populoso da região e terceiro do Estado. É a terceira maior cidade do Tocantins, sendo o polo regional de toda parte sul do Estado (IBGE, 2013; IBGE, 2020; SEFPLAN, 2016). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia R\$398.586,00 e R\$5.856,04; passando para R\$1.468.283,29 e R\$18.698,29 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual, mostrou um avanço para R\$2.155.992,00; e R\$25.209,50. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuária para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$10.344,00; R\$20.003,67; e R\$133.193,00; respectivamente. Para o setor indústria os valores foram: R\$51.474,00; R\$219.947,73; e R\$30.793,00. Por último temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social, que, para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$271.380,00; R\$1.037.404,11; e R\$1.569.893,23; respectivamente

Sua área de 1.836,1km², a 298 metros de altitude, e a cobertura e uso do solo no município tem cinco tipos principais: Cerrado Sentido Restrito, Cerradão, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, e Agropecuária (grande concentração na porção sudoeste do município) (SEPLAN, 2007, 2016).

Da análise climatológica de Gurupi, observa-se que a temperatura mínima anual do ar fica em torno de 20°C, sendo os valores mais baixos, até 16°C, registrados no mês de julho, principalmente na metade sul. A temperatura máxima anual no município é de 33°C, setembro é o mês mais quente, com valores que podem chegar aos 37°C. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1280mm no extremo sul, passando a 1408mm nas demais áreas gurupienses. O período chuvoso tem duração de 170 a 180 dias na maior parte do território, porém no extremo sul dura entre 160 e 170 dias. Este período de chuvas se estende entre os meses de novembro e abril, se interrompendo em março no sul, e no decorrer deste são observadas até 8 veranicos. Entre janeiro e março podem ocorrer 14 dias com precipitação superior a 1mm. Em Gurupi prevalece a condição de grande excedente hídrico no verão, entre os meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente do período, e a maior parte do município tem grande deficiência hídrica no inverno.

Os gráficos disponíveis na Figura 95 revelam o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Gurupi com dados obtidos entre 1990 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Analisando a duração do período de chuva, verifica-se que, entre 1993 e 2018, as durações do período chuvoso neste Município retornaram valores dentro do intervalo de 155 dias e 190 dias. Pelo histograma de frequência verifica-se que a maioria dos anos registrou períodos com duração entre 155 dias e 160 dias. Verifica-se a diminuição do período chuvoso em decorrência de eventos El Niño nos episódios de 1997-1998 e 2006-2007. Sob a influência de La Niña, contata-se o aumento da duração do período chuvoso no episódio 1999-2000. Esta série histórica não sugere a ocorrência de mudanças climáticas em Gurupi, mesmo que se verifique a tendência de diminuição dos valores do conjunto de dados.

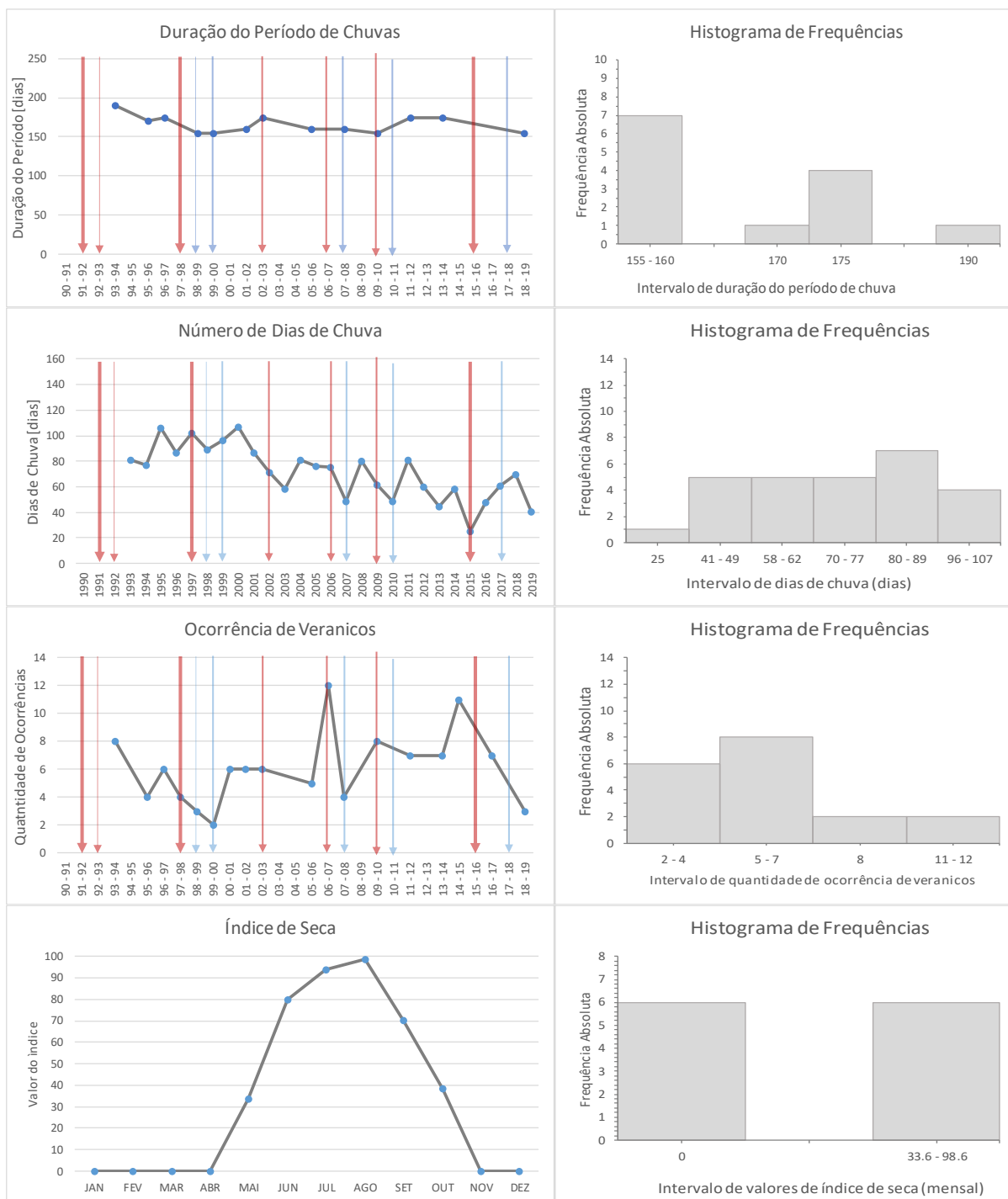


O número de dias de chuva representa a quantidade de dias com chuva acima de 1mm. Da análise de seus gráficos, observa-se a prevalência dos valores no intervalo de classe entre 80 e 89 dias. O menor valor da série histórica 25 dias, correspondendo ao registro no ano hidrológico neutro quanto à fenômenos ENOS. Nos anos hidrológicos 1997-1998, 2002-2003, 2006-2007 e 2009-2010 verifica-se a esperada diminuição do número de dias de chuva, reflexo do fenômeno El Niño. Em todos os episódios de La Niña registrados no transcorrer desta série histórica apresentaram aumento do número de dias de chuva relativo ao ano imediatamente anterior. Esta série histórica apresenta uma fortíssima tendência de diminuição dos dias de chuva em Gurupi, devendo ser investigada a ocorrência de mudanças climáticas.

Quanto à veranicos, foi identificado a ocorrência de pelo menos 2 e até 12 registros por ano, no período entre 1993 e 2018, sendo mais comum os anos registrarem de 5 a 7 ocorrências. Em anos associados com a presença do fenômeno El Niño (2006-2007 e 2009-2010) foi observado aumento no número de veranicos. Porém, entre 1997-1998 e 2015-2016 sobre a influência do fenômeno El Niño, a ocorrência de veranicos foi menor, ou seja, outros condicionantes podem ter se sobressaído aos efeitos de tal evento. Entretanto, todos os anos de La Niña ocorreram diminuição na ocorrência de veranicos, ou seja, a atuação da La Niña influencia fortemente na ocorrência de veranicos em Gurupi. Há indícios de mudança climáticas associadas a esta variável, cuja tendência de crescimento do número de veranicos é bastante acentuada nesta série histórica.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Gurupi, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis à produção agrícola. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento bastante uniforme, até atingir o pico de 98 ao fim do mês de julho, e, então, a curva torna-se descendente de agosto até novembro. A produção agrícola de Gurupi deve ser mantida com a adoção de métodos variados de irrigação no intervalo entre abril e novembro.

Figura 95. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Gurupi - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



O município de Gurupi apresentou o terceiro maior valor de rendimento médio de produtividade do cultivo de soja dentre os 20 municípios tocantinenses, analisados no período de 2000 a 2018. Este resultado de Gurupi ocorreu no ano de 2015, com o valor de 3.305kg/ha, área colhida de 9.834ha e quantidade produzida de 32.500t. Apesar dos fatores meteorológicos não serem os mais apropriados, com uma severa seca registrada, cuja precipitação total foi de apenas 785,3mm e tendo ocorrido somente 25 dias de chuva, a adoção de sistemas de irrigação e os dias quentes e ensolarados favoreceram muito a cultura. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2016 com o valor de 1.755kg/ha, área colhida de 6.314ha e quantidade produzida de 11.080t, também um ano de seca severa. Este ano hidrológico teve precipitação anual de 749,8mm, 48 dias de chuva, período chuvoso com duração de 170 dias e 7 registros de veranicos.

Já para o cultivo do milho, conforme apresentado na Figura 96, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2013 e 2017, com o valor de 5.000kg/ha, área colhida variando de 150ha para 200 ha, e quantidade produzida de 750t para 1.000t, respectivamente. Apesar dos fatores meteorológicos não serem os mais apropriados com muitas ocorrências de veranicos, e poucos dias de chuva nesse ano, o que prejudica o enchimento e maturação dos grãos, a adoção práticas agrícolas apropriadas garantiu o bom rendimento de produtividade. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000, com o valor de 1.900kg/ha, área colhida de 500ha e quantidade produzida de 950t. Este ano foi marcado por chuva acima da média climatológica (1762,6mm), 107 dias de chuva, 180 dias de duração do período chuvoso e 6 veranicos, condições hídricas que certamente sugerem deficiências nos aspectos térmicos.

O melhor rendimento médio de produtividade para o cultivo da melancia ocorreu no ano de 2001, com o valor de 40.000kg/ha, área colhida de 15ha e quantidade produzida de 600t. Esse foi o segundo município, juntamente com Porto Nacional, com o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo da melancia dentre os 20 municípios analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados da PAM. O ano hidrológico de 2000-2001 apresentou condições meteorológicas bem próximas da climatologia de Gurupi, com boa distribuição das chuvas e quantidade de veranicos favoráveis ao desenvolvimento e maturação dos frutos. Já o pior rendimento ocorreram nos anos de 2014 e 2016, com o valor de 20.000kg/ha, área colhida de 15ha e quantidade produzida de 300t, com prejuízos certamente associados ao excesso de chuva de um ano e a seca severa registrada no outro.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2003, com o valor de 2.476kg/ha, área colhida de 105ha e quantidade produzida de 260t. Apesar dos fatores meteorológicos não serem os mais apropriados com volume precipitado e número de dias de chuva abaixo do esperado para o Município, certamente os aspectos térmicos e solares foram favoráveis, e as exigências hídricas da cultura supridas por sistemas de irrigação. Esse resultado tornou Gurupi o segundo município com o valor mais alto de rendimento médio de produtividade dentre os 20 municípios tocantinenses analisados no período de 2000 a 2018. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2015 com o valor de 711kg/ha, área colhida de 266ha e quantidade produzida de 189t., fato certamente atribuído a seca severa registrada neste ano hidrológico.

Quanto ao cultivo do coco da baía, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2011 e 2013, com o valor de 9.000 frutos/ha, área colhida variando de 10ha a 4ha e quantidade produzida de 90 mil frutos a 36 mil frutos, respectivamente. As condições meteorológicas destes dois anos foram bem diversas, sendo a adoção de práticas agrícolas adequada à cultura a mais provável contribuição para os bons resultados obtidos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2003, com o valor

de 5.583 frutos/ha, área colhida de 36ha e quantidade produzida de 201 mil frutos, verificando-se neste ano precipitação anual abaixo do esperado, com total de 1263,8mm, e 58 dias de chuva, também abaixo da média.

Gurupi apresenta o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de cana-de-açúcar, dentre os 20 municípios tocantinenses analisados no período de 2000 a 2018. Isso ocorreu no ano de 2009, com o correspondente valor de 92.000kg/ha, área colhida de 1.100ha e quantidade produzida de 101.200t. Com chuva acima da média (1819,3mm) e 8 veranicos, as condições meteorológicas mostram-se favoráveis à este cultivo. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2018, com o valor de 40.400kg/ha, área colhida de 50ha e quantidade produzida de 2.020t, um ano bem chuvoso, com menor duração do período chuvoso e apenas 3 veranicos.

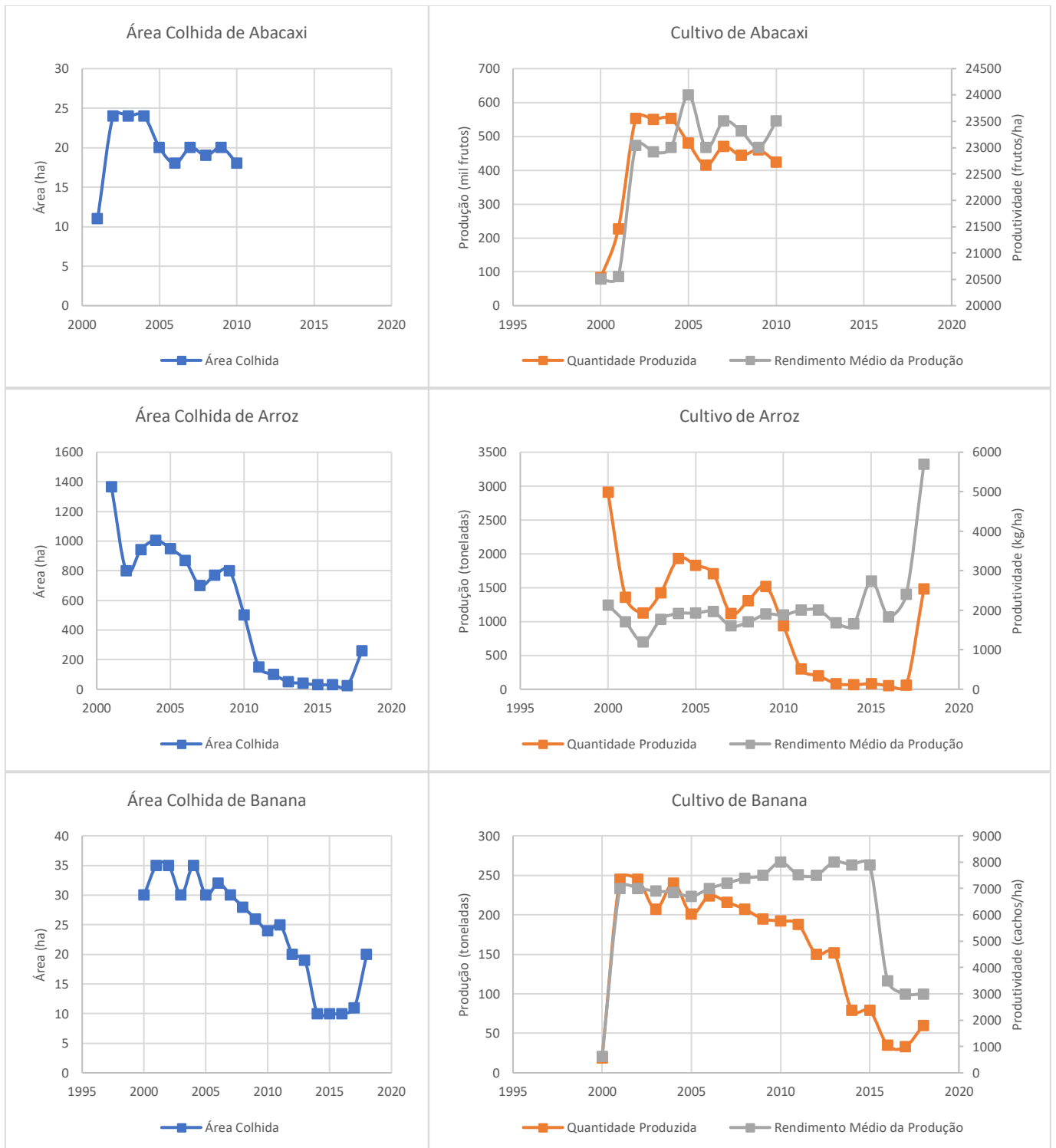
Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2010 e 2013, com o valor de 8.000kg/ha, área colhida variando de 24ha a 19ha e quantidade produzida de 192t a 152t, respectivamente. Este cultivo tem exigências hídricas da ordem de 100mm/mês, condição garantida nos dois anos mesmo com precipitação acumulada abaixo da média, enquanto o menor número de dias de chuva favoreceu os aspectos térmicos. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 633kg/ha, área colhida de 30ha e quantidade produzida de 19t, que se caracterizou por excesso de precipitação (1762,6mm), maior número de dias de chuva (107 dias) e período chuvoso mais longo (180 dias).

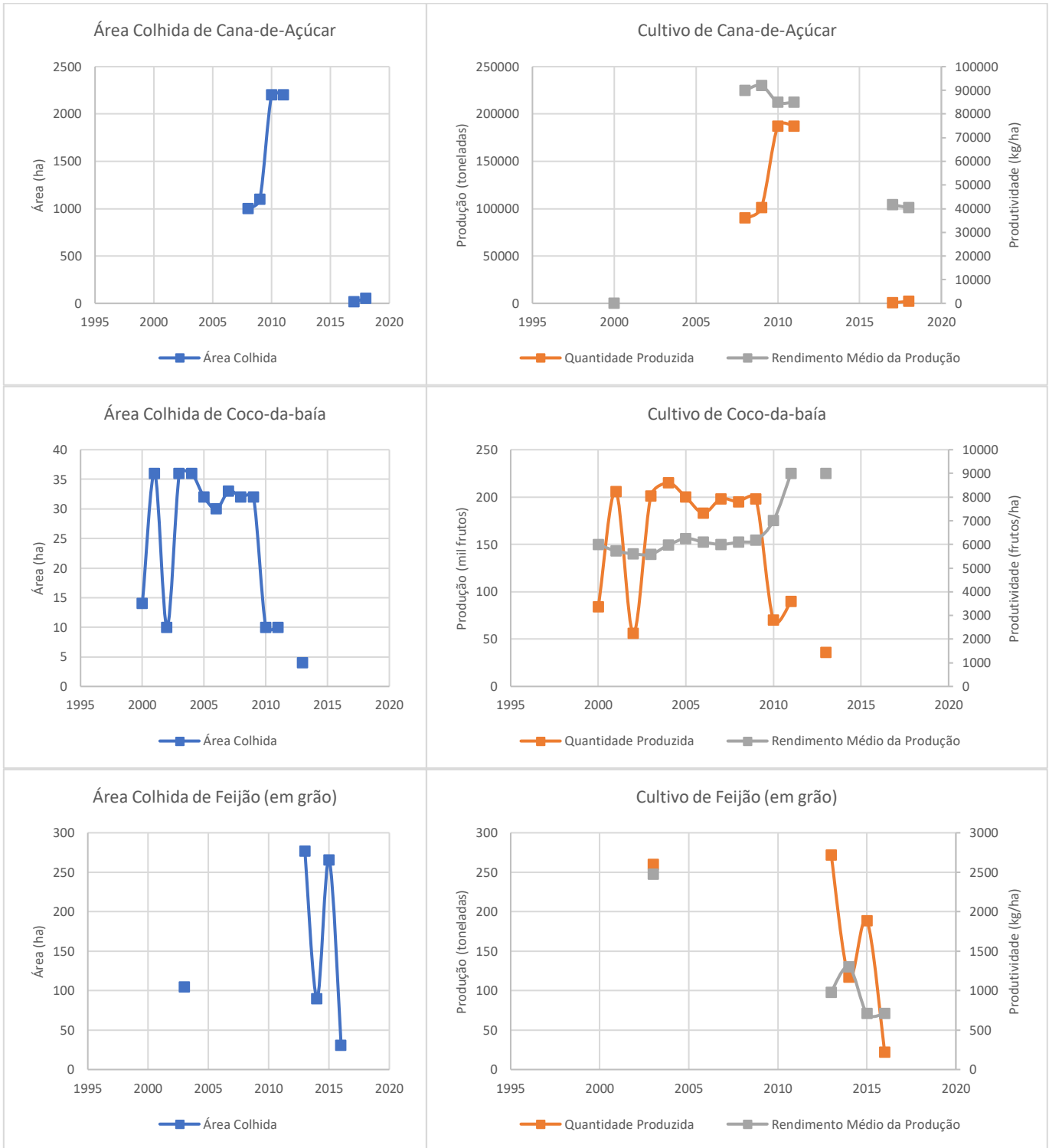
O município de Gurupi apresentou o quarto maior valor de rendimento médio de produtividade do cultivo de arroz dos 20 municípios tocantinenses analisados no período de 2000 a 2018. Isso ocorreu no ano de 2018, com o valor de 5.692kg/ha, área colhida de 260ha e quantidade produzida de 1480t. Neste ano hidrológico foi marcado por precipitação anual acima da média climatológica (1714,3mm), 70 dias de chuva e um período chuvoso que durou 155 dias e teve a ocorrência de 3 veranicos, favorecendo o desenvolvimento da cultura, até mesmo do arroz de sequeiro. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002, com o valor de 1.194kg/ha, área colhida de 943ha e quantidade produzida de 1.126t, um ano com condições típicas de Gurupi, sugerindo que outros fatores possam ter influenciado o rendimento desta cultura.

Para o cultivo do abacaxi, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2005, com o valor de 24.000 frutos/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 480 mil frutos, sendo este um ano em que os parâmetros meteorológicos apresentaram valores bem próximo da média climatológica de Gurupi, garantindo o pleno desenvolvimento dos abacaxizeiros. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000, com o valor de 20.500 frutos/ha, área colhida de 4ha e quantidade produzida de 82 mil frutos. Por se tratar de um ano com precipitação acima da média (1762,6mm), maior número de dias de chuva (107 dias) e período chuvoso mais longo (180 dias), as condições podem ter se apresenta mais complexas para a cultura do abacaxi nas finais do ciclo de desenvolvimento.



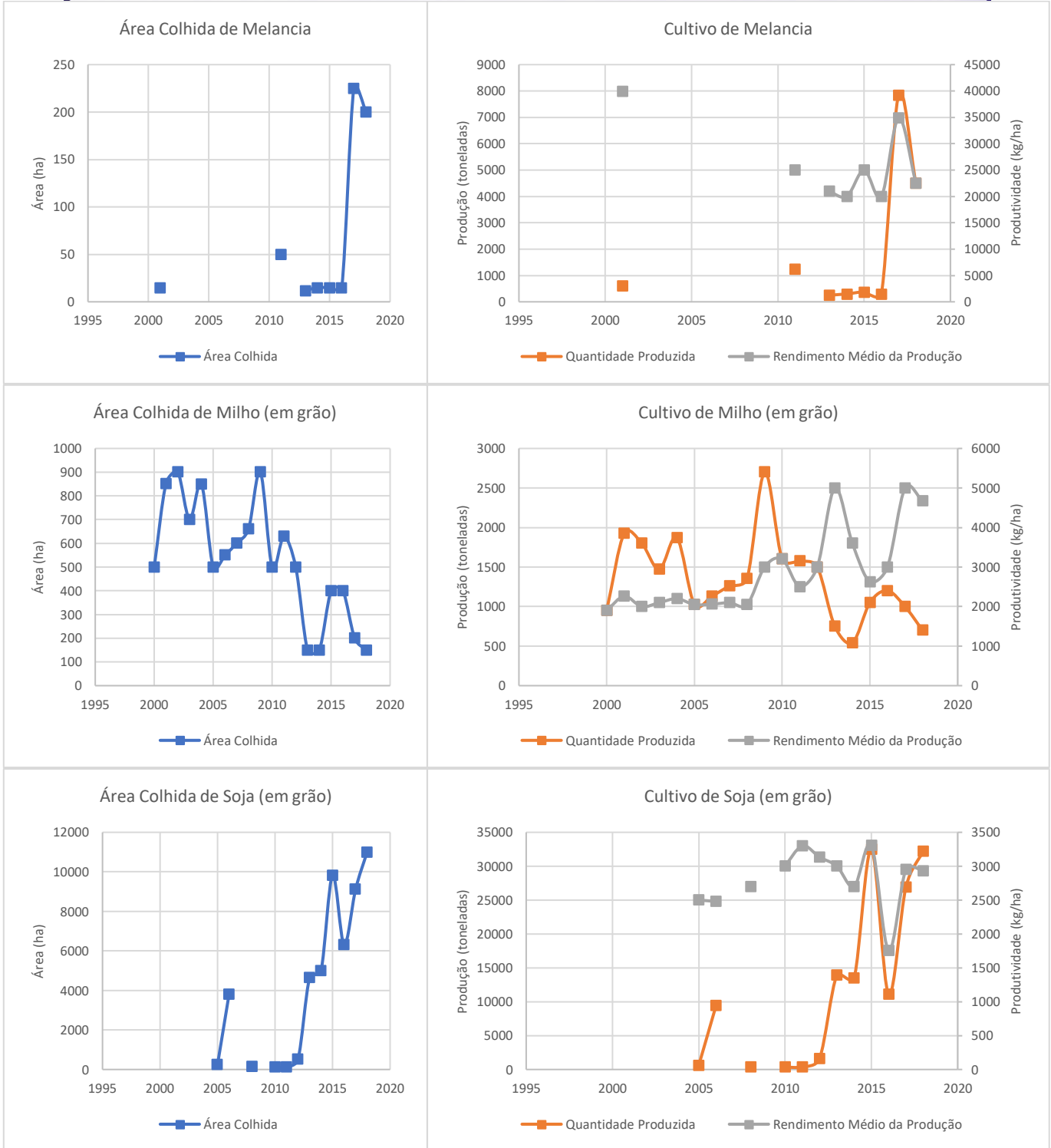
Figura 96. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Gurupi – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.

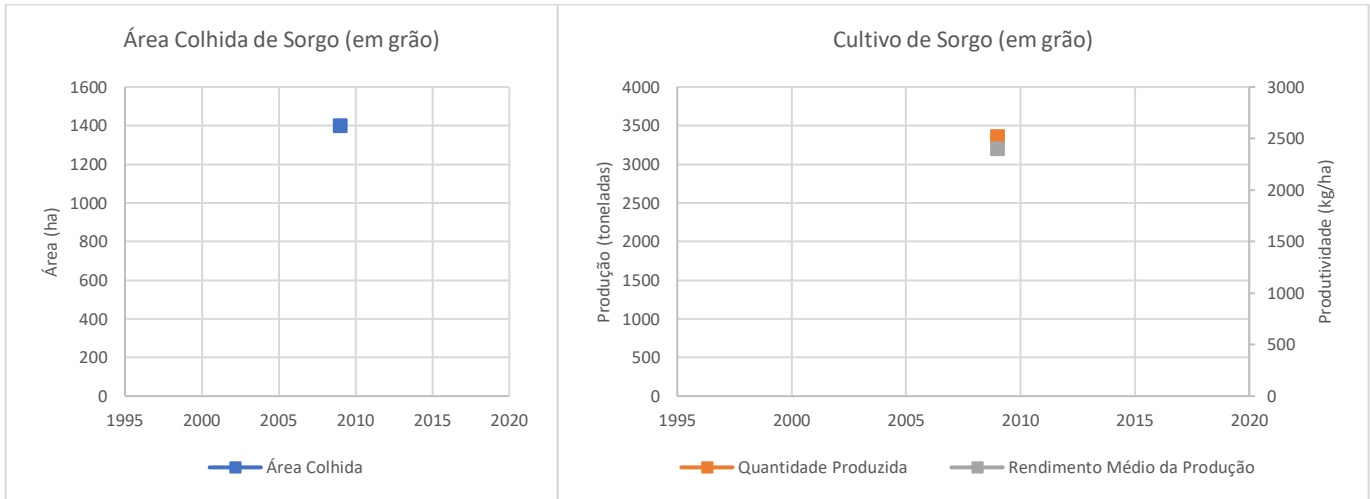






GOVERNO DO TOCANTINS





Fonte: IBGE.

Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de caju para o período analisado.



4.5.19. Formoso do Araguaia

Formoso do Araguaia está localizado na região programa Sudoeste do Tocantins e possui 18.399 habitantes (IBGE, 2020). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia R\$110.456,00 e R\$5.695,35, passando para R\$259.929,46 e R\$14.150,44 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual, mostrou um avanço para R\$400.186,00 e R\$21.418,63. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuária para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$41.983,00; R\$88.472,12; e R\$133.193,00; respectivamente. Para o setor indústria os valores foram: R\$10.100,00; R\$26.166,75; e R\$30.793,00. Por último temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de (administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social) para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$50.868,00; R\$131.885,28; e R\$212.824,93; respectivamente.

O município está a 234 metros de altitude, se estende por uma área de 13.423,4km², onde, baseado no mapeamento da cobertura e uso da terra (SEPLAN, 2007), observa-se cinco principais tipos de usos da terra: Parque de Cerrado; Cerrado Sentido Restrito; Agropecuária (concentrada na metade leste); Cerradão; e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial.

A análise climatológica de Formoso do Araguaia, mostra que a maior parte do município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, porém no leste fica em torno de 20°C. No mês de julho são registrados os menores valores mensais, entre 18 e 19°C, em praticamente todo o território. A temperatura máxima anual do município fica em torno de 33°C, chegando aos 37°C em setembro. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado de 1280mm no leste, aumentando para 1408mm na faixa central, de norte a sul, e atingindo 1536mm oeste e noroeste. O período chuvoso, entre 160 e 170 dias, acontece entre os meses de novembro e abril, quando são observadas a ocorrência de 7 a 8 veranicos. Entre os meses de janeiro e fevereiro podem ocorrer até 16 dias de chuva. O município apresenta grande excedente hídrico no verão, entre os meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente. Possui deficiência hídrica moderada no inverno na metade oeste e na metade leste grande deficiência hídrica no inverno.

Nos gráficos da Figura 97 observa-se o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Formoso do Araguaia com dados obtidos entre 1990 e 2019. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

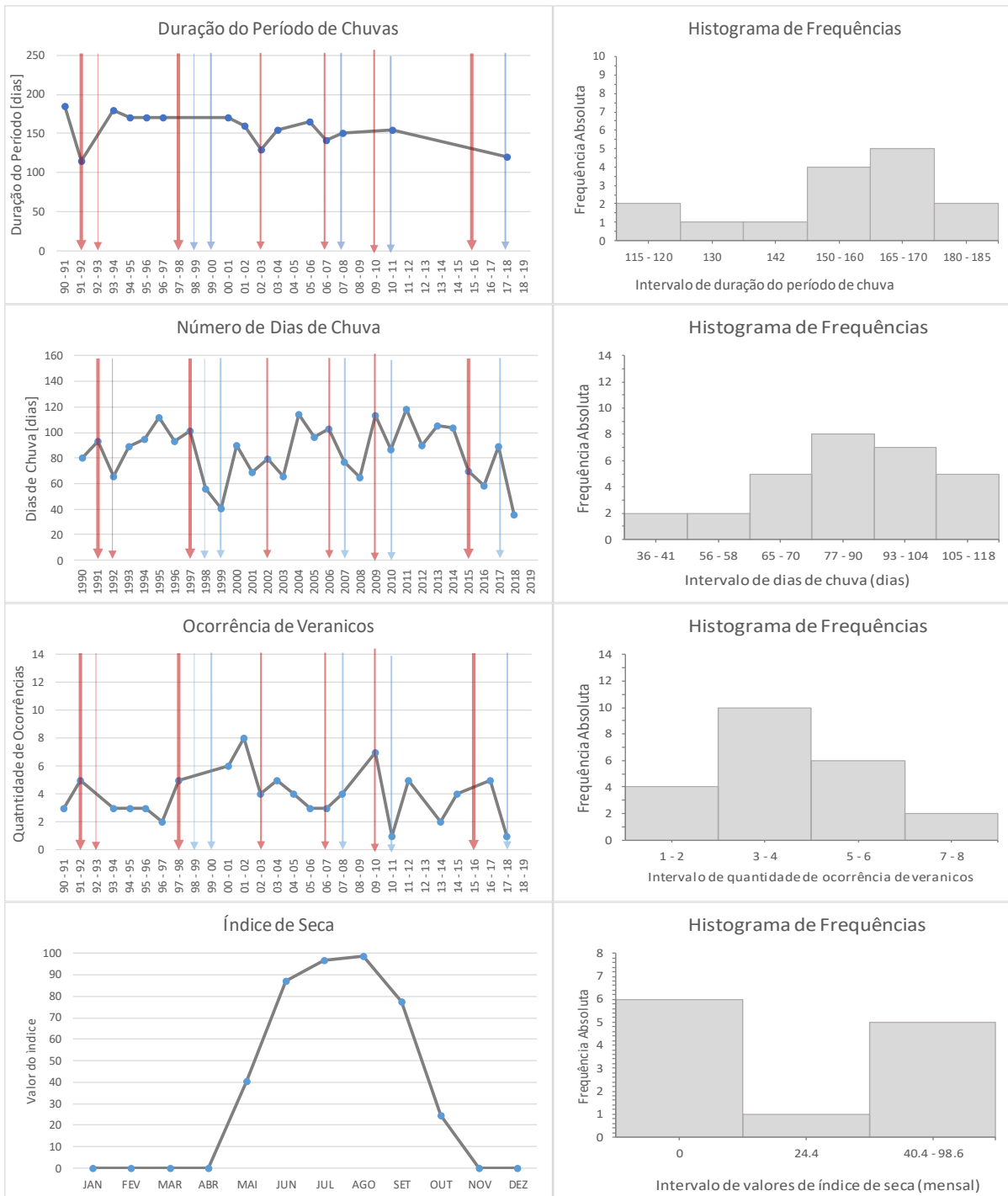
De forma geral, a duração do período de chuva mantém um padrão entre 115 dias e 200 dias, sendo que para o município de Formoso do Araguaia o intervalo de classe com maior frequência tem valores entre 165 dias e 175 dias. Observa-se, a interferência do El Niño em grande parte na distribuição temporal do período de chuva, com diminuição dos valores associados ao episódio 2009-2010. Os anos que apresentaram o contraditório aumento da duração no período de chuva em decorrência do El Niño foram: 2002-2003 e 2006-2007 e 2015-2016. Sob a influência de La Niña, um episódio apresentou aumento na duração do período de chuva, 2010-2011. A ausência de dados no interior da série histórica, de 1990 a 2017, dificulta a análise da variabilidade decorrente da atuação dos fenômenos ENOS, bem como de mudanças climáticas.

Para o número de dias de chuva, observa-se que a frequência prevalente localiza-se no intervalo de classe com valores entre 77 dias e 90 dias. Foi observada grande influência do fenômeno El Niño em quase todos os anos de sua ocorrência, com a correspondente diminuição do número de dias de chuva, exceto no episódio de 1992-1993 de fraca intensidade. Os únicos anos que apresentaram influência do fenômeno La Niña foram 1999-2000 e 2010-2011, registrando aumento no número de dias de chuva. Esta série histórica não sugere qualquer mudança climática ocorrendo em Formoso do Araguaia.

Na ocorrência de veranicos, foi identificado pelo menos 1 e no máximo 8 ocorrências por ano, no período entre 1990 e 2017, sendo mais frequente de 3 a 4 veranicos por ano. Em anos associados à presença do fenômeno El Niño foi observado aumento no número de veranicos nos episódios 2002-2003 e 2006-2007, mas diminuição no episódio 2009-2010, merecendo maior investigação. Quanto a La Niña os dados só possibilitaram identificar o contraditório aumento no número de veranicos durante o episódio 2010-2011.



Figura 97. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Formoso do Araguaia - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Formoso do Araguaia, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis às atividades agropecuárias. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, com evolução uniforme até início de junho, quando verifica-se uma desaceleração no crescimento até atingir o pico de 98 no fim do mês de julho. A partir daí, a curva torna-se descendente de agosto até novembro.

A predominância de áreas sujeitas a alagamentos no período chuvoso dificultou a colonização inicial de Formoso do Araguaia. Porém, foi justamente esta característica que torna a área apta à cultura irrigada, cujo solo e condições climáticas garantem excelentes produtividades agrícolas (SEPLAN, 2016).

O município de Formoso do Araguaia, juntamente com os municípios de Natividade e Peixe, foram os que apresentaram altos valores de rendimento médio de produtividade do cultivo de soja, ocupando o quarto lugar dentre os 20 municípios tocantinenses analisados para o período de 2000 a 2018. Em Formoso do Araguaia este resultado foi obtido no ano de 2012, com o valor de 3.300kg/ha, área colhida de 16.493ha e quantidade produzida de 54.426t. Isso ocorreu devido a quantidade precipitada (1456,5mm) e número de dias de chuva (90 dias) ligeiramente acima da média para o Município, favorecendo a boa produtividade deste cultivo. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2003 com o valor de 2.500kg/ha, área colhida de 15.100ha e quantidade produzida de 37.750t. Esse fato deve-se ao número elevado de ocorrência de veranicos (5), a duração do período chuvoso ser menor nesse ano hidrológico (155 dias) e menor dias de chuva (66 dias), associados a precipitação acumulada de 1014,3mm, quando os valores esperados seriam, respectivamente: 4 veranicos, 163 dias, 85 dias e 1364mm.

Outro cultivo de alta representatividade no município é o do milho, registrando o melhor rendimento médio de produtividade no ano de 2018, com o valor de 5.556kg/ha, área colhida de 450ha e quantidade produzida de 2.500t. A ausência de dados impede a análise da influência dos fatores meteorológicos sobre os resultados desta cultura, sabendo-se apenas que ocorreu uma La Niña moderada no ano hidrológico 2017-2018 e foram registrados 36 dias de chuva durante o ano. Esse valor de rendimento médio de produtividade do cultivo do milho torna o município de Formoso do Araguaia o quinto município com o valor mais alto deste índice, dentre os 20 municípios tocantinenses analisados no período de 2000 a 2018. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2013 com o valor de 1.750kg/ha, área colhida de 800ha e quantidade produzida de 1.400t. Neste ano hidrológico os parâmetros meteorológicos registraram os seguintes valores: 1574,4mm de precipitação anual, 105 dias de chuva, período chuvoso com duração de 165 dias, e 2 veranicos, o que certamente resultou em maior distribuição das chuvas, mas com condições térmicas menos adequadas.

Já para o cultivo da melancia, conforme apresentado na Figura 98, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2002, com o valor de 36.900kg/ha, área colhida de 2.000ha e quantidade produzida de 73.800t. Esse foi o quarto município com o melhor rendimento médio de produtividade deste cultivo dentre os 20 municípios analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados na PAM. Com condições meteorológicas próximas dos valores climatológicos do Município, o cenário apresentava-se favorável à este cultivo. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 3.749kg/ha, área colhida de 1.655ha e quantidade produzida de 6.206t. Tal resultado pode estar associado a condições ligeiramente acima da média climatológica, especialmente o maior



número de veranicos, que pode ter causado alguma deficiência hídrica em momento crucial para o desenvolvimento e rendimento da melancia.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2014, com o valor de 2.282kg/ha, área colhida de 110 ha e quantidade produzida de 251 t. Isso ocorreu devido ao baixo número de ocorrências de veranicos, a duração de o período chuvoso ser adequado e o número de dias chuvosos ser apropriado, além da temperatura ficar na faixa apropriada para uma boa produtividade deste cultivo. Esse valor de rendimento médio de produtividade, torna o município de Formoso do Araguaia o quarto município entre os analisados com maior valor de rendimento médio de produtividade nos 19 anos analisados. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2006 com o valor de 566 kg/ha, área colhida de 270 ha e quantidade produzida de 153 t. Esse fato não fica evidenciado pelas condições meteorológicas que foram apropriadas para um bom rendimento médio de produtividade, provavelmente isso ocorreu devido a falta de uma boa prática agrícola.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2018, com o valor de 44.080kg/ha, área colhida de 25ha e quantidade produzida de 1102t, ano com muita ausência de dados que impede a avaliação. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2014 com o valor de 30.000kg/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 600t, ano marcado por um extenso período chuvoso, 200 dias, que pode ter acarretado dificuldades tanto na implantação da cultura quanto na colheita.

O melhor rendimento médio de produtividade do cultivo da banana ocorreu no ano de 2015, com o valor de 8.109kg/ha, área colhida de 55ha e quantidade produzida de 446t. Este ano hidrológico 2014-2015 foi de uma severa seca em Formoso do Araguaia, que favoreceu os aspectos térmicos e solares da cultura já que comumente agricultura do Município faz uso de sistemas de irrigação. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000, com o valor de 657kg/ha, área colhida de 70ha e quantidade produzida de 46t. Assim como ocorreu em outras culturas, o maior número de veranicos do ano hidrológico 1999-2000, que pode ter causado alguma deficiência hídrica em momento crucial para o desenvolvimento e rendimento das bananeiras.

Em relação a produção do cultivo de arroz, Formoso do Araguaia registrou o melhor rendimento médio de produtividade no ano de 2017, com o valor de 7.282kg/ha, área colhida de 23.550ha e quantidade produzida de 171.500t. Esse valor de rendimento médio de produtividade foi o segundo mais alto dentre todos os 20 municípios analisados para o período de 2000 a 2018. O ano hidrológico 2016-2017 teve chuva acima da média (1670,5mm), período chuvoso com duração de 120 dias e apenas um veranico, condições favoráveis até mesmo para o arroz de sequeiro. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2005, com o valor de 3.931kg/ha, área colhida de 25.430ha e quantidade produzida de 99.988t, ano com total de precipitação aproximadamente 580mm acima da climatologia anual do Município, que pode ter resultado em elevação da umidade do ar e do solo, já que os outros parâmetros meteorológicos foram dentro da média. Atualmente o município é um dos maiores produtores de arroz irrigado do Estado. O crescente desenvolvimento da produção esta associada com o clima favorável da região e projetos direcionados para o desenvolvimento da cultura.

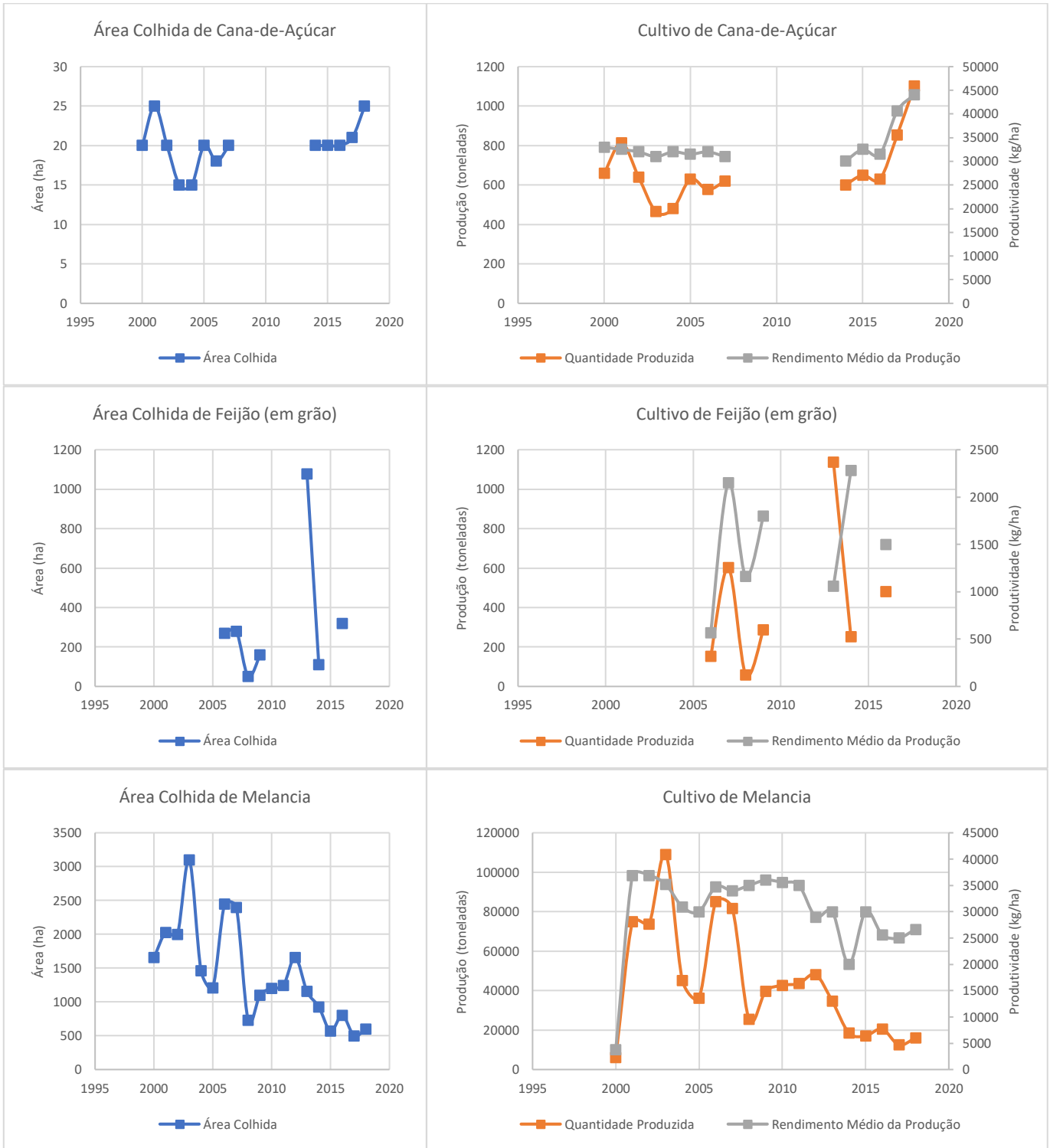
Juntamente com Dianópolis, o município de Formoso do Araguaia apresentou o melhor rendimento de abacaxi do Estado, segundo a pesquisa PAM consultada. Esse bom rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2008, com o valor de 30.000 frutos/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 600 mil frutos, ano hidrológico (2017-2018) sob a influência de uma La Niña moderada. Já o pior

rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 18.571 frutos/ha, área colhida de 7ha e quantidade produzida de 130 mil frutos. O maior número de veranicos do ano hidrológico 1999-2000, pode ter causado alguma deficiência hídrica em momento crucial para o desenvolvimento dos frutos. Assim como o ano de 2000, os anos de 2001 e 2002 tiveram valores abaixo de 20.000 frutos/ha, isso pode ter ocorrido pela falta de tecnologia na prática agrícola, que vai se desenvolvendo ao longo dos anos, e também pela elevada ocorrência de veranicos, de 4 a 8 casos, a duração do período chuvoso ter caído abaixo de 150 dias e o número de dias com chuva não ser elevado. Ao longo desses 19 anos analisados, a área colhida do abacaxi passou de 7ha em 2000 para 20ha em 2008, alcançando o valor de 22ha em 2009, oscilando até chegar a 10ha em 2018.



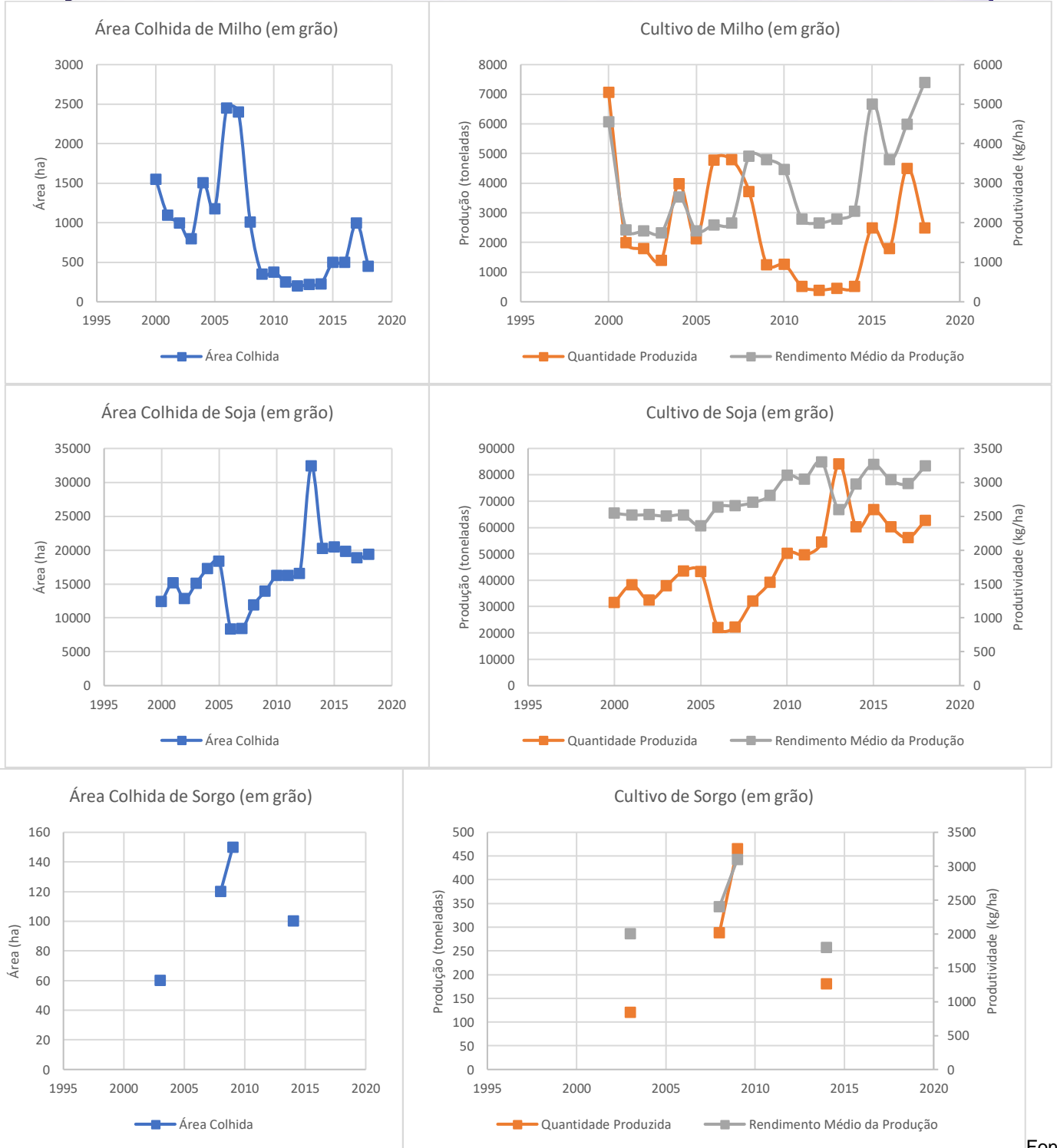
Figura 98. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Formoso do Araguaia – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.







GOVERNO DO TOCANTINS



Fonte:

IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de coco-da-baía e caju para o período analisado.

4.5.20. Lagoa da Confusão

O município de 13.767 habitantes, conforme estimativa do IBGE para o ano de 2020, é a principal economia da região programa Sudoeste (Ilha do Bananal), e ocupa a segunda colocação no quesito território e ambiente, conforme Censo 2010 (IBGE, 2013). De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual do município no ano de 2002 correspondia R\$50.091,00 e R\$6.854,22; passando para R\$260.997,86 e R\$24.119,57 em 2012. A última edição disponibilizada pelo IBGE (2017), relacionado ao PIB e o PIB *per capita* anual, mostrou um avanço para R\$503.230,00 e R\$39.290,31. Os valores brutos a preços correntes para o setor agropecuária para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$24.319,00; R\$74.821,95; e R\$198.653,00; respectivamente. Para o setor indústria os valores foram: R\$4.850,00; R\$74.588,93; e R\$67.657,00. Por último temos os valores referentes ao total de serviços, no qual inclui atividades de administração, defesa, educação e saúde públicas, e seguridade social, que, para os anos de 2002, 2012 e 2017 foram: R\$18.458,00; R\$98.317,54; e R\$197.369,25; respectivamente.

Com área territorial de 10.564,7km², seu mapeamento da cobertura e uso da terra aponta cinco principais usos, no município, que são: Parque de Cerrado, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Cerrado Sentido Restrito, Agropecuária e Cultura Temporária. Tanto a agropecuária quanto a cultura temporária estão mais concentradas na região leste do município (SEPLAN, 2007; 2016).

A região da Ilha do Bananal apresenta um dos maiores PIB *per capita* anual do estado do Tocantins, em especial o município de Lagoa da Confusão. Segundo a SEPLAN (2016), o PIB *per capita* anual do município está acima da média brasileira devido a sua grande produção de arroz irrigado, soja, feijão e milho. Em relação ao uso das terras destinadas para atividades de cultivos temporários e permanentes, de acordo com o SEFAZ (2017), no ano de 2006 1.798ha eram destinados a lavoura temporária e 14.370ha estavam ocupadas com lavouras permanentes.

Verifica-se através da análise climatológica da Lagoa da Confusão, que o município possui temperatura mínima anual do ar em torno de 22°C, e que no mês de julho são registrados os menores valores mensais, entre 18 e 19°C. A temperatura máxima anual do município fica em torno de 33°C, chegando aos 37°C em setembro. O regime anual de chuvas apresenta total acumulado entre 1536 e 1664mm em praticamente todo o município, somente uma pequena área no extremo noroeste o total acumulado pode chegar a 1792mm anuais. Na maior parte do território lagoense o período chuvoso tem duração entre 160 e 170 dias durante os meses de novembro e março, porém, na área urbana o período chuvoso pode avançar até abril. Durante o período chuvoso são observadas a ocorrência de até 6 veranicos no município, exceto no sul onde podem ocorrer até 8 eventos. Entre os meses de janeiro e março podem ocorrer até 16 dias em cada mês com precipitação superior a 1mm.

Lagoa da Confusão apresenta grande excedente hídrico no verão, entre os meses de dezembro a março, sendo fevereiro o mês com maior excedente, mas são identificadas pequenas áreas dispersas ao sul do município com moderado excedente hídrico no verão. A deficiência hídrica se concentra no inverno, entre os meses de junho e setembro, sendo mais intensas em agosto. A metade oeste do município tem deficiência hídrica moderada no inverno e a metade leste grande deficiência hídrica no inverno. Estas condições lhe conferem a seguinte classificação climática segundo Thornthwaite: na metade oeste predomina clima subúmido com moderada deficiência no inverno e na metade leste clima subúmido com grande deficiência no inverno.



Observa-se nos gráficos disponíveis na Figura 99 o comportamento temporal e a distribuição de frequência das seguintes variáveis meteorológicas: duração do período de chuvas [dias], número de dias de chuva [dias], ocorrência de veranicos [número] e índice de seca [dias], gerados especificamente para o município de Lagoa da Confusão, com dados obtidos entre 2004 e 2019, predominantemente. As setas vermelhas e azuis indicam a ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, cujas intensidades são diferenciadas pela espessura das setas (forte, moderado e fraco). Os anos sem a indicação de setas, são anos neutros, isto é, sem a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

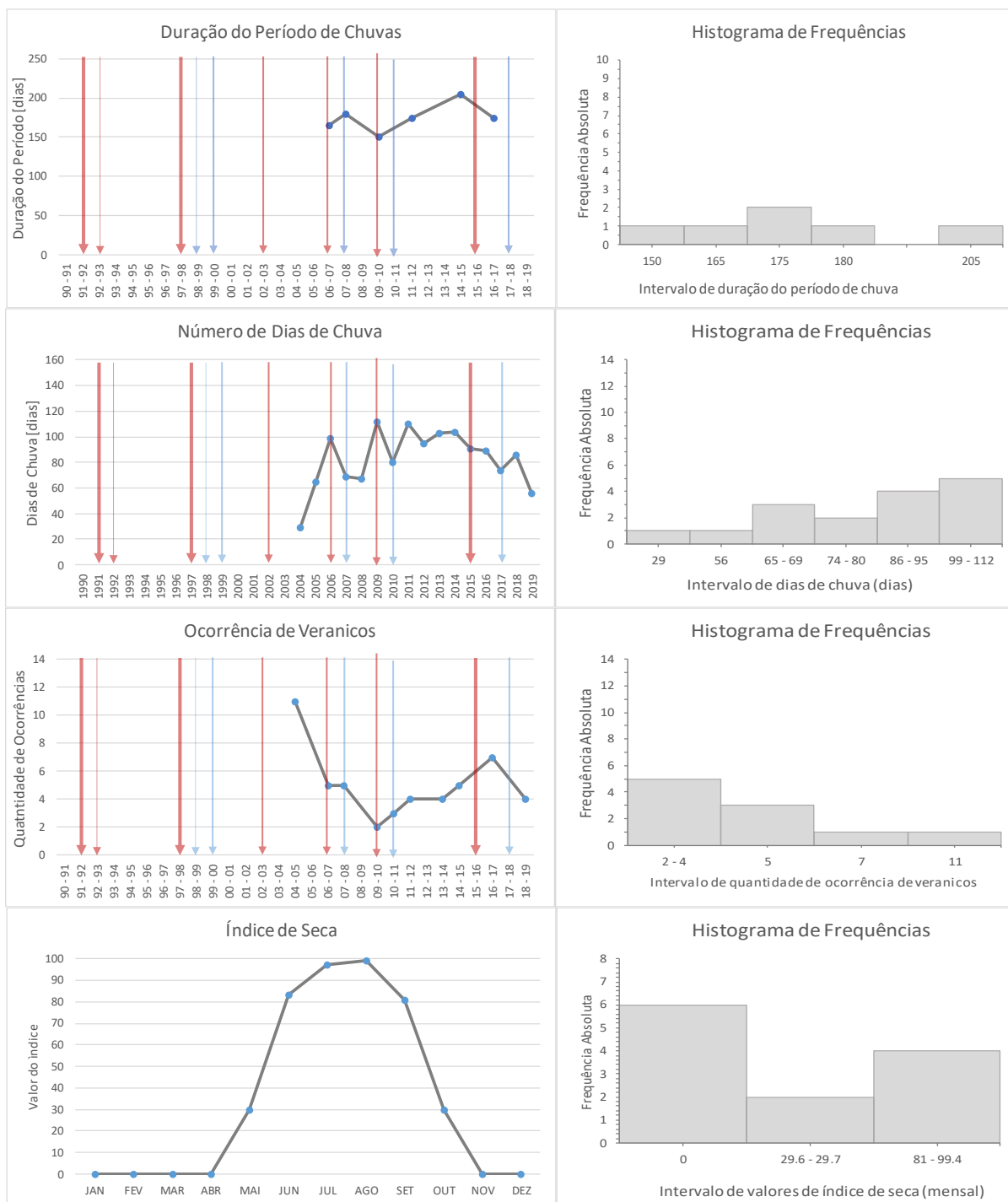
A duração do período de chuva mantém um padrão entre 150 dias e 205 dias, sendo que para o município a distribuição de maior frequência é de 175 dias. A pequena quantidade de dados prejudica a avaliação desta variável, apenas 10 anos de dados, entre os anos de 2004 a 2018.

Para o número de dias de chuva, observa-se que a frequência prevalece nas faixas entre 99 dias e 112 dias, com menor valor da série histórica de 29 dias registrado no ano de 2004 (neutro para ENOS). Identifica-se na distribuição temporal a influência de um El Niño no padrão comportamental desta variável, constatando-se a diminuição do número de dias de chuva em decorrências dos episódios 2006-2007, 2009-2010 e 2015-2016. Em anos de La Niñas os efeitos não são tão frequentes, verificando-se o aumento nos valores da variável durante os episódios 2010-2011 e 2017-2018. Esta variável aponta a forte tendência de aumento no número de dias de chuva em Lagoa da Confusão, contrariando os relatos do IPCC (2014), mas ainda sim suscitando uma análise da possível ocorrência de mudanças climáticas no Município.

Na ocorrência de veranicos, foi identificado pelo menos 2 e no máximo 11 ocorrências por ano, no período entre 2004 e 2018, sendo mais frequente de 2 a 4 veranicos por ano. Também nesta variável o pequeno tamanho da série dados prejudica a avaliação das informações apresentadas.

Os dados mensais, do período entre 1990 e 2019, do índice de seca de Lagoa da Confusão, mostram valores nulos no primeiro trimestre do ano e também nos meses de novembro e dezembro, evidenciando condições hídricas favoráveis à produção agrícola. A partir de abril o índice de seca apresenta crescimento, atingindo o pico de 99 ao fim do mês de julho, e, então, a curva torna-se descendente de agosto até novembro. A produção agrícola de Lagoa da Confusão é mantida com adoção de métodos variados de irrigação entre abril e novembro.

Figura 99. Gráficos de distribuição temporal e histograma de frequência das variáveis meteorológicas duração dos dias de chuva [dias], duração do período chuvoso [dias], ocorrência de veranicos [número], índice de seca [dias], para o município de Lagoa da Confusão - TO. Período dos dados de 1990 - 2019.



Legenda:

La Niña El Niño

Fonte: elaboração do autor, 2020.



Para o cultivo de soja, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2017, com o valor de 3.026kg/ha, área colhida de 40.128ha e quantidade produzida de 121.432t, verificando-se que a adoção de sistemas de irrigação foram essenciais para tal resultado, pois o ano hidrológico 2016-2017 teve precipitação anual abaixo da média, foram 1111,9mm quando o esperado seriam 1506,7mm, dos 83 dias esperados de chuva ocorreram apenas 74 dias. Apesar dos fatores meteorológicos não serem os mais apropriados, outros fatores que podem ter auxiliado no rendimento deste cultivo, além da temperatura, foram as boas práticas agrícolas e correção dos nutrientes do solo. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2001, com o valor de 2.100kg/ha, área colhida de 1.000ha e quantidade produzida de 2.100t, sem avaliação meteorológico por não haver dados deste ano hidrológico na estação pluviométrica de Lagoa da Confusão.

Lagoa da Confusão apresenta o segundo maior valor de rendimento médio de produtividade do cultivo do milho, dentre os 20 municípios tocantinenses analisados no período de 2000 a 2018 na pesquisa PAM. Isso ocorreu no ano de 2017, com o valor de 7.200kg/ha, área colhida de 3.071ha e quantidade produzida de 22.111t. Assim como ocorreu com o cultivo da soja, os valores abaixo da média para as variáveis meteorológicas disponíveis (precipitação acumulada e dias de chuva) favoreceram os aspectos térmicos e a irrigação foi essencial para os bons resultados alcançados. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2015 com o valor de 1.956kg/ha, área colhida de 2.700ha e quantidade produzida de 5.280t. A queda na produção de milho, está associada com a variação anual de precipitação, valor acumulado em 2015 de 1371,2mm distribuídos irregularmente em 91 dias de chuva

Já para o cultivo da melancia, conforme apresentado na Figura 100, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu nos anos de 2016, 2017 e 2018, com o valor de 35.000kg/ha, áreas colhidas de 2.354ha, 4.000ha e 2.500ha e quantidade produzida de 82.390t, 140.000t e 87.500t, respectivamente. Esse foi o quinto município que apresentou o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de melancia, dentre os 20 municípios analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados na PAM. A adoção de práticas agrícolas adequadas superou as dificuldades impostas pelas condições meteorológicas, valores abaixo e acima da média climatológica do Município em diferentes anos, considerando-se que houve um El Niño forte em 2015-2016 e uma La Niña moderada em 2017-2018. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2002, com o valor de 4.000kg/ha, área colhida de 20ha e quantidade produzida de 80t. Não constam dados meteorológicos referentes ao ano hidrológico 2001-2002 na estação pluviométrica de Lagoa da Confusão. Temperatura do ar, fotoperíodo, umidade relativa e vento são os principais fatores climáticos que influenciam no cultivo de melancia.

Em relação ao cultivo do feijão, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2003, com o valor de 2.100kg/ha, área colhida de 7.000ha e quantidade produzida de 14.700t. Mais vez, não constam dados meteorológicos referentes ao ano hidrológico 2002-2003 na estação pluviométrica de Lagoa da Confusão. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2017 com o valor de 623kg/ha, área colhida de 6.969ha e quantidade produzida de 4.344t. Condições pluviométricas abaixo da média climatológica podem ter contribuído para a queda no rendimento desta cultura.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu entre os anos de 2000 a 2002 e de 2006 de 2012, com o valor de 30.000kg/ha, área colhida com o valor variando de 50ha a 35ha e quantidade produzida de 1.050t a 1.200t. Os bons resultados obtidos nesta grande quantidade de anos provavelmente não são associados diretamente as condições meteorológicas, tão variadas de um ano para outro, devendo atribuir tais resultados a adoção de práticas agrícolas adequadas ao cultivo da cana-de-açúcar. Já os piores rendimento ocorreram entre os anos de 2003 a

2005, com o valor de 21.000kg/ha, área colhida de 50ha e quantidade produzida de 1.050t. As falhas nos dados meteorológicos referentes aos anos hidrológicos de 2002-2003, 2003-2004 e 2004-2005, na estação pluviométrica de Lagoa da Confusão dificultam a análise.

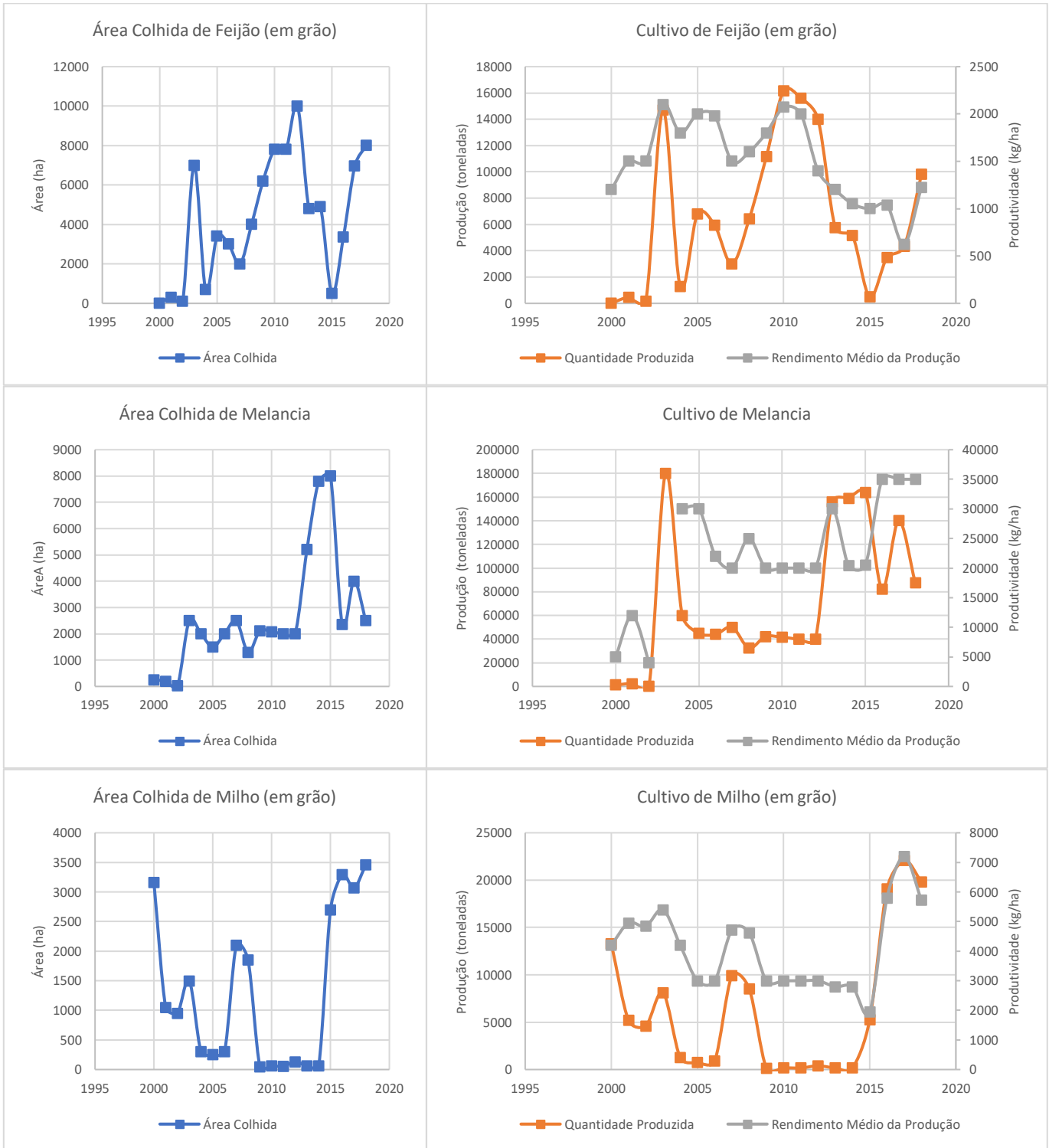
Em relação ao cultivo da banana, o melhor rendimento médio de produtividade ocorreu no ano de 2017, com o valor de 11.250kg/ha, área colhida de 4ha e quantidade produzida de 45t. Esse foi o quarto município com o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo da banana, dentre os 20 municípios analisados ao longo dos 19 anos de dados pesquisados. De maneira semelhante ao ocorrido com outros cultivos, os valores abaixo da média para as variáveis meteorológicas disponíveis no ano hidrológico 2016-2017 (precipitação acumulada e dias de chuva) favoreceram os aspectos térmicos e a irrigação foi essencial para os bons resultados alcançados. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2000 com o valor de 468kg/ha, área colhida de 32ha e quantidade produzida de 15t, cuja análise não é possível pela ausência de dados meteorológicos referentes ao ano hidrológico 1999-2000 na estação pluviométrica de Lagoa da Confusão.

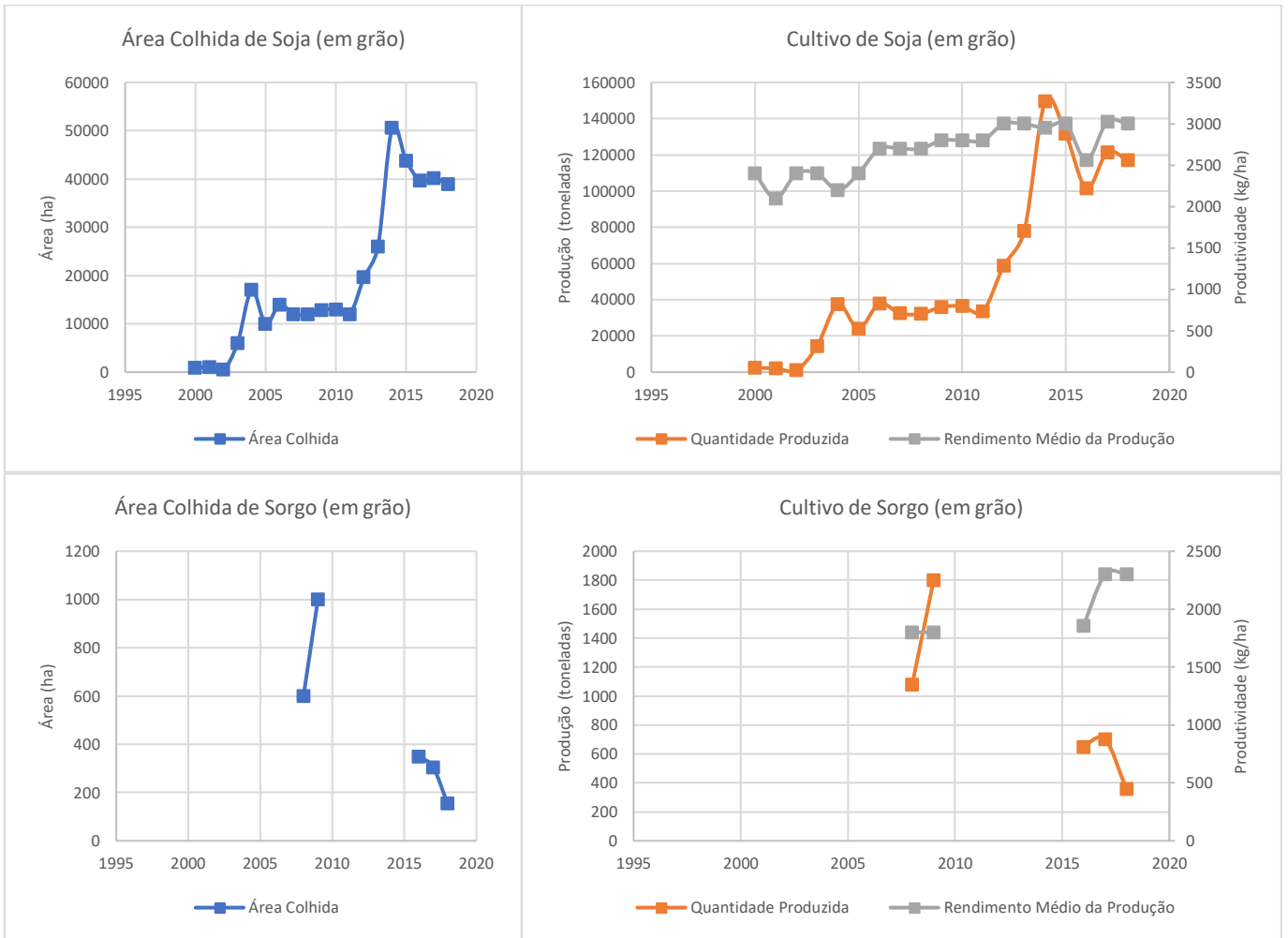
O município de Lagoa da Confusão apresentou o melhor rendimento médio de produtividade do cultivo de arroz, dentre todos os 20 municípios tocantinenses analisados ao longo dos 19 anos da pesquisa PAM do IBGE. Esse fato ocorreu no ano de 2017, com o valor de 7.323kg/ha de rendimento médio de produtividade, área colhida de 50.093ha e quantidade produzida de 366.846t. Provavelmente estes números são resultados de aspectos térmicos e solares favoráveis ao referido cultivo, associada a métodos de irrigação. Já o pior rendimento ocorreu no ano 2005, com o valor de 3.545kg/ha, área colhida de 26.200ha e quantidade produzida de 92.880t. Verifica-se que no ano hidrológico 2004-2005 a precipitação acumulada anual foi muito superior a média climatológica, totalizando 2224,4mm, bem irregularmente distribuídos em 65 dias de chuva no ano.



Figura 100. Gráficos de Área Colhida, Quantidade Produzida e Rendimento Médio das culturas, para o município de Lagoa da Confusão – TO. Período dos dados de 2000 – 2018.







Fonte: IBGE (2000 a 2018).
Sem dados para as culturas de abacaxi, coco-da-baía e caju para o período analisado.



5. Considerações Finais

No diagnóstico climático do estado do Tocantins foi possível estabelecer um panorama do clima baseado nos resultados de 16 variáveis climáticas apresentadas nas cartas climáticas em escala de 1:250.000 e 1:1.000.000. Para a regionalização climática foram realizadas novas caracterizações a partir das classificações de Köppen-Geiger, Gaussen e Thornthwaite-Mather.

Neste Diagnóstico Climático, em sua versão final, foi possível apresentar avaliações sobre as mudanças climáticas e demais recomendações de ações ao poder público. Além disso, foram realizados novos estudos de intensidade-duração-frequência de chuvas para 20 municípios.

Foram apresentadas as informações sobre números de dias de chuva, início de duração de período de chuva, ocorrência de veranicos, e índices de seca, com o estabelecimento de sua duração e frequência em conformidade com as principais culturas temporárias e permanentes. Foram realizadas avaliações para os 20 municípios, e foram criados mapas identificando as culturas de soja, arroz, milho, feijão, sorgo, cana-de-açúcar, abacaxi, melancia, banana, caju e coco da baía, para todos os municípios com maior área ocupada por essas atividades agrícolas.

Todos os dados criados neste projeto fazem parte de um banco de dados geográfico estruturado em ambiente ArcGIS, contendo os dados relativos às atividades desenvolvidas e seus respectivos metadados, que foram padronizados a partir dos parâmetros estabelecidos pela Comissão Nacional de Cartografia (Concar) por meio do Perfil Nacional de Metadados (Perfil MGB). Este perfil de preenchimento dos metadados está baseado na norma ISO 19115:2003 (*Geographic Information – Metadata*) e 19.139:2007 (Metadados: Especificação da Implementação).

Cabe salientar que para a confecção dos mapas e a manipulação dos dados meteorológicos, foram atendidas cuidadosamente todas as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Espera-se que este Diagnóstico Climático sirva como ponto de partida para o aprofundamento dos mais variados estudos e aplicações que envolvam o meio ambiente, uma vez que os fenômenos descritos pormenorizadamente neste estudo, por ocorrerem na atmosfera, afetam de forma direta ou indireta todos os demais meios, físicos, bióticos e antrópicos. Poderá servir de embasamento teórico para estudos de licenciamento e monitoramento ambiental, para a elaboração de zoneamentos agrícolas e ambientais e para o planejamento de ações da defesa civil e de secretarias de gestão ambiental e urbana, entre incontáveis outras aplicações.

Eventos naturais extremos e/ou adversos não podem ser evitados, entretanto, boa parte deles pode ser prevista e seus impactos podem ser minimizados. Alguns destes últimos podem e deve-se incentivar-se que sejam enfrentados a partir de soluções não estruturais, embora, inevitavelmente, outros possam exigir soluções estruturais e, naturalmente, mais complexas. A construção de barragens e reservatórios, por exemplo, atende, de uma só vez, a múltiplos usos, como o armazenamento de água para abastecimento populacional; para prevenir enchentes e enxurradas; para uso na irrigação e dessedentação animal; para garantia e regularização da vazão de rios; para a produção de peixes, crustáceos e outros; e até mesmo para lazer e turismo. Com um olhar atento ao exemplo das barragens

e reservatórios pode-se identificar diversos setores que poderiam se beneficiar de soluções estruturais (e.g. agropecuária, transporte, saúde, turismo, social, econômico).

A gestão dos recursos hídricos em um bioma tão diverso e sensível como o Cerrado, predominante no Tocantins, exige um amplo e profundo conhecimento dos padrões atmosféricos e do ciclo hidrológico. Dados de precipitação, evapotranspiração, índice hídrico, período chuvoso, ocorrência de veranicos, entre outros, são importantes nos mais variados campos científicos que tratam dos problemas de manejo da água, tais como: zoneamento agrícola; planejamento, construção e operação de reservatórios de água e sistemas de irrigação e drenagem; por exemplo. Os efeitos de um manejo adequado não se reflete apenas em melhorias das condições ambientais, mas também impacta econômica e socialmente as comunidades.

Para a elaboração de um zoneamento agrícola é fundamental conhecer o balanço hídrico da região a ser analisada. Identificar os períodos com excedente hídrico e deficiência hídrica, e suas respectivas intensidades, possibilita definir o tipo de sistema de cultivo agrícola que deve ser adotado (sequeiro ou irrigado), e o período em que cada um deles deve ser conduzido. A partir do balanço hídrico também é possível avaliar, os momentos de maior ou menor risco de ocorrência de queimadas e inundações, os períodos de maior fragilidade ambiental e econômico do ponto de vista hídrico, e ainda, como conduzir a gestão dos recursos hídricos, limitando ou ampliando outorgas. Este é só mais um exemplo de tantas outras aplicações das informações disponíveis neste Diagnóstico Climático.

Diante de um cenário de mudanças climáticas que se avizinha a segurança alimentar, social e econômica estão sob ameaça. Proteger as pessoas, o ambiente e os setores produtivos exigirá dos gestores muito mais do que um olhar cuidativo, exigirá protagonismo, antecipação aos fatos, e a total compreensão de informações como as que constam neste Diagnóstico Climático. A apropriação de tais informações possibilita gerir de maneira mais segura e eficiente os recursos naturais disponíveis.

O conhecimento do comportamento temporal e espacial das variáveis climáticas e hidrológicas, apresentadas e discutidas neste Diagnóstico Climático, auxilia na tomada de decisões que venham a garantir a estabilidade econômica e a segurança ambiental e das comunidades. Entretanto, é fundamental preconizar a manutenção dos sistemas e estações de coletas de dados ambientais, pois não é possível realizar qualquer diagnóstico sem dados, sem informação. A ampliação das redes de coleta de dados torna o diagnóstico muito mais preciso e exato, possibilitando tomadas de decisão muito mais seguras e eficientes, sendo assim muito responsável investir em tal ampliação.

As dinâmicas internas, sociais e ambientais, que o Tocantins experimenta, e que certamente se intensificaram diante da jovialidade do Estado, podem ser potencializadas e positivas se apoiadas em um conhecimento ambiental robusto e técnico como o apresentado neste Diagnóstico Climático.



6. Referências

ADETUC - Agência do Desenvolvimento do Turismo, Cultura e Economia Criativa. Governo do Estado do Tocantins. Disponível em: <<https://adetuc.to.gov.br/development-da-cultura/tocantins---historia/>>. Acesso em: 21 maio 2020.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 56**, FAO, Rome, 300 p., 1998.

ANA – Agência Nacional de Água, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 04 nov. 2019.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p.143- 151, 2005.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas** (Aplicações na Agricultura). Brasília, 2ª ed. SPI/EMBRAPA – CPAC, 434 p., 1998.

ASSAD, E. D; SANO E.E.; MASUTOMO, R; CASTRO, L.H. R; SILVA, F.A. M. **Veranicos na região dos cerrados brasileiros**: Frequências e probabilidade de ocorrência. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 28, n. 9, p. 993–1003, set. 1993.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2006.

BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da; SANTIAGO, G. A. C. F. Climatologia do estado de Alagoas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 211. Recife, PE: Embrapa Solos, 32 p., 2012.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J.; COSTA, R. C. (trad.); AQUINO, F. E. (rev.). **Atmosfera, tempo e clima**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. Milho. In: MONTEIRO, J. E. B. A (org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 237-260

BERTONI, J. C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação: In: TUCCI, C.E.M (org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação, 2ª ed.; 1ª reimpr., Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS:ABRH, 2000, p. 177-242. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4).

BORGES, I. N. S. C.; CORDEIRO, L. A. (org.). **Plano Diretor de desenvolvimento urbano em apoio à gestão de São Félix do Tocantins**. Palmas: Technum Consultoria Ltda, 2003.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; COSTA, D. C.; ALMEIDA, C. O.; ALVES, E. J.; COELHO, E. F.; MATSUURA, F. C. A.; SOUZA, L. DA S.; FANCELLI, M.; MEISSNER FILHO, P. E.; OLIVEIRA, R. P.; SILVA, S. DE O.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. **A cultura da banana** / Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. – 3ª ed. rev. e amp. - Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p. (Coleção Plantar; 56).

BORCHI, E.; LUCHIARI JUNIOR, A.; AVANZI, J. C.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S.O.; CAMPOS, L. J. M.; CORREA, L. V. T. **Estado da arte da agricultura e pecuária no estado do Tocantins**. (Embrapa Pesca e Aquicultura. Documentos, 13). ISSN: 2318-1400. 2015

CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA E. A. M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014

CARVALHO NETO, R. M. **Uso do Balanço Hídrico Climatológico para subsidiar tomadas de decisão quanto ao manejo de Bacias Hidrográficas**. 2014. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

- CARVALHO, L. M. V. de; JONES, C. Zona de convergência do Atlântico Sul. *In: CAVALCANTI, et al. (org.). Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 95-110.
- CASTRO NETO, P.; VILELLA, E. de A. Veranico: um problema de seca no período chuvoso. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.12, n.138, p. 59-62, 1986.
- CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 464p.
- CAVALCANTI, I. F. de A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. *In: CAVALCANTI, et al. (org.). Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 135-148.
- CIDADE-BRASIL - Cidade Brasil / Tocantins. Disponível em: <<https://www.cidade-brasil.com.br/estado-tocantins.html>>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- CIFUENTES, J. E. M. **Agronegócio e acumulação por espoliação**: o enclave da soja em Campos Lindos – Tocantins. 2013. 283 f. Tese (Doutorado em Sociologia) - Instituto de Ciências Sociais, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- COELHO, E.F.; DONATO, S.L.R.; ANDRADE NETO, T.M. Banana. *In: MONTEIRO, J. E. B. A (org.). Agrometeorologia dos cultivos*: o fator meteorológico na produção agrícola. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 321-332.
- COHEN, J. C. P.; GANDU, A. W.; CHIBA, C. Y. B.; BRAGA, R. H. M. Linhas de Instabilidade Formadas ao Longo da Costa Atlântica e no Interior do Continente: Estudo de Casos com Modelo de Alta Resolução. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIII, 2004, Fortaleza. Anais...* Brasília: SBMET, 2004. 1 CD-ROM.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2ª ed. rev. amp. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 2015, 336 p. (Coleção ABRH; 12).
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamentos de safras, 2013/2014**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=/>>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- CUNHA, G. A. P. Controle da época de produção do abacaxizeiro. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 19, n. 195, p. 29-32, 1998.
- DEFESA CIVIL DE TOCANTINÓPOLIS. **Defesa Civil de Tocantinópolis emite alerta de enchente do rio Tocantins**. Notícias: 09 de fevereiro de 2018. Disponível em: <<https://tocantinopolis.to.gov.br/noticias/defesa-civil-de-tocantinopolis-emite-alerta-de-enchente-do-rio-tocantins>>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- DIAS, R. S. L. S.; **Interações espaciais entre cidade média e pequenas cidades**: um estudo de Araguaína-TO, Campos Lindos-TO, Carolina-MA e São Geraldo do Araguaia-PA. 2016. 238 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
- FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Ficha de informação 9**: gestão da água. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/x3996p/x3996p0l.htm>>. Acesso em: 15 de abr. de 2020.
- FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. *In: MONTEIRO, J. E. B. A (org.). Agrometeorologia dos cultivos*: o fator meteorológico na produção agrícola. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 261-278.
- FEDERAL, Senado. Constituição: 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília (Brasília): Senado Federal, 1988.
- FERREIRA, M. C.; DEL PELOSO, M.J.; FARIA, L.C. **Cultivo do Feijoeiro Comum**. Embrapa Arroz e Feijão, versão eletrônica. 2003. (Sistema de Produção).
- FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. V.,GAN, M. A. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. *In: CAVALCANTI, et al. (org.). Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 43-60.



FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S. **A cultura do coqueiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 101 p. (Coleção Plantar, 48).

FONZAR, B. C. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. **Caderno de Geociências**. IBGE: Rio de Janeiro, n. 11, p. 11-33, jul./set. 1994.

GRIMM, A M. Variabilidade interanual do clima do Brasil. *In*: CAVALCANTI, *et al.* (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 353-374.

GUENANG, G. M; MAKANKAM KAMGA, F. Onset, retreat and length of the rainy season over Cameroon. **Atmosph. Sci. Lett.**, v. 13, 2012, p. 120-127.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. dos. **Impactos do Fenômeno Enos Sobre a Temperatura no Brasil**. Revista Espinhaço, v. 1, n. 1, 2012, p. 34-40.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; SILVA, S.C. Arroz *In*: MONTEIRO, J. E. B. A (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009a, p. 63-80.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; SILVA, S.C. Feijão *In*: MONTEIRO, J. E. B. A (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009b, p. 183-202.

HERNANDEZ, F. B. T; SOUSA, S. A. V; ZOCOLER, J. L; FRIZZONE, J. A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeiras d'Oeste, estado de São Paulo. Jaboticabal, **Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 1, 2003, p. 21-30.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, 137-157, 2000, p. 137-157.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área da unidade territorial [2019]: Área territorial brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/panorama>>. Acesso em: 19 maio 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em <<https://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Segunda apuração. Rio de Janeiro, 2012. 774 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2006: 23 – Lavouras temporárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/822>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2006: 24 – Lavouras permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1177>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2017: 23 – Lavouras temporárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6958>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2017: 24 – Lavouras permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6956>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos**. Rio de Janeiro, v. 8, p. 1–105, 2019. ISSN 0103-6157

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da População Residente no Brasil e Unidades da Federação com data de Referência em 1º de julho de 2020**. Portaria Nº PR-254, de 25/08/2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em:

- <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/popula%C3%A7%C3%A3o/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=16985&t=resultados>>. Acesso em: 01 de set 2020.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro, v. 43, 2015. p. 1-62.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>>. Acesso em: 21 out. 2019.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmeq>>. Acesso em: 21 out. 2019.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/pg_automaticas.php>. Acesso em: 21 de out. de 2019.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil, 1981- 2010**. Brasília, DF: INMET, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: 04 de abr. de 2020.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Nota técnica nº 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET**. Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. 2011.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate. PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A., EQUIPE DE REDAÇÃO. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate. **About the IPCC**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/about/>>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- KAIANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da Região Nordeste do Brasil. *In*: CAVALCANTI, *et al.* (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 213-234.
- KINIRY, J. R.; ROSENTHAL, W. D.; JACKSON, B. S.; HOOGENBOOM, G. Predicting leaf development of crop plants. *In*: HODGES, T. (ed.). **Predicting crop phenology**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1991. p. 29-42.
- KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. Gebr, Borntraeger, 1936, 44p.
- LANDAU, E.C., SANS, L.M.A. Cultivo do sorgo. **Sistemas de produção**. Embrapa Milho e Sorgo. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 4ª edição, set. 2008. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35184/1/clima.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2020.
- MACENA, F.; ASSAD, E.; STEINKE, E.; MÜLLER, A. (2008). Clima do Bioma Cerrado. *In*: ALBUQUERQUE, A. C. S. (ed.); SILVA, A. G. da (ed.). **Agricultura Tropical: Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. 1ª ed. Embrapa Informações Tecnológicas, jul. 2008. p. 93-148.
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do milho: Ecofisiologia. **Sistemas de produção**. Embrapa Milho e Sorgo. ISSN 1679-012X. Versão eletrônica - 4ª Ed. 2008.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Gestão de riscos: Portarias/Tocantins – safra vigente**. Publicado: 06 fev. 2017, atualizado 21 maio 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias/safra-vigente/tocantins>>. Acesso em: 09 abr. 2020.
- MARENGO, J. A. Mudanças climática: detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do século XXI. *In*: CAVALCANTI, *et al.* (organizadores). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 407-424.
- MARENGO, J. A; NOBRE, C. A. Clima da Região Amazônica. *In*: CAVALCANTI, *et al.* (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 197-212.
- MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. *In*: MONTEIRO, J. E. B. A (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 109-130.



- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 455 p.
- MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. de A.; SOUZA, R. B. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. *In*: CAVALCANTI, *et al.* (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 25-42.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 208p.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425p.
- MONTEIRO, J. E. B. A. (org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.: il.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia Estatística**; Belo Horizonte: CPRM, 2007; 552 p.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1989. 421 p.
- OLIVEIRA, G. S. O El Niño e você – o fenômeno climático. Editora Transtec – São José dos Campos (SP), março 2001.
- OLIVEIRA, N. M.; PIFFER, M.; STRASSBURG, U. O Indicador de Desenvolvimento Regional no Território do Tocantins. **Interações** (Campo Grande), Campo Grande, v. 20, n. 1, p. 3-20, jan. 2019
- OLIVEIRA, J. B. **Desempenho de cultivares de melancia em diferentes épocas de plantio, no município de Mossoró – RN**. Tese de Doutorado da UFERSA. Mossoró, 2013.
- OLIVEIRA, M. G. de C.; OLIVEIRA, L. F. C.; WENDLAN, A.; GUINARÃES, C. M.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, MARIA, C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2018, 16p.
- PASSOS, E. E. M.; CASTRO, C. P.; SILVA, A. A. G.; NOGUEIRA, L. C. Coqueiro. *In*: MONTEIRO, J. E. B. A. (org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009a, p. 393-406.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Edição Revista e Ampliada. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Exatas, 2007. Versão digital, 202 p.
- PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C.E.M.; BIDONE, F. Drenagem urbana. *In*: TUCCI, C.E.M. (org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação, 2ª ed.; 1ª reimpr., Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS:ABRH, 2000, p. 335-372. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4).
- RAMOS, A. D.; BLEICHER, E.; FREIRE, F. das C. de O.; CARDOSO, J. E.; PARENTE, J. I. G.; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, L. A.; FROTA, P. C. E.; CORRÊA, M. P. F.; PESSOA, P. F. A. de P.; MELO, Q. M. S.; OLIVEIRA, V. H. de. **A cultura do caju**. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 96 p. (Coleção Plantar, 34).
- ROCHA, J. C. S. **Dinâmica de ocupação no bioma cerrado: caracterização dos desmatamentos e análise das frentes de expansão**. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agronegócio, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.
- RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Unesp, 1995. 99 p.
- ROLDÃO, A.F. **Influência do fenômeno veranico na produtividade da soja na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paraíba – MG**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia - MG, 2015.
- SANCHES, N. F.; MATOS, A. P. de (editores técnicos). **Abacaxi**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2ª ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 196 p. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

- SANFORD, W. G. Pineapple crop log: concept and development. **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v. 46, p. 32-43, 1962.
- SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. **Cultivo do milho**: clima e solo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 38). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/15594/1/Com_38.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- SANTIAGO, C. M.; BRESEGHELLO, H. C. de P.; FERREIRA, C. M. (editores técnicos) **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2ª ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 245 p. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).
- SANTOS, F.C dos. **Caracterização socioeconômica e de recursos naturais do município de Natividade-TO para fins de desenvolvimento rural**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 39 p.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5º ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p.
- SANTOS, R. P. dos; CREMA, A.; SZMUCHROWSKI, M. A.; POSSAPP, J. J.; NOGUEIRA, C. de C.; ASANO, K.; KAWAGUCHI, M.; DINO, K. **Atlas do Corredor Ecológico da Região do Jalapão**: Plano Estratégico para a introdução de Corredores Ecológicos na Região do Jalapão. 2ª versão, 2013. 87 p.
- SATTERTHWAITE, D.; BEARD, V.A.; MITLIN, D.; DU, J. **Untreated and Unsafe**: Solving the Urban Sanitation Crisis in the Global South. Working Paper. 2019. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em: <www.citiesforall.org>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- SEAGRO – SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AQUICULTURA. **Guia prático para o cultivo de melancia**. Palmas – TO, 2019c. <https://central3.to.gov.br/arquivo/477358/> - acessado em 26 de julho de 2020.
- SECOM – Secretaria de Comunicação. Governo do Estado do Tocantins. **Governador leva solidariedade à famílias desabrigadas em Araguañã**. Notícias, 20 de fevereiro de 2004. Disponível em: <<https://secom.to.gov.br/noticias/governador-leva-solidariedade-a-familias-desabrigadas-em-araguana-2314/>>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento. Diretoria de Pesquisa e Informações Econômicas. **Perfil Socioeconômico dos Municípios**. Palmas, TO, março/2017. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/estatistica/estatistica/perfil-socioeconomico-dos-municipios/versao-2017/>>. Acesso em: 16 abr. 2020.
- SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DGITS). Gerencia de Zoneamento Ecológico-Econômico (GZT). **Base de Dados Geográficos do Tocantins**. versão 2008. Palmas, Seplan/DZE, 2009. DVD-ROM. (Dados vetoriais temáticos estruturados em escalas 1:250.000, 1:500.000 e 1:1.000.000).
- SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DGITS). Gerencia de Zoneamento Ecológico-Econômico (GZT). **Base de Dados Geográficos do Tocantins** - atualização 2012. Palmas, SEPLAN/DZE, janeiro/2012. CD-ROM. (Atualização de arquivos em escala 1:1.000.000 da Base de Dados Geográficos do Tocantins).
- SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DGITS). Gerencia de Zoneamento Ecológico-Econômico (GZT). **Base de Dados Geográficos do Tocantins** - atualização julho/2019. Palmas, SEFAZ/GZT, maio/2019a. CD-ROM. (Atualização de arquivos em escala 1:1.000.000 da Base de Dados Geográficos do Tocantins).
- SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DGITS). Gerencia de Zoneamento Ecológico-Econômico (GZT). **Mapa Físico TO - 2019**. Palmas, TO, abril de 2019b. 1 mapa color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/mapas/mapas/estado-do-tocantins/mapas/estado-do-tocantins/mapas-versao-2019/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.



SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DGITS). Gerencia de Zoneamento Territorial. **Mapa de solos - 2019**. Palmas, TO, abril de 2019c. 1 mapa color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/mapas/mapas/estado-do-tocantins/mapas/estado-do-tocantins/mapas-versao-2019/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DGITS). Gerencia de Zoneamento Ecológico-Econômico (GZT). **Mapa de Declividade**. Palmas, TO, abril de 2019c. 1 mapa color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/mapas/mapas/estado-do-tocantins/mapas/estado-do-tocantins/mapas-versao-2019/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DGITS). Gerencia de Zoneamento Territorial. **Bacias Hidrográficas**. Palmas, TO, abril de 2019d. 1 mapa color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/mapas/mapas/estado-do-tocantins/mapas/estado-do-tocantins/mapas-versao-2019/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SEMADES – Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Governo do Estado do Tocantins **Plano estadual de recursos hídricos do Tocantins**. Palmas, TO, 2011. Disponível em: <<https://semarh.to.gov.br/diretorias/diretoria-de-planejamento-e-recursos-hidricos/plano-estadual-de-recursos-hidricos/>>. Acesso em: 18 abr. 2020.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos: Informações para uma agricultura sustentável. *In*: MONTEIRO, J. E. B. A (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 3-12.

SEPLAN – Secretaria do Planejamento. Governo do Estado do Tocantins. Diretoria de Pesquisas e Informação (DPI). Regiões Programa - Estado do Tocantins. Palmas: Seplan/DPI, 1997. Trabalho de discussão interna.

SEPLAN – Secretaria do Planejamento. Governo do Estado do Tocantins. **Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2007**. Palmas, TO, 2007. 1 mapa color. Escala 1:110.000. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/mapas/dinamica-da-cobertura-e-uso-da-terra-do-tocantins/dinamica-da-cobertura-e-uso-da-terra-do-tocantins/por-municipios/>>. Acesso em: 12 abr. 2020.

SEPLAN - Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 6. ed. rev. atu. Palmas: Seplan, 2012. 80 p.

SEPLAN – Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Diretoria Geral de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Regiões fitoecológicas**. Palmas, TO, julho de 2013. 1 mapa color. Escala 1:110.000. Disponível em: <http://zoneamento.sefaz.to.gov.br/Mapas/TO_Mapas_Reg_Fitoecologicas/Tocantins/Vegetacao_TO_2013.pdf/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SEPLAN - Secretaria do Planejamento e Orçamento. Superintendência de Planejamento e Desenvolvimento. Diretoria de Pesquisa e Informações Econômicas. Gerência de Indicadores Econômicos e Sociais. Zoneamento Ecológico-Econômico. **Diagnóstico da Dinâmica Social e Econômica do Estado do Tocantins**. Inventário Socioeconômico. Palmas: Seplan, 2016. 413 p. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/publicacoes-tecnicas/tocantins/tocantins/diagnostico-da-dinamica-social-e-economica-do-estado-do-tocantins/>>. Acesso em: 21 out. 2019.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos convectivos de mesoescala na América do Sul. *In*: CAVALCANTI, *et al.* (organizadores). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 181-194.

SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. F. A. J. da. Para entender: tempo e clima. *In*: CAVALCANTI, *et al.* (organizadores). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 15-22.

- SILVA, S. D. dos A. e; MONTERO, C. R. S.; SANTOS, R. C. dos; NAVA, D. E.; GOMES, C. B.; ALMEIDA, I. R. de (ed.). **Sistema de produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 247 p. (Sistemas de Produção / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1676-7683; 23).
- SNIRH – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. **Informações sobre recursos hídricos**, 2019. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/>> Acesso em: 08 out. 2019.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, N.J.: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1)
- TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. 50 p.(Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48).
- TUCCI, C.E.M (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª ed.; 1ª reimpr., Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS:ABRH, 2000, p. 177-242. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4).
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. *In*: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org.). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 156 p.
- TUCCI, C.E.M. e BELTRAME, L.F. Infiltração e armazenamento no solo: *In*: TUCCI, C.E.M (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª ed.; 1ª reimpr., Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS:ABRH, 2000, p. 335-372. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4).
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: 2006. Versão digital 2, 443p.
- VARELLA, D. Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/otorrinolaringologia/veja-dicas-para-amenizar-efeitos-da-baixa-umidade-do-ar/>>. Acesso em: 18 abr. 2020.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2000. 448 p
- WILHITE, D.; GLANTZ, M. H. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, 1985, p. 111-120.
- WMO - World Meteorological Organization. **Guide to climatological practices** (WMO n° 100). Geneva, 2011.
- WMO - World Meteorological Organization. **WMO Guidelines on the calculation of climate normal**. (WMO n° 1203). Geneva, 2017.
- YNOUE, R. Y., REBOITA, M. S., AMBRISSE, T., SILVA, G. A. M. da. **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 182 p.
- YOSHIDA, S.; PARAO, F. T. **Climatic influence on yield components of lowland rice in the tropics**. Los Baños: IRRI, 1976. p. 471-494.

Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável

SÉRIE TOCANTINS - RECURSOS NATURAIS - CARTAS CLIMÁTICAS

Volume 1 - Diagnóstico Climático

ESTADO DO TOCANTINS

SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO

SUBSECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

DIRETORIA DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES TERRITORIAIS E SOCIOECONÔMICAS

Rodrigo Sabino Teixeira Borges - Diretor
Bacharel em Geografia - Mestre em Geografia

GERÊNCIA DE ZONEAMENTO TERRITORIAL

Paulo Augusto Barros de Sousa - Gerente
Bacharel em Ciência da Computação - Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas

EQUIPE TÉCNICA

Bruno Moure Cícero
Bacharel em Ciências Econômicas - Mestre em Desenvolvimento Regional

Cecília Amélia Miranda Costa
Bacharel em Processamento de Dados - Mestre em Engenharia Ambiental

Ilda Celeste da Costa Martins
Tecnóloga em Gestão Ambiental

Joaquin Eduardo Manchola Cifuentes
Bacharel em Estatística - Doutor em Sociologia

Leandro Roeder
Bacharel em Ciências Econômicas

Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins

EQUIPE EXECUTORA

Coordenação	Formação
Coordenador Geral Marlos Henrique Batista	Engenheiro Cartógrafo - Mestre em Sensoriamento Remoto
Especialista em Ciências Atmosféricas Jonas da Costa Carvalho	Meteorologista - Doutor em Meteorologia
Especialista em Agrometeorologia Patrícia Porta Nova da Cruz	Meteorologista - Doutora em Meteorologia Agrícola
Especialista em Geoprocessamento Dionara De Nardin	Geógrafa - Mestre em Geografia

Equipe Técnica

Bruno Palma	Estagiário em Geografia
Cláudio Ruschel	Engenheiro Civil - Mestre em Ciências da Computação
Marco Antônio de Oliveira	Oceanógrafo e Técnico em Geoprocessamento - Mestre em Sensoriamento Remoto
Débora de Souza Simões	Meteorologista e Engenheira Hídrica - Doutora em Sensoriamento Remoto
Diego dos Santos de Medeiros	Engenheiro Ambiental - Doutorando em Engenharia de Minas e Materiais
Cecília Jardim Reis Souza	Engenheira Ambiental
José Augusto Müller Neto	Engenheiro Ambiental - Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
Luiz Alberto Marchiori	Meteorologista - Especialista em Sensoriamento Remoto
Márcio Colares de Lemos	Engenheiro Cartógrafo
Suzianny Salazar	Meteorologista - Mestranda em Sensoriamento Remoto

Equipe de Apoio

Cristiano Rocha	Geógrafo
Eduardo Appel de Vargas	Analista de Sistemas – Especialista em Computação Aplicada
Felipe Stroff	Desenvolvedor
Guilherme M. Iablonski	Arquiteto - Mestre em Urbanismo e Meio Ambiente
Lisandra Canez Drower	Comunicação Social - Publicidade e Propaganda

Nota: A *Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins* foi executada por meio de contrato de prestação de serviços especializados firmado entre a **Secretaria da Fazenda e Planejamento** e o **Consórcio CODEX REMOTE Ciências Espaciais e Imagens Digitais Ltda. - GITEC BRASIL Consultoria Sócio-Ambiental Ltda. - GITEC-IGIP GMBH**, por meio do contrato nº 45/2019. O trabalho foi executado no âmbito do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável (PDRIS), componente Melhoramento da Eficiência dos Serviços Públicos numa Seleção de Serviços Públicos, com recursos do Tesouro Estadual e do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) - contrato de empréstimo nº 8185-0 BR.



BANCO MUNDIAL
BIRF • AIF