

# Estudos de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas da margem esquerda do rio Tocantins

Projeto SDP 006/GOP

SEPLAN-TO 2006

Julho, 2007

# ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	04
2. PRODUTOS .....	07
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	08
3.1. Variáveis e funções hidrológicas de interesse para a regionalização hidrológica .....	08
3.1.1. Vazão máxima .....	08
3.1.2. Vazão mínima .....	09
3.1.3. Vazão média .....	10
3.1.4. Curva de permanência .....	10
3.1.5. Curva de regularização .....	11
3.2. Vazões mínimas de referência e critérios de outorga .....	12
3.3. Regionalização hidrológica .....	13
3.3.1. Método tradicional .....	14
3.3.2. Características físicas utilizadas na regionalização .....	16
3.3.3. Características climáticas utilizadas na regionalização .....	18
3.4. Modelos digitais de elevação (MDEs) .....	19
3.4.1. Dados SRTM .....	20
3.5. Sistemas informatizados de apoio à gestão hídrica .....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
4.1. Características gerais da área em estudo .....	25
4.1.1. Localização .....	25
4.1.2. Hidrografia .....	26
4.1.3. Geomorfologia .....	27
4.1.4. Clima .....	28
4.1.5. Vegetação .....	30
4.1.6. Solos .....	30
4.1.7. Uso e ocupação do solo .....	31
4.2. Obtenção das características físicas e pluviométricas .....	32
4.2.1. Geração do MDEHC .....	32
4.2.2. Extração automática das variáveis morfométricas .....	37
4.2.3. Obtenção das precipitações médias .....	38
4.3. Regionalização das vazões máximas, mínimas, médias e das vazões associadas às curvas de permanência e de regularização .....	42
4.3.1. Seleção e análise preliminar das séries históricas .....	43
4.3.2. Determinação das vazões de interesse .....	47
4.3.3. Identificação das regiões homogêneas .....	53
4.3.4. Determinação das equações de regressão regionais .....	54
4.4. Espacialização das vazões em SIG .....	56
4.5. Desenvolvimento e avaliação do software .....	56
4.5.1. Identificação da seção de interesse .....	57
4.5.2. Obtenção dos dados afetos à seção de interesse .....	58
4.5.3. Estimativa das vazões regionalizadas .....	60
4.5.4. Elaboração de relatórios .....	61



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
5.1. Obtenção das características físicas e pluviométricas .....	62
5.1.1. Geração do MDEHC .....	62
5.1.2. Extração automática das variáveis morfométricas .....	70
5.1.3. Obtenção das médias pluviométricas .....	72
5.2. Regionalização das vazões máximas, mínimas, médias e das vazões associadas às curvas de permanência e de regularização .....	74
5.2.1. Determinação das vazões de interesse .....	74
5.2.2. Identificação das regiões homogêneas .....	86
5.2.3. Determinação das equações de regressão regionais .....	89
5.3. Espacialização das vazões em SIG .....	94
5.4. Desenvolvimento e avaliação do software .....	97
5.4.1. Visualização dos temas incorporados ao software .....	98
5.4.2. Localização da seção de interesse .....	105
5.4.3. Obtenção dos dados afetos à seção de interesse .....	107
5.4.4. Estimativa das vazões regionalizadas .....	108
5.4.5. Elaboração de relatórios .....	109
6. CONCLUSÃO .....	111
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	112
APÊNDICES .....	117



# INTRODUÇÃO

---

Com a promulgação da Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o Brasil deu um grande passo para o gerenciamento de recursos hídricos. Esta lei tem como preceitos básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da gestão descentralizada e participativa deste recurso (BRASIL, 1997).

A partir da promulgação das legislações Estaduais que tratam da política de recursos hídricos, a outorga de direito de uso de recursos hídricos tornou-se um dos mais importantes instrumentos de gestão e elemento disciplinador do uso da água nas bacias hidrográficas. Todos os usuários de recursos hídricos, excetuando-se os casos isentos previstos em lei, devem dirigir-se ao órgão gestor e solicitar a outorga para garantir seus direitos de uso de determinada vazão ou volume de água.

Frente às demandas Estaduais, os fundamentos da PNRH e os instrumentos por ela estabelecidos constituem não apenas um desafio político, econômico, social, ambiental e cultural, mas também um desafio de conhecimentos. A implementação da política defronta-se com uma grande necessidade de conhecimentos científicos e tecnológicos em relação aos recursos hídricos (ANA, 2006a).

Atualmente, diversos Estados do Brasil vêm buscando alternativas eficientes no sentido de melhor aplicar a outorga de direito de uso da água, por meio de técnicas e ferramentas computacionais para estimativas confiáveis das variáveis hidrológicas envolvidas no processo ao longo de toda bacia hidrográfica, como forma de assegurar maior confiabilidade no gerenciamento e aproveitamento dos recursos hídricos.

O conhecimento da quantidade de água que escoar nos cursos d'água de uma bacia hidrográfica é também de fundamental importância para o planejamento, dimensionamento e operação de quaisquer obras relacionadas com o aproveitamento e controle dos recursos hídricos. A eficiência dos instrumentos de gestão depende do conhecimento profundo sobre a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica, de modo que é necessário dispor de um inventário completo dos recursos hídricos para se avaliar os impactos de aproveitamentos futuros e já existentes.

No Estado do Tocantins a Lei 1.307/02, que trata da Política Estadual de Recursos

Hídricos, praticamente referendou as diretrizes, princípios e instrumentos da lei nacional de recursos hídricos. Entre eles, a outorga de direito de uso de recursos hídricos é sem dúvida o instrumento de maior aplicação, o que implica no desenvolvimento de ferramentas capazes de disponibilizar estimativas das informações hidrológicas para qualquer seção da rede hidrográfica estadual.

Apesar dos esforços da Agência Nacional de Águas – ANA em ampliar a rede hidrometeorológica do país, TUCCI (2002) afirma que uma rede hidrométrica não cobre todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, de forma que sempre existirão lacunas temporais e espaciais necessitando ser preenchidas com base em metodologias para estimativa dos dados de interesse em seções que não possuem medições.

Nenhum modelo, técnica matemática ou estatística é capaz de criar informações; estas técnicas podem ser utilizadas apenas com o propósito de explorar melhor as informações existentes, de modo que a falta de informações é uma séria limitação para o adequado entendimento do comportamento de um sistema hídrico. Para isso é necessário um trabalho permanente de coleta e interpretação de dados, cuja confiabilidade torna-se maior à medida que as séries históricas ficam mais extensas, envolvendo eventos extremos de cheias e estiagens.

TUCCI (1997) acrescenta que devido aos altos custos de implantação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica, torna-se importante a otimização das informações disponíveis. Visando suprir a deficiência da rede hidrométrica no Brasil, uma técnica que tem sido utilizada com resultados satisfatórios é a regionalização hidrológica (ELETROBRÁS, 1985). De acordo com FILL (1987), em sentido amplo, entende-se por regionalização hidrológica qualquer processo de transferência de informações das estações pluviométricas e fluviométricas para outros locais, em geral sem observações.

Um dos benefícios dos estudos de regionalização é, portanto, o de indicar a necessidade de melhoria da rede hidrometeorológica, seja pela necessidade de instalação de novas estações ou relocação das existentes, além de fornecer um diagnóstico da qualidade dos dados em conjunto, funcionando como ferramenta de auxílio à análise de consistência dos dados (BAENA, 2002).

Buscando subsidiar ações apoiadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos, o trabalho objetivou a regionalização de vazões características de longo termo, visando disponibilizar informações espacializadas e de boa qualidade para atender às necessidades do órgão gestor de recursos hídricos do Estado de Tocantins e demais usuários. Entre os objetivos específicos destacam-se:

- a. Facilitar o processo de tomada de decisão e apoiar o gerenciamento e controle de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Tocantins;
- b. Gerar informações para apoiar projetos de demanda e disponibilidade hídrica em setores como abastecimento público, irrigação, agropecuária, viário, geração de energia, aquicultura, etc.;
- c. Transpor dados de vazão de uma bacia com dados para outra sem dados;
- d. Estimar vazões para ações de planejamento de recursos hídricos;
- e. Identificar regiões com carência de postos e estações hidrometeorológicas.

# PRODUTOS

---

Este Relatório Final está de acordo com os ditames da Proposta Técnica apresentada pela CONTRATANTE no certame licitatório de que tratou a Solicitação de Proposta SDP Nº 006/GOP-SEPLAN/2006 promovida pela Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins – SEPLAN/TO, por meio da Comissão Permanente de Licitação – COLIC/SEINF/TO. Ainda, está plenamente aderente ao Termo de Referência emitido pela SEPLAN/TO, anexo ao Edital, cujo título é: “Estudos de Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas da Margem Esquerda do Rio Tocantins”.

Os produtos demandados e já encaminhados à CONTRATANTE seguem listados:

- a. Seleção e Análise dos Dados Básicos;
- b. Regionalização de Vazões Médias;
- c. Regionalização de Vazões Máximas;
- d. Regionalização de Vazões Mínima;
- e. Regionalização da Curva de Permanência;
- f. Regionalização da Curva de Regularização;
- g. Mapeamento das variáveis hidrológicas;
- h. Software para disponibilização das variáveis hidrológicas regionalizadas.

# REVISÃO DE LITERATURA

A regionalização de vazões tem sido realizada com o objetivo de disponibilizar informações hidrológicas em locais sem dados ou com poucas informações disponíveis. O princípio da regionalização se baseia nas similaridades espaciais de algumas funções, variáveis e parâmetros que permitem a transferência de informações de uma região para outra.

A regionalização hidrológica é realizada nas seguintes situações:

- a. quando uma variável, como a vazão de enchente, precipitação média, entre outras, é determinada numa região com base em relações estabelecidas através dos dados pontuais existentes.
- b. quando uma função hidrológica, como a curva de permanência ou de duração, a curva de regularização, a curva de intensidade-duração-frequência, entre outras, é determinada numa região com base em dados hidrológicos existentes.
- c. quando os parâmetros de uma função ou modelo matemático são determinados pela sua relação com características físicas das bacias, a partir do ajuste de um modelo baseado em dados observados em bacias representativas.

De posse das variáveis dependentes e explicativas, a regionalização de vazões envolve as etapas de definição das regiões homogêneas e a obtenção das relações regionais.

## 3.1

### Variáveis e funções hidrológicas de interesse para a regionalização hidrológica

#### 3.1.1. Vazão máxima

A vazão máxima é utilizada em estudos básicos para projetos de obras hidráulicas, tais como vertedores, canais, diques de proteção contra inundações, retificação e dragagem de cursos d'água, sistemas de drenagem, bueiros, galerias pluviais, pontes, etc. EUCLYDES et al. (2002) afirmam que a estimativa de vazões máximas associadas a um determinado

risco de ocorrência é importante para a determinação de áreas sujeitas à inundação, sendo fundamental à adoção de medidas estruturais e não estruturais para controle ou atenuação do efeito das cheias, fornecendo, também, parâmetros necessários ao entendimento de problemas relacionados à erosão e depósito do material carreado pelas águas.

Segundo TUCCI (1997) a vazão máxima pode ser estimada a curto ou longo prazos. A estimativa a curto prazo é feita por meio do acompanhamento de um evento resultante de uma precipitação em tempo real. A previsão a longo prazo é a previsão estatística da vazão máxima (diária ou instantânea) em qualquer ano. A vazão máxima está ligada a um determinado risco e pode ser obtida por uma distribuição de probabilidade. A regionalização da vazão máxima envolve a estimativa da curva de probabilidade para um local sem dados ou com dados escassos.

O objetivo da curva de probabilidade de vazões máximas é o de representar a relação entre a vazão extrema e a probabilidade de ocorrerem valores maiores ou iguais a esta vazão. A partir da análise das distribuições de probabilidade ajustáveis aos valores máximos de vazão, pode-se obter, para intervalos de tempo definidos, qual a enchente prevista, por exemplo, a cada dois anos, que é uma enchente típica de vazões que escoam acima do leito natural do rio, de modo a se estabelecer condições de convivência com estas enchentes.

### 3.1.2. Vazão mínima

Em função do regime de variação de vazões de um curso d'água, em determinados períodos as vazões se reduzem a ponto de comprometer determinados usos, atingindo valores inferiores às necessidades da demanda, caracterizando as chamadas vazões de estiagem. Segundo esta interpretação, as vazões mínimas não são características exclusivas de uma série histórica, mas de uma necessidade para o uso dos recursos hídricos.

O conhecimento da vazão mínima e de sua distribuição temporal e espacial assume papel importante no planejamento regional em setores como geração de energia elétrica e navegação, bem como em projetos setoriais de abastecimento, regularização artificial, outorga de uso da água, qualidade de água, estudos de autodepuração, na diluição de efluentes em corpos d'água, entre outros. As vazões mínimas que ocorrem em época de estiagem são utilizadas nestes estudos dentro de uma das seguintes finalidades: análise, projeto, previsão ou estimativa, regulamentação legal, operação e planejamento.



Segundo TUCCI (2002), a vazão mínima é caracterizada por dois fatores: a sua magnitude e a sua duração. Na prática, pouca utilidade tem a vazão mínima instantânea, que deve ser muito próxima da vazão mínima diária. Normalmente, durações maiores, como sete ou 30 dias, apresentam maior interesse ao usuário, já que a seqüência de vazões baixas é que representa uma situação desfavorável para a demanda ou para as condições de conservação ambiental. A vazão mínima com sete dias de duração é utilizada, com freqüência, como indicador da disponibilidade hídrica natural dos cursos d'água. A principal vantagem do uso deste valor reside no fato de não sofrer tanta influência de erros operacionais e de intervenções humanas no curso d'água, e de ser mais minuciosa que a vazão mínima mensal.

A legislação relativa à outorga para utilização dos recursos hídricos superficiais em cursos d'água, em alguns Estados do Brasil, estabelece uma porcentagem da vazão mínima de sete dias de duração e 10 anos de período de retorno ( $Q_{7,10}$ ) como fluxo residual mínimo a ser mantido a jusante das derivações.

### 3.1.3. Vazão média

A vazão média para um estudo de regionalização destinado a servir de base para o desenvolvimento de projetos de uso da água, tais como o abastecimento de água, a produção de energia elétrica, a irrigação, a navegação e outros usos, é a vazão média de longo período, definida como a média das vazões da série histórica disponível em um determinado local.

O conhecimento sobre a vazão média de longo período e suas variações sazonais permite estimar a disponibilidade hídrica da bacia. Essa vazão corresponde à máxima vazão possível de ser regularizada em qualquer curso d'água, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração. Na prática, os limites de regularização correspondem a uma fração da vazão média de longo período.

### 3.1.4. Curva de permanência

Nem sempre o interesse do usuário de água está voltado para o conhecimento das vazões médias, máximas e mínimas. Muitas vezes, o interesse consiste em conhecer a amplitude de variação das vazões e, principalmente, a freqüência com que cada valor de vazão ocorre numa determinada seção do curso d'água. A resposta para esta questão é

obtida por intermédio da determinação da curva de permanência para uma seção específica do curso d'água, pois para cada vazão possível de ocorrência na seção associa-se a frequência (ou número de vezes) com que ela é excedida. A curva de permanência indica a porcentagem de tempo em que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante um período de observações. Ela permite visualizar, de imediato, a potencialidade natural do curso d'água, destacando-se a vazão mínima e o grau de permanência para qualquer valor da vazão.

Segundo EUCLYDES et al. (2001), além dos resultados diretos que fornece para o estudo do aproveitamento das disponibilidades do curso d'água, as curvas de permanência constituem um instrumento valioso de comparação entre as características distintas das bacias hidrográficas, colocando em evidência os efeitos do relevo, da vegetação e uso do solo e da precipitação, sobre a distribuição das vazões.

#### 3.1.5. Curva de regularização

No escoamento da água nos leitos dos rios ocorre uma variação sazonal que freqüentemente impede o uso dessa água em determinadas épocas do ano. A regularização da vazão de um determinado curso d'água possibilita então que se uniformize a disponibilidade de água ao longo do ano, permitindo que se armazene o excesso da época chuvosa para posterior utilização na época da seca. A regularização de vazão por meio de reservatórios é uma prática utilizada para diferentes usos, tais como: abastecimento de água, irrigação, produção de energia elétrica, controle de enchentes, navegação e diluição de despejos.

A regularização da vazão depende de como a demanda será solicitada ao sistema fluvial. Na irrigação, a demanda somente é necessária em alguns meses do ano. No abastecimento de água a vazão é solicitada durante todo o ano, aumentando no verão. Para se estabelecer o volume de um reservatório é necessário conhecer a demanda e sua distribuição no tempo, no entanto, numa avaliação preliminar das condições de regularização de um rio, algumas premissas podem ser estabelecidas, tais como: demanda constante, evaporação desprezível e utilização de uma série de uma bacia próxima.

A regionalização da curva de regularização permite uma primeira estimativa da capacidade de regularização, utilizando vazões dos postos da região para melhor estimar esta relação no local sem dados. Este tipo de informação é importante para estudos de planejamento e na quantificação de projetos de pequena escala. Neste caso, ficam mantidas as limitações de uma demanda constante e o uso de uma estimativa da evaporação.

## 3.2 Vazões mínimas de referência e critérios de outorga

A outorga é o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante (União, Estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso dos recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo (ANA, 2006b).

Assim sendo, o instrumento de outorga é necessário para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois permite ao administrador (outorgante) realizar o controle quali-quantitativo da água, e ao usuário (requerente) a necessária autorização para implementação de seus empreendimentos produtivos. É, também, um instrumento importante por minimizar os conflitos entre os diversos setores usuários e evitar impactos ambientais negativos aos corpos hídricos (ANA, 2006b).

A vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial, de modo que, quando da ocorrência da situação de escassez, todos os usuários, ou os prioritários, mantenham, de certa forma, em operação os usos outorgados (LEMOS, 2006).

Muitos órgãos gestores têm adotado a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ) ou a vazão associada às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) ou 95% ( $Q_{95}$ ) como valores de referência para o processo de outorga, sendo disponibilizado para a outorga apenas um percentual destas vazões mínimas de referência.

Este valor poderá se tornar restritivo em bacias onde há maior demanda de água, ou poderá ser eventualmente insuficiente para a manutenção do meio biótico. Existe a necessidade de se evoluir nos critérios de emissão de outorga, com estudos mais aprofundados para suprir a falta de dados hidrológicos, como a espacialização das vazões ou a adoção de novas vazões de referência. Estudos realizados por CATALUNHA (2004), buscando avaliar a sazonalidade nas vazões de referência, revelaram que a utilização do período semestral para a determinação das vazões mínimas de referência apresenta-se mais adequado ao processo de outorga quando comparado com as vazões obtidas para o período anual.

MARQUES (2006) obteve vazões mínimas de referência com base nos períodos anual e trimestral, concluindo que o período trimestral proporciona considerável aumento na disponibilidade hídrica, flexibilizando o processo de outorga, principalmente nos períodos

mais chuvosos, quando vazões superiores poderiam ser outorgadas em vista da maior oferta do recurso. Com a consideração da sazonalidade na oferta torna-se, cada vez mais, essencial a existência de informações estruturadas e, sobretudo, de sistemas gestores para processar tal conhecimento, subsidiando intervenções e operações adequadas.

Dependendo da legislação estadual, os valores de vazão a serem utilizados para proceder a outorga podem variar. No Brasil, cada estado tem adotado critérios específicos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga, sem, entretanto, apresentar justificativas para a adoção desses valores (ANA, 2007).

Na Figura 1 são apresentados os critérios para outorga referentes à captação de águas superficiais estabelecidos por diferentes órgãos gestores de recursos hídricos. Observando a figura verifica-se a variabilidade dos critérios de outorga nos Estados no que diz respeito às vazões de referência e ao percentual outorgável.

No Estado do Tocantins, o Decreto 2.432/05 estabeleceu os valores a serem adotados como critérios de outorgas os quais têm como base a vazão com 90% de permanência ( $Q_{90}$ ), sendo que o percentual outorgável será de até 75% da  $Q_{90}$  onde cada usuário só poderá captar até 25% do outorgável em uma seção da bacia.

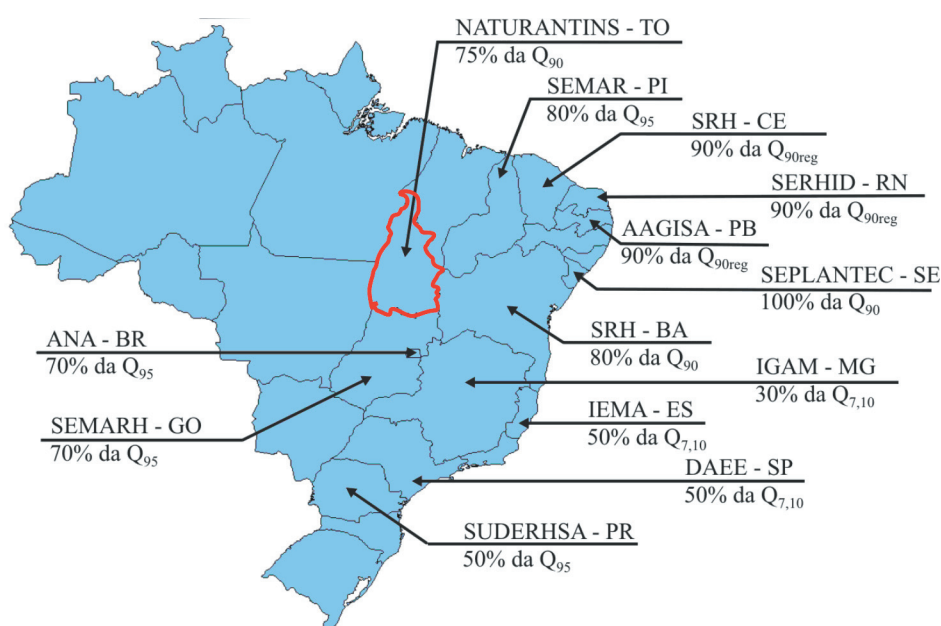


Figura 1 — Representação dos diferentes critérios para outorga de águas superficiais estabelecidos por órgãos gestores do Brasil

### 3.3

## Regionalização hidrológica

O conhecimento da disponibilidade hídrica é informação básica para a tomada de decisão no âmbito de uma bacia hidrográfica, entretanto, as limitadas séries de dados

fluviométricos disponíveis dificultam ou, muitas vezes, impedem a realização de uma adequada gestão de recursos hídricos.

A regionalização hidrológica busca, através de metodologias específicas, otimizar as informações fluviométricas existentes, extrapolando-as por semelhanças das dinâmicas ambientais para os locais que possuem dados insuficientes ou inexistentes (RIBEIRO et al., 2005). Com esta finalidade, diversas metodologias estão disponíveis, destacando-se as descritas pela ELETROBRÁS (1985a), ELETROBRÁS (1985b) e por CHAVES et al. (2002). Além dessas metodologias, outras têm sido propostas, como a de NOVAES (2005), que desenvolveu um procedimento de ajuste das vazões mínimas e média ao longo da hidrografia da bacia do rio Paracatu, baseado no princípio de conservação de massas, visando otimizar o processo de gestão de recursos hídricos nesta bacia.

O método proposto por NOVAES (2005) assegura a continuidade das vazões ao longo da hidrografia da bacia, regionalizando separadamente o rio principal e posteriormente ajustando a vazão nos afluentes. A metodologia tradicional, proposta pela ELETROBRÁS (1985a), mostra-se mais adequada ao estudo no Estado do Tocantins, com grande extensão territorial e baixa densidade de estações fluviométricas, uma vez que individualiza regiões homogêneas, conduzindo a melhores estimativas de vazões sobre toda a rede hidrográfica das bacias (AZEVEDO, 2004; RIBEIRO et al., 2005; LEMOS, 2006).

### 3.3.1. Método tradicional

O método tem como característica principal a utilização de equações de regressão regionais aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas, visando à obtenção de vazões em qualquer posição da rede de drenagem da bacia em estudo.

Um dos pontos cruciais neste método de regionalização é a delimitação das regiões hidrológicas ou estatisticamente homogêneas, ou seja, regiões com várias estações que tenham séries oriundas de populações regidas pela mesma distribuição de probabilidades, com os parâmetros variando entre as estações (BAENA, 2002).

De acordo com HOSKING e WALLIS (1997), a identificação de regiões homogêneas deve ser feita em duas etapas consecutivas: a primeira consistindo em uma delimitação preliminar baseada unicamente nas características locais, e a segunda, de um teste estatístico construído com base nas estatísticas locais, cujo objetivo é verificar os resultados preliminares.

As regiões hidrologicamente homogêneas são definidas em função da distribuição geográfica das estações e da combinação de estações que apresentarem o melhor ajuste na regressão, normalmente avaliado por intermédio do teste de F, coeficiente de determinação ajustado, desvio padrão dos erros de ajustamento e dos erros percentuais entre os valores das vazões observados e estimados pelos modelos de regressão, obtidos para cada uma das regiões homogêneas.

Quando os critérios apresentam bons resultados, a região é definida como hidrologicamente homogênea para as vazões estudadas. Entretanto, nos casos em que isso não ocorre, há necessidade de subdividir ou reorganizar as estações dentro das regiões e reiniciar as análises.

De posse das séries históricas de vazões e das características físicas e de precipitação correspondentes às áreas de drenagem das estações fluviométricas, pertencentes a uma mesma região homogênea, é aplicada regressão múltipla entre as vazões e as diferentes variáveis ambientais para obtenção das equações regionais, com base nos modelos: linear, potencial, exponencial, logarítmico ou recíproco.

Uma série de avaliações objetivas pode ser realizada para verificar a adequação do ajustamento de determinado modelo aos dados. Entre essas avaliações, as mais adotadas são o teste da função F, o valor do coeficiente de determinação e do desvio-padrão dos erros do ajustamento, também chamado de erro-padrão da estimativa (EUCLYDES et al., 1999).

MARQUES (2006) desenvolvendo o AQUORA – Sistema Multi-usuário para Gestão de Recursos Hídricos, regionalizou vazões mínimas de referência trimestrais na bacia do rio Doce e observou falhas na continuidade das vazões, quando nas equações regionais estavam presentes características que pouco variam ao longo da drenagem. Os resultados sugeriram um novo critério para seleção das variáveis presentes nas equações de regionalização: a sensibilidade à espacialização.

A Figura 2 ilustra a diferença de sensibilidade após as confluências, entre as variáveis área, comprimento total da drenagem, comprimento do rio principal e densidade de drenagem, evidenciando que a área ou o comprimento total da drenagem deve sempre estar presente e constituir o principal peso nas equações de regressão, pois dentre as variáveis usualmente consideradas, são as únicas que acompanham o aumento de vazão num curso d'água, após as confluências. Por outro lado, as variáveis comprimento do rio principal e densidade de drenagem variam muito pouco nas confluências e devem ser evitadas.

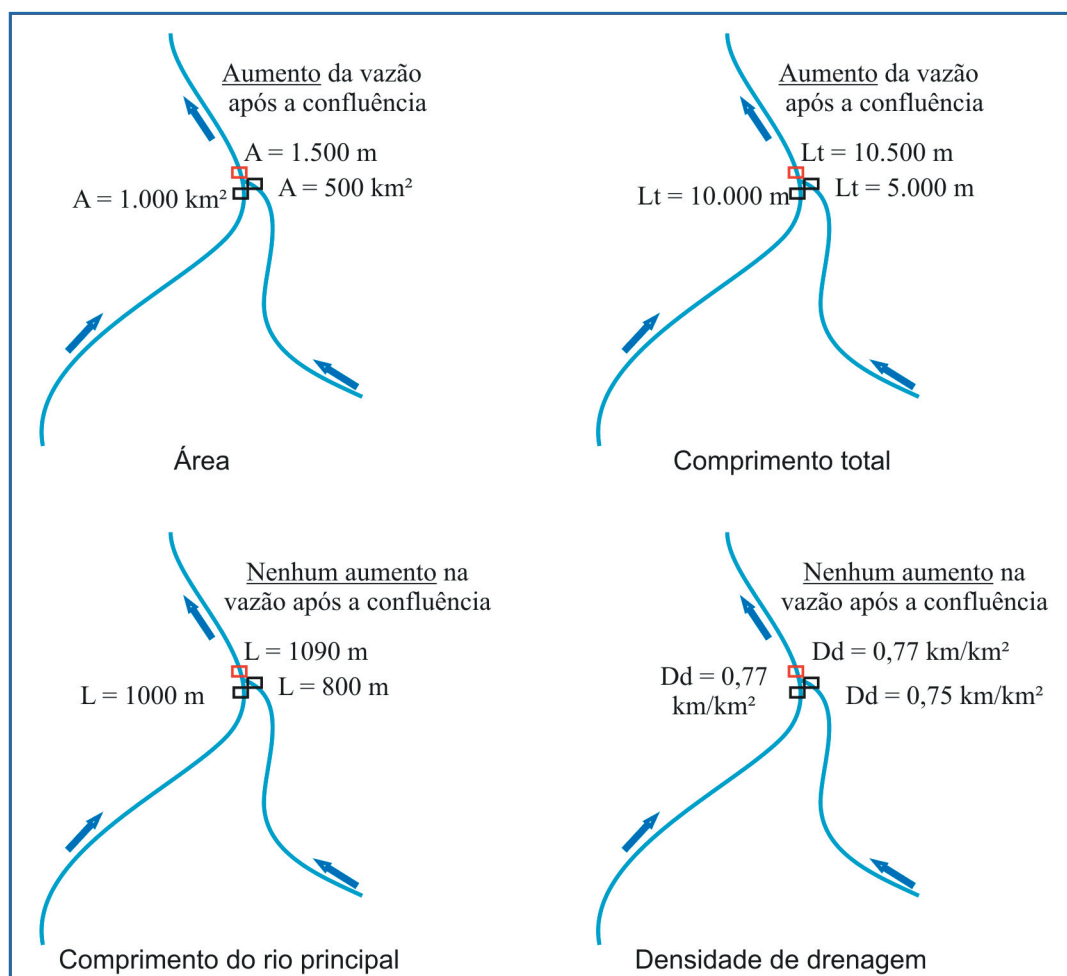


Figura 2 – Comparação da sensibilidade à variação de vazão nas confluências entre as variáveis explicativas.

### 3.3.2. Características físicas utilizadas na regionalização

Na definição das características físicas utilizadas no estudo de regionalização, deve-se levar em conta que a característica deve ser representativa dos fenômenos que se deseja representar (CARONI et al., 1982; TUCCI et al., 1983). Normalmente, são utilizadas como características físicas: a área da bacia, o comprimento do curso d'água principal, a declividade média e a densidade de drenagem. O comprimento total da drenagem foi sugerido por MARQUES (2006) como uma alternativa sensível à espacialização em SIG, na ausência da variável área de drenagem.

As características físicas e climáticas nos estudos de regionalização normalmente são determinadas para a área de drenagem à montante de cada uma das estações fluviométricas



existentes na bacia. Estas bacias de contribuição podem ter sua delimitação realizada manualmente ou automaticamente, com utilização de sistemas de informações geográficas.

Atualmente, a abordagem com base em produtos derivados a partir de algoritmos, com a utilização de SIG para a extração automática de informações pixel a pixel, substitui, com vantagens, os métodos manuais tradicionalmente utilizados, permitindo a obtenção de resultados menos subjetivos, em menor tempo e replicáveis, apresentado níveis de exatidão comparáveis aos obtidos por métodos manuais (MARQUES, 2006).

A área de drenagem é a área delimitada pelo divisor de águas, constituindo a principal variável explicativa em diversos estudos de regionalização de vazões, em função da sua influência na potencialidade hídrica das bacias hidrográficas (BAENA, 2002; AZEVEDO, 2004; MARQUES, 2006; EUCLYDES et al., 2005). O processo de individualização da área de uma bacia segue as regras da hidrologia, em que o traçado do contorno é realizado unindo os pontos de máxima cota entre sub-bacias, atravessando o curso d'água somente no exutório.

Outra característica física utilizada na regionalização hidrológica é o comprimento do rio principal da bacia hidrográfica, definido como aquele que drena a maior área no interior da bacia.

A declividade média da bacia controla, em parte, a velocidade do escoamento superficial, afetando assim o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais da rede de drenagem da bacia, afetando principalmente os valores de enchentes máximas. A magnitude dos picos de enchente e a maior ou menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia. Em função destes fatos a declividade média é muitas vezes usada como variável explicativa principalmente na regionalização de vazões máximas. Com o auxílio do geoprocessamento pode-se automatizar o processo de obtenção da declividade média quando se possui um modelo digital de elevação do terreno, no qual se tem para cada célula, ou quadrícula, um valor de declividade.

A densidade de drenagem é o índice que indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros, e a área total da bacia, conforme a equação:

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A} \quad (1)$$

em que:

$L_i$  = comprimento do segmento  $i$ ;

$A$  = área total da bacia; e

$N$  = número total de segmentos da bacia.

BAENA et al. (2003) avaliaram os efeitos da utilização de diferentes escalas cartográficas na determinação de características físicas da bacia do rio Paraíba do Sul, constatando a existência de uma influência expressiva da escala na rede de drenagem e pequeno efeito na área de drenagem. MARQUES (2006) alerta sobre a flexibilidade no processo de ramificação da rede de drenagem em SIG, concluindo que uma precisa identificação do mapa fonte e da sua escala é um dado que deve acompanhar os índices de drenagem.

### 3.3.3. Características climáticas utilizadas na regionalização

É de consenso geral que a precipitação influencia diretamente o comportamento da vazão de um curso d'água, tanto das vazões extremas (máximas e mínimas), quanto da própria vazão média de longo período, sendo uma das principais variáveis explicativas nos estudos de regionalização hidrológica.

A precipitação do mês mais chuvoso, por exemplo, é bastante utilizada como variável explicativa do comportamento das vazões máximas. Já a precipitação total anual é utilizada na regionalização tanto da vazão mínima quanto das vazões médias de longo período.

Em estudo de regionalização de vazões, BAENA (2002) e AZEVEDO (2004) utilizaram para regionalização de vazões mínimas: a precipitação total anual, precipitação do semestre mais seco e do trimestre mais seco. Já SILVA et al. (2002), em estudo semelhante para a bacia do rio Paraguaçu, utilizaram para a regionalização de vazões máximas as seguintes precipitações: máxima diária anual, semestre mais chuvoso, trimestre mais chuvoso e mês mais chuvoso; para vazões mínimas: precipitação total anual, do semestre mais seco e do trimestre mais seco; e para vazão média de longo período a precipitação total anual.

Nestes estudos, a precipitação total anual foi a variável climática mais expressiva para a representação das vazões mínimas, média de longo período e das vazões correspondentes aos diferentes níveis de permanência. Já a precipitação do mês mais chuvoso foi a variável que melhor representou o comportamento das vazões máximas.

No cálculo da precipitação média sobre a bacia, normalmente se utiliza a ponderação do Polígono de Thiessen. Este método atribui um fator de peso aos totais precipitados em cada aparelho, proporcional à área de influência de cada um. As áreas de influência (pesos)

são determinadas em mapas da bacia contendo as estações fluviométricas, unindo-se os pontos adjacentes por linhas retas e, em seguida, traçando-se as mediatrizes dessas retas, formando polígonos.

MARQUES (2006) referindo-se ao desenvolvimento de bancos de dados com informações hidrológicas recomenda a utilização do método das isoietas seguido de algoritmos em ambiente de SIG para obtenção da precipitação média na área de drenagem de cada célula da rede hidrográfica, produzindo mapas temáticos com informações espacializadas por toda a bacia e não somente nos locais onde estão instaladas as estações fluviométricas.

### 3.4 Modelos digitais de elevação (MDEs)

Um dos desafios básicos da análise hidrológica é o delineamento e caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e da rede de drenagem associada. Tal informação é de utilidade em numerosas aplicações, tais como na modelagem dos processos hidrológicos, do transporte e deposição de poluentes químicos e na predição de inundações.

As características físicas de uma bacia hidrográfica eram, até meados da década de 80, obtidas através de processo demorado e trabalhoso, em que o especialista examinava as curvas de nível e a rede de drenagem em bases cartográficas e, manualmente, interpretava e delimitava os seus limites.

O desenvolvimento de modelos digitais de elevação (MDEs) e de técnicas mais precisas de extração de drenagem numérica e delimitação de bacias hidrográficas propiciou o uso dos sistemas de informações geográficas para obtenção automática das características físicas das bacias de drenagem (FURTADO, 1998; BAENA, 2002; CHAVES, 2002).

Anteriormente às bases altimétricas obtidas por sensores remotos, o processo de geração de modelos digitais de elevação requeria, além da digitalização manual de cartas topográficas do IBGE, um pré-processamento minucioso da malha hidrográfica, demandando mão-de-obra e tempo expressivos. Um ponto chave para a viabilidade técnica dos modelos digitais de elevação está no modo como foram concebidos. Há trabalhos de pesquisa voltados exclusivamente para a preparação e avaliação de MDE por diversos métodos, a partir de dados igualmente diversos (VALERIANO, 2004; CHAVES, 2002, BAENA et al., 2003, por exemplo).

A qualidade e a resolução do MDE são características importantes que interferem nos resultados de sua aplicação. A qualidade refere-se à exatidão com que os valores de altitude são relatados e a resolução refere-se à variação espacial dos valores de elevação. Uma malha muito densa demandará maior tempo para sua criação e, por outro lado, um maior espaçamento poderá gerar perda de informação. Assim, na escolha da resolução da malha, deve haver uma análise considerando o objetivo da aplicação, a precisão dos dados e o tempo de geração da mesma (GARBRECHT e MARTZ, 1999).

De acordo com ESRI (1997), modelar digitalmente uma superfície, de modo consistente, significa representar o relevo de forma a reproduzir, com exatidão, o caminho preferencial do escoamento da água superficial observado no mundo real. De posse do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC), as vantagens da automação, na extração de variáveis físicas, em relação aos procedimentos manuais, são a maior eficiência e confiabilidade dos processos, a reprodutibilidade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais.

Na geração do MDE e, posteriormente, na validação do MDEHC, são necessários mapas de diferentes escalas. Os mapas que permitem obter maior nível de detalhamento estão nas escalas 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000; entretanto, nem todo o território nacional possui cobertura em escalas maiores que 1:250.000. Esses mapas são obtidos junto ao Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (SGE) ou ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Neste sentido, a utilização de bases topográficas obtidas por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a necessidade de intervenções manuais na modelagem do relevo e, portanto, a resolução de 90 m dos dados da missão de mapeamento topográfico SRTM, dos Estados Unidos, representa um avanço importante em relação às alternativas até então disponíveis (VALERIANO, 2004).

#### 3.4.1. Dados SRTM

As informações a seguir, sobre o projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), relatadas por VALERIANO (2004), foram retiradas do site do JPL (Jet Propulsion Laboratory, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) da NASA (National Aeronautics and Space Administration). O projeto advém de cooperação entre a NASA e a NIMA (National Imagery and Mapping Agency), do DOD (Departamento de Defesa) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália.

O sobrevôo da SRTM ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, durante o qual foram percorridas 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas. O sobrevôo foi concluído com a coleta de 12 TB de dados que vêm sendo processados para a formação de Modelos Digitais de Elevação (MDE). O processamento dos dados coletados visou à formação de um MDE mundial, elaborado continente por continente, iniciado com a América do Norte. Após a conclusão de cada continente, os dados foram enviados ao NIMA, onde foram editados, verificados e ajustados aos padrões norte-americanos de exatidão de mapas (National Map Accuracy Standards). Estes mapas foram então devolvidos à NASA para distribuição pública através da USGS (United States Geological Survey).

Em janeiro de 2002, a NASA iniciou a distribuição pública destes pequenos conjuntos de dados de locais dentro dos Estados Unidos. Enfim, foram gerados MDE sob resolução de 30 m (a rigor, em coordenadas geográficas, como 1 arco segundo, ou 1", ou ainda 0,000277°) para os Estados Unidos e planejados sob 90 m (a rigor, 3" ou 0,000833°) para o resto do mundo, embora estas questões ainda estejam em discussão pela NASA e pela NIMA. O datum e o elipsóide de referência são WGS84, com dados de z em metros inteiros.

Embora a NIMA aplicasse várias operações de pós-tratamento, que incluem remoção de picos e vórtices, nas informações que acompanham os dados, o usuário é lembrado que as características (inerentes a todo dado geo-espacial) devem condicionar seu desempenho ante à aplicações específicas. Informa-se ainda que os corpos d'água são geralmente mal definidos, assim como as linhas de costa e que o conjunto em questão contém um grande número de vãos e outros pontos espúrios, como valores extremamente altos (picos) ou extremamente baixos (vórtices). Estas são as informações fornecidas pelo JPL sobre o programa SRTM.

Observadas as especificações fornecidas, relatório do INPE, que analisou os dados SRTM disponíveis para a América do Sul, afirma que se pode considerar o dado SRTM a melhor informação topográfica já disponibilizada para grande parte de nosso território. Alerta ainda que devido às características indesejáveis da SRTM, não se recomenda a utilização direta dos dados originalmente disponibilizados em processamentos digitais para mapeamento de variáveis morfométricas, em qualquer escala (VALERIANO, 2004).

VALERIANO (2004) ainda descreve um método complexo de correção das falhas sistêmicas do MDE originário da SRTM, utilizando krigagem, análises de tendência, análises geoestatísticas e interpolações em aplicativos singulares, como o ENVI, MINITAB, VarioWin e Surfer.

MARQUES (2006) apresenta uma metodologia simples e automatizada capaz de tratar as imperfeições nas imagens da SRTM e obter para cada célula da hidrografia (90 x 90m) as variáveis ambientais utilizadas na regionalização de vazões, com níveis de exatidão comparáveis aos obtidos por métodos manuais baseados nas cartas topográficas do IBGE.

Estudo da Embrapa Monitoramento por Satélite, comparando as características físicas obtidas com base em MDE da SRTM e outro, gerado a partir de cartas do IBGE em escala 1:250.000, revelou que os dados orbitais apresentam maior detalhamento e acurácia, concluindo que os mapas gerados a partir de dados SRTM são melhores devido à maior resolução espacial (GOUVÊA et al., 2005).

### 3.5 Sistemas informatizados de apoio à gestão hídrica

O conhecimento da disponibilidade dos recursos hídricos é uma informação básica para a implementação de políticas de manejo sustentável e também um pré-requisito para a avaliação das possibilidades de desenvolvimento de determinada região. Atualmente, são necessárias informações mais precisas e confiáveis sobre os recursos hídricos, em tempo real, de maneira a permitir a antecipação de ações necessárias ao processo de gestão.

Portanto, o estabelecimento de bancos de dados integrados é essencial na avaliação dos recursos hídricos, na simulação dos efeitos de captações sobre a disponibilidade hídrica em seções à jusante, e na gestão do uso simultâneo das águas por múltiplos usuários.

Muitas vezes, a complexidade da bacia hidrográfica impossibilita um cálculo expedito das interferências, uma vez que podem estar presentes centenas ou até milhares de usuários, cada um com uma demanda específica e potencial de impacto diferente, tanto em termos quantitativos como qualitativos. Por isso, a elaboração dos sistemas computacionais, com o objetivo de dar apoio à gestão de recursos hídricos se mostra fundamental, pois os sistemas possibilitam avanços significativos no entendimento do comportamento hidrológico da bacia, assim como sua alteração por interferências antrópicas (MMA, 2000).

Uma sensível evolução no desenvolvimento dos modelos hidrológicos foi o surgimento dos sistemas de informações geográficas (SIGs), os quais estimularam a construção de diversos sistemas integrados, conectando os modelos hidrológicos às bases de dados espaciais (CHAVES, 2002).



O desenvolvimento de softwares para agilizar o processo de estudo e gestão na área de recursos hídricos tem aumentado consideravelmente (MAUAD et al., 2003; TUCCI, 2000). A complexidade dos usos da água em uma bacia hidrográfica demanda, entretanto, o desenvolvimento de sistemas capazes de coletar, armazenar e processar as interferências, produzindo informações para o processo de gestão.

O Ministério do Meio Ambiente, através da Secretaria de Recursos Hídricos, desenvolveu o SISAGUA – Sistemas de Apoio ao Gerenciamento de Usuários da Água, envolvendo um sistema de controle de outorgas (SISCO), um sistema de informações georreferenciadas (SIGEO) e um sistema de armazenamento de informações quali-quantitativas das outorgas (SQAQ). Tais sistemas realizam o controle administrativo, análise técnicas e o processamento/visualização espacial dos pleitos de outorga (MMA, 2000). Infelizmente, o SISAGUA não contém informações de disponibilidade e está voltado, exclusivamente, para as necessidades administrativas dos órgãos gestores, não disponibilizando informações aos múltiplos usuários.

O Atlas Digital das Águas de Minas, desenvolvido por EUCLYDES et al. (2005), constitui uma opção para o planejamento e gestão dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais, permitindo a obtenção das vazões observadas para diversos locais, através do processo tradicional de regionalização de vazões proposto pela Eletrobrás (1985a).

MOREIRA (2006) desenvolveu um software, denominado SINGERH, que possibilita obter as vazões mínimas de referência para qualquer seção de interesse ao longo da rede hidrográfica da bacia do rio Paracatu e quantificar o impacto de uma nova outorga na disponibilidade hídrica no ponto da captação. O software incorpora um ambiente para visualização de mapas temáticos que facilita a identificação da seção de interesse, visto que o usuário necessita fornecer, com precisão de segundos, as coordenadas do ponto.

No entanto, foi-se o tempo em que aplicativos de computador rodavam em computadores que não se comunicavam entre si. A Internet e a World Wide Web seguramente estão listadas entre as mais importantes criações da raça humana. A Internet funde tecnologias de computação e comunicações e torna informações acessíveis mundialmente de forma instantânea e conveniente a milhões de clientes, dando origem aos sistemas multi-usuários (DEITEL, 2003).





Recentemente, o Estado do Mato Grosso lançou edital de concorrência pública visando a contratação de serviços para determinação da disponibilidade hídrica e elaboração de um sistema computacional para implantação e operacionalização das atividades de outorga de direito de uso dos recursos hídricos no Estado (SEMA-MT, 2007). Entende-se por sistema de controle de outorga um conjunto de rotinas computacionais operando sobre um banco de dados estruturado em bases físicas e legais, com acesso cliente/servidor.

Antecipando a demanda dos institutos de gestão dos recursos hídricos, MARQUES (2006) seguindo a linha de CATALUNHA (2004), desenvolveu um sistema cliente/servidor para a gestão participativa de recursos hídricos, denominado AQUORA, constituindo uma poderosa ferramenta de gestão, capaz de armazenar as informações pertinentes aos processos de outorgas; obter a disponibilidade hídrica mensal para qualquer seção ao longo da rede hidrográfica; avaliar o impacto da concessão de uma nova outorga com base na disponibilidade à jusante; e atualizar a disponibilidade hídrica em toda a rede hidrográfica, com base nas outorgas concedidas.

# MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas da margem esquerda do rio Tocantins foi dividido em quatro etapas: a) obtenção das características físicas e pluviométricas da rede hidrográfica; b) regionalização das vazões mínimas, máximas, médias e das vazões associadas às curvas de permanência e de regularização; c) espacialização das vazões regionalizadas; e d) desenvolvimento e avaliação do ATLAS hidrológico, disponibilizando as estimativas de vazões para qualquer seção da hidrografia na área em estudo.

No trabalho foram utilizados, dados consistidos das estações da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas - ANA, além de demais dados gerados por outras instituições com reconhecida atuação na área: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins - SEPLAN-TO e U.S. Geological Survey - USGS.

## 4.1

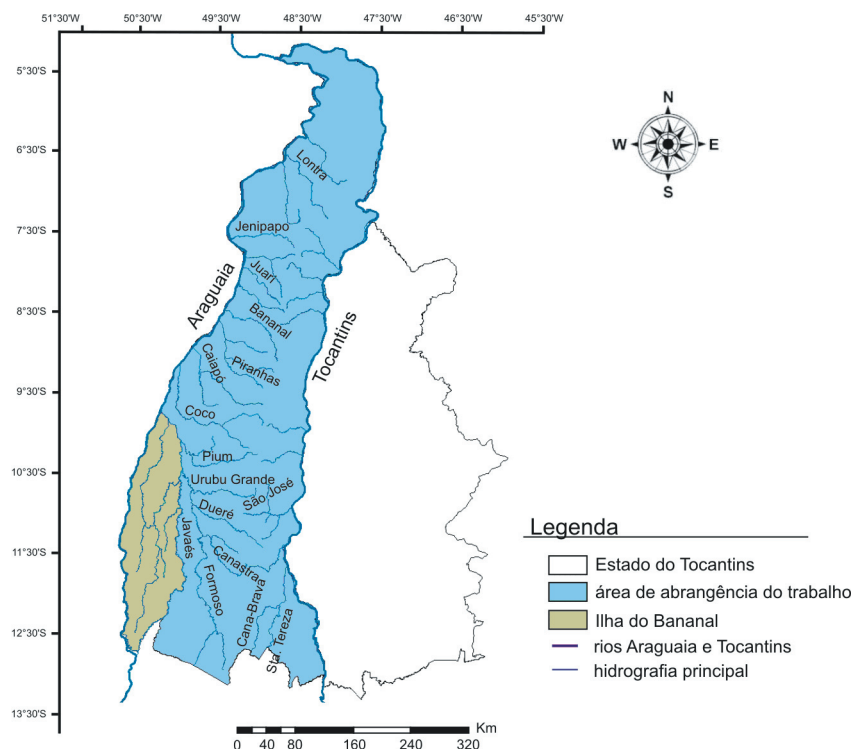
### Características gerais da área em estudo

A presente área de estudo corresponde às bacias da margem direita do rio Araguaia e da margem esquerda do rio Tocantins, nos limites do Estado, onde se encontra a Ilha do Bananal, maior ilha fluvial do mundo com 350 km de comprimento e 80 km de largura. Devido à falta de informações fluviométricas e ao ecossistema diferenciado, a Ilha do Bananal não foi objeto da regionalização de vazões.

A caracterização geral da área de abrangência do trabalho baseou-se no Caderno Regional da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (MMA/SRH, 2006), disponibilizado pela SEPLAN - TO.

#### 4.1.1. Localização

A Figura 3 apresenta a área de abrangência do trabalho, compreendendo as bacias que drenam a margem direita do rio Araguaia e margem esquerda do rio Tocantins nos limites do Estado, excetuando-se a Ilha do Bananal.

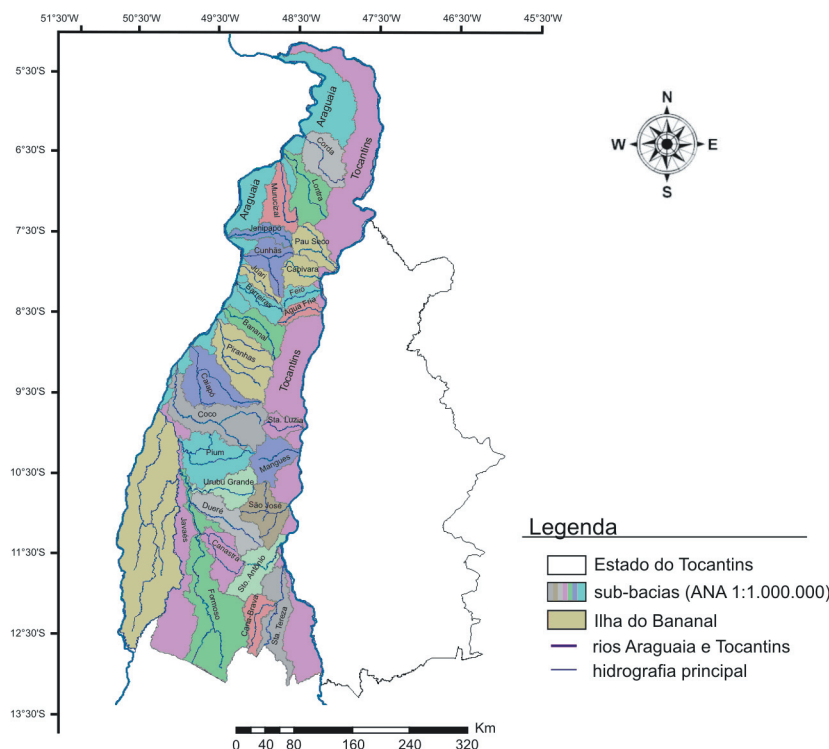


**Figura 3**  
Representação da área de abrangência do estudo de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas da margem esquerda do rio Tocantins.

A região de abrangência do trabalho está inteiramente inserida no Estado do Tocantins, na região Norte do País, entre os paralelos de 05°00' e 13°30' de latitude sul e entre os meridianos de 47°00' e 51°00' de longitude oeste. Sua área de drenagem abrange, aproximadamente, 138.000 km<sup>2</sup> dos quais 62,3% correspondem às bacias que drenam para o rio Araguaia e os 37,7% restantes, para o rio Tocantins.

#### 4.1.2. Hidrografia

Na Figura 4 são apresentadas as sub-bacias, delimitadas com base no Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Consistente (MDEHC) associadas aos cursos d'água presentes na base cartográfica da Agência Nacional das Águas – ANA na escala do milionésimo (1:1.000.000).

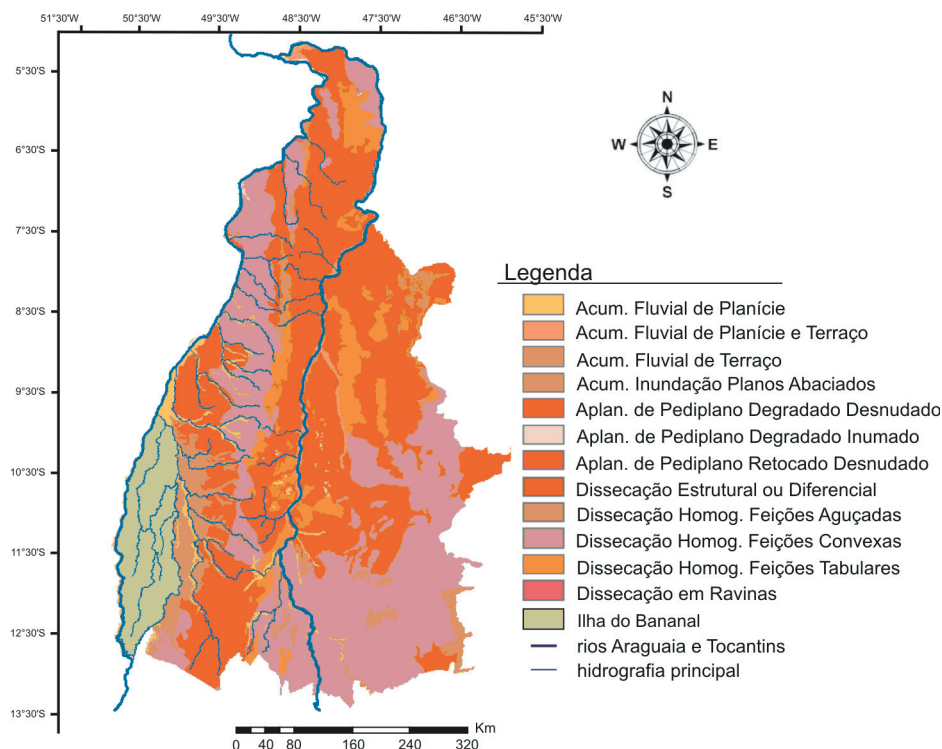


**Figura 4**  
Representação das sub-bacias associadas à margem direita do rio Araguaia e margem esquerda do rio Tocantins.

Na área em estudo, os principais cursos d'água que drenam para os Rios Javaés e Araguaia são os rios Formoso, Canastra, Urubu Grande, Pium, do Coco, Piranhas, Bananal, Juari, Jenipapo e Lontra. Já os principais tributários da margem esquerda do rio Tocantins são os rios Santa Tereza e São José. Vale ressaltar que a regionalização de vazões não teve como objetivo a estimativa de vazões nos rios federais: Araguaia, Javaés e Tocantins.

#### 4.1.3. Geomorfologia

Quanto ao relevo na área de abrangência do estudo de regionalização, observa-se cinco macro regiões: Planícies, Depressões, Patamares, Planaltos e Serras. A Figura 5 apresenta o mapa de geomorfologia para o Estado do Tocantins, elaborado pela Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente – SEPLAN-TO.



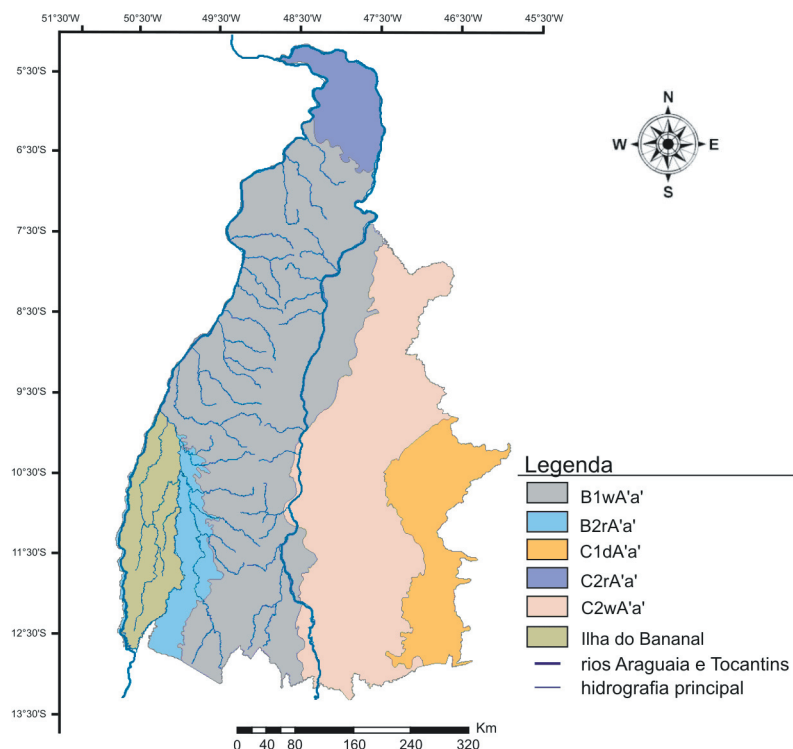
**Figura 5**  
Mapa de geomorfologia  
do Estado do Tocantins.  
Fonte: SEPLAN-TO.

Os divisores topográficos das margens direita do Araguaia e esquerda do Tocantins são constituídos pelo Planalto Sul Tocantinense, Serra das Cordilheiras, Planaltos do Interflúvio Tocantins e Araguaia e pelos Planaltos de Darcinópolis.

Na margem direita do rio Araguaia identifica-se as feições da Planície do Araguaia; as Depressões do Médio Araguaia e de Caseara, Sandolândia, Cristalândia, Abreulândia, Formoso do Araguaia e Xambioá; além das Depressões e Patamares de Ananás e Araguaína ao norte (SEPLAN-TO, 2005). Já na margem esquerda do rio Tocantins apresenta-se as feições de Planaltos ao sul do Estado e também na região do médio Tocantins e em Darcinópolis, além das Depressões Longitudinais do Tocantins e de Palmeirante (SEPLAN-TO, 2005).

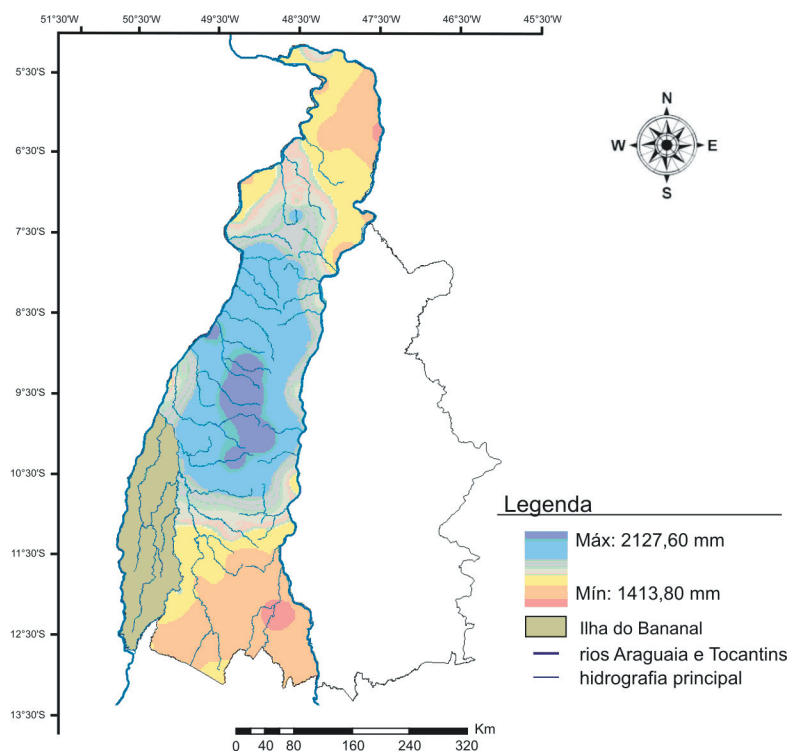
#### 4.1.4. Clima

A Figura 6 apresenta o mapa de regionalização climática do Estado do Tocantins utilizando o Método de Thornthwaite e a Figura 7 apresenta a distribuição da precipitação média anual na região de abrangência da regionalização.



**Figura 6**  
Mapa de regionalização climática do Estado do Tocantins segundo classificação de Thornthwaite. Fonte: SEPLAN – TO.

O clima da região é tropical, com temperatura média anual de 26°C, e dois períodos climáticos bem definidos: o das chuvas, de outubro a abril, quando ocorre mais de 90% da precipitação, com a existência de alguns dias secos entre janeiro e fevereiro, formando o chamado veranico; e o seco, de maio a setembro, com baixa umidade relativa.

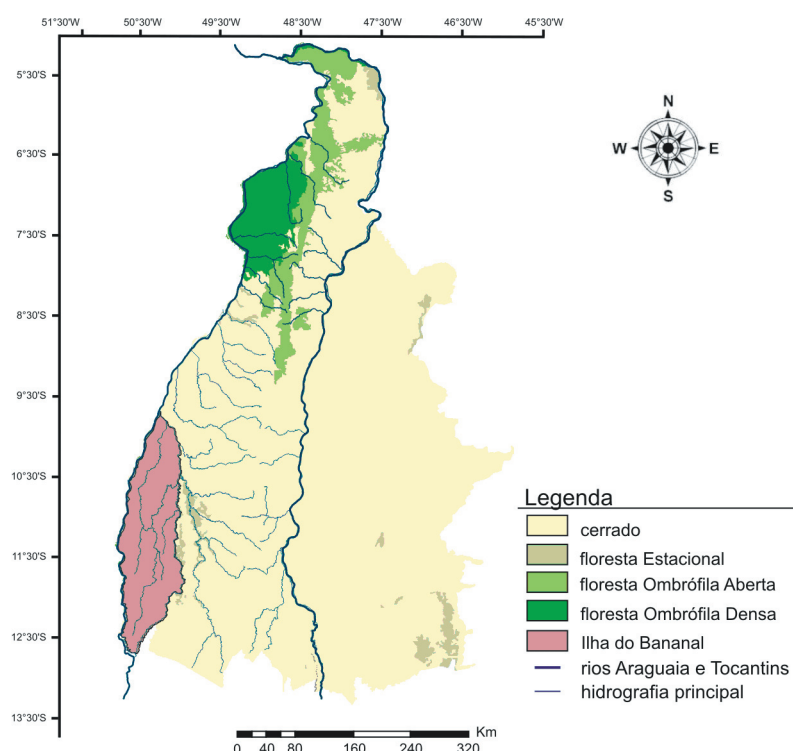


**Figura 7**  
Distribuição da precipitação média anual na área de abrangência da regionalização de vazões.

Segundo dados da ANA (2006c), a precipitação média na área de abrangência do estudo é da ordem de 1.732 mm/ano chegando a 2.127 mm/ano no Parque Estadual do Cantão, situado na porção central da região em estudo. A evapotranspiração real média é de 1.200mm/ano e o coeficiente médio de escoamento superficial é de aproximadamente 0,30.

#### 4.1.5. Vegetação

O Estado do Tocantins é uma região com grande predominância do cerrado com vegetação xeromorfa aberta, dominada e marcada por um estrato herbáceo. Somente ao norte do Estado surgem regiões com floresta densa e aberta, constituindo uma área de transição entre a floresta amazônica e as regiões extra-amazônicas, caracterizando uma diminuição gradativa de densidade de recobrimento. A Figura 8 apresenta o mapa de regiões fitoecológicas elaborado pela SEPLAN-TO (2005).



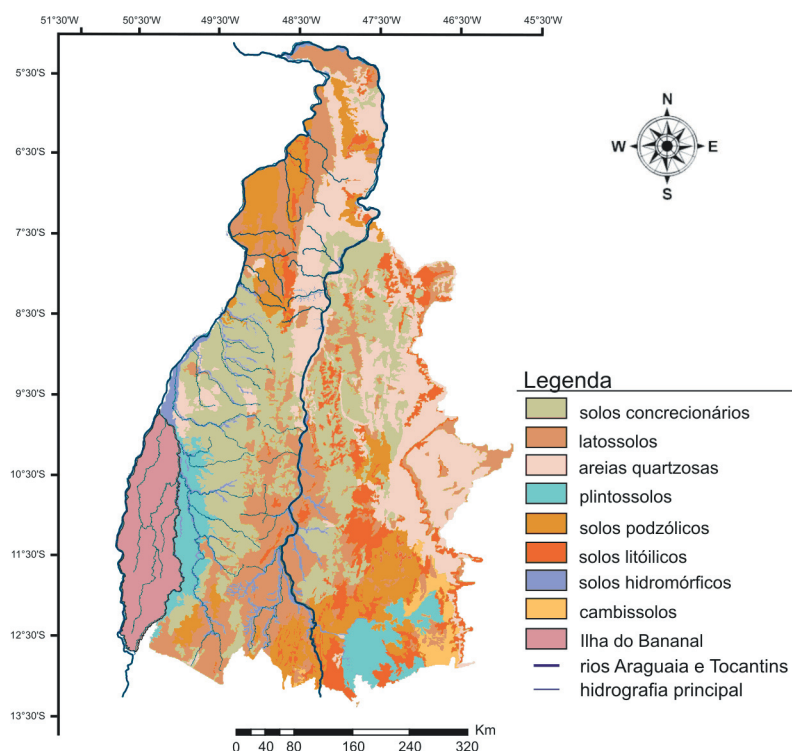
**Figura 8**  
Mapa de regiões fitoecológicas do Estado do Tocantins. Fonte: SEPLAN - TO.

#### 4.1.6. Solos

Os solos de maior evidência na região são Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho, com texturas variáveis de média a argilosa, associados comumente a Solos Concrecionais, Neossolos Quartzarênicos, Podzólicos Vermelho-Amarelo e, eventualmente, a outros solos



(adaptado FGV; MMA; ANEEL, 1998). A Figura 9 apresenta o mapa de classificação dos solos no Estado do Tocantins, elaborado pela SEPLAN-TO (2005).



**Figura 9**  
Mapa de solos no Estado do Tocantins. Fonte: SEPLAN - TO.

#### 4.1.7. Uso e ocupação do solo

A grande disponibilidade de recursos naturais na região, de certa forma, favoreceu a visão de inesgotabilidade, refletindo nas práticas de uso e ocupação do solo. A forma desordenada de manejo e gestão de recursos constituem um traço representativo da cultura regional, o que é insustentável a médio e longo prazos. Neste sentido, é imprescindível realizar um Plano de desenvolvimento da Bacia que contemple as diferentes alternativas que a região oferece, tratando de conciliar o uso dos recursos naturais com suas aptidões e dentro de limites ambientalmente sustentáveis (FGV; MMA; ANEEL, 1998).

Dentre os diversos usos do solo da Região, destacam-se os projetos de irrigação, mineração, garimpos, aproveitamentos hidrelétricos, dentre outros. O processo de urbanização também é crescente, principalmente devido aos projetos de assentamentos do INCRA, que disputam o espaço destinado às áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (MMA/SRH, 2006).

Há um acentuado grau de desmatamento no ecótono Cerrado-Amazônia que avança no sentido sudoeste nordeste abrangendo as três subdivisões Araguaia, Tocantins Alto e

Tocantins Baixo. Uma série histórica de desmatamento de 1997 a 2004 mostra que nos últimos 8 anos a Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia foi desmatada em 18,3% de sua área total (918.279 km<sup>2</sup>), segundo dados do Projeto PRODES - INPE/MCT (MMA/SRH, 2006).

Apesar do decréscimo de áreas desmatadas nos últimos anos, é importante considerar o passivo ambiental da região e os efeitos que podem vir a comprometer o aproveitamento dos recursos hídricos no futuro (MMA/SRH, 2006).

## 4.2

### Obtenção das características físicas e pluviométricas

Foram utilizados os recursos do software ArcGIS8.3<sup>®</sup>, através do módulo ArcMap8.3<sup>®</sup>, para obter automaticamente informações das características morfométricas: área de drenagem, comprimento do rio principal, comprimento total da drenagem, densidade de drenagem e declividade média da área de drenagem, além de espacializar as precipitações médias anuais e do mês mais chuvoso na região em estudo, utilizando como base um modelo digital de elevação hidrograficamente consistente (MDEHC) com resolução de 90 m e séries históricas de 112 estações pluviométricas.

#### 4.2.1. Geração do MDEHC

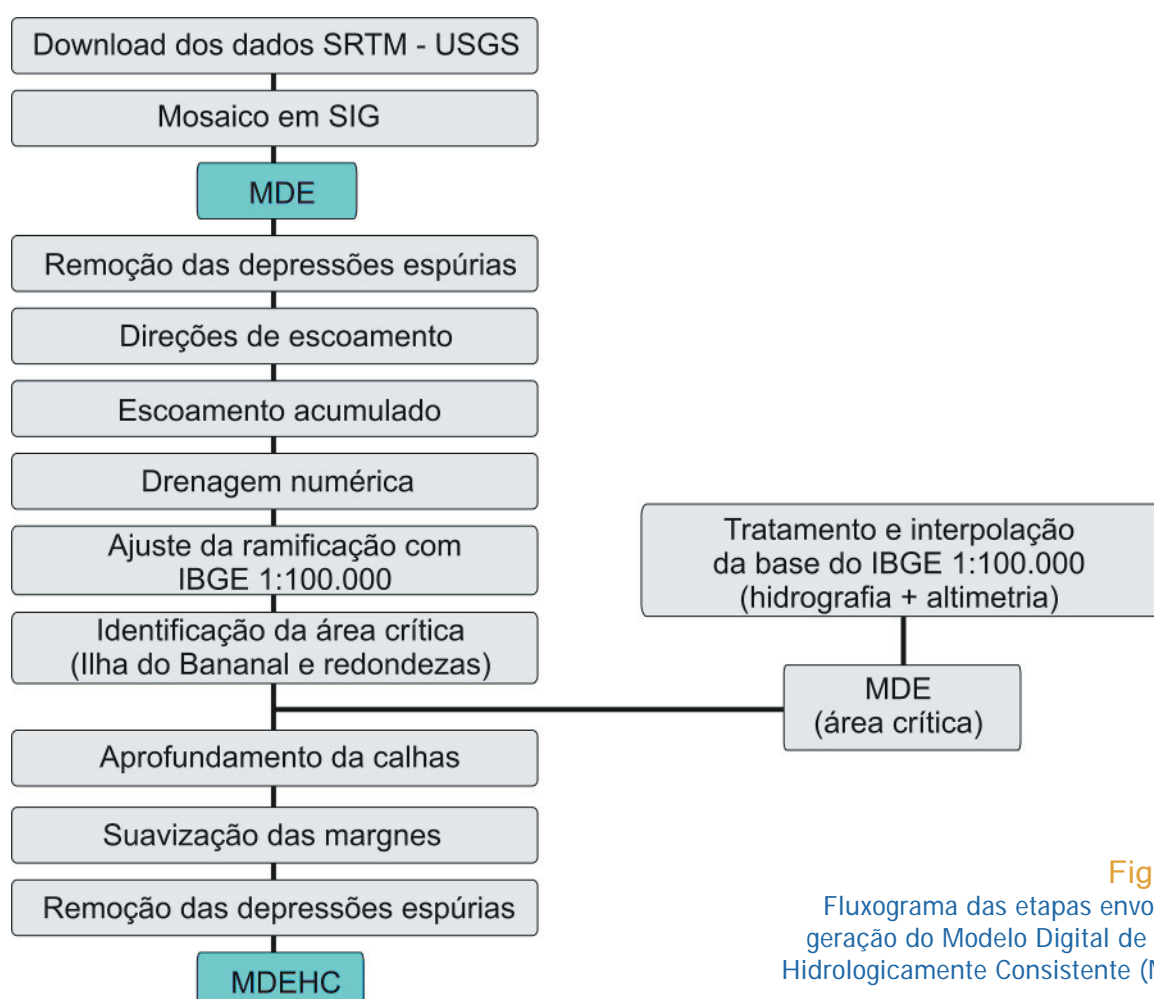
A análise da base hidrográfica na escala 1:100.000, fornecida pela SEPLAN-TO, mostrou que a mesma não estava compatível com as necessidades da modelagem morfométrica em SIG. Além de estar limitada ao Estado do Tocantins, apresenta arcos invertidos e desconectados, margens duplas e feições de lagos e lagoas, de modo que a base topográfica utilizada foi o MDE originário da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM.

Apesar da área de abrangência da regionalização de vazões considerar somente as sub-bacias situadas entre os rios Araguaia e Tocantins nos limites do Estado, nesta etapa optou-se por trabalhar com a totalidade da bacia de contribuição na confluência dos rios federais, área denominada, neste trabalho, de bacia do Tocantins-Araguaia, não somente por ser a bacia hidrográfica a unidade de planejamento e gestão, mas principalmente por possibilitar estudos nas etapas posteriores, em áreas externas ao limite Estadual. No caso de

adotarem-se estações fluviométricas de apoio fora da área de abrangência da regionalização, seriam necessárias operações com o MDEHC buscando o conhecimento das variáveis físicas e pluviométricas para as análises de regressão.

Devido às limitações sistêmicas dos dados orbitais da SRTM, como grande número de vãos e corpos d'água mal definidos, foram realizados tratamentos buscando a eliminação das depressões espúrias e o aprofundamento das calhas garantindo a continuidade do escoamento desde as nascentes até o exutório da bacia. O fluxograma representado na Figura 10 ilustra as etapas envolvidas na geração do MDEHC, incluindo as operações para consistência do MDEHC na região considerada crítica, com declividades muito reduzidas.

É importante ressaltar a necessidade de um tratamento específico na geração do MDEHC, utilizando a base cartográfica do IBGE, devido a presença de uma zona crítica nas redondezas da Ilha do Bananal, onde a baixa declividade implica cursos d'água com baixa expressão topográfica, inconsistentes na base SRTM mesmo após realizados os tratamentos preliminares.



**Figura 10**  
Fluxograma das etapas envolvidas na geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).

#### 4.2.1.1. Obtenção dos dados SRTM

O MDE da SRTM foi carregado da rede mundial de computadores diretamente do endereço do USGS (United States Geological Survey), em que permanecem disponíveis sob a resolução de 90 m. O acesso foi feito pelo endereço: <http://seamless.usgs.gov/website/Seamless/>, na plataforma do USGS (Figura 11).

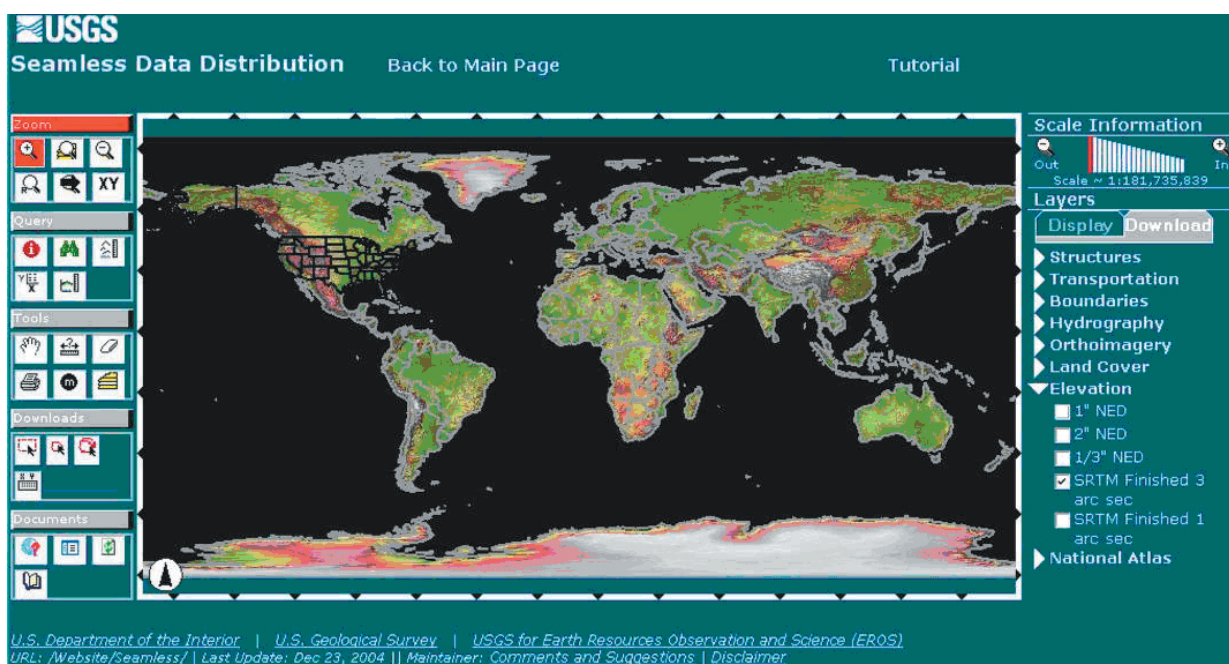


Figura 11 – Plataforma do USGS para download dos dados SRTM na Internet.

Na plataforma, foi solicitado o MDE-SRTM com resolução de 3 arcsec, aproximadamente 90 m e, em seguida, a área de interesse foi identificada utilizando-se limites que certamente conteriam a bacia hidrográfica do Tocantins a montante da confluência do rio Araguaia no rio Tocantins. A Figura 12 ilustra a interface para seleção da área, com as coordenadas Norte-Sul: 04°25' e 18°20' S e Oeste-Leste 56°00' e 45°25' W.

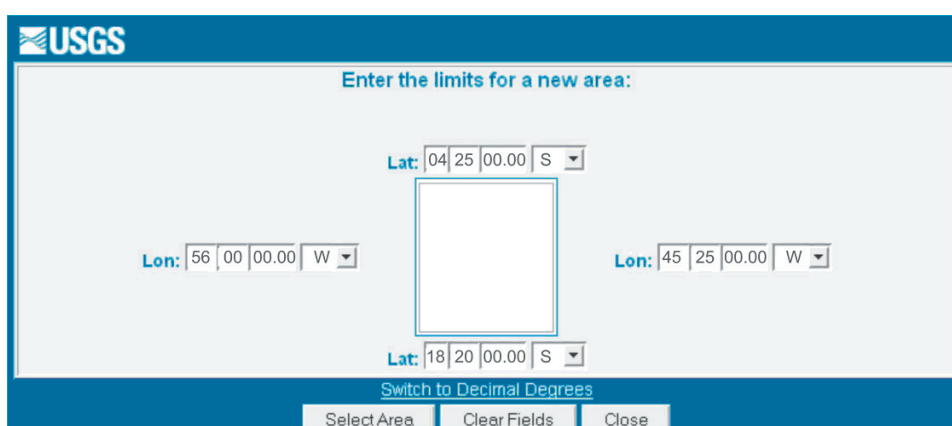


Figura 12  
Interface para  
seleção da área  
de interesse na  
plataforma do  
USGS.

Após a identificação da área de interesse, a plataforma disponibilizou dez arquivos para download, no formato matricial. Trata-se de imagens vizinhas, contendo informações de altitude em cada uma de suas células de 90x90 m, ou seja, o MDE fora segmentado para reduzir o tempo e aumentar a segurança do download. Sendo assim, as folhas SRTM necessitaram ser agrupadas em mosaico resultando uma única imagem.

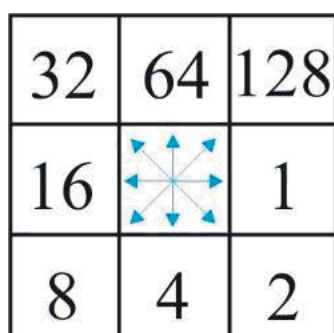
#### 4.2.1.2. Tratamentos no MDE - SRTM

Para atender a demanda técnica da modelagem consistente do relevo em SIG e sua integração com outras informações, foram realizadas operações a fim de garantir a convergência do escoamento superficial até a foz da hidrografia. Foi utilizada uma metodologia reunindo o máximo de processos automáticos que podem ser reproduzidos, por qualquer pessoa em qualquer bacia, com o mínimo de intervenções manuais, conforme sugerido por MARQUES (2006).

A primeira operação visou eliminar as depressões espúrias, ou seja, células cercadas por outras de maiores valores de elevação. Com este fim, utilizou-se o comando FILL, no ambiente GRID do ArcInfo®.

Em seguida, iniciaram-se as operações na calculadora matricial (raster calculator) do ArcMap®. Esta calculadora realiza operações automáticas em toda a base de dados através de algoritmos baseados em funções pré-definidas do aplicativo.

Foi gerado o mapa temático contendo a direção de escoamento em cada célula do MDE; com este recurso a direção do escoamento superficial foi calculada através do método determinístico de oito células vizinhas, que considera apenas uma das oito possíveis direções de escoamento para cada uma das células, sendo que o escoamento tende a fluir para a maior declividade encontrada na superfície do terreno. As possíveis direções de escoamento estão representadas na Figura 13.



**Figura 13**  
Representação das oito possíveis direções de escoamento superficial.

Também com operação de vizinhança e conectividade, foi calculado o número de pixels localizados à montante de cada célula, obtendo-se o escoamento superficial acumulado para cada uma delas. Estabelecendo-se um número mínimo de 50 células contribuintes a partir do qual as células foram identificadas como pertencentes a um curso d'água, foi gerada a rede de drenagem numérica da bacia hidrográfica, ou seja, a hidrografia calculada com base no relevo do MDE

A utilização da drenagem numérica com este grau de ramificação é essencial em estudos de avaliação de modelos hidrológicos uma vez que elimina problemas advindos de diferentes níveis de detalhamento, comum nas cartas do IBGE.

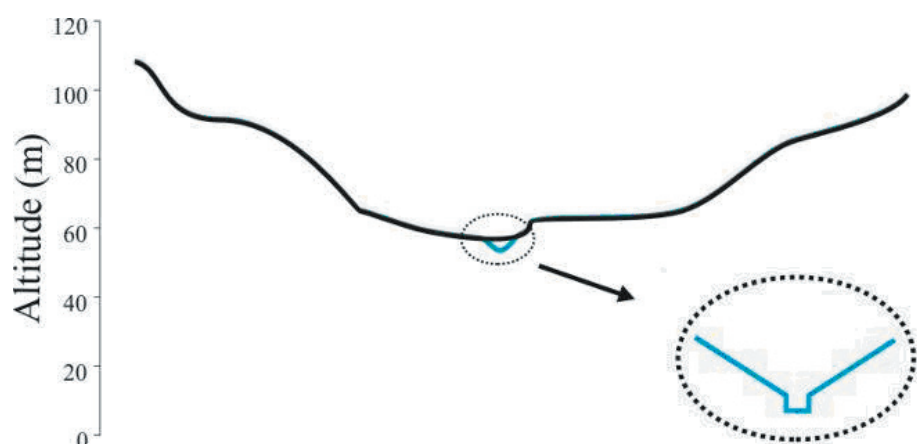
Com a sobreposição da hidrografia advinda de cartas do IBGE na escala 1:100.000 evidenciou-se diferenças significativas entre a drenagem numérica e a mapeada, nas áreas de menor declividade. Nas demais áreas a drenagem numérica representou com grande exatidão o caminho preferencial da água na superfície da bacia com uma ramificação bem aproximada à hidrografia mapeada pelo IBGE em escala 1:100.000.

A inconsistência da drenagem nas áreas mais planas inviabiliza a utilização do MDE para extração das características físicas, de modo que foram processados novos tratamentos nesta área crítica. O tratamento realizado na zona crítica do MDE-SRTM, representada pela Ilha do Bananal e adjacências, baseou-se na edição minuciosa da hidrografia digitalizada, removendo margens duplas, lagos e reorientando e conectando arcos para posterior re-interpolação com as curvas de nível mapeadas pelo IBGE, em escala 1:100.000.

Após a incorporação do MDEHC referente à zona crítica, ao MDE da bacia do Tocantins-Araguaia, ajustou-se a ramificação da hidrografia numérica de modo que esta atingisse um nível de detalhamento compatível com a escala 1:100.000 ,padrão do IBGE, capaz de representar toda a rede hidrográfica da bacia, viabilizando a regionalização nos cursos d'água da margem direita do rio Araguaia e esquerda do Tocantins. Vale ressaltar que este é um processo flexível em que o operador pode, em função de suas necessidades, aumentar ou diminuir o detalhamento da drenagem em estudo.

Atingida a ramificação desejada, aprofundou-se a calha ao longo da drenagem numérica em 5 m, impondo o caminho preferencial para o escoamento superficial e refinou-se o relevo ao longo das margens buscando conformidade com a geometria dos cursos d'água. O procedimento utilizado é ilustrado na Figura 14.





**Figura 14**  
Representação do aprofundamento da calha e refinamento das margens dos cursos d'água.

Para finalizar, as depressões espúrias foram mais uma vez identificadas e removidas, e buscando a validação do MDEHC, delimitou-se as sub-bacias dos principais cursos d'água presentes na região.

#### 4.2.2. Extração automática das variáveis morfométricas

De modo a incorporar à regionalização de vazões informações detalhadas sobre toda a hidrografia, houve a necessidade de extrair as características físicas referentes a cada célula (pixel de 90x90 m) da drenagem numérica. Utilizando a metodologia desenvolvida por MARQUES (2006) foram obtidas as características de área de drenagem, comprimento do rio principal, comprimento total da drenagem, densidade de drenagem e declividade média na área de contribuição de cada célula da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia.

A metodologia utiliza a calculadora do módulo Spatial Analyst, aplicando comandos às bases de dados matriciais (raster) da bacia em estudo. Cabe ressaltar que o procedimento utilizado aplica-se muito bem a qualquer tamanho de bacia hidrográfica, desde que se trabalhe com um MDEHC.

Com os grids do modelo digital de elevação hidrológicamente consistente, direção do escoamento e a máscara da hidrografia numérica, foi possível processar todas as etapas necessárias à obtenção das características morfométricas da bacia do Tocantins-Araguaia. Inicialmente, a fim de que as características fossem mensuradas no sistema métrico, adotou-se a projeção Universal Transverse Mercator – UTM, datum South American 1969.

A determinação da área de drenagem foi realizada utilizando-se operações de vizinhança e conectividade no cálculo do número de células localizadas a montante de



cada célula da hidrografia. O produto deste grid pela área de cada célula (8100 m<sup>2</sup>) resultou num mapa temático com informações de área de drenagem ao longo de toda a malha da bacia do Tocantins- Araguaia. Posteriormente, os resultados de área de drenagem obtidos de modo automático foram comparados com as informações disponibilizadas pela ANA, referente às seções da hidrografia onde estão localizadas as estações fluviométricas selecionadas para o estudo.

O comprimento do rio principal, para cada célula, foi obtido também utilizando-se as direções de escoamento e um algoritmo de distância aplicado sobre a drenagem numérica. A fim de se calcular o comprimento total da drenagem à montante de cada célula, foi necessário segmentar a hidrografia em trechos, calcular o comprimento acumulado a partir de cada nascente ou confluência e finalmente somar o comprimento dos trechos situados a montante de cada célula mais a distância da célula à nascente de seu segmento. Finalmente, a densidade de drenagem foi obtida dividindo-se o grid contendo o comprimento total da drenagem pelo grid de área de contribuição correspondente a cada célula da hidrografia.

Visando a obtenção da declividade média na área de contribuição de cada célula da drenagem, realizou-se uma análise de superfície utilizando o MDEHC, obtendo a declividade de cada célula da bacia, depois acumulou-se os valores de declividade com base nas direções de escoamento e por fim, tirou-se a média baseando-se no número de células contribuintes para cada 90 m da hidrografia.

#### 4.2.3. Obtenção das precipitações médias

No estudo de regionalização de vazões foram utilizadas a precipitação média anual e a precipitação média do mês mais chuvoso. Entende-se por precipitação média, a lâmina média precipitada na área de drenagem a montante de cada célula da rede hidrográfica.

Nesta etapa foram analisadas e utilizadas séries históricas de 112 estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA (Quadro 1 e Figura 15). Informações detalhadas das estações selecionadas para o estudo, encontram-se no Apêndice A.

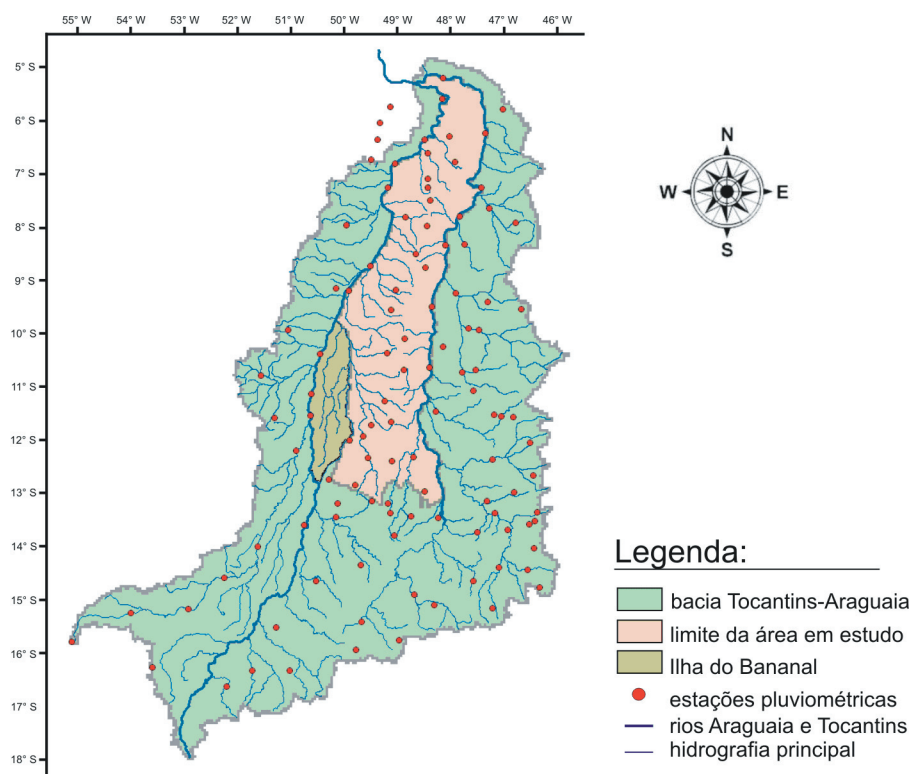


### Quadro 1

Identificação das estações pluviométricas selecionadas para obtenção das precipitações médias na bacia em estudo

Código	Nome	Código	Nome
00547003	Montes Altos	01149001	Formoso do Araguaia
00548000	Araguatins	01149002	Gurupi
00548001	São Sebastião do Tocantins	01150001	São Felix do Araguaia
00549007	KM 60/PA-150	01151000	Bate-papo
00647000	Tocantinópolis	01246000	Ponte Alta do Bom Jesus
00647001	Wanderlândia RD Bel-BSB	01246001	Aurora do Norte
00648000	Xambioá	01247000	Conceição do Tocantins
00648001	Ananás	01247002	Rio da Palma
00648002	Piraquê	01248001	Colonha
00649000	Fazenda Surubim	01248003	Palmeirópolis
00649001	Fazenda Santa Elisa	01249000	Alvorada
00649002	Eldorado	01249001	Araguaçu
00649003	PCH Lemos	01249002	Projeto Rio Formoso
00747000	Carolina	01249003	Barreira do Pequí
00747001	Goiatins	01249004	Praia Alta
00747009	Palmeirante	01250000	Fazenda Piratininga
00748001	Colônia	01250001	Santo Antonio do Leverger
00748002	Fazenda Primavera	01346000	São Domingos
00748003	Muricilândia	01346001	Nova Roma
00749000	Arapoema	01346002	Fazenda Ingazeiro
00749001	Boa Vista do Araguaia	01346004	Campos Belos
00847001	Itacajá	01346005	São Vicente
00847002	Campos lindos	01347000	Cavalcante
00848000	Colinas do Tocantins	01347001	Ponte Paraná
00848001	Guaraí	01348001	Sama
00848002	Itaporã do Tocantins	01348003	Trombas
00848003	Tupiratins	01349000	Estrela do Norte
00849002	Araguacema	01349001	Novo Planalto
00850000	Redenção	01349002	Porangatu
00946003	Lizarda	01349003	Entroncamento São Miguel
00947001	Mansinha	01350000	Bandeirantes
00948000	Miracema do Tocantins	01350001	Rio Pintado

00948001	Porto Real	01350002	São Miguel do Araguaia
00949000	Abreulândia	01351000	Trecho Médio
00949001	Dois Irmãos do TO	01446001	Alvorada do Norte
00950000	Caseara	01446002	Posse
00950001	Barreria de Campo	01446004	Sítio D'abadia
00951000	Vila Rica	01447001	Flores de Goiás
01047000	Jatobá (faz. Boa Nova)	01447002	São João d' Aliança
01047001	Novo Acordo	01448002	Ponte Quebra Linha
01047002	Porto Gilândia	01449002	Santa Terezinha de Goias
01047004	Ponte Alta do Tocantins	01450001	Mozarlândia
01048000	Fátima	01452000	Xavantina
01048001	Paraíso do Tocantins	01547001	Fazenda Santa Sé
01048003	Porto Nacional	01548002	Padre Bernardo
01048005	Taquarussu do Porto	01548003	Pirenópolis
01049001	Pium	01549009	Uruana
01050000	Luciara	01551001	Monte Claros de Goias
01050002	Santa Terezinha	01552002	Toriqueje
01051001	Porto Alegre do Norte	01554005	Rio das Mortes
01146000	Dianópolis	01555005	São José da Serra
01147000	Almas	01649007	Itaberaí
01147002	Pindorama do Tocantins	01651001	Ipora
01147003	Poto Alegre	01651002	Piranhas
01148000	Fazenda Lobeira	01652003	Doverlândia
01149000	Dueré	01653002	Guiratinga



**Figura 15**  
Localização das estações pluviométricas selecionadas no estudo.

Após a análise das séries pluviométricas e de posse do diagrama de barras dos dados de precipitação, àqueles inexistentes ou considerados inconsistentes foram atribuídas falhas para posterior preenchimento. O preenchimento de falhas das séries de precipitação foi realizado por meio de correlações, segundo critérios consagrados de escolha de bases para as regressões.

Para cada estação cuja série necessitava ser preenchida, iniciou-se o preenchimento, preferencialmente, pela estação mais próxima e, quando esta condição não era atendida, foi aplicado o princípio da semelhança hidrológica, tendo nos coeficientes de correlação a base para a tomada de decisão.

Para o preenchimento de falhas de precipitação foi utilizada a regressão linear simples.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (2)$$

em que

$Y$  = precipitação do posto com falhas;

$X$  = precipitação do posto com dados; e

$\beta_0$  e  $\beta_1$  = parâmetros ajustados na regressão.

Para a realização do preenchimento adotou-se como critério a obtenção de coeficiente de determinação superior a 0,7 e a existência de pelo menos oito pares de eventos entre as estações para a realização da regressão.

No presente trabalho utilizou-se o interpolador Inverse Distance Weighted (IDW) do módulo Spatial Analyst do ArcMap8.3® a fim de espacializar os totais pluviométricos de interesse, em toda a bacia do rio Doce. Posteriormente, operações automáticas na calculadora matricial produziram mapas temáticos com informações de precipitação média na área de drenagem de cada célula (90x90 m) da rede hidrográfica.

### 4.3

### Regionalização das vazões máximas, mínimas, médias e das vazões associadas às curvas de permanência e de regularização

Optou-se por utilizar o método tradicional de regionalização de vazões, proposto pela ELETROBRÁS (1985a), que utiliza equações de regressão aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas. Esta metodologia vem apresentando as melhores estimativas em estudos comparativos com outros métodos de regionalização e mostra-se mais adequada em bacias com grande extensão territorial e baixa densidade de estações fluviométricas, como a região em estudo (AZEVEDO, 2004; LEMOS, 2006).

Considerando a área compreendida entre os rios Araguaia e Tocantins dentro do limite Estadual, foram regionalizadas: as vazões máximas associadas a diferentes períodos de retorno; as vazões mínimas com sete dias de duração e recorrência de dez anos; as vazões médias de longa duração e as vazões associadas às curvas de permanência e de regularização. Novamente, vale ressaltar que a Ilha do Bananal assim como a calha principal dos rios Araguaia, Javaés e Tocantins não foram objeto da regionalização.

Buscando flexibilizar o processo de outorga, principalmente nos períodos mais chuvosos, quando vazões superiores podem ser outorgadas em vista da maior oferta do recurso, considerou-se como período de obtenção das vazões mínimas e vazões associadas às curvas de permanência, o período semestral além do anual, baseando-se na sazonalidade dos registros de vazões para contemplar os períodos seco e chuvoso.

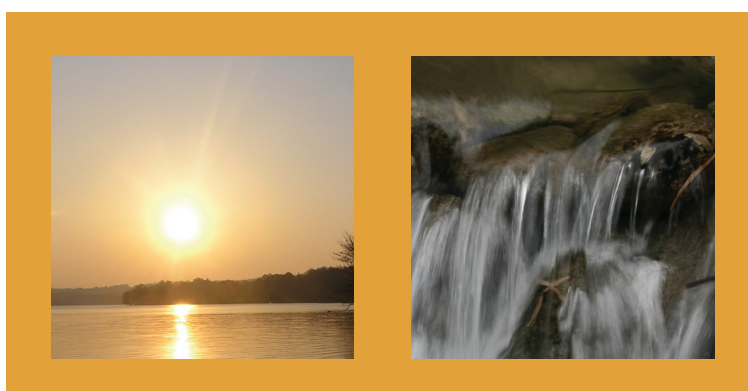
#### 4.3.1. Seleção e análise preliminar das séries históricas

Na regionalização de vazões nas sub-bacias da margem direita do Araguaia e margem esquerda do rio Tocantins, foram selecionadas e analisadas, de modo preliminar, séries históricas de 30 estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA (Quadro 2 e Figura 16). Informações detalhadas das estações fluviométricas pré-selecionadas no estudo de regionalização de vazões, encontram-se no Apêndice A.

Destas, somente 11 estações foram efetivamente utilizadas na regionalização de vazões, isto é, na obtenção das equações de regressão regionais. As demais estações foram utilizadas apenas nas análises que antecedem o preenchimento de falhas, sendo posteriormente descartadas por estarem localizadas em seções dos rios federais Araguaia, Javaés e Tocantins com regime de vazões diferenciado em relação aos cursos d'água que drenam a área em estudo.

Vale ressaltar também, que entre as estações de apoio situadas fora do Estado de Tocantins, incluídas na regionalização para melhorar os ajustes de regressão, a estação Jusante Barra do Forquilha (26015000) foi descartada das análises por aumentar os desvios entre os valores observados e estimados e também devido à discordância entre a área de drenagem fornecida pela Agência Nacional de Águas (ANA) e a área obtida de modo automático em SIG. Uma vez que o Modelo Digital de Elevação mostrou-se hidrologicamente consistente somente nos limites do Estado, a estação foi descartada, favorecendo o ajuste das equações de regressão.

Após a obtenção dos dados, na plataforma Hidroweb da ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br>), as séries históricas de vazão foram sub-divididas nos semestres seco e chuvoso identificados com base nos registros de vazões das estações pré-selecionadas.



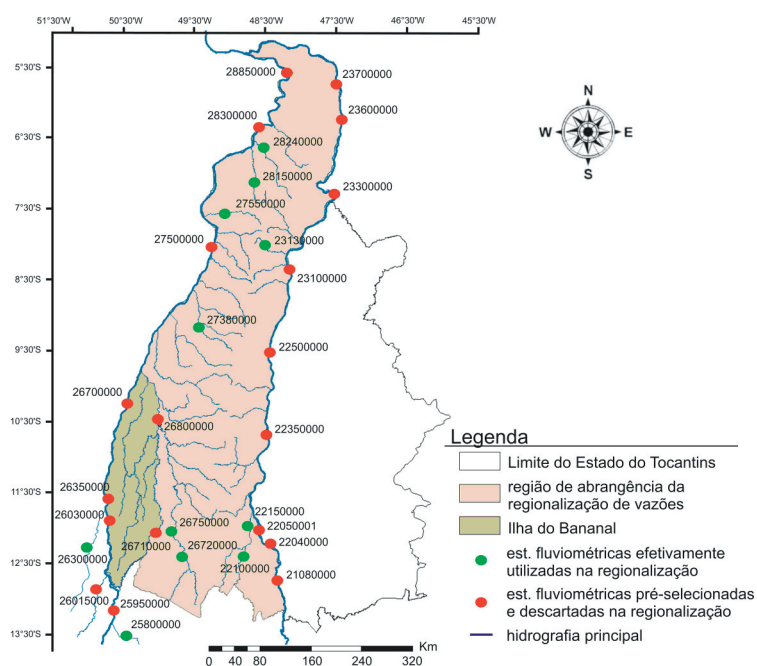


## Quadro 2

Estações fluviométricas pré-selecionadas para a regionalização

Código	Nome	Código	Nome
21080000	São Salvador	28850000	Araguatins
22040000	Fazenda Angical	25950000	Luiz Alves
22050001	Peixe	26700000	Jusante Crisostomo
22350000	Porto Nacional	26015000	Jus. Barra do Forquilha
22500000	Miracema do Tocantins	26720000*	Praia Alta
23100000	Tupirantins	22100000*	Colonha
23300000	Carolina	26300000*	Sto Antonio do Levenger
23600000	Tocantinópolis	22150000*	Jacinto
23700000	Descarreto	25800000*	Jus. do Rio Pintado
26030000	Fazenda Telesforo	26750000*	Projeto Rio Formoso
26350000	São Félix do Araguaia	27380000*	Ponte Rio Piranhas
26710000	Barreira do Pequi	28240000*	Piraque
26800000	Barreira da Cruz	27550000*	Arapoema
27500000	Conceição do Araguaia	28150000*	Muricilândia
28300000	Xambioá	23130000*	Próximo Colinas de Goiás

\* estações efetivamente utilizadas na regionalização de vazões



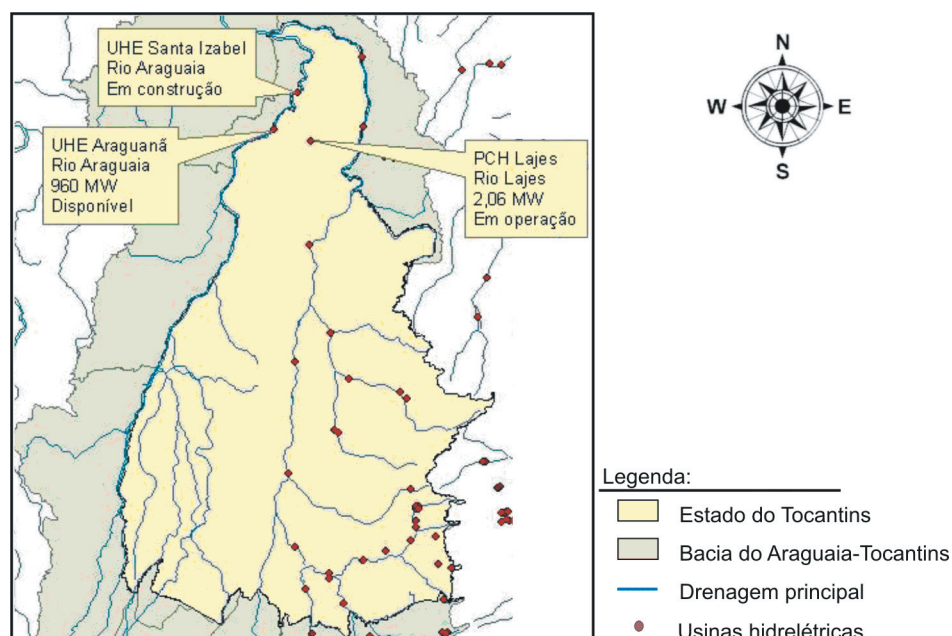
**Figura 16**  
Estações fluviométricas pré-selecionadas incluindo as efetivamente utilizadas na regionalização de vazões e as estações de apoio.



A partir das séries anuais de vazões máximas, médias e mínimas com sete dias de duração, elaborou-se, com base nos períodos anual e semestral, diagramas de barras para as estações fluviométricas, objetivando a caracterização do período de dados disponíveis em todas as estações, de forma a facilitar a escolha do período-base (período comum de observações). Os diagramas de barras para as séries de vazões máximas, mínimas e médias estão apresentados no Apêndice B.

De posse dos diagramas de barras e do mapa de localização das estações fluviométricas procedeu-se a análise das estações quanto à localização em relação à rede de drenagem, período de operação e qualidade das observações, visando à identificação do período-base a ser utilizado na regionalização.

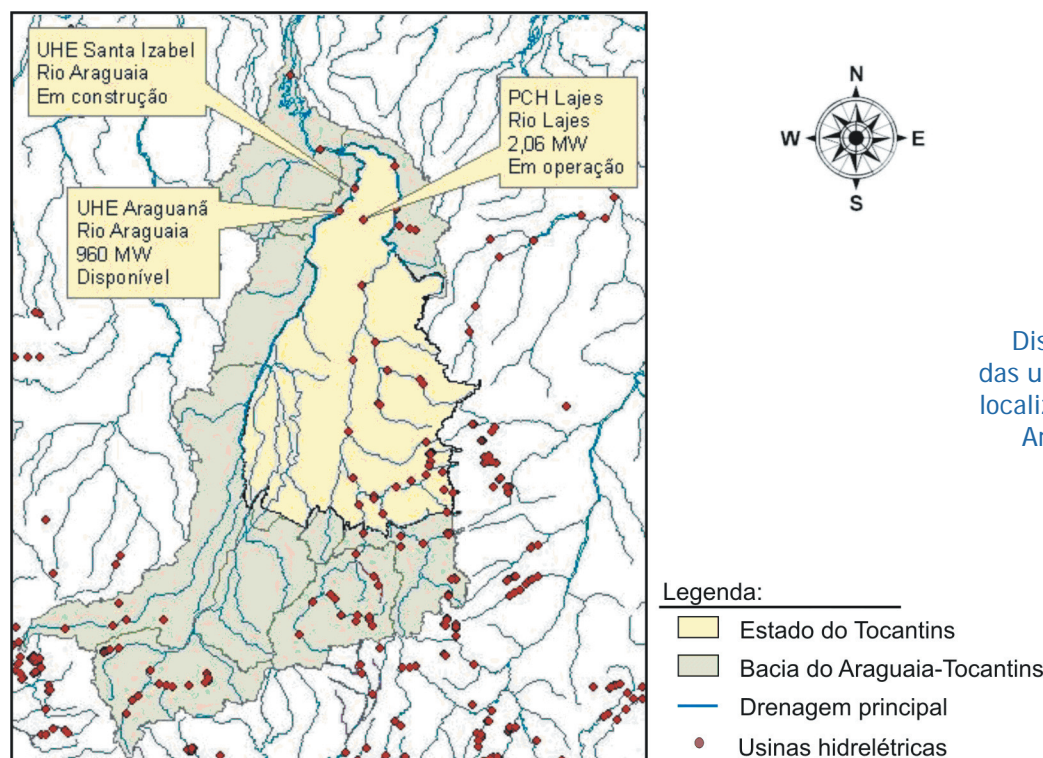
O levantamento dos reservatórios associados à geração de energia elétrica identificou apenas uma usina em operação, chamada PCH Lajes, localizada no rio Lajes, próximo ao encontro dos rios Araguaia e Tocantins (Figura 17). Ainda assim, a usina iniciou suas atividades recentemente e é pequena (2,06 MW), operando a fio d'água, não devendo influenciar no regime de variação de vazões do rio.



**Figura 17**  
Identificação das usinas hidrelétricas situadas na área de estudo, entre os rios Araguaia e Tocantins.

Na cabeceira da bacia, ainda nos Estados de Goiás e Mato Grosso, existem diversas usinas, todas pequenas e operando a fio d'água, não implicando interferências significativas no regime de vazões (Figura 18). Com as séries históricas de vazão atualizadas até 2005 e não havendo usinas em funcionamento capazes de interferir, de forma significativa, no regime

de vazões nos cursos d'água, o período base adotado contemplou 31 anos de observações (1975-2005) para as vazões mínimas referentes ao semestre seco e 30 anos para o estudo das vazões máximas, médias e mínimas referentes ao semestre chuvoso (1975-2004).



**Figura 18**  
Distribuição espacial das usinas hidrelétricas localizadas na Bacia do Araguaia-Tocantins.

Após a análise de continuidade das vazões e de posse do diagrama de barras dos dados fluviométricos, àqueles inexistentes ou considerados inconsistentes foram atribuídas falhas para posterior preenchimento. O preenchimento de falhas das séries de vazão foi realizado por meio de correlações, segundo critérios consagrados de escolha de bases para as regressões.

Para o preenchimento dos dados fluviométricos com falhas considerou-se inicialmente como estação de apoio aquela que se encontrava no mesmo curso d'água da estação com falhas. Nos casos de ausência de estação de apoio no mesmo rio ou de não atendimento aos critérios mencionados anteriormente, foram testadas as estações mais próximas daquela a ser preenchida.

### 4.3.2. Determinação das vazões de interesse

#### 4.3.2.1. Vazões máxima, mínima e média de longo período

A vazão máxima e a vazão mínima  $Q_{7,10}$  foram obtidas com um determinado nível de risco, ou seja, associadas a um período de retorno específico (T). Já a vazão média de longo período, por ser caracterizada como a média das vazões médias diárias anuais, foi regionalizada sem se considerar o nível de risco.

Vale ressaltar que foi adotado, para a determinação das vazões máximas, o ano hidrológico com início em outubro e término em setembro do ano seguinte, a fim de evitar que as vazões máximas anuais de anos consecutivos fossem referentes a um único evento de cheia. Já as vazões mínimas com sete dias de duração ( $Q_7$ ) foram obtidas, não somente para o período anual, mas também para o semestre seco, estendendo-se de junho a novembro e para o semestre chuvoso, de dezembro a maio.

É válido destacar que os valores de  $Q_7$  considerando-se o período anual são coincidentes com aqueles referentes ao semestre seco, pelo fato dos sete dias consecutivos mais secos do ano estarem sempre contidos no semestre seco.

O intervalo de tempo utilizado para a definição da vazão média foi de um dia, de modo que foi determinada uma vazão média (baseada em dados diários) de longo período para cada estação fluviométrica estudada.

Após a seleção e análise de dados básicos, as séries anuais de vazões máximas diárias e as séries anuais e semestrais de vazões mínimas com sete dias de duração para cada estação foram submetidas à análise estatística para identificação do modelo probabilístico que melhor se ajustava aos dados. Os modelos de distribuição de eventos extremos máximos ajustados foram os seguintes: Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III. Já para eventos mínimos foram utilizadas as seguintes distribuições: Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull.

As funções densidade de probabilidade,  $f(x)$ , e as funções de distribuição acumulada,  $F(x)$ , das distribuições teóricas Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, Gumbel e Weibull são representadas pelas expressões apresentadas a seguir (NERC, 1975; HAAN, 1977, STEDINGER et al., 1992).

### Distribuição Log-Normal a dois parâmetros

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(\ln x - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2} \right] ; \quad x > 0 \quad (3)$$

em que:

$f(x)$  = função densidade ou de intensidade de probabilidade de uma variável aleatória contínua qualquer;

$\mu_Y$  = parâmetro de posição da distribuição Log-Normal;

$\sigma_Y^2$  = parâmetro de escala da distribuição Log-Normal;

$X$  = variável aleatória; e

$Y = \ln (X)$ .

A função de distribuição acumulada é dada pela expressão

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \left\{ \frac{1}{x \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(\ln x - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2} \right] \right\} \quad (4)$$

ou,

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \int_0^x f(x) dx = P[X \leq x] \quad (5)$$

ou seja, a integral da função densidade de probabilidade fornece a probabilidade de que uma variável aleatória normal  $X$ , de parâmetros  $\mu_Y$  e  $\sigma_Y$ , seja igual ou inferior a um valor dado  $x$ .

### Distribuição Log-Normal a três parâmetros

Esta distribuição difere da distribuição Log-Normal a dois parâmetros pela introdução de um parâmetro de posição  $x_0$ , tal que  $Y = \ln (x - x_0)$ .

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0) \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[\ln (x - x_0) - \mu_Y]^2}{2\sigma_Y^2} \right\} \quad (6)$$

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{1}{(x - x_0) \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[\ln(x - x_0) - \mu_Y]^2}{2\sigma_Y^2} \right\} dx \quad (7)$$

### Distribuição Pearson tipo III

$$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x - x_0}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp \left\{ -\frac{x - x_0}{\alpha} \right\} \quad (8)$$

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x - x_0}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp \left\{ -\frac{x - x_0}{\alpha} \right\} dx \quad (9)$$

em que:

$\alpha$  = parâmetro de escala da distribuição Pearson tipo III;

$\beta$  = parâmetro de forma da distribuição Pearson tipo III;

$x_0$  = parâmetro de posição da distribuição Pearson tipo III; e

$\Gamma(.)$  = função Gamma.

### Distribuição Log-Pearson tipo III

$$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{\ln x - x_0}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp \left\{ -\frac{\ln x - x_0}{\alpha} \right\} \quad (10)$$

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{\ln x - x_0}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp \left\{ -\frac{\ln x - x_0}{\alpha} \right\} dx \quad (11)$$

### Distribuição Gumbel

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left\{ - \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) - \exp \left[ \left( - \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \right\} \quad (12)$$

em que:

$$\begin{cases} -\infty < x < \infty \\ -\infty < \beta < \infty \\ \alpha > 0 \end{cases}$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\alpha} \exp \left\{ - \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) - \exp \left[ \left( - \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \right\} dx \quad (13)$$

ou,

$$F(x) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \quad (14)$$

Em que  $\alpha$  é o parâmetro de escala e  $\beta$  o parâmetro de posição, sendo válidas as seguintes relações:

$$E(X) = \beta + \frac{\delta}{\alpha} \quad ; \quad \delta = 0,57721 \text{ (constante de Euler)}$$

$$\text{Var}(X) = \frac{\pi}{\sqrt{6} \alpha^2} \quad (15)$$

em que:

$E(X)$  = esperança matemática;

$\text{Var}(X)$  = variância de  $X$ ; e

$g$  = coeficiente de assimetria = 1,1396.

### Distribuição Weibull

$$f(x) = \frac{k}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right] \quad (16)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right] \quad (x > 0) \quad (17)$$

A seleção da distribuição de probabilidade ajustável a cada série histórica foi efetuada utilizando-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 20% de probabilidade, e o ajuste dos parâmetros de cada distribuição realizado por intermédio do método dos momentos, que consiste em igualar os momentos populacionais da série aos momentos amostrais de uma série de eventos aleatórios, quais sejam, a média, o desvio padrão e os coeficientes de assimetria e de curtose.

O teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) pressupõe que se duas sub-amostras são de uma mesma população, então as distribuições de probabilidades acumuladas das duas sub-amostras devem estar muito próximas. Se duas distribuições acumuladas são “muito discrepantes” em determinado ponto, então as sub-amostras podem ser de populações diferentes. Assim, um grande desvio é uma indicação para rejeitar-se a hipótese  $H_0$  (de serem da mesma população).

O teste é baseado nos desvios da função de distribuição da amostra de eventos  $P(x)$  em relação à função de distribuição contínua escolhida  $P_0(x)$ , assim:

$$D_n = \max |P(x) - P_0(x)| \quad (18)$$

Na prática o teste requer que o valor de  $D_n$  obtido seja menor que o valor tabelado para um determinado nível de confiança. Os valores críticos de  $D_n$  para o nível de significância de 20% são menores que para 5 ou 1% e, em função disso, maior a possibilidade do valor de  $D_n$  obtido ser maior que o valor tabelado, tornando o teste mais rigoroso.

Após a seleção da distribuição probabilística com melhor ajuste aos dados de vazões foram obtidos os valores das vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50 e 100 anos e as vazões mínimas anuais e semestrais com sete dias de duração associadas ao período de retorno de 10 anos.



#### 4.3.2.2. Vazões associadas à curva de permanência

Assim como foi realizado para as vazões mínimas com sete dias de duração, as vazões associadas às curvas de permanência ( $Q_{50}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ) foram obtidas com base no período anual e também com base no período semestral, visando incorporar a sazonalidade da oferta ao estudo de regionalização de vazões. O procedimento adotado para a obtenção das curvas de permanência, anuais e semestrais, para cada estação fluviométrica foi o seguinte:

- seleção, para cada estação, dos anos da série histórica com mais de 95% dos dados diários de vazão, totalizando um mínimo de 347 dias par o período anual e 171 dias para os semestres seco e chuvoso. Os anos com menos de 95% dos dados foram descartados das análises para fins de obtenção da curva de permanência;
- definição de 50 intervalos de classe das vazões diárias, sendo a subdivisão das classes feita com base na escala logarítmica, devido à grande variação de magnitude das vazões envolvidas:

cálculo do intervalo de classe pela equação:

$$\Delta X = \frac{[\ln(Q_{\text{máx}}) - \ln(Q_{\text{mín}})]}{50} \quad (19)$$

em que:

$Q_{\text{máx}}$  = vazão máxima da série; e  $Q_{\text{mín}}$  = vazão mínima da série.

cálculo dos limites dos intervalos, a partir de  $Q_{\text{mín}}$ , adicionando o intervalo calculado anteriormente, o que resultou na vazão do limite superior do intervalo i:

$$Q_{i+1} = \exp[\ln(Q_i) + \Delta X] \quad (20)$$

- determinação, com base nos dados de vazão da série histórica de cada estação fluviométrica, do número de vazões classificadas em cada intervalo;
- determinação da frequência ( $f_i$ ) associada ao limite inferior de cada intervalo:

$$f_i = \frac{Nq_i}{NT} 100 \quad (21)$$

em que:

Nqi = número de vazões de cada intervalo; e, NT = número total de vazões.

obtenção da curva de permanência plotando-se na ordenada os limites inferiores dos intervalos de classe de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência.

#### 4.3.2.3. Vazões associadas à curva de regularização

A determinação das vazões associadas às curvas de regularização envolveu as seguintes etapas:

seleção da série de vazões diárias correspondente apenas aos anos com mais de 95% dos dados;

cálculo da vazão média com base na série histórica utilizada ( $\bar{Q}$ );

a partir da  $\bar{Q}$ , estabelecimento de seis diferentes valores de vazão a serem regularizados ( $Q_{reg \%}$ ), utilizando-se uma variação de 0,10 da  $\bar{Q}$ , ou seja, foram determinadas as vazões regularizadas correspondentes à 50, 60, 70, 80, 90 e 100% da  $\bar{Q}$ .

#### 4.3.3. Identificação das regiões homogêneas

As regiões que subdividem uma área maior foram delimitadas, preliminarmente, com base na homogeneidade das características hidrológicas, de relevo, geologia, solos, vegetação e clima. Na prática, a homogeneidade na regionalização foi traduzida por um alto coeficiente de determinação, obtido da aplicação da regressão múltipla das vazões com as características físicas e climáticas das bacias.

Para a definição das regiões hidrologicamente homogêneas foi inicialmente observada a distribuição geográfica das estações e, então, analisados os coeficientes da regressão, a tendência e a classificação dos resíduos padronizados e o erro percentual entre os valores das vazões observadas e estimadas pelo modelo de regionalização obtido. Quando foram verificados bons resultados, a região foi definida como hidrologicamente homogênea para as vazões estudadas.

Identificadas as estações fluviométricas de cada região, a delimitação espacial das regiões normalmente é traçada com base na área de drenagem a montante das estações, entretanto, uma extensa região sem dados conduziu, novamente, a delimitação dos limites entre regiões ao critério de semelhanças ambientais. Dessa forma, com exceção da Ilha do Bananal, toda a região compreendida entre os rios Araguaia e Tocantins nos limites do Estado foi abrangida nas estimativas da regionalização de vazões.

#### 4.3.4. Determinação das equações de regressão regionais

Foram consideradas como variáveis físicas no estudo de regionalização: a área de drenagem ( $A$ ), o comprimento do rio principal ( $L$ ), o comprimento total da drenagem ( $L_T$ ), a densidade de drenagem ( $Dd$ ) e a declividade média na área de contribuição ( $S$ ). Como características pluviométricas, além da precipitação média anual ( $Pa$ ), a precipitação do mês mais chuvoso ( $P_{max}$ ) foi utilizada nas análises de regressão.

De posse das vazões máximas, mínimas, médias de longo período e das vazões associadas às curvas de permanência e de regularização das estações fluviométricas pertencentes a uma mesma região homogênea, foi aplicada a regressão múltipla associando as variáveis físicas e pluviométricas com as seguintes vazões de interesse:

■ Vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50, 100 e 500 anos;

■ Vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de dez anos, com base no período anual e semestral;

■ Vazões médias de longa duração;

■ Vazões associadas às permanências de 50, 90 e 95% no período anual e semestral, e;

Vazões associadas às regularizações de 50, 60, 70, 80, 90, e 100% da vazão média de longo período.

No ajuste das equações foram utilizados os seguintes modelos de regressão:

#### Modelo linear

$$Q = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L_T + \beta_3 L + \beta_4 Dd + \beta_5 S + \beta_6 Pa + \beta_7 Pmax \quad (22)$$

#### Modelo Potencial

$$Q = \beta_0 A^{\beta_1} L_T^{\beta_2} L^{\beta_3} Dd^{\beta_4} S^{\beta_5} Pa^{\beta_6} Pmax^{\beta_7} \quad (23)$$

#### Modelo Exponencial

$$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L_T + \beta_3 L + \beta_4 Dd + \beta_5 S + \beta_6 Pa + \beta_7 Pmax)} \quad (24)$$

#### Modelo Logarítmico

$$Q = \beta_0 + \beta_1 \ln A + \beta_2 \ln L_T + \beta_3 \ln L + \beta_4 \ln Dd + \beta_5 \ln S + \beta_6 \ln Pa + \beta_7 \ln Pmax \quad (25)$$

#### Modelo Recíproco

$$Q = (\beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L_T + \beta_3 L + \beta_4 Dd + \beta_5 S + \beta_6 Pa + \beta_7 Pmax)^{-1} \quad (26)$$

Os melhores modelos resultantes da aplicação da regressão múltipla foram selecionados observando-se: maiores valores do coeficiente de determinação ajustado, menores valores de erro padrão fatorial, resultados significativos pelo teste F e menor número de variáveis independentes. Ressalta-se que as variáveis área de drenagem ou comprimento total necessitam estar presentes nas equações por possuírem sensibilidade aos acréscimos de vazão após as confluências (MARQUES, 2006).

É importante destacar que as equações regionais de regressão são recomendadas para estimativa de vazões em seções da hidrografia cujas variáveis ambientais estão dentro do intervalo amostral das variáveis utilizadas no ajuste do modelo de regressão. Deste modo, a confiabilidade das estimativas de vazões fica restrita à seções da hidrografia com área de drenagem superior a 405 km<sup>2</sup> e inferior a 58.340 km<sup>2</sup>.

Foi utilizado para a obtenção dos diversos modelos de regressão múltipla o software RH 4.0, desenvolvido por EUCLYDES et al. (2005).

## 4.4 Espacialização das vazões em SIG

Esta etapa visou, além da validação das equações regionais de regressão, à criação de um banco de dados de vazões máximas, mínimas, médias e associadas às curvas de permanência e de regularização, georreferenciado em ambiente de SIG, estimadas com base nas equações de regressão aplicadas às bases matriciais, distribuindo espacialmente as estimativas ao longo de toda a drenagem da área de abrangência da regionalização.

De posse das imagens matriciais (grids) contendo as características físicas e pluviométricas para cada célula da hidrografia, as equações regionais de regionalização com melhores ajustes estatísticos foram processadas no Sistema de Informações Geográficas (SIG) sobre a máscara da drenagem numérica, respeitando os limites definidos em cada região homogênea.

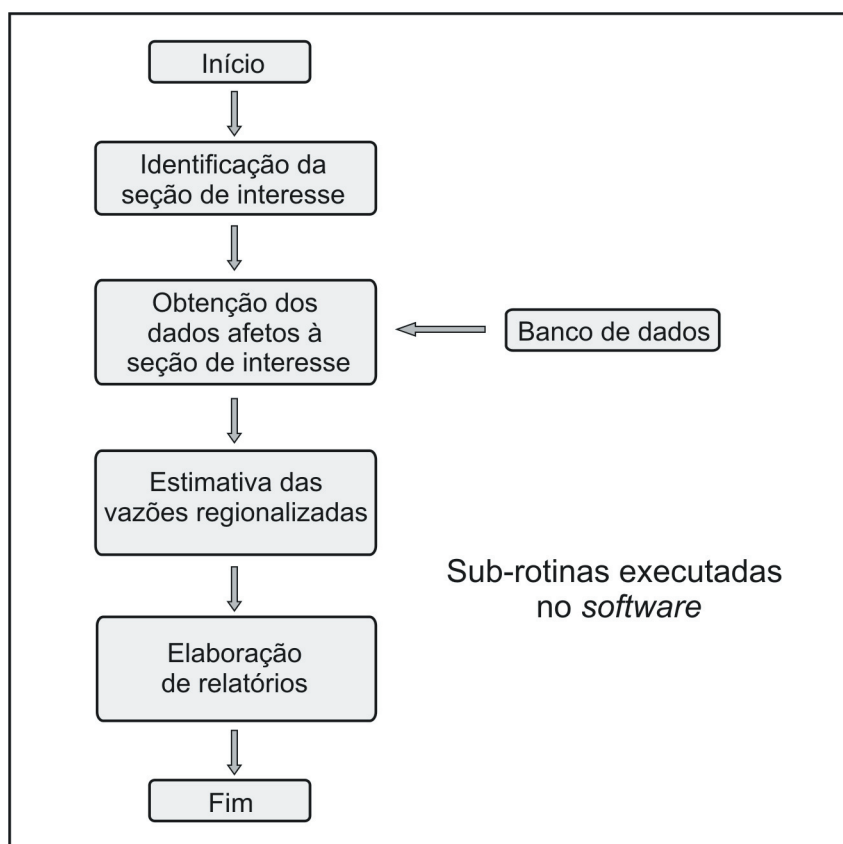
Nesta etapa, qualquer inconsistência nos modelos de regressão recomendados pode ser claramente identificada em virtude da visualização espacial da continuidade das vazões nos cursos d'água.

## 4.5 Desenvolvimento e avaliação do software

O software para disponibilização das variáveis hidrológicas regionalizadas foi desenvolvido utilizando a ferramenta de programação Borland Delphi 7.0®, enquanto que as rotinas afetas a Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) foram implementadas com a utilização do componente ESRI MapObjects 2.3® (MapObjects), o qual é composto por um conjunto de funções para mapeamento, sendo este de uso freqüente por programadores no desenvolvimento de aplicativos que envolvam o uso de mapas.

O software foi projetado para ser executado no sistema operacional Microsoft Windows 2000® ou superior, possuindo uma interface de fácil utilização e auto-explicativa. Desenvolveu-se, ainda, um sistema de ajuda com informações pertinentes aos dados de saída e informações para auxiliar o entendimento da parte técnica.

Na seqüência, apresentam-se os procedimentos operacionais executados durante a utilização do software, conforme as sub-rotinas apresentadas na Figura 19.



**Figura 19**  
Fluxograma representando as sub-rotinas executadas pelo software.

#### 4.5.1. Identificação da seção de interesse

No processo de identificação da seção de interesse foram considerados dois casos. O primeiro se refere à definição de uma seção a partir do clique do mouse sobre um mapa georreferenciado e o segundo é afeto à entrada manual das coordenadas geográficas da seção de interesse.

Para permitir o clique do mouse sobre a seção de interesse foi desenvolvido, com a utilização do MapObjects, um mapa georreferenciado no sistema de coordenadas geográficas, datum South American 1969.

Visando possibilitar a identificação da seção de interesse de forma mais ágil foram incorporadas ao mapa, de forma que podem ser adicionadas e, ou, excluídas, além do limite e hidrografia da bacia, as feições dos estados, dos municípios, das sub-bacias e das estradas, assim como as estações fluviométricas e pluviométricas. Também visando facilitar a manipulação do mapa disponibilizado no software, foram incluídas ferramentas de manipulação de mapas comumente utilizadas em softwares de sistemas de informações

geográficas, que permitem o zoom, a movimentação do mapa na tela do computador (pan) e a obtenção dos nomes das feições de interesse.

Uma vez que a hidrografia mapeada das cartas do IBGE não pôde ser utilizada na geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), em virtude da má qualidade, necessitando de uma série de correções, a drenagem numérica incorporada ao software não possui os nomes dos cursos d'água. Ressalta-se que a hidrografia padrão do IBGE foi utilizada somente na validação da drenagem numérica obtida em SIG.

No entanto, conscientes da maior facilidade na localização das seções de interesse a partir do nome do curso d'água, adicionou-se ao software, a base hidrográfica correspondente à escala 1:250.000 do IBGE, que contém os nomes das feições embora apresente uma série de características indesejáveis.

A fim de possibilitar a localização de qual região da bacia está sendo visualizada quando o mapa está em maior escala, foi adicionado ao software um segundo mapa com o limite e hidrografia da bacia, no qual é procedida a delimitação da região visualizada no primeiro mapa.

A segunda forma de identificação da seção de interesse foi implementada de forma que, ao serem fornecidas as coordenadas geográficas da seção de um curso d'água, fosse procedida a identificação da seção de interesse no mapa georreferenciado. Nesse caso, os valores das coordenadas geográficas foram considerados no sistema de coordenadas geográficas, datum South American 1969.

Pelo fato de o software disponibilizar informações de vazão nos cursos d'água, implementou-se uma rotina que emite uma mensagem de alerta caso o usuário escolha um ponto fora da hidrografia. Nessa situação, o software identifica no mapa com um ponto amarelo o local escolhido, devendo o usuário proceder, utilizando as ferramentas descritas no primeiro procedimento disponível para a identificação da seção de interesse, ao ajuste do local escolhido para uma posição sobre a hidrografia.

Procedida a identificação da seção de interesse, um ponto branco é inserido no mapa, possibilitando ao usuário a visualização de sua escolha.

#### **4.5.2. Obtenção dos dados afetos à seção de interesse**

Uma vez feita a identificação da seção de interesse foi desenvolvida uma rotina que pesquisa automaticamente os dados necessários à aplicação das demais sub-rotinas

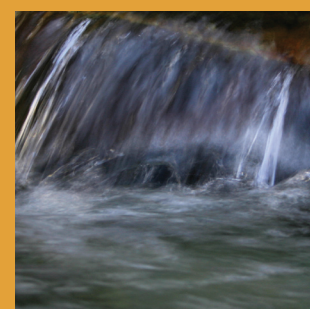


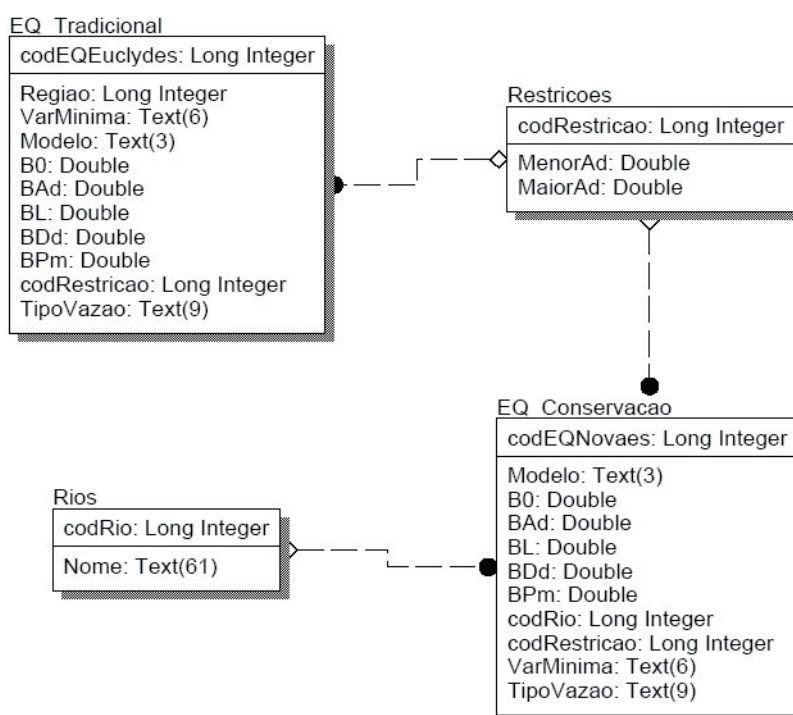
apresentadas na Figura 19, referentes à bacia e à seção de interesse. Os dados requeridos pelo software foram armazenados em um banco de dados e em arquivos georreferenciados nos formatos shape e raster. A importância da compatibilidade do software com esses formatos de arquivos está na facilidade de manipulação e no fato de esses serem formatos largamente difundidos e compatíveis com diferentes aplicações.

O banco de dados, contendo apenas dados não georreferenciados, foi desenvolvido no formato compatível com o software Microsoft Access®. Na Figura 20 apresenta-se a estrutura lógica do banco de dados, no qual foram armazenadas as equações de regressão regionais referentes a:

- Vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50, 100 e 500 anos ( $Q_{máx}$ );
- Vazões mínimas com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) referentes ao período anual e semestres seco e chuvoso;
- Vazões médias de longa duração ( $Q_{mld}$ );
- Vazões associadas às permanências de 50 ( $Q_{50}$ ), 90 ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) nos períodos anual, semestre seco e semestre chuvoso;
- Vazões associadas à regularização de 50 ( $Q_{reg_{50}}$ ), 60 ( $Q_{reg_{60}}$ ), 70 ( $Q_{reg_{70}}$ ), 80 ( $Q_{reg_{80}}$ ), 90 ( $Q_{reg_{90}}$ ) e 100 ( $Q_{reg_{100}}$ ) % da vazão média de longa duração.

Os dados georreferenciados como nomes das sub-bacias, municípios, estados, rodovias, estações fluviométricas e pluviométricas e as regiões hidrologicamente homogêneas foram armazenados em arquivos nos formatos shape. As características físicas e pluviométricas utilizadas nas regressões foram carregadas no formato raster onde cada célula armazena uma informação. Um mapa de uso e ocupação do solo obtido pelo sensor MODIS Terra foi também incorporado ao software no formato de imagem georreferenciada geoTIFF.





**Figura 20**  
Estrutura lógica do  
banco de dados.

As pesquisas realizadas no banco de dados foram implementadas através de comandos da Structured Query Language (SQL), enquanto as pesquisas nos arquivos shape foram procedidas a partir de consultas espaciais implementadas com a utilização de ferramentas disponíveis no MapObjects®, as quais foram baseadas em distância e interseção de temas.

A fim de permitir a atualização dos dados armazenados no banco de dados foi desenvolvido um módulo no software que permite atualizar os valores dos registros do banco de dados. As instruções de atualização desse módulo foram implementadas através de comandos da SQL.

#### 4.5.3. Estimativa das vazões regionalizadas

A fim de permitir a estimativa das vazões máximas, mínimas, médias de longa duração e das vazões associadas às curvas de permanência e de regularização ao longo de toda a rede hidrográfica, foram implementadas as equações de regressão regionais que apresentaram melhores ajustes e demonstraram possuir sensibilidade à extrapolação espacial, assegurando a continuidade das vazões nas confluências.

Os dados requeridos para a estimativa das vazões foram: as variáveis físicas e pluviométricas utilizadas nas equações de regressão recomendadas, o número de

identificação da região hidrologicamente homogênea na qual está inserida a seção de interesse e as equações regionais para a estimativa das vazões, ajustadas com base nos seguintes modelos:

#### Modelo linear

$$Q = \beta_0 + \beta_1 A \quad (27)$$

#### Modelo potencial

$$Q = \beta_0 A^{\beta_1} Pa^{\beta_2} \quad (28)$$

#### Modelo exponencial

$$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 L_T)} \quad (29)$$

em que:

$Q$  = Vazão,  $m^3s^{-1}$

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes de ajuste da regressão, adimensional;

$A$  = área de drenagem,  $km^2$ .

$Pa$  = precipitação média anual, mm

$L_T$  = comprimento total da drenagem, km

De posse da delimitação das regiões hidrologicamente homogêneas, das equações de regressão regionais e das variáveis, área de drenagem, precipitação média anual e comprimento total da drenagem, o software executa o cálculo de todas as vazões associadas à seção de interesse identificada pelo usuário.

#### 4.5.4. Elaboração de relatórios

A fim de permitir o agrupamento das informações relativas à seção de interesse e a impressão dessas informações para documentação e posterior análise dos aspectos envolvidos na tomada de decisão, desenvolveu-se um módulo para geração de relatórios.

Os relatórios foram desenvolvidos de modo a apresentar as informações relativas à localização (latitude, longitude), aos nomes da sub-bacia e município a que pertence a seção de interesse, área de drenagem, comprimento total da drenagem e precipitação total anual, além das vazões máximas, mínimas, médias e das vazões associadas às curvas de permanência e de regularização.

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1

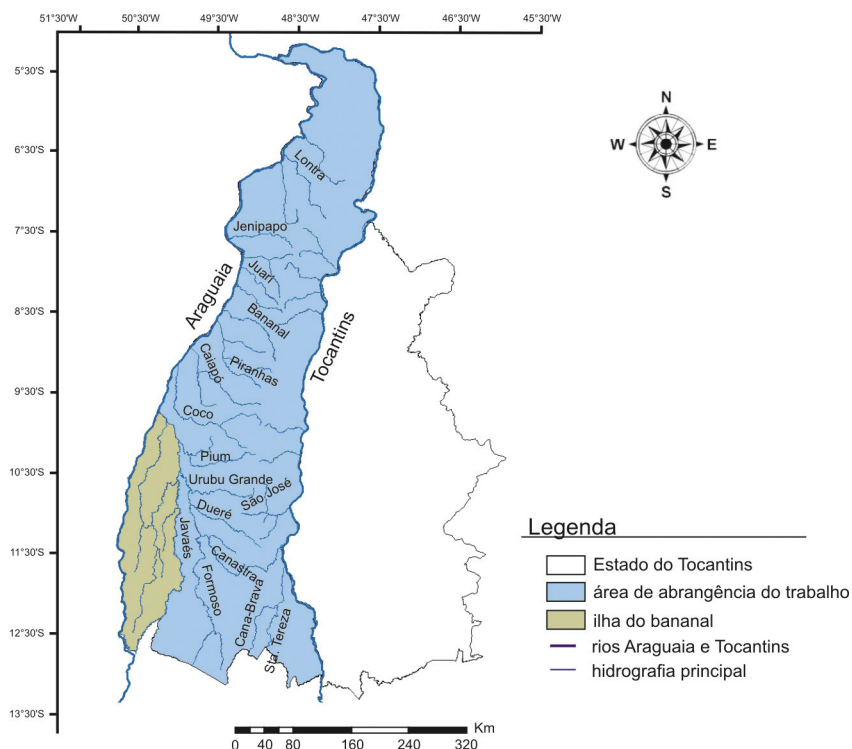
### Obtenção das características físicas e pluviométricas

A metodologia utilizada para geração do MDEHC a partir dos dados remotos da SRTM e posterior extração automática das características físicas e pluviométricas médias, referente a cada célula na rede de drenagem da bacia do Araguaia-Tocantins, mostrou-se capaz de substituir, com vantagens, os métodos manuais tradicionalmente utilizados. A extração automática, pixel a pixel, também possibilitou a espacialização das vazões regionalizadas por toda a rede de drenagem compreendida entre os rios Araguaia e Tocantins nos limites do Estado.

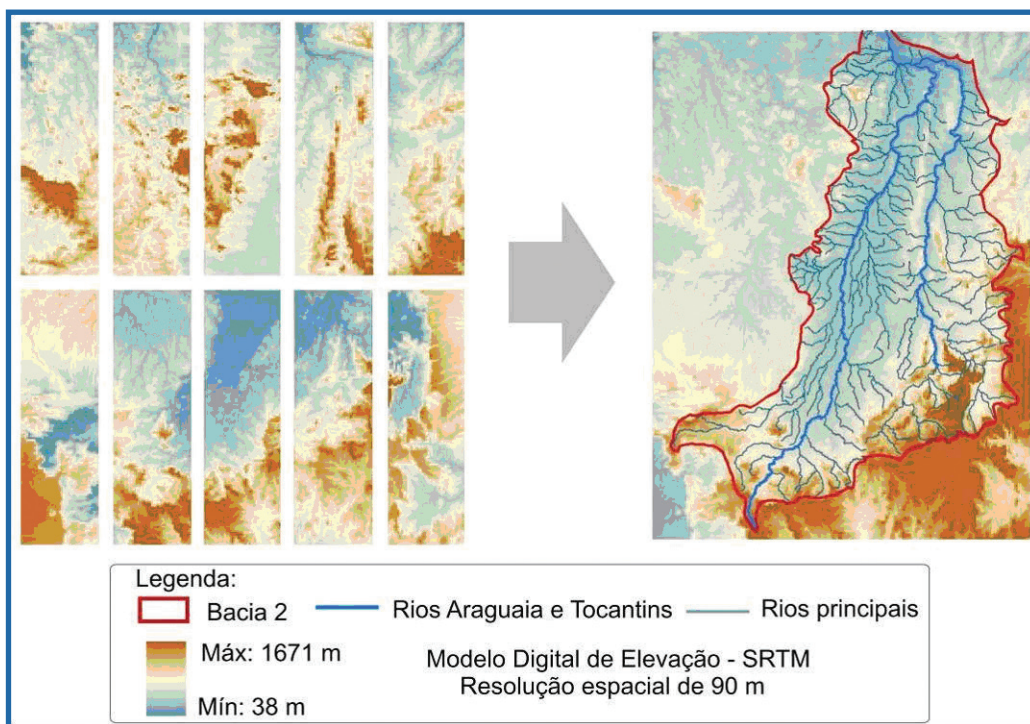
#### 5.1.1. Geração do MDEHC

Apesar da área de abrangência da regionalização de vazões considerar somente as sub-bacias situadas entre os rios Araguaia e Tocantins nos limites do Estado (Figura 21), verificou-se a necessidade da modelagem morfométrica em toda a bacia a montante da confluência do rio Araguaia com o Tocantins, área denominada, neste trabalho, de bacia do Tocantins-Araguaia.

Numa análise preliminar, as folhas SRTM, capturadas da Internet, mostraram características indesejáveis além daquelas mencionadas por VALERIANO (2004), como células sem informações de altitude. A estas células foram atribuídas a média das células vizinhas e a seguir realizou-se o mosaico das folhas SRTM (Figura 22).



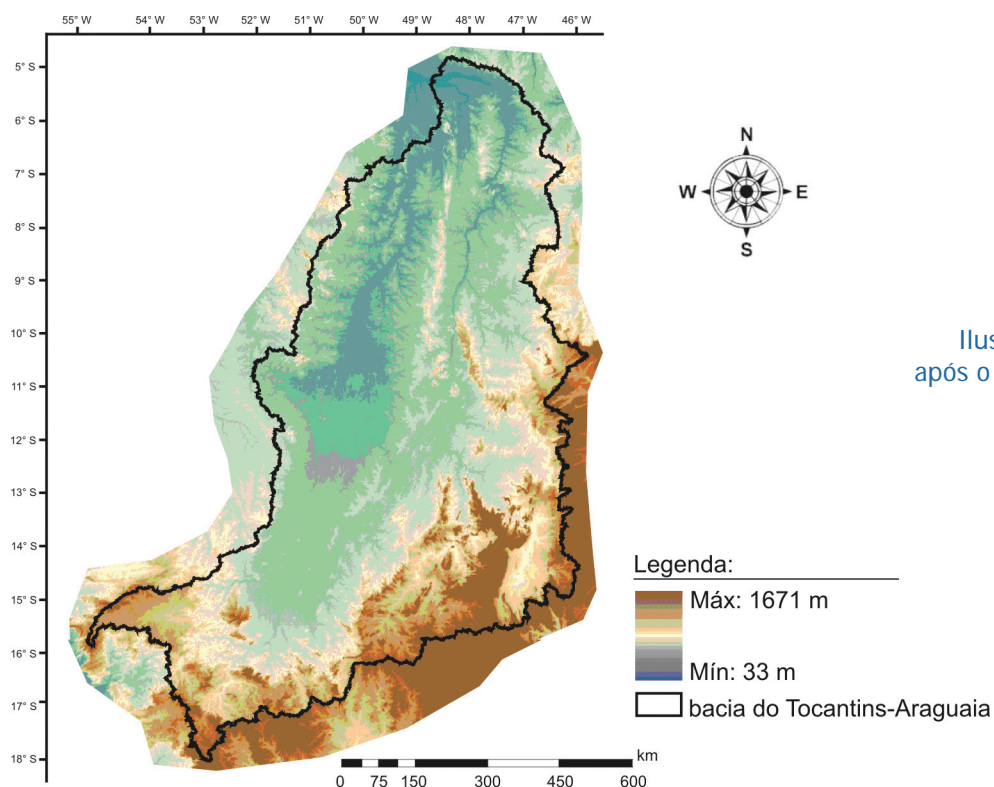
**Figura 21**  
Representação da área de abrangência da regionalização de vazões.



**Figura 22** ■ Representação do mosaico realizado para união das cartas SRTM e o MDE com resolução espacial de 90 m.



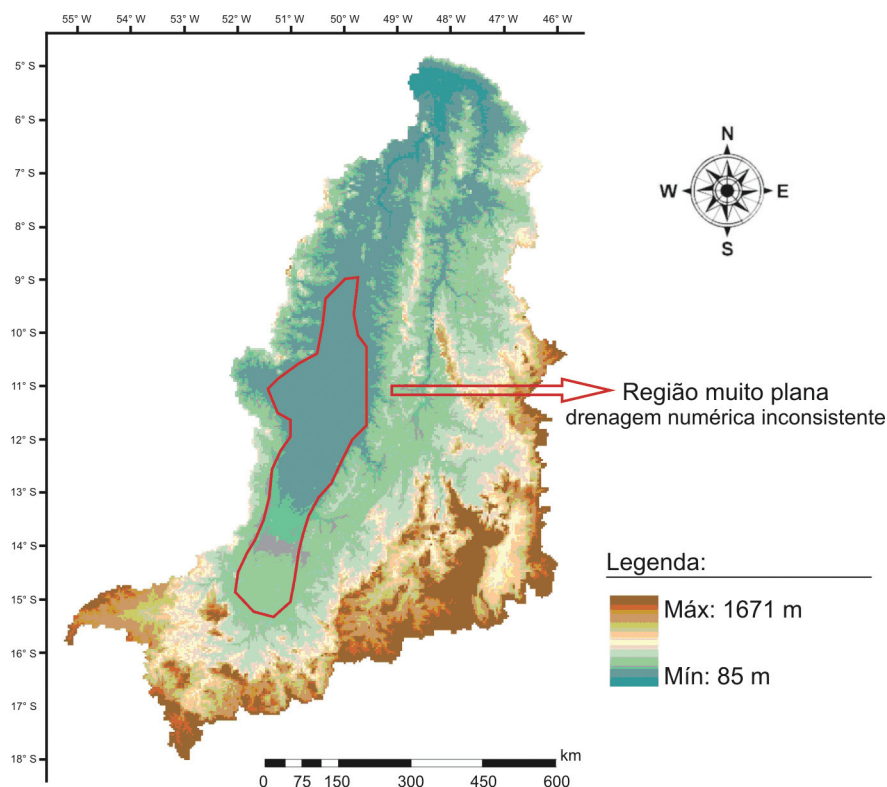
Realizada a união das folhas e após o tratamento preliminar do MDE/SRTM foi possível reduzir a base de dados para os limites da bacia do Tocantins-Araguaia, isolando a área de trabalho, reduzindo o tamanho do arquivo e o tempo de processamento das operações de geração do MDEHC. A Figura 23 ilustra o MDE já com o corte, a partir dos divisores de água identificados com base no MDE-SRTM.



**Figura 23**  
Ilustração do MDE-SRTM  
após o corte para redução da  
área de trabalho.

Após os tratamentos para geração do MDEHC, a sobreposição da drenagem numérica, obtida em SIG, com a hidrografia mapeada de cartas do IBGE, na escala 1:100.000, evidenciou uma zona crítica para delimitação automática dos canais de drenagem nas proximidades da ilha do Bananal. A inconsistência da rede de drenagem obtida em SIG, ocorreu em razão da declividade muito reduzida neste local além da ocorrência de variações erráticas nos valores de altitude, devido à predominância do efeito da vegetação sobre o relevo do terreno.

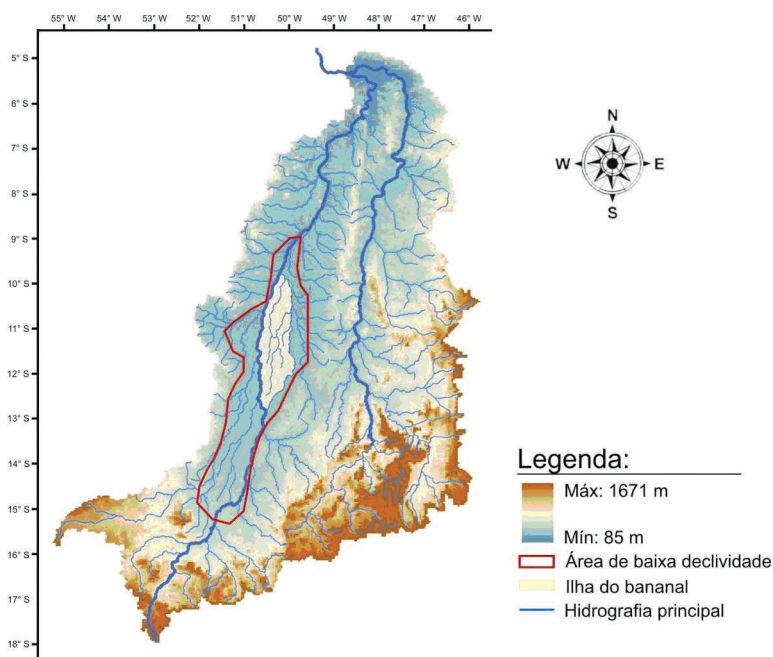
A Figura 24 apresenta o MDE referente à bacia do Tocantins-Araguaia, a montante da seção de encontro dos dois rios e, em destaque, a região crítica para a derivação da drenagem numérica em virtude dos baixos índices de declividade.



**Figura 24**  
Modelo Digital de Elevação (MDE) após tratamento preliminar e identificação da zona crítica, com baixa variação nos valores de altitude.

A Figura 25 apresenta a Ilha do Bananal, localizada no interior da zona crítica, onde a drenagem numérica derivada do MDE não condiz com a hidrografia mapeada de cartas do IBGE. Em visita de campo, buscando o reconhecimento da região em estudo, verificou-se que a vegetação presente nas margens do rio Javaés e no interior da Ilha do Bananal contrastam fortemente

com as terras desmatadas nas redondezas, fornecendo respostas equivocadas aos sensores da SRTM e inviabilizando a utilização das imagens orbitais nesta zona crítica, de baixa declividade.

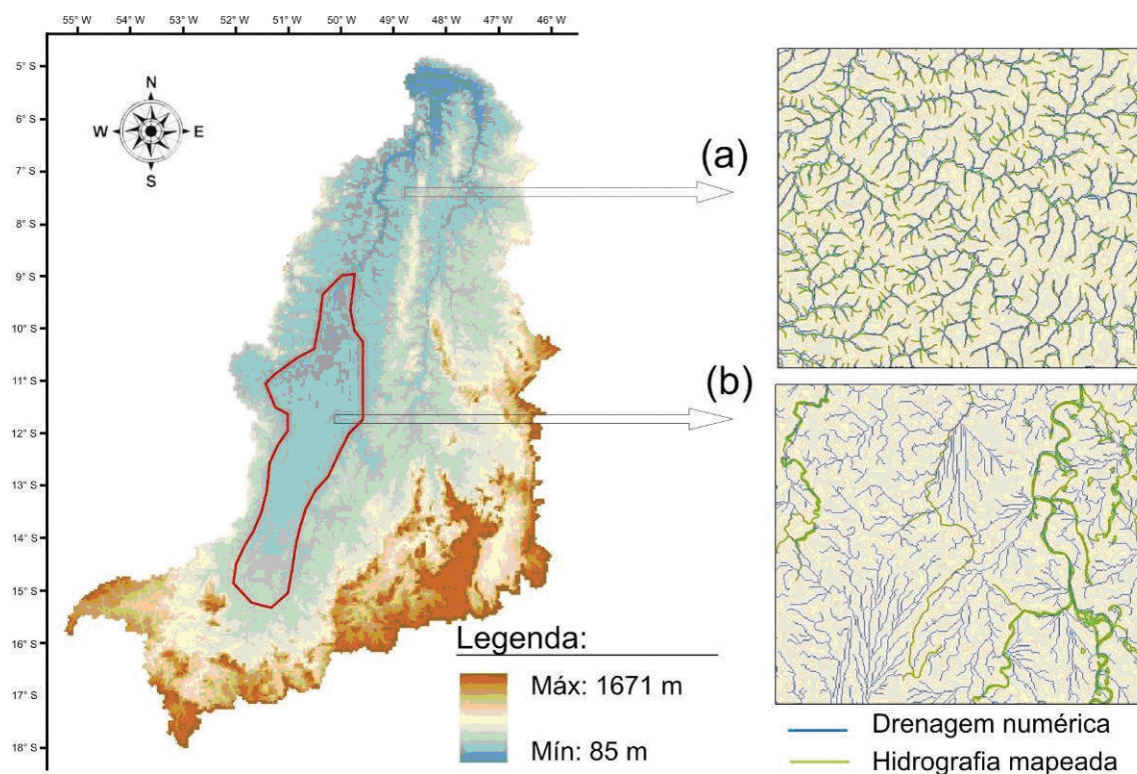


**Figura 25**  
Identificação da Ilha do Bananal, região mais crítica da modelagem na bacia do Tocantins - Araguaia.

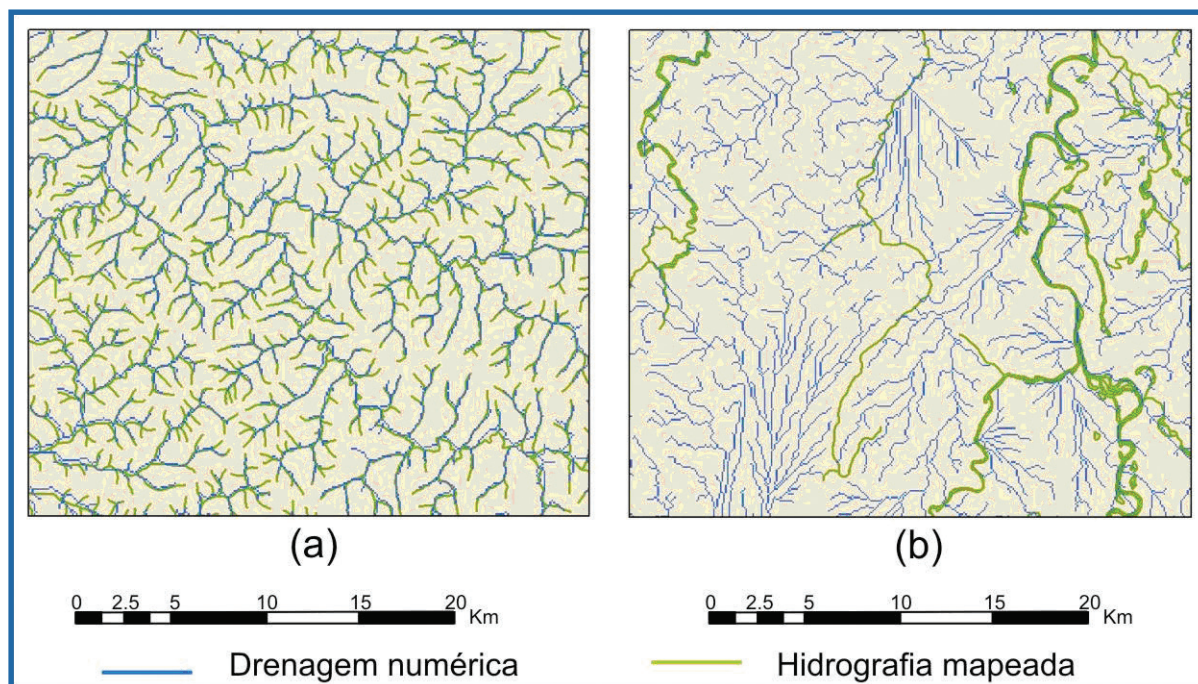


As Figuras 26 e 27 ilustram a comparação da drenagem numérica com a hidrografia advinda de cartas do IBGE na escala 1:100.000, evidenciando uma ramificação consistente na área externa à zona crítica e a inconsistência observada no interior desta região, onde os canais de drenagem não possuem adequada expressão topográfica.

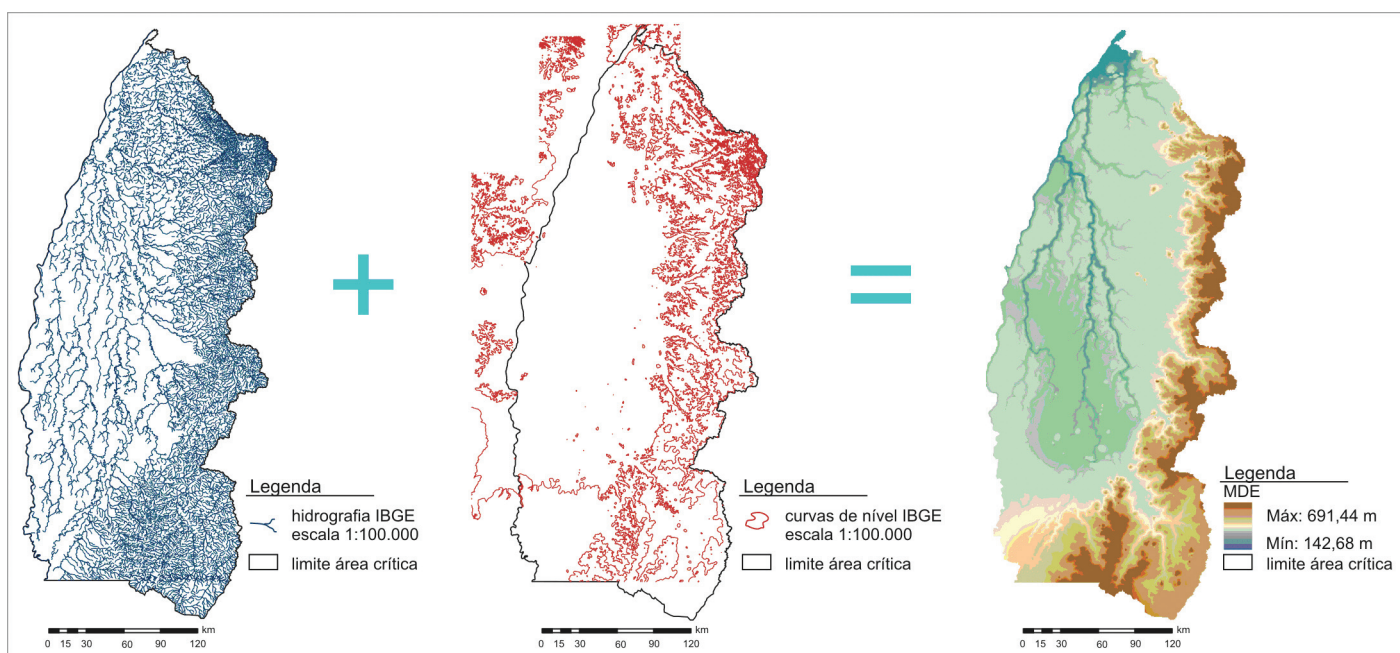
O MDE gerado, separadamente para a região crítica, a partir da base altimétrica e hidrográfica do IBGE em escala 1:100.000 mostrou-se consistente após realizados os tratamentos visando assegurar a continuidade do escoamento superficial nos cursos d'água. A Figura 28 apresenta o MDEHC gerado separadamente para a região crítica.



**Figura 26** – Comparação entre a drenagem numérica e a hidrografia mapeada pelo IBGE na escala 1:100.000, satisfatória em áreas menos planas (a) e inconsistente na zona crítica (b).



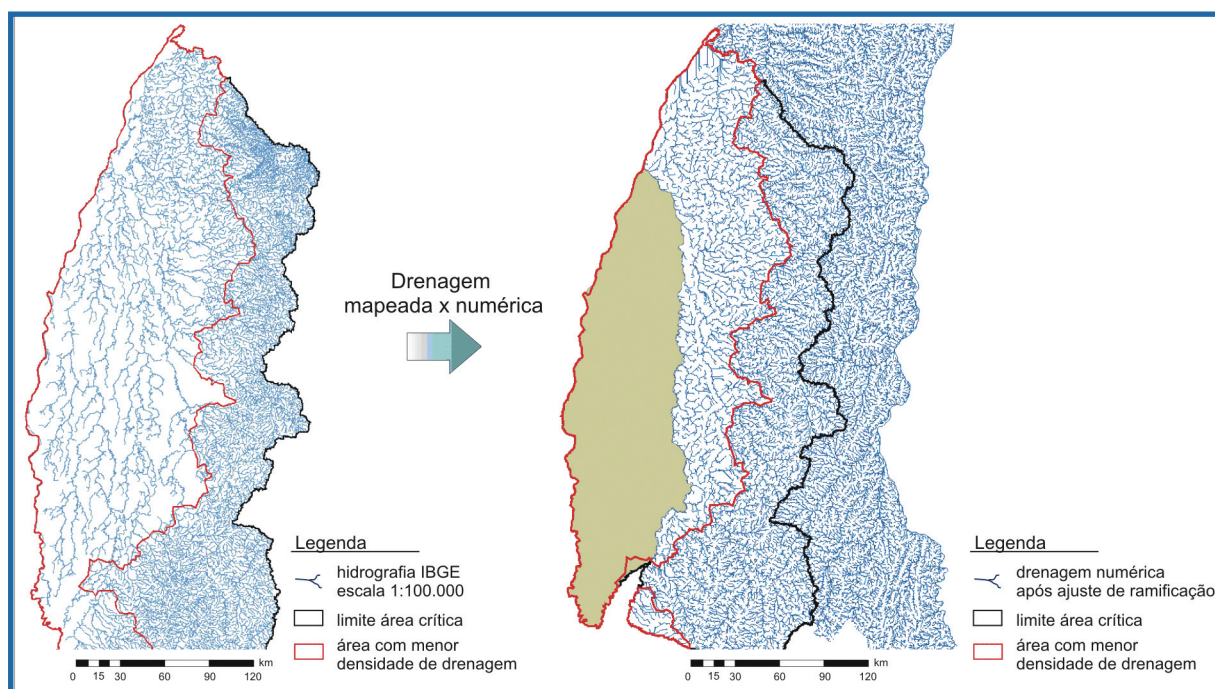
**Figura 27** – Comparação do nível de ramificação da drenagem numérica em relação à hidrografia mapeada do IBGE na escala 1:100.000, adequada em áreas menos planas (a) e inconsistente na zona crítica (b).



**Figura 28** – Modelo digital de Elevação Hidrologicamente Consistente – MDEHC, referente a zona crítica nos limites do Estado do Tocantins, gerado a partir da base do IBGE na escala 1:100.000.

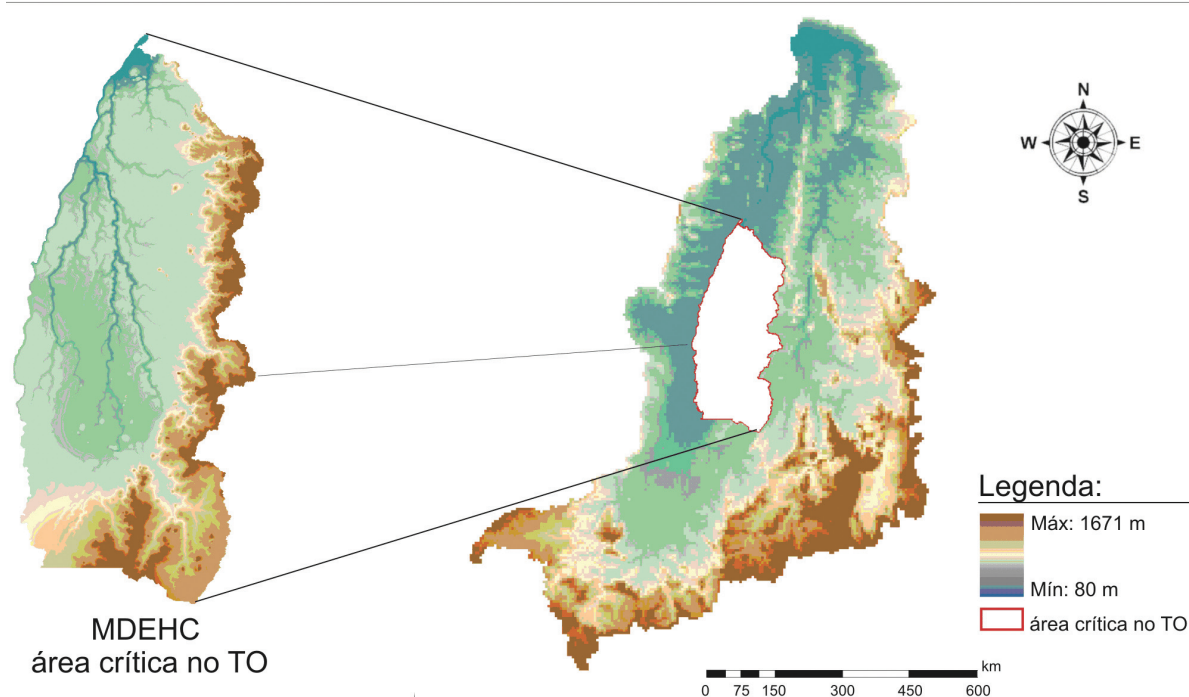


Analisando-se a hidrografia mapeada pelo IBGE, ilustrada na Figura 29a, constatou-se o contraste no grau de ramificação da drenagem nas proximidades da Ilha do Bananal e no restante da bacia. Acumulando diferentes números de células contribuintes ramificou-se a drenagem numérica de forma a melhor representar a ramificação da hidrografia mapeada pelo IBGE, na escala 1:100.000 (Figura 29b).

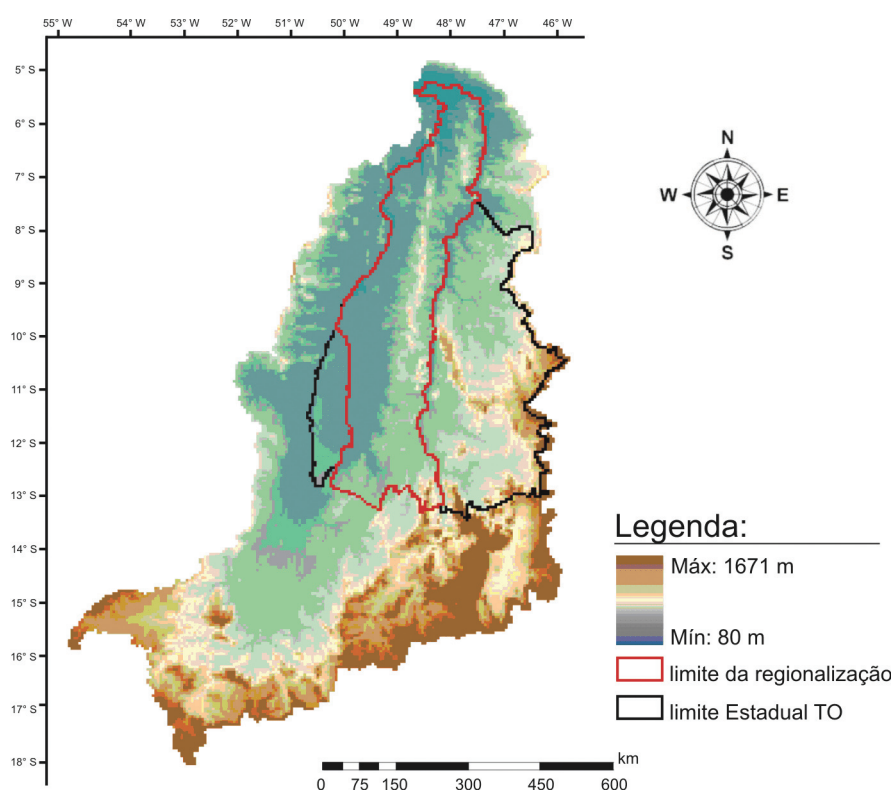


**Figura 29** – Hidrografia do IBGE na escala 1:100.000 com diferença no grau de ramificação (a); e Drenagem numérica obtida em SIG, após ajuste de ramificação (b).

Uma vez que o MDE mostrou-se hidrologicamente consistente dentro da máscara da região crítica, realizou-se um mosaico unindo este grid ao MDE referente ao restante da bacia, sendo o MDEHC resultante capaz de garantir a convergência do escoamento superficial até a foz da hidrografia. A Figura 30 ilustra o processo de geração do MDEHC após tratamento da área crítica e a Figura 31 o MDEHC utilizado na extração das características físicas.

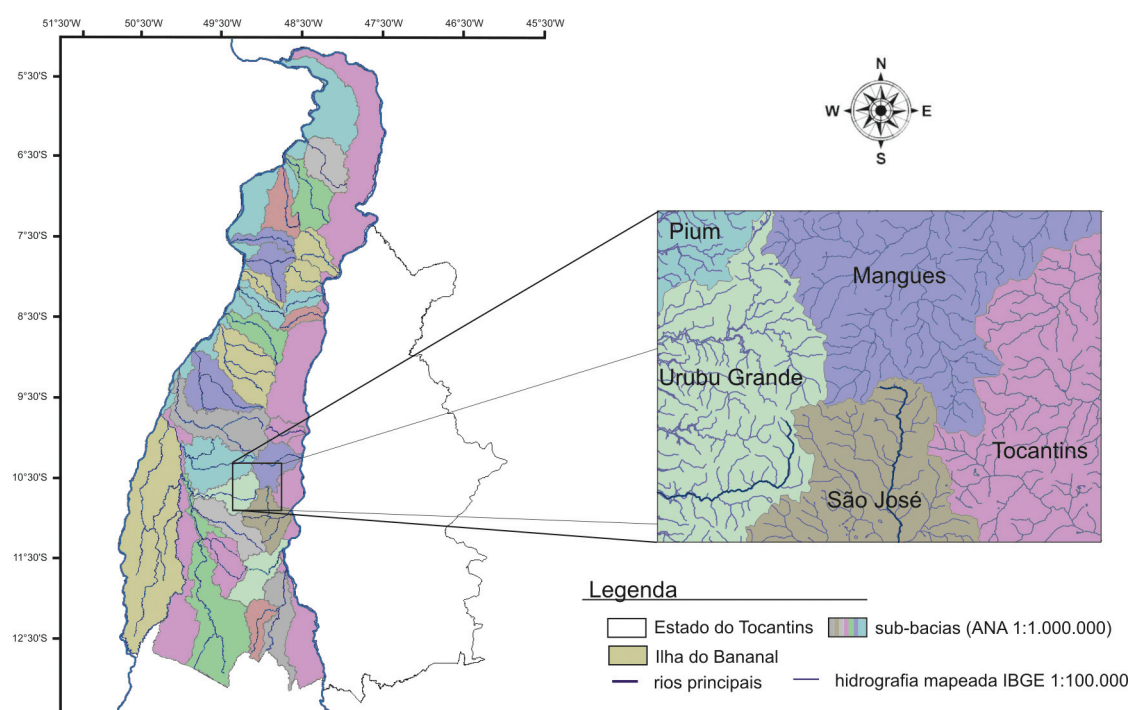


**Figura 30** – Representação do processo de geração do MDEHC após tratamento da área crítica utilizando a base digitalizada do IBGE na escala 1:100.000.



**Figura 31**  
Modelo digital de Elevação  
Hidrologicamente  
Consistente – MDEHC.

Buscando a validação do MDEHC resultante dos tratamentos, a Figura 32 ilustra a delimitação das sub-bacias na região de abrangência da regionalização, internas ao Estado do Tocantins, e em detalhe, o limite das sub-bacias traçado automaticamente e a drenagem mapeada de cartas do IBGE na escala 1:100.000, evidenciando a concordância da delimitação automática das bacias com as nascentes dos cursos d'água, digitalizados.

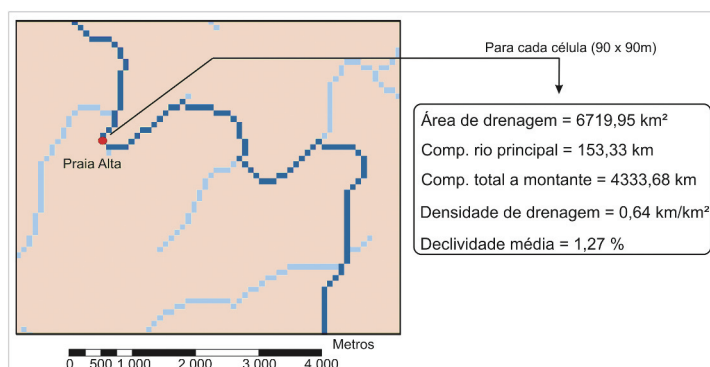


**Figura 32** – Comparação dos limites das sub-bacias traçado em SIG com as nascentes mapeadas pelo IBGE na escala 1:100.000.

Conforme os testes realizados como MDEHC, confirmou-se sua viabilidade para utilização (interpretação visual e processamentos digitais) no processo de extração de características morfológicas e médias pluviométricas na área de abrangência da regionalização.

### 5.1.2. Extração automática das variáveis morfométricas

As características físicas foram extraídas com sucesso, pixel a pixel, da rede hidrográfica da bacia em estudo. As características foram armazenadas em mapas temáticos, contendo informações para cada célula da drenagem numérica, com uma resolução de 90 metros, como exemplificado na Figura 33, para a seção da hidrografia onde está localizada a estação fluviométrica Praia Alta (26720000).



**Figura 33**  
 Informações físicas para a seção da hidrografia referente à estação fluviométrica Praia Alta (26720000), extraídas dos mapas temáticos contendo informações a cada 90 m da hidrografia.

Como exemplo, o Quadro 3 apresenta os valores das características físicas referentes às seções onde encontram-se instaladas as estações fluviométricas efetivamente utilizadas na regionalização de vazões. Das informações apresentadas, merece destaque a densidade de drenagem, devido à baixa variação entre as estações.

### Quadro 3

Características físicas associadas às estações fluviométricas

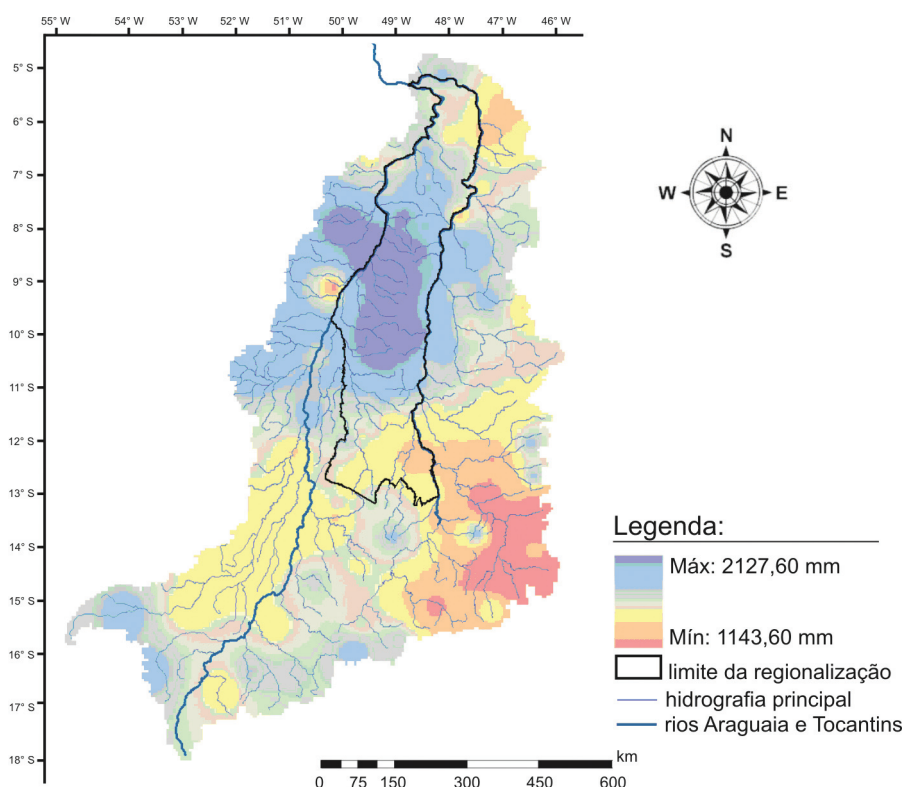
Código	A (km <sup>2</sup> )	L (km)	L <sub>T</sub> (km)	Dd (km/km <sup>2</sup> )	S (%)
22100000	8.722,54	292,35	6.701,72	0,77	6,34
22150000	13.790,61	350,46	10.450,97	0,76	5,31
23130000	404,96	43,02	309,53	0,76	5,84
25800000	18.166,85	367,62	13.603,19	0,75	5,38
26300000	58.340,23	1.006,43	45.220,38	0,78	3,94
26720000	6.719,95	153,330	4.333,68	0,64	1,27
26750000	8.195,30	219,65	5.327,09	0,65	1,27
27380000	1.654,55	123,16	1.272,49	0,77	5,26
27550000	1.187,47	85,60	872,24	0,73	4,72
28150000	1.576,42	90,02	1.182,34	0,75	5,70
28240000	3.459,05	137,62	2.577,43	0,75	4,75

A – Área de drenagem; L – comprimento do rio principal; L<sub>T</sub> – comprimento total da hidrografia à montante; Dd – densidade de drenagem; S – declividade média da área de drenagem.

### 5.1.3. Obtenção das médias pluviométricas

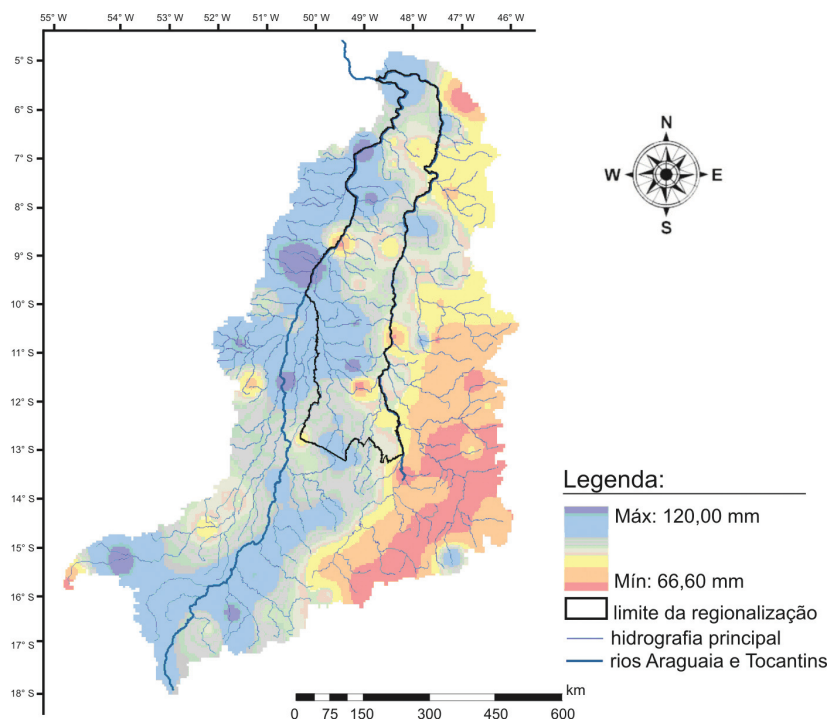
Foram obtidos dois mapas temáticos com informações de precipitação a partir da interpolação dos totais anuais e do mês mais chuvoso das 112 estações pluviométricas utilizando-se o algoritmo do inverso do quadrado da distância. As Figuras 34 e 35 ilustram, respectivamente, a distribuição espacial dos totais anuais e do total precipitado no mês mais chuvoso na bacia do Tocantins Araguaia.

Com os totais precipitados espacializados sobre a bacia, armazenaram-se as médias precipitadas na área de contribuição de cada célula da rede de drenagem da bacia do Tocantins-Araguaia. Como exemplo, a Figura 36 apresenta as precipitações médias na área de drenagem da estação fluviométrica Praia Alta (26720000) e o Quadro 4, as precipitações médias nas áreas de drenagem referentes às seções onde se encontram instaladas as estações fluviométricas utilizadas na regionalização de vazões.



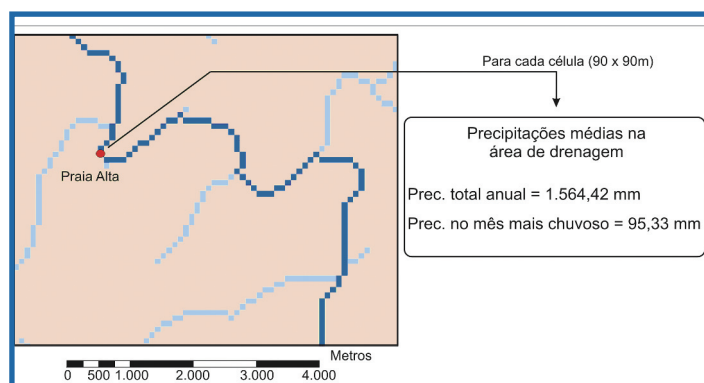
**Figura 34**  
Distribuição espacial da precipitação total anual na bacia do Tocantins-Araguaia.





**Figura 35**  
Distribuição espacial da precipitação total no mês mais chuvoso na bacia do Tocantins-Araguaia

**Figura 36**  
Precipitações médias na área de drenagem da estação fluviométrica Praia Alta (26720000), extraídas dos mapas temáticos contendo informações a cada 90 m da hidrografia.



Código	Pa (mm)	Pmáx (mm)
22100000	1.592,14	91,98
22150000	1.573,16	92,14
23130000	1.828,24	92,85
25800000	1.589,00	94,66
26300000	1.594,13	94,66
26720000	1.564,42	95,33
26750000	1.564,61	95,19
27380000	2.044,22	91,37
27550000	1.784,50	97,93
28150000	1.772,66	94,93
28240000	2.724,95	90,95

**Quadro 4**  
Precipitações médias na área de drenagem das estações fluviométricas

Pa – precipitação média anual e Pmáx – precipitação média no mês mais chuvoso.

## 5.2

## Regionalização das vazões máximas, mínimas, médias e das vazões associadas às curvas de permanência e de regularização

A análise do comportamento das vazões ao longo do ano revelou que o início do aumento dos valores observados, nas estações fluviométricas, ocorre no mês de outubro. Desta forma, considerou-se o ano hidrológico como tendo início no mês de outubro e término no mês de setembro do ano seguinte.

O comportamento anual das vazões também permitiu a identificação do semestre seco, estendendo-se de junho a novembro, e do semestre chuvoso, de dezembro a maio.

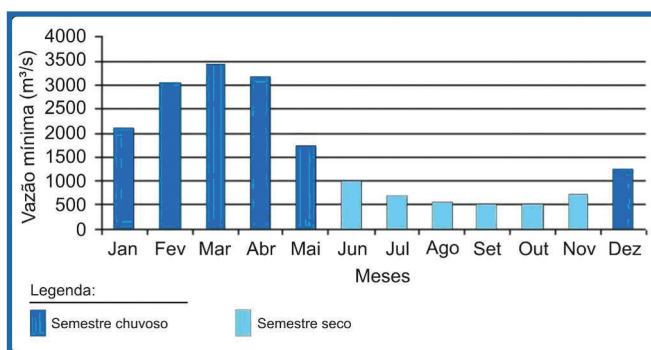


Figura 37 ilustra a distribuição mensal das vazões mínimas e a identificação dos períodos seco e chuvoso.

**Figura 37**  
Distribuição de vazões mínimas mensais ao longo do ano e identificação dos semestres seco e chuvoso.

### 5.2.1. Determinação das vazões de interesse

#### 5.2.1.1. Vazões máxima, mínima e média de longo período

No Quadro 5 é apresentada as informações referentes às estações usadas no preenchimento de falhas das séries de vazões máximas, assim como as equações obtidas e o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

#### Quadro 5

Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões máximas das séries referentes às estações fluviométricas selecionadas para a regionalização

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	$R^2$
22100000	22150000	$y = 0,8607x - 24,098$	0,81
22150000	22100000	$y = 0,9361x + 161,28$	0,81
25800000	22100000	$y = 0,7224x + 270,07$	0,75
26300000	26350000	$y = 0,3192x + 28,074$	0,82

As séries anuais de vazão máxima para as estações fluviométricas efetivamente utilizadas na regionalização, após o preenchimento das falhas destacadas em vermelho, são apresentadas no Quadro 6.

As vazões máximas diárias anuais ( $Q_{\max}$ ,  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50, 100 e 500 anos, resultantes da aplicação das distribuições, Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros, Gumbel e Pearson tipo III para as estações fluviométricas utilizadas no estudo são apresentadas no Quadro 7, juntamente com o coeficiente de variação entre a função de distribuição e os dados (CV).

Cabe ressaltar que todas as distribuições testadas apresentaram significância a 20% de probabilidade pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e, por isso, a seleção foi baseada no menor coeficiente de variação. Na regionalização das vazões máximas foram utilizadas as vazões associadas aos melhores ajustes probabilísticos para cada estação fluviométrica, destacadas em azul no Quadro 7.

**Quadro 6** – Séries anuais de vazões máximas (m³s-1) para as estações utilizadas na regionalização, após preenchimento de falhas

Código	22100000	22150000	23130000	25800000	26300000	26720000	26750000	27380000	27550000	28150000	28240000
1975	254	323,34		453,6	1727,8					58,78	306,93
1976	953,4	1020,18		958,8	2942,59					79,34	
1977	736	974,5		801,8	3299,47					87,92	363,22
1978	1102	997,21		1066,2	3417,35					105,1	491,92
1979	1109,2	1316,75			3095,9					122,5	444,8
1980	1056	976,76		1032,9	2477,7		361,1	64,3		96,46	294,58
1981	698,2	1113,54		784,5	2532,06		360,29	67,2		86,57	230,83
1982	912,5	956,53		874,5	2750,42		358,69	60,3		96,74	323,24
1983	418,75	494,82		537,5	1920,65		244,46	58,7		88,46	269,18
1984	693,4	947,6	48,86	777	2257,12		357,88	68,8		117,1	430,83
1985	592,5	816,82	51,05	861	1851,59		364,33	72,6		90,08	334,69
1986	334,4	474,3	54,23	426,3	1682,18	319,2	317,62	59,1			
1987	447,2	579,9	34,99	612,6	2392,68	378	345,2	66,2			
1988	368,7	501,22	48,14	536,4	1737,7	313,8	311,9	57,5	149	151,5	332,13
1989			50,44				398,82	69,6	106	108,8	
1990	1249,3	1479,53		526,8		543	367,64		87,6	132,2	
1991	1127,4	1337,9		597,2	2122,09	554,2	372,9		97,3		243,4
1992	844,1	1008,66	50,32		2487,55	336,4	348,61		166	99,95	253,84
1993	468,6	599,9	45,55	608,6	2326,7	430	364,15	63,9	133	95,2	297,04
1994	320,3	432,29	43,3	501,5	2410,36	240,4	302,2	59,2	111	114,16	266,8
1995	524,5	614,85	39,84	540,1	1366,97	263,6		59,4	128,04	135,14	357,97
1996	679,8	1016,72	60,96	825	2667	1229,6		79,1	160	168,8	430,83
1997	237	366,49	50,01	524	1942,08	323		57,9	118	88,99	183,84
1998	264,4	282,35	43,36	452,3	2126,16	129,6		61,3	79,6	107	194,46
1999	546,2	675,18		765,8	2325,35	554,2		61,13	164,55	128,8	287,25
2000	547,6	696,88		637	1598,08	450,9		64,52	107,96	112,35	281,18
2001	691,8	825,09		767,4	2457,76	664,8		85,23	145,4	133,05	249,76
2002	375,2	469,6		533,6	2168,71	239,6		58,89			
2003	704,6	841,76		779,1	2840,8	568,25			154,32	147,2	422,52
2004	539,2	671,44		544,7	1865,3	414,1		74,49	212,3	170,6	435,7
2005					1907,27					154,05	425,28

**Quadro 7**

Vazões máximas ( $Q_{\max}$  m<sup>3</sup>s) associadas aos diferentes períodos de retorno, obtidas após o ajuste das distribuições de probabilidade

Estação	Período de retorno T (anos)						Distribuição	CV
	2	10	20	50	100	500		
Praia Alta (26720000)	371,26	585,55	666,32	770,60	849,01	1032,99	L-Normal 2	9,06
	392,16	583,47	639,80	704,31	747,98	838,05	L-Normal 3	6,68
	374,37	637,37	737,86	867,94	965,41	1190,66	Gumbel	11,81
Colonha (22100000)	390,00	584,66	643,26	711,03	757,30	853,66	Pearson 3	6,74
	546,10	939,46	1095,70	1302,77	1462,10	1846,69	L-Normal 2	6,06
	565,73	946,63	1078,34	1241,32	1624,06	1624,06	L-Normal 3	5,92
	557,32	1011,99	1185,73	1410,61	1579,13	1968,55	Gumbel	7,90
St. Antonio do Leverger (26300000)	551,33	950,41	1096,04	1278,89	1412,49	1713,17	Pearson 3	5,20
	2244,69	2977,71	3226,16	3530,57	3749,27	4234,23	L-Normal 2	2,39
	2266,82	2973,70	3196,56	3460,24	3643,94	4036,27	L-Normal 3	2,36
	2221,78	3093,99	3427,27	3858,66	4181,93	4928,95	Gumbel	4,49
Ponte Rio Piranhas (27380000)	2254,28	2979,52	3214,88	3496,28	3693,86	4119,03	Pearson 3	2,32
	64,78	75,07	78,28	82,05	84,66	90,21	L-Normal 2	3,58
	63,86	75,02	79,32	84,95	89,23	99,39	L-Normal 3	2,16
	64,09	77,35	82,42	88,97	93,89	105,25	Gumbel	2,88
Jacinto (22150000)	63,05	74,92	80,03	86,86	92,11	104,57	Pearson 3	1,29
	730,20	1197,34	1377,61	1613,08	1791,99	2217,11	L-Normal 2	8,63
	769,39	1199,30	1332,67	1489,25	1597,60	1827,11	L-Normal 3	6,48
	738,65	1274,20	1478,83	1743,71	1942,19	2400,87	Gumbel	1,00
Jusante do Rio Pintado (25800000)	762,92	1002,47	1342,35	1508,17	1623,77	1870,51	Pearson 3	6,54
	596,61	857,66	950,64	1067,36	1153,01	1347,98	L-Normal 2	7,99
	619,24	852,10	919,22	995,32	1046,38	1150,58	L-Normal 3	6,25
	593,84	900,99	1018,35	1070,27	1284,11	1547,17	Gumbel	10,22
Projeto Rio Formoso (26750000)	623,49	849,35	911,94	981,60	1027,59	1119,57	Pearson 3	6,30
	343,04	394,00	409,78	428,29	441,09	468,19	L-Normal 2	5,07
	337,61	393,24	415,60	445,42	468,48	524,51	L-Normal 3	6,69
	339,69	408,71	435,08	469,22	494,80	553,91	Gumbel	7,14
Piraque (28240000)	357,99	373,10	373,58	373,63	373,81	375,85	Pearson 3	5,80
	315,50	438,57	481,51	534,86	573,67	661,05	L-Normal 2	5,69
	322,18	437,35	472,56	513,62	541,85	601,21	L-Normal 3	5,22
	313,26	460,31	516,50	589,23	643,73	769,67	Gumbel	7,95
Arapoema (27550000)	320,49	438,20	475,15	518,68	548,88	612,95	Pearson 3	5,40
	128,14	178,54	196,15	218,04	233,98	269,89	L-Normal 2	4,56
	129,59	178,45	194,34	213,44	226,93	256,20	L-Normal 3	4,66
	127,47	191,21	215,56	247,09	270,71	325,30	Gumbel	7,09
Muricilândia (28150000)	127,52	179,04	197,06	219,30	235,33	270,85	Pearson 3	4,63
	110,63	151,14	165,12	182,40	194,91	222,92	L-Normal 2	3,91
	112,13	150,92	163,15	177,63	187,72	209,28	L-Normal 3	3,89
	109,70	157,89	176,30	200,13	217,99	259,27	Gumbel	5,88
Próx. Colinas de Goiás (23130000)	111,39	151,25	164,23	179,77	190,70	214,24	Pearson 3	3,89
	47,33	56,40	59,27	62,68	65,06	70,16	L-Normal 2	3,27
	47,72	56,22	58,66	61,41	63,26	67,03	L-Normal 3	3,17
	46,85	59,25	63,99	70,12	74,72	85,34	Gumbel	5,30
	47,87	56,12	58,41	60,96	62,64	66,00	Pearson 3	2,95

Nos Quadros 8 e 9 são apresentadas as informações referentes às estações usadas no preenchimento de falhas das séries de vazões mínimas com sete dias de duração ( $Q_7$ ) dos semestres seco e chuvoso, respectivamente, assim como as equações obtidas e o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

#### Quadro 8

Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões mínimas com sete dias de duração referente ao semestre seco

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	$R^2$
22100000	22150000	$y = 0,2949x + 1,9786$	0,83
23130000	27380000	$y = 0,3214x + 0,2083$	0,80
25800000	22150000	$y = 0,750x + 3,6837$	0,83
26300000	26350000	$y = 0,2918x + 125,25$	0,82

#### Quadro 9

Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões mínimas com sete dias de duração referente ao semestre chuvoso

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	$R^2$
22100000	22150000	$y = 0,563x + 1,3179$	0,83
22150000	22100000	$y = 1,476x + 9,0197$	0,83
26300000	26350000	$y = 0,302x + 133,52$	0,80

As séries anuais de vazão mínima com sete dias de duração referente aos semestres seco e chuvoso, para as estações fluviométricas selecionadas na regionalização, após o preenchimento das falhas destacadas em vermelho, são apresentadas nos Quadros 10 e 11, respectivamente.

As vazões mínimas semestrais com sete dias de duração associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ,  $m^3s^{-1}$ ), resultantes da aplicação das distribuições Log-Normal a dois e três parâmetros, Weibull e Pearson III para as estações fluviométricas utilizadas no trabalho são apresentadas no Quadro 12, juntamente com o coeficiente de variação entre a função e os dados (CV).

Ressalta-se que para as vazões mínimas todas as distribuições testadas também apresentaram significância a 20% de probabilidade pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e, por isso, a seleção foi baseada no menor coeficiente de variação. Portanto, na regionalização das vazões mínimas foram utilizadas as vazões associadas aos melhores ajustes probabilísticos para cada estação fluviométrica, destacadas em azul no Quadro 12.

**Quadro 10** – Séries anuais de vazões mínimas com sete dias de duração ( $Q_7$ ,  $m^3s^{-1}$ ) referente ao semestre seco

Código	22100000	22150000	23130000	25800000	26300000	26720000	26750000	27380000	27550000	28150000	28240000
1975	2,97	3,65		6,42	240,47					8,04	19,75
1976	2,08	2,19		5,33	276,24					4,35	
1977	6,9	9,69		10,95	356,11					4,13	
1978	6,92	22,66		20,68	405,41					5,21	
1979	7,56	23,85		21,57	473,72					3,98	16,93
1980	8,25	22,24		20,36	373,57					3,98	
1981			0,57	21,77	351,17			1,13		3,09	16,05
1982	11,83	32,72	0,68	25,1	448,31			1,48		3,36	18,9
1983	7,44	13,26	0,50	15,27	395,67		3,3	0,91		3,48	14,39
1984	4,52	4,85	0,77	9,76	362,17		0,41	1,5		5,83	19,9
1985	7,6	9,03	0,84	13,56	340,55		0,71	1,76		7,63	23,55
1986	7,92		0,86	11,23	338,58	2,07	9,57	1,89		6,49	23,4
1987	3,1	1,83	0,63	5,06	323,22	1,51	9,29	1,53		4,64	
1988	3,35	3,8	0,62	6,53	351,85	1,39	3,85	1,58	1,28	4,73	15,11
1989	4,91	6,69	0,98	7,07	341,70	1,63	4,35	2,52	6,58	8,16	24,56
1990	5,7	12,46	0,38	13,03	344,74	2,34	4,57	0,53	3,51	4,97	
1991						2,12	4,7		4,61	5,17	
1992					392,03	1,94	4,81		1,49	3,84	6,34
1993	3,69	5,87	0,7	8,09	356,37	1,58	3,6		2,74	4,73	13,35
1994	2,3	2,58	0,56	5,62	326,77	1,23	5,65	1,42	3,94	5,71	17,34
1995	2,62	3,48	0,65	6,29	381,41	1,4		1,36	4,17	5,68	17,76
1996	2,77	3,11	0,55	6,02	317,65	1,33		1,15	5,7	6,63	16,38
1997	7,45	16,63	0,84	21,08	423,26	4,02		1,56	4,46	8,36	16,59
1998	1,37	2,19	0,42	5,33	335,68	1,3		0,62	2,64	2,91	10,47
1999	0,19	0,37	0,52	3,96	326,7	0,38		0,97	2,46	3,41	12,6
2000	2,93	5,9	0,72	7,14	334,79	0,76		1,58	4	6,35	17,03
2001	2,94	4,83	0,70	3,74	276,11	0,55		1,53	4,5	5,45	14,27
2002	2,9	3,95	0,72	3,73	318,03	8,29		1,58	3,75	4,54	12,29
2003	2,01	2,53	0,84	3,5	374,56	8,39		1,96	3,16	4,88	15,44
2004	3,44	4,31	0,72	9,1	380,03	8,92		1,59	3,16	5,71	15,58
2005	3,1	3,8	0,75	6,53	328,84	8,6		1,68		5,12	12,79



**Quadro 11** – Séries anuais de vazões mínimas com sete dias de duração ( $Q_7$ ,  $m^3s^{-1}$ ) referente ao semestre chuvoso

Código	22100000	22150000	23130000	25800000	26300000	26720000	26750000	27380000	27550000	28150000	28240000
1975					334,29						
1976	30,4	51,72			437,44						
1977	39,0	66,92			576,39						
1978	86,1	150,53			847,68						
1979	52,04	84,88			459,25					31,98	
1980	29,36	45,7			606,36					16,27	45,09
1981	66,99	105,74			863,36					14,48	
1982	88,52	122,17			855,75					16,6	
1983	56,76	109,09			637,1					17,62	29,12
1984	64,25	90,4			560,1					7,94	37,71
1985	82,0	143,34			784,8		45,33	14,91		10,33	39,86
1986	86,55	149,91		89,76	997,5		63,52	13,69		14,52	38,23
1987	17,58	32,87		49,46	560,6		6,56	5,48		11,18	33,31
1988	35,41	64,72		126,71	743,53		18,97	17,46		26,71	43,34
1989	23,15	34,92	1,05	69,4	716,15		14,5	11,21		10,57	34,99
1990	60,72	98,7	5,14	114,78	517,76			23,9		19,6	65,51
1991	30,56	54,1	3,96	65,41	488,85	15,51	19,13	12,89			
1992	41,02	69,6	3,81	87,77	661,97	19,56	31,37				
1993	43	80,19	3,74			32,49	61,93	18,01	29,73	31,45	60,93
1994			3,05	200	660,08		47,06	22,97	14,41	18,76	
1995						33,32	17,19		11,61	28,7	
1996	27,51	109,95		84,73	554,78	18,72	17,66		12,44		24,59
1997	84,9	148,35	2,92		635,73	15,69	27,39		12,89	15,57	33,53
1998	18,66	36,6	3,95		471,22	15,06	20,71	15,44	10,31	14,93	46,28
1999	32,06	43,48	3,77		950,95	9,5	12,02	32,1	27,27	34,12	61,68
2000	54,82	83,23	3,59	80,15	607,2	32,15		20,64	29,37	35,32	39,91
2001	31,16	60,17	1,68	49,46	658,82	10,34		13,73	14,34	17,93	28,38
2002	14,14	27,92	1,67	46,74	611,05	7,62		6,63	10,39	11,27	26,77
2003	7,5	13,15		37,09	608,04	2,58		15,34	18,96	19,35	28,79
2004	42,73	71,29		113,9	572,95	19,97		15,11	20,74	30,28	65,83
2005	32,59	54,22		68,85	561,59	22,04		14,44	22,35	21,18	40,64

**Quadro 12**

Vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ,  $m^3s^{-1}$ ) para os períodos anual/seco e chuvoso

Estação	Distribuição	$Q_{7,10}$ seco	CV		$Q_{7,10}$ chuvoso	CV
Praia Alta (26720000)	L-Normal 2	0,82	13,24		8,51	14,41
	L-Normal 3	0,74	9,57		6,78	11,66
	Pearson 3	0,69	7,74		7,24	12,23
	Weibull	0,68	9,00		6,53	12,39
Colonha (22100000)	L-Normal 2	1,99	20,45		16,93	17,09
	L-Normal 3	1,44	16,60		11,22	12,86
	Pearson 3	1,49	17,10		12,25	13,08
	Weibull	1,36	15,74		10,70	11,80
St. Antonio do Leverger (26300000)	L-Normal 2	293,68	2,66		486,38	4,73
	L-Normal 3	292,50	2,73		497,53	3,94
	Pearson 3	293,04	2,60		510,25	3,71
	Weibull	290,85	3,33		499,08	4,51
Ponte Rio Piranhas (27380000)	L-Normal 2	0,94	10,11		8,99	9,19
	L-Normal 3	0,88	8,60		8,24	9,06
	Pearson 3	0,87	8,21		8,57	8,81
	Weibull	0,86	9,29		8,09	10,90
Jacinto (22150000)	L-Normal 2	2,03	10,96		29,47	15,58
	L-Normal 3	1,70	10,74		19,51	10,02
	Pearson 3	1,94	10,55		21,02	10,25
	Weibull	1,68	13,09		18,44	9,28
Jusante do Rio Pintado (25800000)	L-Normal 2	3,91	8,18		48,62	6,32
	L-Normal 3	3,57	8,87		46,00	5,83
	Pearson 3	3,85	7,80		47,00	5,86
	Weibull	3,55	8,88		45,22	6,60
Projeto Rio Formoso (26750000)	L-Normal 2	3,44	3,43		10,63	14,74
	L-Normal 3	3,41	3,69		9,00	15,32
	Pearson 3	3,46	3,59		11,77	15,91
	Weibull	3,39	4,89		9,03	17,17
Piraque (28240000)	L-Normal 2	11,41	5,93		25,65	7,85
	L-Normal 3	10,94	5,07		25,44	8,12
	Pearson 3	10,95	4,90		26,54	8,07
	Weibull	10,80	5,98		25,37	7,81
Arapoema (27550000)	L-Normal 2	2,16	8,04		10,77	8,81
	L-Normal 3	1,95	6,28		10,15	9,12
	Pearson 3	1,98	5,97		10,71	9,12
	Weibull	1,90	7,98		10,00	8,89
Muricilândia (28150000)	L-Normal 2	3,47	4,46		10,64	8,50
	L-Normal 3	3,41	4,54		10,04	8,78
	Pearson 3	3,46	4,61		10,56	8,61
	Weibull	3,38	4,56		9,97	8,64
Próx. Colinas de Goiás (23130000)	L-Normal 2	0,50	4,37		1,89	15,92
	L-Normal 3	0,49	3,02		1,76	14,36
	Pearson 3	0,48	2,74		1,61	11,16
	Weibull	0,48	3,46		1,61	12,38

A consideração do período semestral incorporou a sazonalidade da disponibilidade hídrica na regionalização das vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, uma vez que ficou comprovada a variação das vazões de referência considerando-se o semestre chuvoso (Quadro 13).

Novamente, vale lembrar que as vazões mínimas com sete dias de duração referentes ao semestre seco são as mesmas do período anual, estando a flexibilidade relacionada apenas ao semestre chuvoso.

### Quadro 13

Flexibilidade da  $Q_{7,10}$  ( $m^3s^{-1}$ ) com a adoção do período semestral

Código	Período			Flexibilidade (%) *
	Anual	Seco	Chuvoso	
26720000	0,69	0,69	6,78	882,61
22100000	1,36	1,36	10,70	686,76
26300000	293,04	293,04	510,25	74,12
27380000	0,87	0,87	8,57	885,06
22150000	1,94	1,94	18,44	850,52
25800000	3,85	3,85	46,00	1094,81
26750000	3,44	3,44	10,63	209,01
28240000	10,95	10,95	25,37	131,69
27550000	1,98	1,98	10,77	443,94
28150000	3,47	3,47	10,64	206,63
23130000	0,48	0,48	1,61	235,42
			Média	518,23

\* Flexibilidade considerando a sazonalidade da vazão mínima de referência  $Q_{7,10}$

As séries anuais de vazão média para as estações fluviométricas selecionadas para a regionalização, após o preenchimento das falhas destacadas em vermelho, são apresentadas no Quadro 14.

No Quadro 15 são apresentadas as informações referentes às estações usadas no preenchimento de falhas das séries de vazões médias, assim como as equações obtidas e o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

As vazões médias de longo período utilizadas nos estudos de regionalização são apresentadas no Quadro 16.

Quadro 14 – Séries anuais de vazões médias (m³.s⁻¹) após o preenchimento de falhas

Código	22100000	22150000	23130000	25800000	26300000	26720000	26750000	27380000	27550000	28150000	28240000
1975	88,11	121,35	10,45	156,26	641,81	53,44	44,54				
1976	63,91	89,88	8,79	142,72	766,93	43,90	59,61		19,90	20,26	52,87
1977	125,62	171,84	10,78	234,99	954,69	108,94	104,29		24,22	26,92	65,19
1978	194,38	299,32		279,05	1117,63	139,99	143,06		25,67	29,16	69,33
1979	196,60	258,39	14,84	274,82		137,01			24,98	28,10	67,37
1980	209,16	300,62		287,28	1074,55	145,79	132,37		24,14	26,80	64,96
1981		220,98	12,68	233,89	1056,76	108,16	127,96	24,91	21,72	23,06	68,12
1982	148,72	278,00	12,54	245,70	1092,25	129,02	136,76	25,85	23,53	25,86	72,07
1983	170,41	222,15	11,27	229,07	1102,08	102,73	128,92	24,50	22,88	24,85	62,36
1984	53,91	86,93	8,13	126,63	844,96	59,03	56,42	22,91	23,84	26,33	70,66
1985	123,54	203,23	14,87	216,21	945,75	109,22	106,14	28,90			131,13
1986	122,13	211,02	12,05	220,08	763,53	80,46	54,32				99,04
1987	67,73	108,15	7,95		799,77	49,55					
1988		177,33	8,54		915,33	70,89	96,52	25,93	26,17	31,87	75,55
1989	106,37	160,39	12,99	176,01		82,25	121,84		39,11	44,26	97,25
1990			10,49	215,35	913,99	95,09	97,30		22,90	30,43	71,68
1991				185,70		89,50	109,70		26,72	40,08	89,52
1992			11,88	205,43	958,31	92,13	112,50		20,92		
1993	73,45	182,38	8,08	163,36	838,79	57,93	83,69		20,88	22,22	52,27
1994	85,80	149,60	11,29	187,91	950,44	60,89	85,35	25,92	29,85	33,35	84,04
1995	104,95	135,85	8,19	210,49	1058,74	62,86	115,06	29,12	31,44	38,38	93,65
1996	79,17	117,46	8,37	126,86	671,70	32,72		24,67	33,25	38,44	86,14
1997	120,13	221,84	10,83	256,00	1093,68	132,69	152,95	25,23	33,06	38,66	84,43
1998	41,13	64,12	6,84	135,01	855,29	34,99	64,38	20,13	21,65	19,17	41,44
1999	43,11	52,44	7,81	139,21	800,02	29,99	65,18	22,65	27,32	31,51	67,91
2000	142,08	207,49	11,57	251,03	982,26	105,45	109,47	27,31	35,49	41,87	88,64
2001	71,74	109,85	8,47	155,46		62,34		24,99	24,42	28,70	65,27
2002	96,29	138,96	8,98	208,85	949,74	83,37	101,40	25,12	28,61	29,84	60,61
2003	63,56	99,41			871,14		81,89				
2004	132,67	191,56	10,79	239,76	1022,51	104,99	119,46		26,85	34,51	86,70
2005	119,76	168,50			841,55	94,15	74,55		29,02	34,33	69,07

### Quadro 15

Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões médias

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	R <sup>2</sup>
22100000	22150000	$y = 0,6335x + 4,7608$	0,8611
22150000	23100000	$y = 0,0803x - 111,96$	0,8274
23130000	23700000	$y = 0,0022x + 0,073$	0,7177
25800000	27500000	$y = 0,0349x + 4,1969$	0,7399
26300000	26350000	$y = 0,2466x + 249,51$	0,9149
26720000	27500000	$y = 0,0246x - 53,743$	0,7804
26750000	26350000	$y = 0,0612x - 72,383$	0,8456
27550000	28150000	$y = 0,6479x + 6,7771$	0,7602
28240000	28150000	$y = 1,8489x + 15,413$	0,7578
28240000	28150000	$y = 1,8489x + 15,413$	0,7578

Estação	Vazão média (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Estação	Vazão média (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
22100000	109,40	26750000	99,47
22150000	169,61	27380000	25,21
23130000	10,36	27550000	26,48
25800000	203,82	28150000	30,76
26300000	1581,74	28240000	75,45
26720000	85,32		

### Quadro 16

Vazões médias de longa duração ( $Q_{med}$ , m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) para as estações utilizadas na regionalização

#### 5.2.1.2. Vazões associadas à curva de permanência

A consideração do período semestral também incorporou a sazonalidade da disponibilidade hídrica na regionalização das vazões mínimas associadas às permanências de 90 e 95% no tempo, uma vez que ficou comprovada a variação das vazões de referência considerando-se o período semestral. Os Quadros 17 e 18 apresentam a flexibilidade sazonal da  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , respectivamente, obtidas por meio da comparação dos valores semestrais com as vazões obtidas para o período anual.

Analisando-se os Quadros 17 e 18, observou-se que as vazões mínimas associadas às permanências de 90 e 95% tornaram-se mais restritivas no semestre seco quando comparadas às vazões obtidas com base no período anual. Já no semestre chuvoso observou-se um aumento médio na flexibilidade igual a 596,29% para  $Q_{90}$  e 564,8% para  $Q_{95}$ .

#### Quadro 17

Flexibilidade da  $Q_{90}$  ( $m^3s^{-1}$ ) com a adoção do período semestral

Estação	Período			Flexibilidade (%)	
	Anual	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
26720000	1,76	1,35	22,09	-23,30	1155,11
22100000	4,31	2,92	39,67	-32,25	820,42
26300000	361,47	336,43	723,73	-6,93	100,22
27380000	1,75	1,44	21,01	-17,71	1100,57
22150000	7,01	4,30	65,90	-38,66	840,09
25800000	13,45	10,91	99,08	-18,88	636,65
26750000	5,01	4,22	43,91	-15,77	776,45
28240000	18,54	16,41	44,63	-11,49	140,72
27550000	4,92	3,97	19,49	-19,31	296,14
28150000	6,15	4,92	20,08	-20,00	226,50
23130000	0,86	0,69	4,87	-19,77	466,28
			Média	-20,37	596,29

#### Quadro 18

Flexibilidade da  $Q_{95}$  ( $m^3s^{-1}$ ) com a adoção do período semestral

Estação	Período			Flexibilidade (%)	
	Anual	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
26720000	1,30	0,75	13,99	-42,31	976,15
22100000	2,96	2,24	28,55	-24,32	864,53
26300000	340,12	322,52	642,48	-5,17	88,90
27380000	1,45	1,14	15,38	-21,38	960,69
22150000	4,497	3,05	45,91	-32,18	920,90
25800000	9,40	8,91	76,53	-5,21	714,15
26750000	4,16	3,12	29,41	-25,00	606,97
28240000	15,55	14,78	36,98	-4,95	137,81
27550000	3,99	3,06	16,28	-23,31	308,02
28150000	4,92	4,16	16,82	-15,45	241,87
23130000	0,70	0,61	3,45	-12,86	392,86
			Média	-19,29	564,80

### 5.2.1.3. Vazões associadas à curva de regularização

No Quadro 19 estão apresentadas as vazões associadas às regularizações de 50, 60, 70, 80, 90 e 100% da vazão média de longa duração ( $\bar{Q}$ ).

#### Quadro 19

Vazões associadas à regularização de percentagens da ( $Q_{\text{reg}} \%, \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ )

Estação	% de regularização da vazão média					
	50	60	70	80	90	100
22100000	53,46	64,15	74,84	85,53	96,22	106,91
26720000	37,93	45,52	53,11	60,70	68,28	75,87
22150000	84,35	101,22	118,09	134,96	151,83	168,70
26750000	49,92	59,90	69,88	79,86	89,85	99,83
26300000	437,85	525,42	612,99	700,56	788,14	875,71
27380000	12,60	15,13	17,65	20,17	22,69	25,21
25800000	106,13	127,35	148,58	169,80	191,03	212,25
28150000	15,38	18,46	21,53	24,61	27,68	30,76
23130000	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
28240000	38,62	46,34	54,07	61,79	69,51	77,24
27550000	14,02	16,82	19,63	22,43	25,24	28,04

### 5.2.2. Identificação das regiões homogêneas

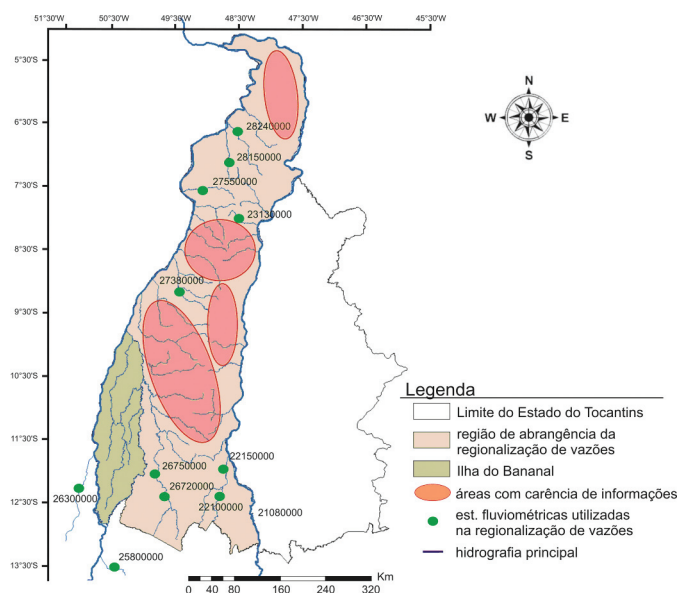
Em razão da baixa densidade de estações fluviométricas na área de abrangência da regionalização de vazões e, portanto, devido à ocorrência de extensas áreas sem informações de vazão, houve necessidade que as duas regiões homogêneas identificadas no trabalho se estendessem por grandes áreas, sendo seus limites traçados com base nas semelhanças ambientais. A Figura 38 apresenta as áreas com carência de postos fluviométricos na região de abrangência da regionalização de vazões.

As Figuras 39 e 40 apresentam os mapas de geologia e solos, respectivamente, cruciais na definição das fronteiras entre as regiões homogêneas.

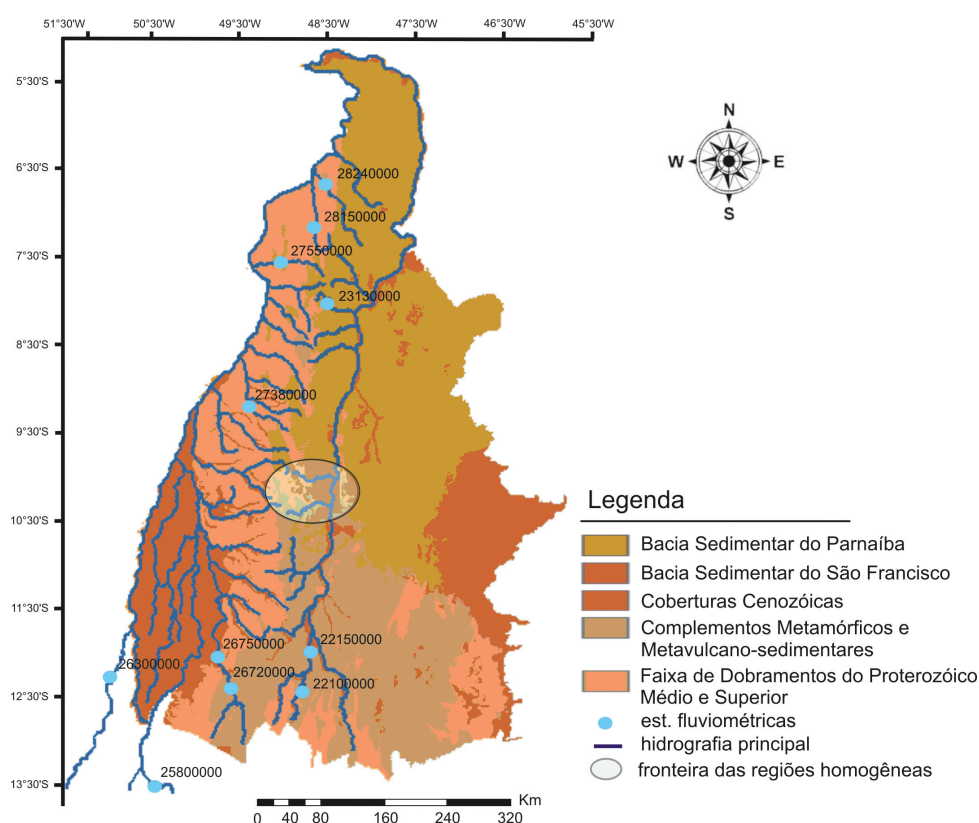
Analisando o mapa da geologia do Estado (Figura 39), foi observada uma zona de transição entre as feições da Bacia Sedimentar do Parnaíba e os Complementos Metamórfico e Metavulcano-sedimentares, sugerindo a delimitação da fronteira leste entre as duas regiões hidrologicamente homogêneas. De modo semelhante, o mapa de solos (Figura 40)



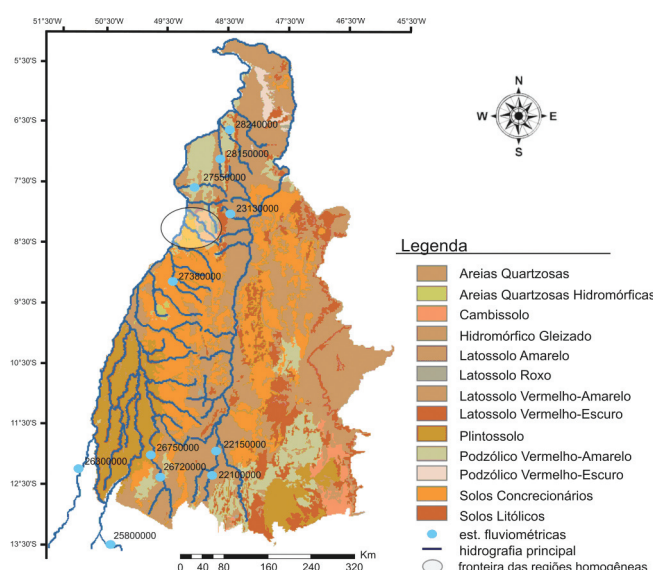
evidenciou uma zona de transição entre solos concrecionários e solos podzólicos e latossolos, norteando a delimitação da fronteira oeste entre as regiões homogêneas.



**Figura 38**  
Mapa ilustrando as regiões com carência de postos fluviométricos.



**Figura 39**  
Mapa da geologia do Estado do Tocantins.  
Fonte: SEPLAN – TO.



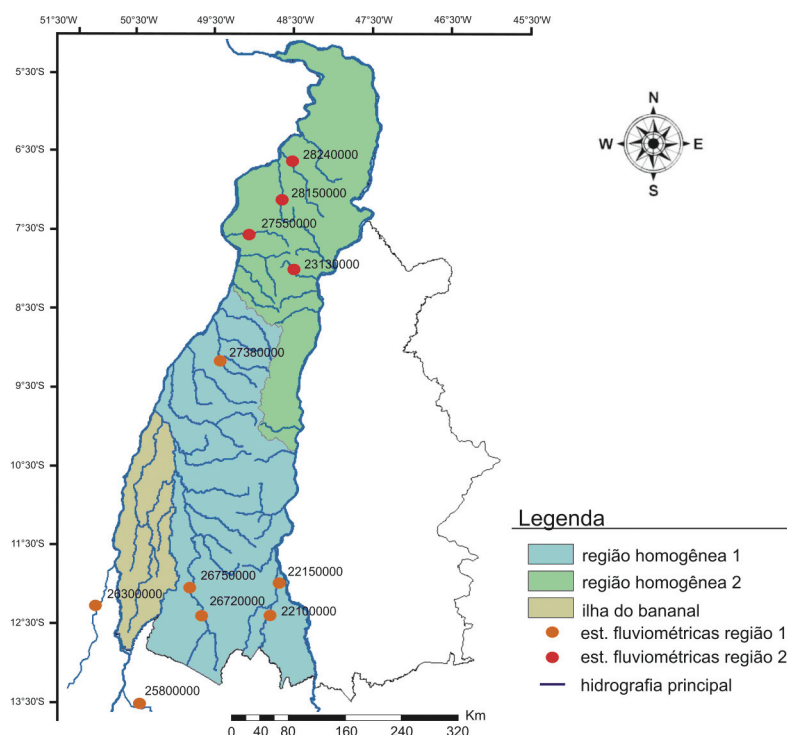
**Figura 40**  
Mapa de solos do Estado do Tocantins.  
Fonte: SEPLAN – TO.

Com base nas análises realizadas, foram definidas duas regiões homogêneas, apresentadas na Figura 41, estando as estações fluviométricas pertencentes a cada região homogênea apresentadas no Quadro 20. É importante lembrar que a Ilha do Bananal não foi objeto da regionalização de vazões devido a falta de informações fluviométricas e ao ecossistema diferenciado.

#### Quadro 20

Estações de cada região homogênea definida

Região homogênea I		Região homogênea II	
Código	Nome	Código	Nome
26720000	Praia Alta	28240000	Piraque
22100000	Colonha	27550000	Arapoema
26300000	Sto Antonio do Levenger	28150000	Muricilândia
22150000	Jacinto	23130000	Próximo Colinas de Goiás
25800000	Jus. do Rio Pintado		
26750000	Projeto Rio Formoso		
27380000	Ponte Rio Piranhas		



**Figura 41**  
Regiões homogêneas definidas para a área em estudo.

### 5.2.3. Determinação das equações de regressão regionais

#### 5.2.3.1. Vazões máxima, mínima e média de longo período

Nos Quadros 21 e 22 estão apresentados, para os distintos períodos de retorno, os modelos de regressão recomendados para estimar a vazão máxima ( $Q_{\text{MAX}}$ ,  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) em cada região homogênea, os quais foram obtidos com base nos seguintes critérios: simplicidade do modelo (menor número de variáveis e, ou, maior facilidade de obtenção das variáveis), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ), erro padrão fatorial e significância pelo teste F.

T (anos)	Equação	$R^2$	$R^2_a$	$D_{\text{MED}} \%$
2	$Q_{\text{MAX}} = A^{0,956648} Pa^{-0,36221}$	0,96	0,95	18,89
10	$Q_{\text{MAX}} = A^{0,990255} Pa^{-0,35990}$	0,90	0,88	31,34
20	$Q_{\text{MAX}} = A^{0,993813} Pa^{-0,35282}$	0,89	0,87	33,77
50	$Q_{\text{MAX}} = A^{0,995158} Pa^{-0,34194}$	0,87	0,85	36,16
100	$Q_{\text{MAX}} = A^{0,994626} Pa^{-0,33311}$	0,86	0,83	35,57
500	$Q_{\text{MAX}} = A^{0,990618} Pa^{-0,31207}$	0,84	0,81	40,07

**Quadro 21**  
Modelos de regressão recomendados para estimativa da vazão máxima ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) para diferentes períodos de retorno (T) na região homogênea I

A – Área de drenagem ( $\text{km}^2$ ) e Pa – precipitação média anual (mm).

T (anos)	Equação	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	D <sub>MED</sub> %
2	$Q_{MAX} = A^{0,674025}$	0,90	0,90	19,96
10	$Q_{MAX} = A^{0,712711}$	0,90	0,90	22,86
20	$Q_{MAX} = A^{0,722919}$	0,90	0,90	23,82
50	$Q_{MAX} = A^{0,734093}$	0,90	0,90	24,96
100	$Q_{MAX} = A^{0,741374}$	0,90	0,90	25,75
500	$Q_{MAX} = A^{0,755746}$	0,88	0,88	27,40

## Quadro 22

Modelos de regressão recomendados para estimativa da vazão máxima (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) para diferentes períodos de retorno (T) na região homogênea II

A – Área de drenagem (km<sup>2</sup>)

Analisando-se os resultados apresentados, evidencia-se que para a Região I obteve-se boa representação da vazão máxima, para todos os períodos de retorno estudados, a partir de modelos potenciais que contemplam a área de drenagem e a precipitação anual. Na Região II observa-se que também foi o modelo potencial que apresentou o melhor ajuste, contemplando apenas a variável área de drenagem na regressão. Ressalta-se que em função do número limitado de estações na região II, testaram-se apenas modelos com uma característica física, preservando-se, assim, um número mínimo de graus de liberdade no modelo.

O desvio médio (D<sub>MED</sub>) representa a média dos desvios entre as vazões obtidas com base nas séries históricas e a as vazões estimadas pelas equações de regressão. As comparações entre as vazões máximas obtidas com base nas séries históricas e estimadas pelos modelos de regressão para cada estação fluviométrica, são apresentadas, na íntegra, no Apêndice C.

No Quadro 23 estão apresentados os modelos de regressão recomendados para estimar a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos (Q<sub>7,10</sub>, m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) em cada região homogênea, os quais foram obtidos com base nos mesmos critérios citados para a regionalização das vazões máximas.

## Quadro 23

Modelos de regressão recomendados para a representação da vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) para cada região homogênea

Semestre	Equação	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	D <sub>MED</sub> %
<b>Região homogênea I</b>				
Seco	$Q_{7,10} = e^{-0,43138+0,000133L_T}$	0,94	0,93	32,87
Chuvoso	$Q_{7,10} = A^{4,43E-41}Pa^{1,862001}$	0,99	0,99	11,30
<b>Região homogênea II</b>				
Seco	$Q_{7,10} = 0,000071A^{1,46184}$	0,99	0,99	16,33
Chuvoso	$Q_{7,10} = 0,000758A^{1,301710}$	0,96	0,94	5,70

\*A – Área de drenagem (km<sup>2</sup>); L<sub>T</sub> – comprimento total da hidrografia à montante (km); Pa – precipitação média anual (mm).

Analisando os resultados apresentados no Quadro 23, evidencia-se que para o semestre seco, cujo valor de  $Q_{7,10}$  é idêntico ao período anual, obteve-se boa representação da vazão mínima com o uso do modelo exponencial com a variável comprimento total da drenagem, enquanto para o período chuvoso o melhor modelo contemplou a área de drenagem e a precipitação total anual. Já para a Região II, o modelo que melhor se ajustou foi o potencial considerando apenas a área de drenagem para os semestres seco e chuvoso.

As comparações entre as vazões obtidas com base nas séries históricas e estimadas pelos modelos de regressão para cada estação fluviométrica, são apresentadas, na íntegra, no Apêndice C.

O modelo de regressão recomendado para a representação da vazão média de longo período ( $\bar{Q}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), para cada região homogênea, é apresentado no Quadro 24.

#### Quadro 24

Modelos de regressão recomendados para a representação da vazão média ( $\bar{Q}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) para cada região homogênea

Região Homogênea	Equação	$R^2$	$R^2_a$	$D_{MED}$ %
I	$\bar{Q} = 0,013386A^{0,997375}$	0,99	0,98	9,65
II	$\bar{Q} = 0,04517A^{0,899601}$	0,99	0,99	5,08

A – Área de drenagem ( $\text{km}^2$ ).

Analisando os modelos recomendados verifica-se que a variável área de drenagem foi suficiente para explicar o comportamento das vazões médias de longo período para as duas regiões homogêneas. As comparações entre as vazões obtidas com base nas séries históricas e estimadas pelos modelos de regressão são apresentadas, na íntegra, no Apêndice C.

#### 5.2.3.2. Vazões associadas à curva de permanência

Nos Quadros 25 e 26 estão apresentados, para as regiões I e II, respectivamente, os modelos de regressão recomendados para a representação das vazões correspondentes aos níveis de permanência de 50, 90 e 95% e relativos aos períodos anual e semestres seco e chuvoso. Conforme já mencionado, os modelos foram obtidos com base nos seguintes critérios: simplicidade do modelo (menor número de variáveis e, ou, maior facilidade de obtenção das variáveis), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ), erro padrão fatorial e significância pelo teste F.

### Quadro 25

Modelos de regressão recomendados para estimativa das vazões correspondentes aos níveis de permanência de 50, 90 e 95% ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) nos períodos anual, seco e chuvoso, para a região homogênea I

Período	Equação	$R^2$	$R^2_a$	$D_{MED} \%$
Anual	$Q_{50} = 16 \times 10^{-45} A^{0,956648} Pa^{-0,36221}$	0,96	0,95	18,89
	$Q_{90} = 9,19 \times 10^{-45} A^{2,209602} Pa^{11,22585}$	0,97	0,95	24,37
	$Q_{95} = 1,25 \times 10^{-48} A^{2,294695} Pa^{12,28598}$	0,95	0,92	31,04
Seco	$Q_{50} = 4,43 \times 10^{-31} A^{1,871010} Pa^{7,504406}$	0,99	0,99	9,61
	$Q_{90} = 2,64 \times 10^{-48} A^{2,295338} Pa^{12,18612}$	0,95	0,93	29,66
	$Q_{95} = 1,18 \times 10^{-54} A^{2,473672} Pa^{13,90029}$	0,84	0,81	40,07
Chuvoso	$Q_{50} = 9,27 \times 10^{-12} A^{1,091989} Pa^{2,781040}$	0,97	0,95	13,54
	$Q_{90} = 1,49 \times 10^{-27} A^{1,464102} Pa^{7,078923}$	0,98	0,98	10,93
	$Q_{95} = 5,18 \times 10^{-32} A^{1,600666} Pa^{8,252119}$	0,99	0,98	11,52

A – Área de drenagem ( $\text{km}^2$ ); Pa – precipitação média anual (mm).

### Quadro 26

Modelos de regressão recomendados para estimativa das vazões correspondentes aos níveis de permanência de 50, 90 e 95% ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) nos períodos anual, seco e chuvoso, para a região homogênea II

Período	Equação	$R^2$	$R^2_a$	$D_{MED} \%$
Anual	$Q_{50} = 0,008243 A^{1,069494}$	0,99	0,98	7,38
	$Q_{90} = 0,000173 A^{1,427572}$	0,99	0,99	7,21
	$Q_{95} = 0,000130 A^{1,438803}$	0,99	0,99	6,96
Seco	$Q_{50} = 0,000270 A^{1,424621}$	0,99	0,98	10,63
	$Q_{90} = 0,000106 A^{1,468720}$	0,99	0,99	6,42
	$Q_{95} = 0,000085 A^{1,476575}$	0,99	0,99	3,97
Chuvoso	$Q_{50} = 0,063606 A^{0,909780}$	0,99	0,99	5,50
	$Q_{90} = 0,011155 A^{1,025865}$	0,98	0,97	9,85
	$Q_{95} = 0,005161 A^{1,102572}$	0,97	0,96	12,15

A – Área de drenagem ( $\text{km}^2$ ).

Analisando-se os resultados da região homogênea I, apresentados no Quadro 25, evidencia-se que para todos os níveis de permanência, bem como para todos os períodos analisados, o melhor modelo foi o potencial, utilizando área e a precipitação total anual. Já para a região homogênea II, conforme o Quadro 26, verifica-se que para todos os níveis

de permanência, bem como para todos os períodos analisados, o modelo que apresentou o melhor ajuste foi o potencial, utilizando apenas a variável área de drenagem. As comparações entre as vazões obtidas com base nas séries históricas e estimadas pelos modelos de regressão são apresentadas, na íntegra, no Apêndice C.

### 5.2.3.3. Vazões associadas à curva de regularização

Nos Quadros 27 e 28 estão apresentados os modelos de regressão recomendados para a representação das vazões correspondentes às regularizações de 50, 60, 70, 80, 90 e 100% da vazão média, os quais foram obtidos com base nos mesmos critérios citados anteriormente para a regionalização de vazões máximas, mínimas e da curva de permanência.

Analisando-se os resultados apresentados no Quadro 27, verifica-se que para a região I o melhor ajuste foi com o modelo potencial utilizando-se somente a área de drenagem, para todas as vazões regularizadas. Para a região II, conforme observado no Quadro 28, os resultados foram similares, porém, utilizando-se o modelo linear. As comparações entre as vazões obtidas com base nas séries históricas e estimadas pelos modelos de regressão são apresentadas, na íntegra, no Apêndice C.

Equação	$R^2$	$R^2_a$	$D_{MED}$ %
$Q_{reg50} = 0,006684A^{0,994967}$	0,99	0,99	9,51
$Q_{reg60} = 0,008021A^{0,994963}$	0,99	0,99	9,51
$Q_{reg70} = 0,009358A^{0,994960}$	0,99	0,99	9,51
$Q_{reg80} = 0,010695A^{0,994958}$	0,99	0,99	9,51
$Q_{reg90} = 0,012032A^{0,994958}$	0,99	0,99	9,51
$Q_{reg100} = 0,013368A^{0,994967}$	0,99	0,99	9,51

**Quadro 27**

Modelos de regressão recomendados para a representação das vazões regularizadas ( $m^3 s^{-1}$ ), considerando diferentes níveis de permanência, para a região homogênea I

Equação	$R^2$	$R^2_a$	$D_{MED}$ %
$Q_{reg50} = 0,011015A$	0,99	0,99	7,94
$Q_{reg60} = 0,013218A$	0,99	0,99	7,94
$Q_{reg70} = 0,015420A$	0,99	0,99	7,94
$Q_{reg80} = 0,017623A$	0,99	0,99	7,93
$Q_{reg90} = 0,019826A$	0,99	0,99	7,93
$Q_{reg100} = 0,022029A$	0,99	0,99	7,93

**Quadro 28**

Modelos de regressão recomendados para a representação das vazões regularizadas ( $m^3 s^{-1}$ ) e considerando diferentes níveis de permanência, para a região homogênea II



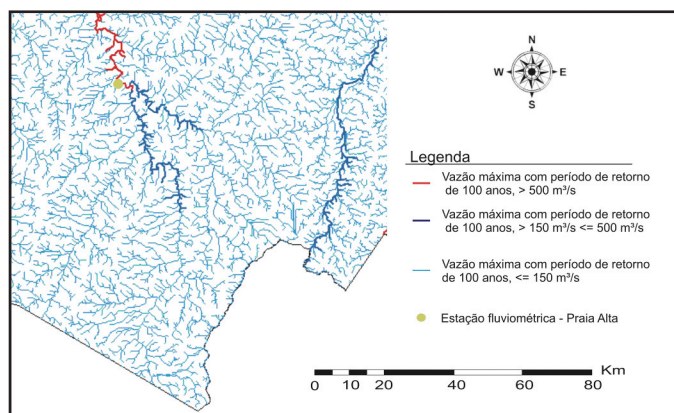
## 5.3 Espacialização das vazões em SIG

A espacialização das vazões em SIG comprovou a sensibilidade das equações às extrapolações espaciais para estimativa de vazões em cursos d'água onde não existem informações ou com dados insuficientes.

Todas as equações, exceto para a  $Q_{7,10}$  no semestre seco na região homogênea I, possuem como variável explicativa a área de drenagem com coeficientes da regressão significativos, facilitando a manutenção da continuidade das vazões nos cursos d'água. Na exceção, a equação de regressão para estimativa da  $Q_{7,10}$ , contém como variável explicativa o comprimento total da drenagem, sendo também sensível à continuidade das vazões nas confluências.

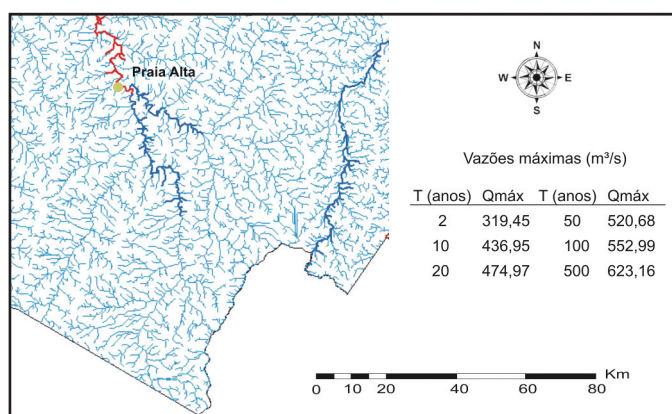
Processando as equações de regressão regionais, a fim de validar a sensibilidade à espacialização em SIG, elaboraram-se mapas temáticos armazenando as vazões máximas,

mínimas, médias e associadas às curvas de permanência e de regularização para os períodos estudados. A Figura 42 ilustra, por exemplo, a continuidade das vazões máximas associadas ao período de retorno de 100 anos, e a Figura 43 exibe as informações de vazão máxima para a célula da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta (26720000).

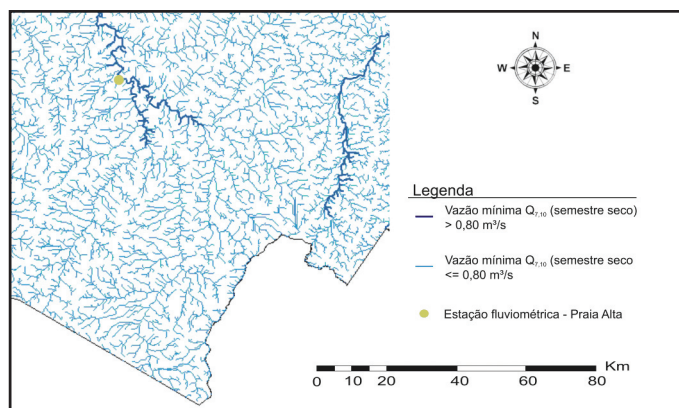


**Figura 42**  
Representação da continuidade das vazões máximas com  $T = 100$  anos

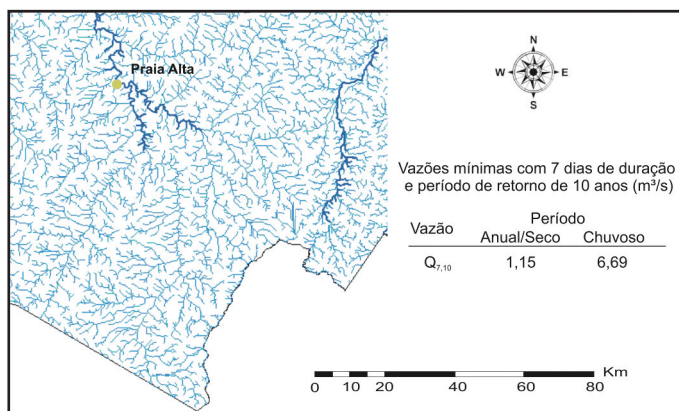
**Figura 43**  
Vazões máximas para a seção da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta (26720000).



As vazões mínimas correspondentes aos períodos analisados também foram espacializadas com sucesso, de modo que a Figura 44 apresenta a continuidade das vazões mínimas com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos para o período anual ou seco, e a Figura 45 exibe as informações de  $Q_{7,10}$  para a célula da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta.

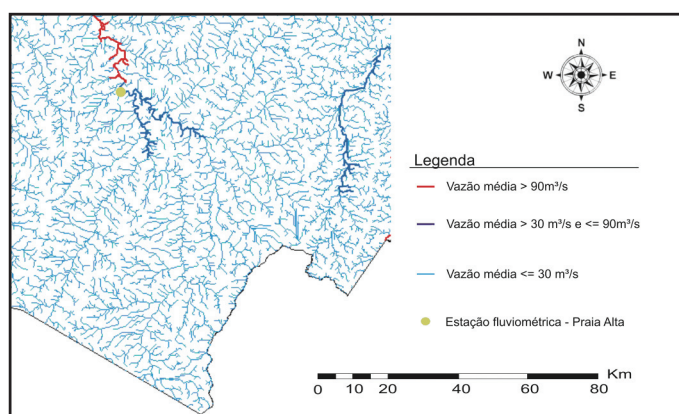


**Figura 44**  
Representação da continuidade da  $Q_{7,10}$  para o período anual ou seco

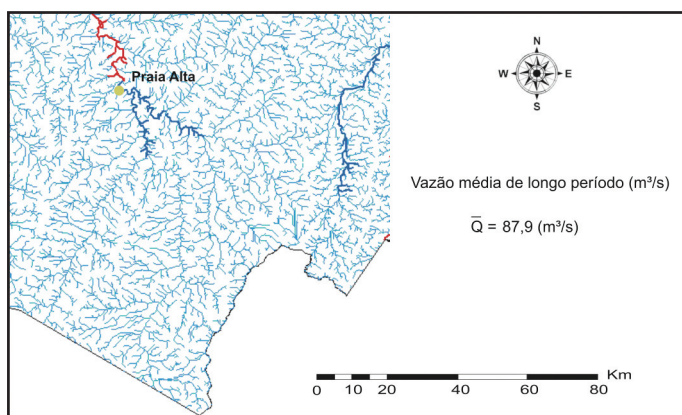


**Figura 45**  
Vazões mínimas com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) para a seção da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta (26720000).

As equações de regressão para estimativa das vazões médias de longo período também apresentaram sensibilidade à espacialização em SIG. Como exemplo, a Figura 46 apresenta a continuidade das vazões médias após a espacialização, e a Figura 47 exibe a vazão média referente à célula da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta.



**Figura 46**  
Representação da continuidade das vazões médias de longo período.



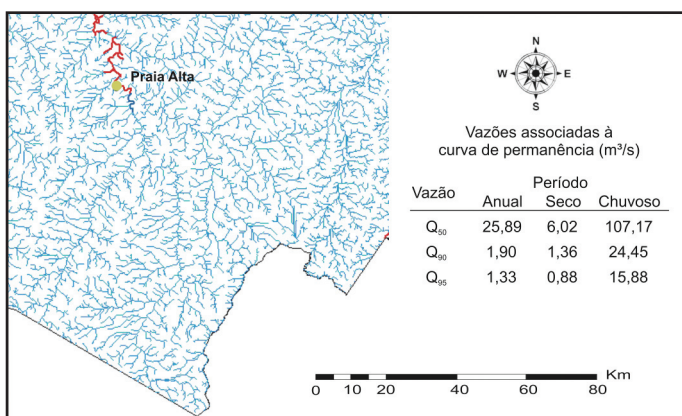
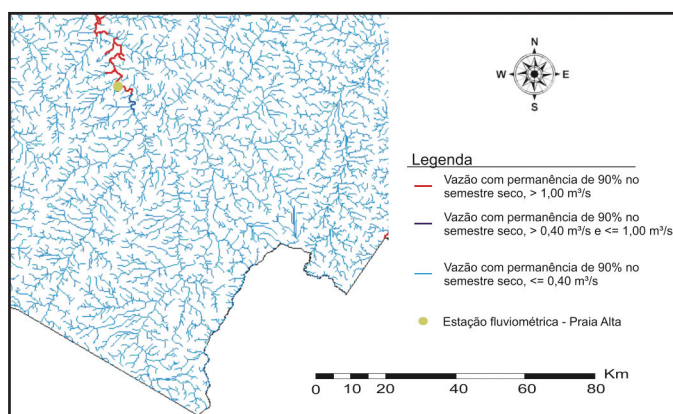
**Figura 47**

Vazão média de longo período para a seção da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta (26720000).

A espacialização das vazões associadas à curva de permanência para os períodos anual, semestre seco e semestre chuvoso também apresentou sensibilidade à continuidade das vazões. Como exemplo, a Figura 48 apresenta a continuidade das vazões associadas à permanência de 90% no semestre seco, e a Figura 49 exhibe as vazões associadas às permanências de 50, 90 e 95% para a célula da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta.

**Figura 48**

Representação da continuidade das vazões com permanência de 90% no semestre seco.

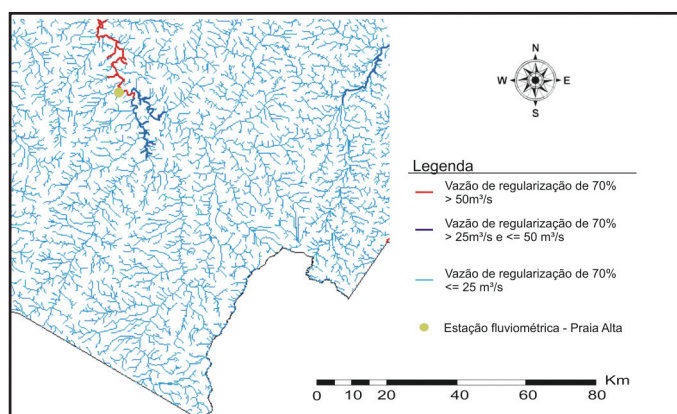


**Figura 49**

Vazões associadas às permanências de 50, 90 e 95% nos períodos anual, seco e chuvoso, para a seção da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta (26720000).

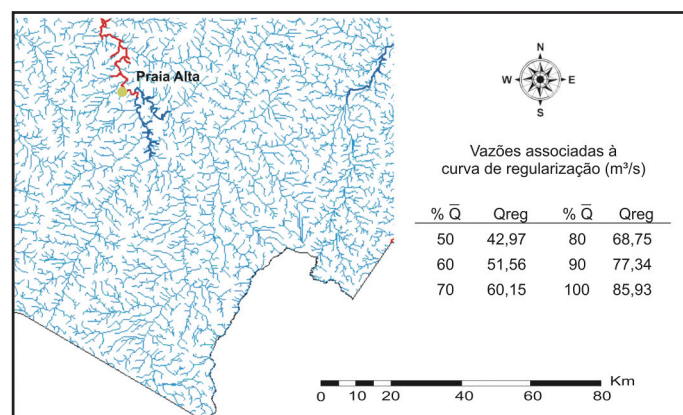


As vazões associadas à curva de regularização também foram espacializadas com sucesso, apresentando sensibilidade às confluências e assegurando a continuidade das vazões. Como exemplo, a Figura 50 apresenta a continuidade das vazões associadas à regularização de 70% da vazão média, e a Figura 51 exibe as vazões associadas às regularizações de 50, 60, 70, 80, 90 e 100% da vazão média de longa duração para a seção da hidrografia onde encontra-se a estação Praia Alta.



**Figura 50**

Representação da continuidade das vazões de regularização de 70% da vazão média.



**Figura 51**

Vazões associadas às regularizações de 50, 60, 70, 80, 90 e 95% da vazão média, para a seção da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta (26720000).

## 5.4

### Desenvolvimento e avaliação do software

O programa computacional desenvolvido para obter a disponibilidade hídrica para qualquer seção de interesse ao longo da rede hidrográfica da margem direita do rio Araguaia e margem esquerda do rio Tocantins foi denominado RH-MD-AR. A Figura 52 é ilustrativa de sua tela de apresentação, constando nessa o seu nome, sua finalidade e o grupo responsável pelo seu desenvolvimento.

**Figura 52**  
Tela de apresentação do RH-MD-AR.



#### 5.4.1. Visualização dos temas incorporados ao software

O software desenvolvido permite a visualização de diversos temas, visando além da maior facilidade na localização das seções de interesse, apresentar ao usuário outras informações importantes no planejamento dos recursos hídricos:

- Limite da região de abrangência da regionalização (Figura 53);
- Hidrografia para consulta das estimativas de vazões (Figura 54);
- Hidrografia mapeada do IBGE na escala 1:250.000 (Figura 55);
- Rios principais na região em estudo, escala 1:1.000.000 (Figura 56);
- Delimitação das sub-bacias que drenam a margem esquerda do rio Tocantins e a margem direita do Araguaia (Figuras 57 e 58);
- Regiões homogêneas na área em estudo (Figura 59);
- Divisão Municipal do Estado incluindo as sedes (Figuras 60 e 61);
- Malha viária nos limites do Estado do Tocantins (Figura 62);
- Imagem do uso e ocupação do solo no Estado do Tocantins obtida pelo sensor MODIS Terra (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) com resolução espacial de 250m (Figura 63);
- Distribuição das estações fluviométricas utilizadas na regionalização de vazões (Figura 64); e
- Distribuição das estações pluviométricas com influência no Estado (Figura 65).

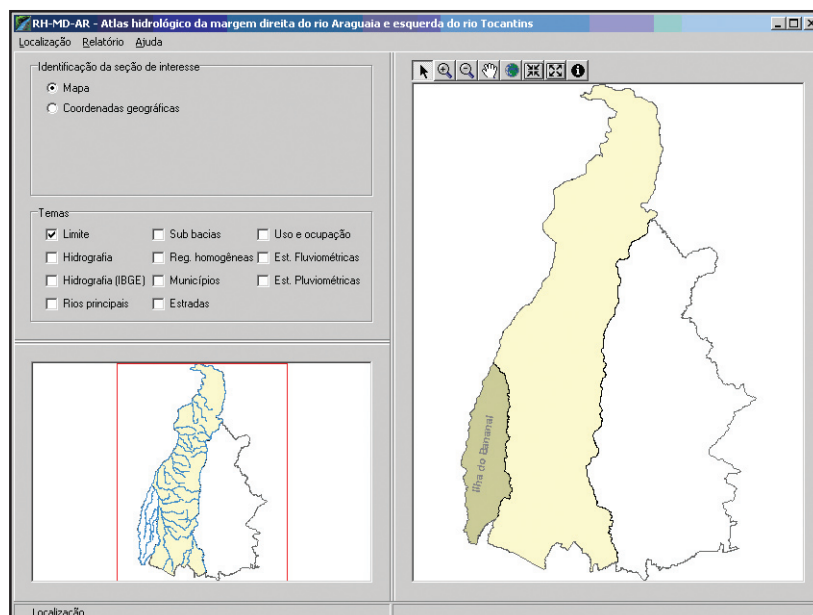


Figura 53

Interface de visualização com o tema Limite da região de abrangência do estudo ativado.

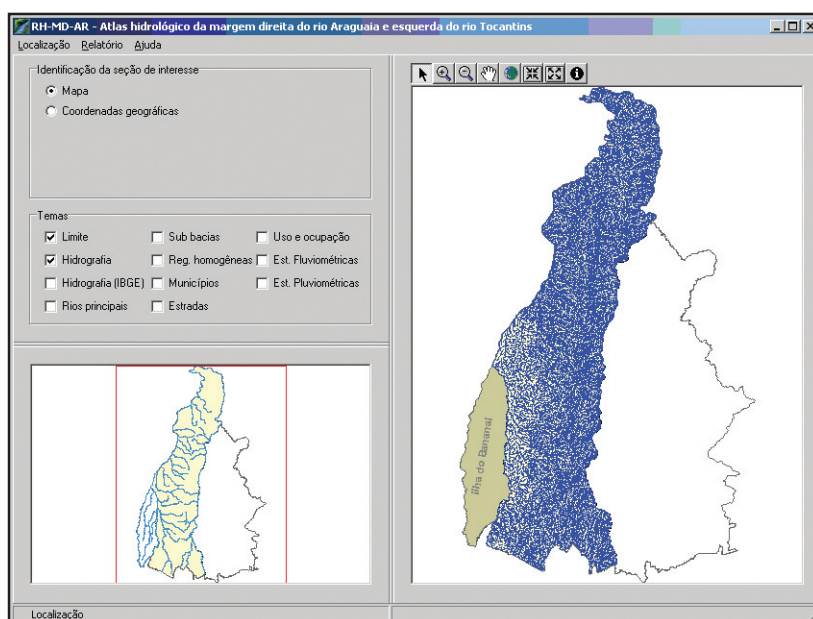
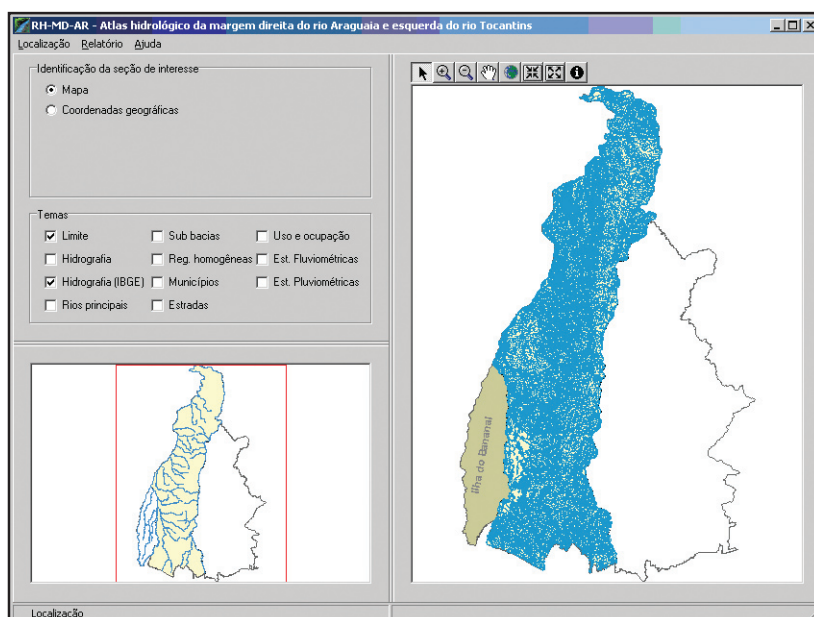


Figura 54

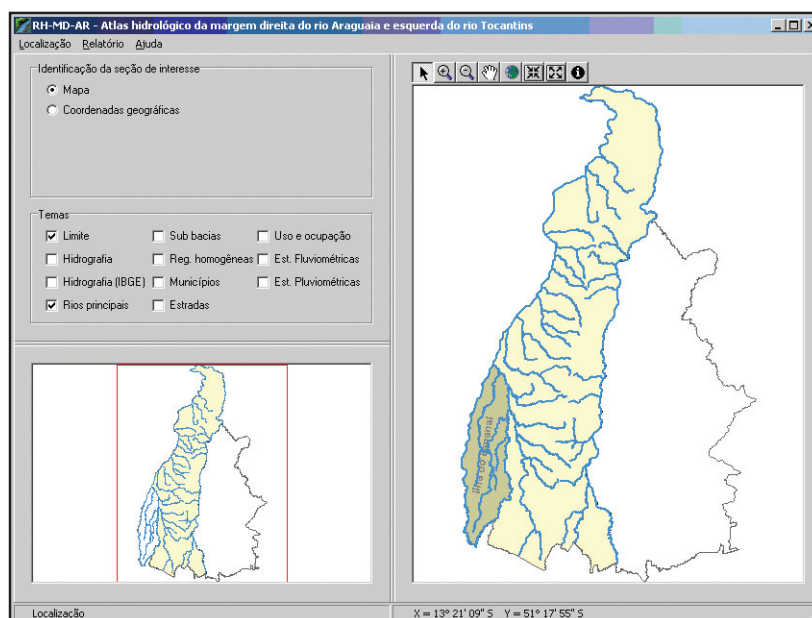
Interface de visualização com os temas Limite e Hidrografia para consulta de vazões ativados.





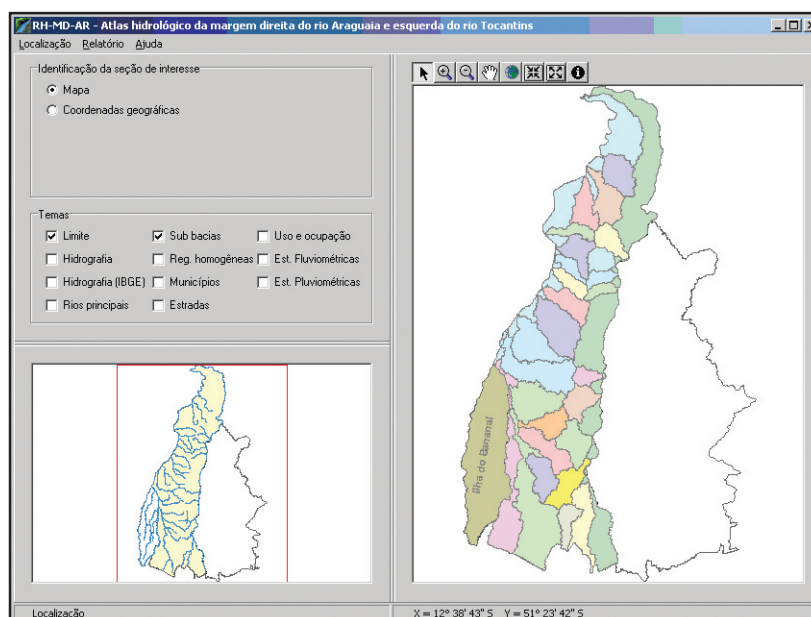
**Figura 55**

Interface de visualização com os temas Limite e Hidrografia mapeada do IBGE (1:250.000) ativados.

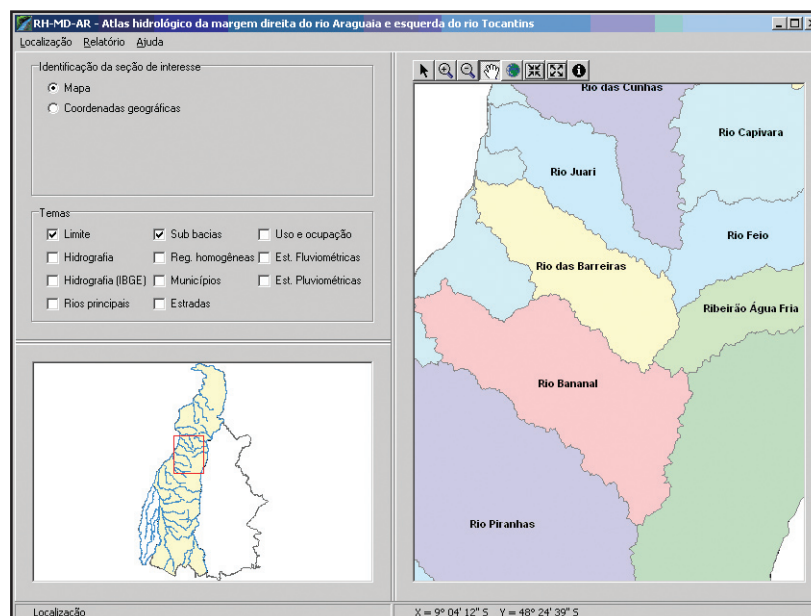


**Figura 56**

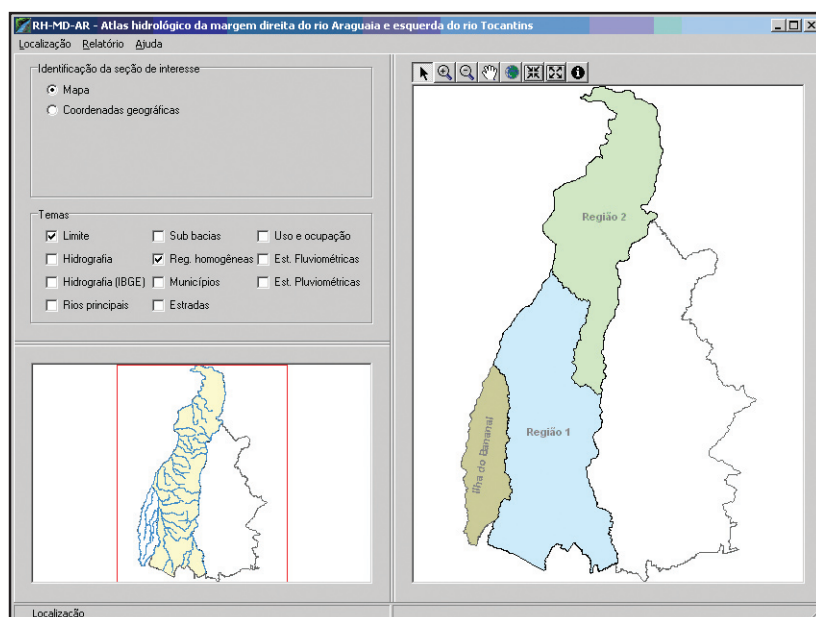
Interface de visualização com os temas Limite e Rios principais ativados.



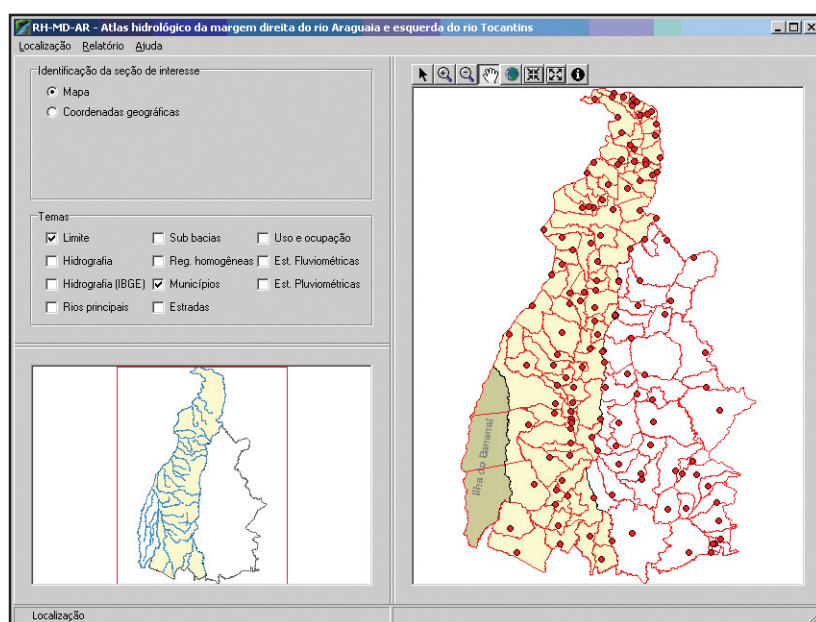
**Figura 57**  
Interface de visualização com os temas Limite e Sub-bacias ativados.



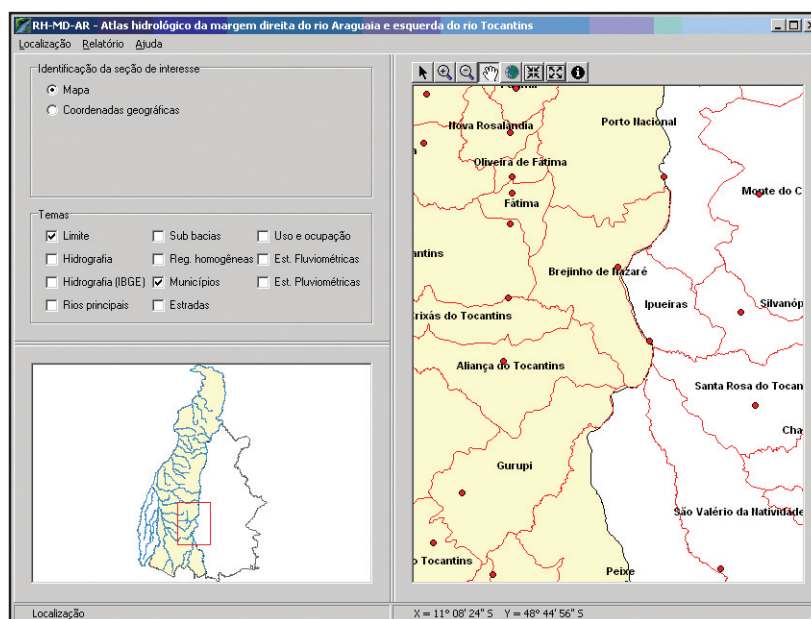
**Figura 58**  
Interface de visualização do tema Sub-bacias após utilização da ferramenta zoom in.



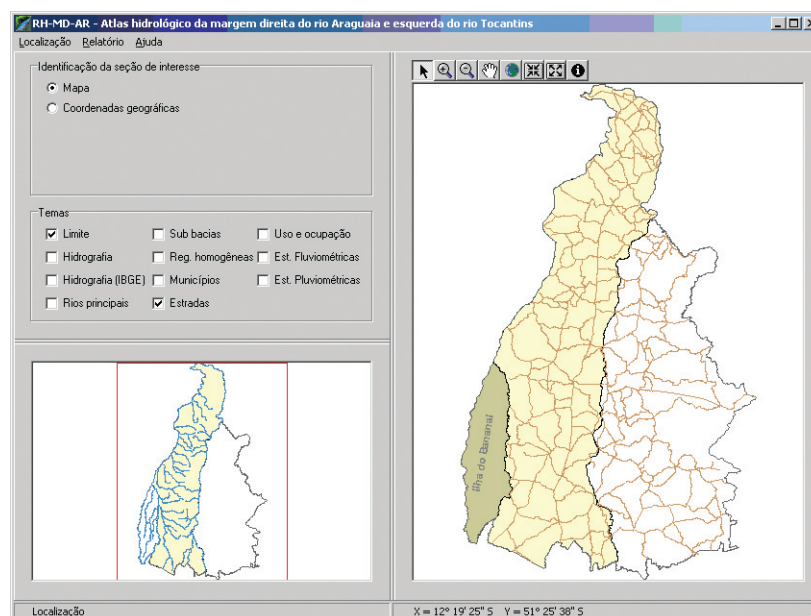
**Figura 59**  
Interface de visualização com os temas Limite e Regiões homogêneas ativados.



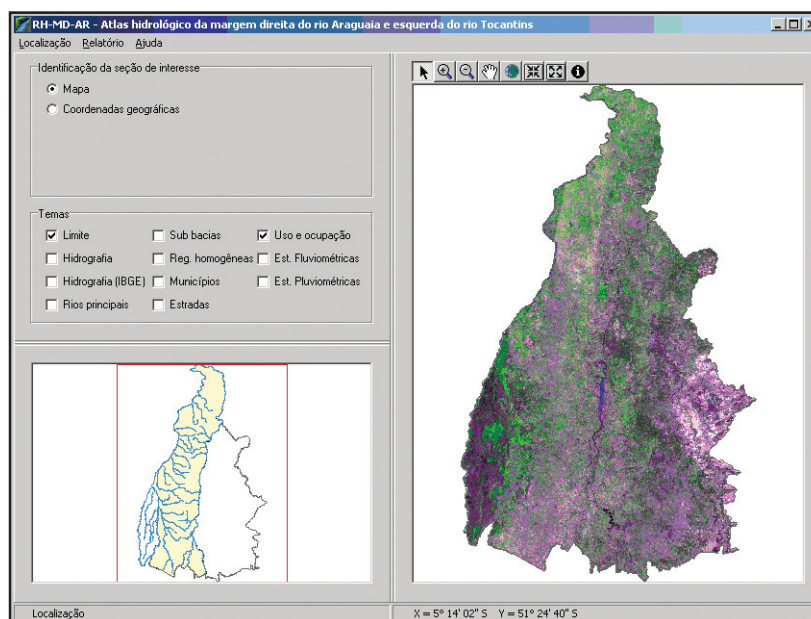
**Figura 60**  
Interface de visualização com a sobreposição do tema Municípios sobre a hidrografia em escala compatível com 1:100.000 do IBGE.



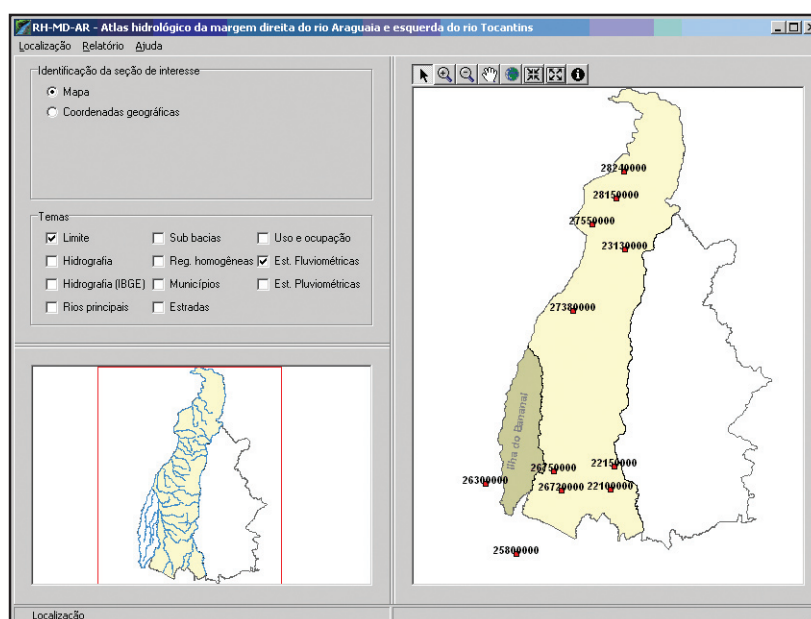
**Figura 61**  
Interface de visualização do tema Municípios após utilização da ferramenta zoom in.



**Figura 62**  
Interface de visualização com os temas Limite estadual e Estradas ativados.

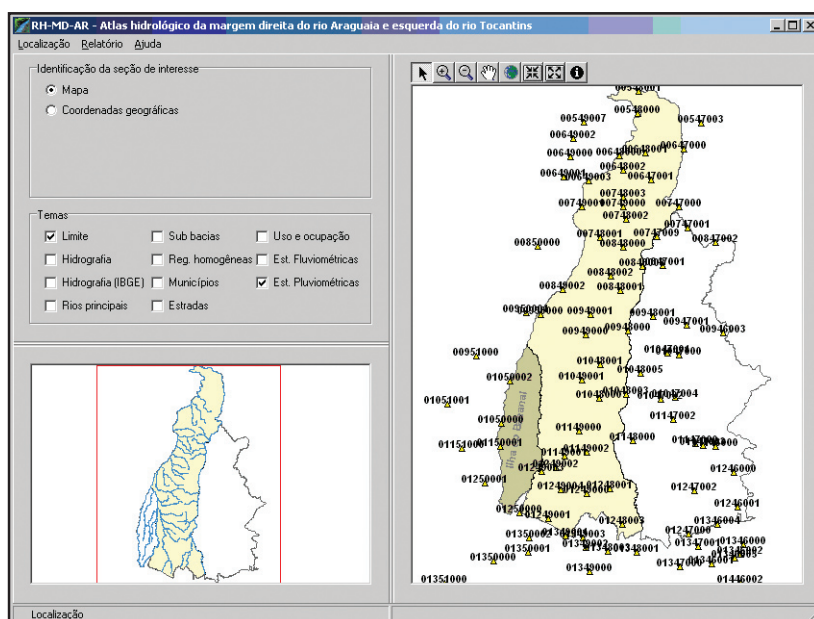


**Figura 63**  
Interface de visualização com o tema Uso e ocupação ativado.



**Figura 64**  
Interface de visualização com os temas Limite estadual e Estações fluviométricas ativados.

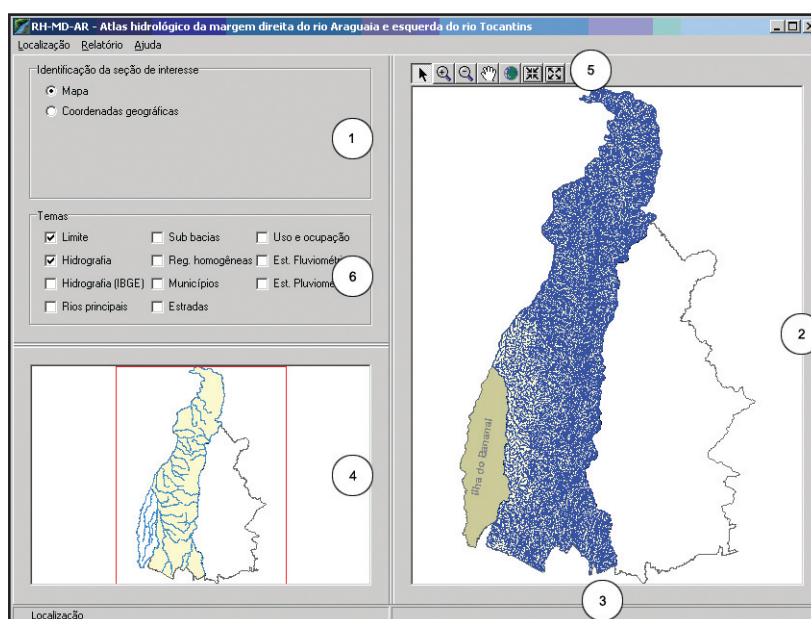




**Figura 65**  
Interface de visualização com os temas Limite estadual e Estações pluviométricas ativados.

#### 5.4.2. Localização da seção de interesse

Na Figura 66 apresenta-se a tela principal do RH-MD-AR, denominada “Localização”, sendo esta utilizada para a identificação, por parte do usuário, da seção de interesse para a análise da disponibilidade de água.



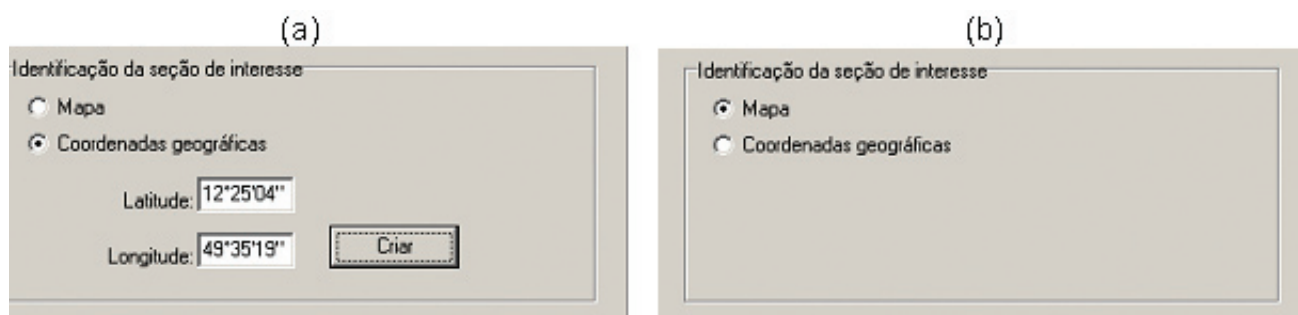
**Figura 66**  
Tela Localização do RH-MD-AR.



Nesta tela, o usuário escolhe a seção de interesse, podendo tal procedimento ser realizado de duas formas (campo 1): a primeira a partir do clique do mouse sobre a seção de interesse (opção “Mapa”), e a segunda (opção “Coordenadas geográficas”) a partir da entrada dos valores de latitude e longitude da seção de interesse.

Na Figura 67a apresenta-se a condição na qual o usuário fornece os valores de latitude e longitude no sistema de coordenadas geográficas, datum South American 1969 (SAD69). No caso de as coordenadas geográficas não estarem contidas na bacia em estudo, é emitida uma mensagem de erro alertando para tal fato.

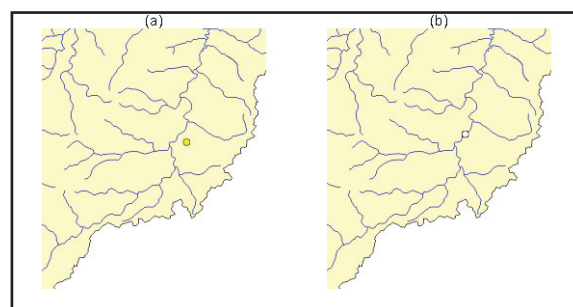
Na Figura 67b é apresentada a condição na qual o usuário fica habilitado a identificar a seção de interesse pelo clique em um mapa (campo 2 da Figura 66). Conforme o usuário movimenta o cursor sobre o mapa é apresentada na barra de status do software (campo 3 da Figura 66) a latitude e longitude da posição corrente.



**Figura 67**

Identificação da seção de interesse: (a) coordenadas geográficas e (b) mapa.









Considerando que o RH-MD-AR foi desenvolvido para obtenção da disponibilidade hídrica em cursos d'água, caso o usuário não escolha uma seção sobre um rio é criado um ponto de cor amarela (Figura 68a) e emitida uma mensagem pedindo o ajuste da coordenada identificada para uma posição coincidente com um curso d'água. Uma vez obtida a coincidência da seção de interesse com a hidrografia, a coloração do ponto muda para branco (Figura 68b). A realização do ajuste do ponto de interesse à hidrografia pode ser feito tanto pela opção correspondente à identificação da seção de interesse quanto pelas suas coordenadas geográficas.



**Figura 68**

Identificação da seção de interesse: (a) ponto criado fora da hidrografia e (b) ponto criado sobre a hidrografia.

Visando facilitar a identificação da seção de interesse, a tela “Localização” possui dois mapas, apresentando no primeiro (campo 4 da Figura 66) o limite e a hidrografia da bacia em estudo, bem como a delimitação, por um retângulo vermelho, da área para a qual é feito o detalhamento da hidrografia apresentada no mapa do campo 2. Para a manipulação deste mapa são disponibilizadas ferramentas (campo 5) comumente encontradas em softwares de SIGs, sendo estas:

-  Cursor: utilizada para definir a seção de interesse;
-  Zoom +: permite aumentar a escala da região selecionada;
-  Zoom -: permite diminuir a escala da região selecionada;
-  Pan: permite movimentar o mapa;
-  Full Extend: permite visualizar toda a extensão dos temas visíveis;
-  Fixed zoom +: permite aumentar a escala do mapa em uma mesma proporção;
-  Fixed zoom -: permite diminuir a escala do mapa em uma mesma proporção; e
-  Identificação: permite obter informações a respeito do ponto escolhido.

#### 5.4.3. Obtenção dos dados afetos à seção de interesse

Na Figura 69 apresenta-se a tela “Identificação”, a qual é resultante da escolha de um ponto a partir da utilização da ferramenta “Identificação”, sendo nesta apresentadas as informações da posição (coordenadas geográficas), da área de drenagem e dos temas que estão habilitados no campo 6 da Figura 66.

O RH-MD-AR permite a adição e, ou, exclusão de novos temas (campo 6 da Figura 66), sendo disponibilizados, além do limite e da hidrografia da bacia, outros temas como a hidrografia fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o qual possui o nome de vários rios da região, as regiões hidrologicamente homogêneas, as sub-bacias da região, o limite dos municípios, as estradas de rodagem, o mapa de uso e ocupação do solo e as estações fluviométricas e pluviométricas.

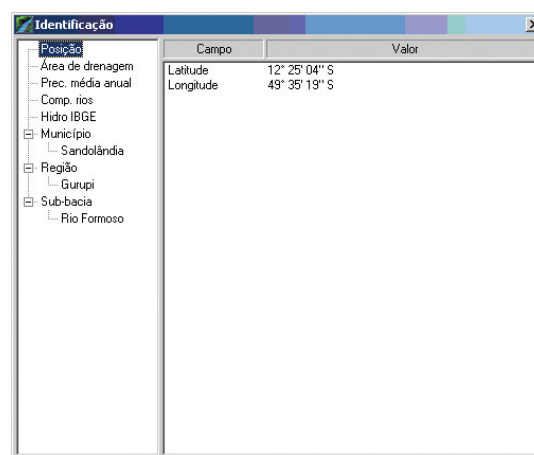


Figura 69  
Tela Identificação da seção de interesse.

#### 5.4.4. Estimativa das vazões regionalizadas

Uma vez feita a identificação da seção de interesse, o software procede, automaticamente à obtenção dos dados necessários para a aplicação das equações de regressão regionais, e realiza a estimativa das vazões mínimas, máximas, médias e das vazões associadas à curva de regularização. Quando a seção de interesse está fora do intervalo de restrição de confiabilidade das estimativas de vazões, uma notificação é exibida ao usuário e também impressa no relatório.

Nas Figuras 70 a 73 apresenta-se a tela “Disponibilidade hídrica”, em que são dispostos os valores estimados das vazões  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , das vazões associadas à curva de regularização e das vazões máximas e médias, respectivamente, para a seção da hidrografia onde está localizada a estação Praia Alta (26720000).

As vazões mínimas estimadas pelo RH-MD-AR correspondem a vazão com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e as vazões associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ). Visando a consideração da sazonalidade da disponibilidade hídrica, o RH-MD-AR apresenta as vazões mínimas discretizadas em “Semestre seco”, “Semestre chuvoso” e “Anual”.

**Figura 70**  
Tela Disponibilidade hídrica, visualizando as vazões mínimas  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  para os períodos anual, semestre seco e semestre chuvoso para a seção da hidrografia onde está instalada a estação Praia Alta (26720000).

A imagem mostra a interface do software "Disponibilidade hídrica" com a aba "Vazões mínimas" selecionada. A interface está organizada em uma grade com três colunas principais: "Semestre seco", "Semestre chuvoso" e "Período anual". Cada coluna contém campos de entrada para os valores de  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , seguidos pela unidade  $m^3 s^{-1}$ . Os valores exibidos são:

Período	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$Q_{90}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ )
Semestre seco	1.16	1.36	0.875
Semestre chuvoso	5.69	24.5	15.9
Período anual	1.16	1.9	1.33

Na parte inferior da janela, há dois botões: "Relatório" e "Fechar".

As vazões máximas estimadas pelo RH-MD-AR correspondem às vazões associadas a um período de retorno específico ( $T$ ), sendo adotados períodos de 2 ( $Q_{máxT2}$ ), 10 ( $Q_{máxT10}$ ), 20 ( $Q_{máxT20}$ ), 50 ( $Q_{máxT50}$ ), 100 ( $Q_{máxT100}$ ) e 500 ( $Q_{máxT500}$ ) anos, enquanto a vazão média corresponde à média das vazões médias diárias anuais ( $Q_{média}$ ).

**Figura 71**

Tela Disponibilidade hídrica, visualizando as vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50, 100 e 500 anos para a seção da hidrografia onde está instalada a estação Praia Alta (26720000).

Período de Retorno (anos)	Vazão Máxima ( $m^3 s^{-1}$ )
2	319.5
10	436.9
20	475
50	520.7
100	553
500	623.2

**Figura 72**

Tela Disponibilidade hídrica, visualizando a vazão média de longa duração e a Q50 para a seção da hidrografia onde está instalada a estação Praia Alta (26720000).

Período	Vazão Média ( $m^3 s^{-1}$ )	Q50 ( $m^3 s^{-1}$ )
Período seco	6.01	-
Período chuvoso	-	107.2
Anual	87.9	25.9

As vazões regularizadas estimadas pelo RH-MD-AR correspondem a 0,5 ( $Q_{reg50}$ ), 0,6 ( $Q_{reg60}$ ), 0,7 ( $Q_{reg70}$ ), 0,8 ( $Q_{reg80}$ ), 0,9 ( $Q_{reg90}$ ) e 1,0 ( $Q_{reg100}$ ) da vazão média de longa duração.

**Figura 73**

Tela Disponibilidade hídrica, visualizando as vazões associadas à curva de regularização da vazão média de longa duração para a seção da hidrografia onde está instalada a estação Praia Alta (26720000).

Período de Retorno (anos)	Vazão Regularizada ( $m^3 s^{-1}$ )
50	43
60	51.6
70	60.2
80	68.7
90	77.3
100	85.9

#### 5.4.5. Elaboração de relatórios

Ao clicar no botão “Relatório” da tela “Disponibilidade hídrica”, o RH-MD-AR gera um relatório (Figura 74) em que constam as informações básicas da seção de interesse, como sua localização em coordenadas geográficas (latitude e longitude), os nomes do rio, do município, da região e da sub-bacia, e sua área de drenagem.

Também são apresentados os valores estimados das vazões mínimas, regularizadas, máximas e média da seção de interesse, conforme apresentados na tela “Disponibilidade hídrica”.



**Relatório de vazões disponíveis**

Seção de interesse		
Localização:	Município: Sandolândia	
Latitude: 12° 25' 03"	Região: Gurupi	
Longitude: 49° 35' 19"	Sub-bacia: Rio Formoso	
Rio: Rio Formoso	Reg. Homogênea: 1	
Área de drenagem: 6.719,95km²		
Disponibilidade hídrica		
Vazões mínimas (m³ s <sup>-1</sup> )		
Semestre seco	Semestre chuvoso	Período anual
Q <sub>7,10</sub> = 1,16	Q <sub>7,10</sub> = 6,69	Q <sub>7,10</sub> = 1,16
Q <sub>90</sub> = 1,36	Q <sub>90</sub> = 24,5	Q <sub>90</sub> = 1,9
Q <sub>95</sub> = 0,875	Q <sub>95</sub> = 15,9	Q <sub>95</sub> = 1,33
Vazões regularizadas (m³ s <sup>-1</sup> )		
Q <sub>reg50</sub> = 43	Q <sub>reg90</sub> = 68,7	
Q <sub>reg60</sub> = 51,6	Q <sub>reg90</sub> = 77,3	
Q <sub>reg70</sub> = 60,2	Q <sub>reg100</sub> = 85,9	
Vazões máximas (m³ s <sup>-1</sup> )		
Q <sub>máx12</sub> = 319,5	Q <sub>máx150</sub> = 520,7	
Q <sub>máx110</sub> = 436,9	Q <sub>máx1100</sub> = 553	
Q <sub>máx120</sub> = 475	Q <sub>máx1500</sub> = 623,2	
Vazão média (m³ s <sup>-1</sup> )		
Semestre seco	Semestre chuvoso	Período anual
Q <sub>7,10</sub> = 6,01	Q <sub>7,10</sub> = 107,2	Q <sub>7,10</sub> = 25,9
		Q <sub>média</sub> = 87,9

Relatório elaborado pelo RH-MD-AR em 28/06/2007.

**Figura 74**  
Relatório de vazões estimadas gerado pelo RH-MD-AR.

## CONCLUSÃO

---

Ao término dos trabalhos, a aplicação de ferramentas computacionais incorporadas às novas tecnologias baseadas nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) permitiu o desenvolvimento de uma biblioteca hidrológica digital, disponibilizada por meio de um software denominado RH-MD-AR (Atlas Hidrológico da margem direita do rio Araguaia e esquerda do rio Tocantins), capaz de disponibilizar aos usuários interessados informações hidrológicas para qualquer seção da hidrografia nas bacias da margem direita do rio Araguaia e margem esquerda do rio Tocantins.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ANA - Agência Nacional de Águas. **A ANA na gestão das águas: gerência de outorga.** Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/OutorgaFiscalizacao/Outorga/default.asp>>. Acesso em: 10 jun. 2007.

\_\_\_\_\_. **A ANA na gestão das águas: tecnologia e capacitação.** Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/TecnologiaCapacitacao/default2.asp>>. Acesso em: 5 jul. 2006a.

\_\_\_\_\_. **Outorga de direito de uso.** Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/Outorga/default2.asp>>. Acesso em: 2 jul. 2006b.

\_\_\_\_\_. **HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas.** Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2006c.

AZEVEDO, A. A. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 101 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BAENA, L. G. N.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L.; SILVA, E. O. **Delimitação automática e determinação de características físicas de bacias hidrográficas utilizando-se modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes gerados a partir de mapas com diferentes escalas.** Anais do Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba-PR, 2003.

BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrológicamente consistente.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRASIL, Política Nacional de Recursos Hídricos. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** [S. I.]: MMA/ SRH, 1997.

CARONI, E. et al. **Valutazione delle piene**. Milano: Consiglio Nazionale Delle Ricerche, PF Conservazione Del Suolo, 1982. (Publicazione, 165).

CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da  $Q_{7,10}$  para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informações geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

DEITEL, H. M., **Java, Como programar**. Trad. Carlos Arthur. 4.ed. Porto Alegre :Bookman, 2003.,

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985a.

\_\_\_\_\_. **Manual de minicentrals hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **Help on Line**. . ARC/INFO v.7.1.1. Redlands, Califórnia: ESRI, 1997.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R. **Atlas digital das águas de Minas**. Viçosa, MG: UFV, RURALMINAS, IGAM, 2005. 78 p.

EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período e da curva de permanência para a bacia do Alto e Médio São Francisco. In: **Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias**. Viçosa: UFV/ RURALMINAS, 2002 p. 1-142. (Boletim Técnico, n. 6).

\_\_\_\_\_. Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período e da curva de permanência para a bacia do Rio São Francisco. In: **Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas**. Viçosa: UFV/RURALMINAS, 2001 p. 1-124. (Boletim Técnico, n. 5).

EUCLYDES, H. P.; SOUSA, E. F.; FERREIRA, P. A. **RH 3.0 – Regionalização hidrológica**. (Manual do programa). Viçosa, MG: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS, 1999. 149 p.

FGV – Fundação Getúlio Vargas; MMA – Ministério do Meio ambiente; ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Plano Nacional de Recursos Hídricos – Bacia do Tocantins**. 1998. 1 CD.

FILL, H. H. Informações hidrológicas. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. (Coleção ABRH de Recursos hídricos).

FURTADO, A. M. **Metodologia para extração de informações hidrológicas a partir de um modelo digital de elevação utilizando sistemas de informações geográficas**. Belo Horizonte, MG: IGC/UFMG/CETEC, 1998. 42 p. Monografia apresentada no I Curso de Especialização em Geoprocessamento, Belo Horizonte.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L. W. **Digital elevation model issues in water resources modeling**. In: GARBRECHT J., MARTZ, L. W. 1999 Annual ESRI users conference. Network and subwatershed parameters extracted from digital elevation models: the bills creek experience. 1999. 29:909-916. Water Resources Bulletin.

GOUVÊA, J. R. F. **Comparação dos modelos digitais de elevação gerados com dados SRTM e cartas IBGE na escala 1:250.000 na região da bacia do Camanducaia no Estado de São Paulo**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2191-2193.

HAAN, C. T. **Statistical methods in hidrology**. 2. ed. Ames, Iowa: The Iowa State University, Press/Ames, 1977. 378 p.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis: an approach based on L-Moments**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 1997. 224 p.

LEMONS, A. F. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio São Francisco, à montante do reservatório de Três Marias**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 85 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARQUES, F. A. **Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 112f. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MAUAD, F. F., ALBERTIN, L. L. **Gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Sapucaí-Mirim/Grande: aplicação de simulação computacional**. In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba-PR, 2003.

MMA/SRH - Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Brasília – DF. 2006.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **SISAGUA, Sistemas de apoio ao gerenciamento de usuários de água**. Brasília – DF, dez. 2000.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NERC – NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL. **Flood studies report**. London, v.1 e 2, 1975.

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. **Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce**. Engenharia na agricultura. Viçosa – MG, v.13, n. 2, p. 103-107, abr., 2005.

SEMA-MT, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – MT. **Edital de Concorrência Pública Nº001/2007/SEMA Processo Nº 226567/2006**. Cuiabá – MT, 2007.

SEPLAN-TO – Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento territorial**. Palmas – TO. 2005.

SILVA, D. D. et al. **Regionalização de vazões para a Sub-Bacia 51**. Brasília: ANEEL; Viçosa: UFV, 2002. 207p.

STEDINGER, J. R.; VOGEL, R. M.; FOUFOULA-GEORGIOU, E. Frequency analysis of extreme events. In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of hidrology**. New York: MacGraw Hill, Inc., 1992, cap. 18, p. 18. 1-18.66.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS, 2002. 256 p.

\_\_\_\_\_. **Cenário da gestão da água no Brasil**: uma contribuição para a “Visão mundial da água”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.

\_\_\_\_\_. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed da Universidade/ ABRH/EDUSP, 1997, cap.15, p. 573-619.

TUCCI, C. E. M. et al. **Estudo regional de vazões máximas e médias do Alto Paraguai**. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 5, Florianópolis, Anais..., s. l., 1983. p. 17-42, 1983.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para América do Sul**. São José dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p. 2004.



# APÊNDICE

## Quadro 1A

Identificação das estações pluviométricas selecionadas para a realização do estudo

Código	Estação	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Altitude (m)
00547003	Montes Altos	-5,83333	-47,06667	250
00548000	Araguatins	-5,64833	-48,20778	186
00548001	São Sebastião do Tocantins	-5,25833	-48,20083	--
00549007	KM 60/PA-150	-5,80306	-49,18333	--
00647000	Tocantinópolis	-6,28722	-47,39194	126
00647001	Wanderlândia RD Bel-BSB	-6,83889	-47,97000	300
00648000	Xambioá	-6,41306	-48,53556	118
00648001	Ananás	-6,36389	-48,07139	--
00648002	Piraquê	-6,67167	-48,46972	211
00649000	Fazenda Surubim	-6,42778	-49,41972	--
00649001	Fazenda Santa Elisa	-6,79472	-49,54861	--
00649002	Eldorado	-6,10528	-49,37750	--
00649003	PCH Lemos	-6,86750	-49,09750	--
00747000	Carolina	-7,32306	-47,46444	--
00747001	Goiatins	-7,71139	-47,31500	--
00747009	Palmeirante	-7,85972	-47,86194	--
00748001	Colônia	-7,87778	-48,89528	200
00748002	Fazenda Primavera	-7,55944	-48,42083	200
00748003	Muricilândia	-7,15444	-48,46972	--
00749000	Arapoema	-7,32167	-48,46972	215
00749001	Boa Vista do Araguaia	-7,32306	-49,22417	100
00847001	Itacajá	-8,39167	-47,76528	250
00847002	Campos lindos	-7,97111	-46,80639	--
00848000	Colinas do Tocantins	-8,05278	-48,48167	--
00848001	Guaraí	-8,83083	-48,51694	300
00848002	Itaporã do Tocantins	-8,57306	-48,69083	300
00848003	Tupiratins	-8,39806	-48,13028	--
00849002	Araguacema	-8,81028	-49,55611	150
00850000	Redenção	-8,04389	-50,00306	--
00946003	Lizarda	-9,59194	-46,68056	620
00947001	Mansinha	-9,45750	-47,32694	320

00948000	Miracema do Tocantins	-9,56417	-48,38750	210
00948001	Porto Real	-9,30694	-47,92917	200
00949000	Abreulândia	-9,62500	-49,15500	200
00949001	Dois Irmãos do TO	-9,25722	-49,06417	200
00950000	Caseara	-9,27083	-49,95917	200
00950001	Barreria de Campo	-9,22750	-50,21083	--
00951000	Vila Rica	-10,01667	-51,11861	--
01047000	Jatobá (faz. Boa Nova)	-9,99056	-47,47861	250
01047001	Novo Acordo	-9,96056	-47,67472	300
01047002	Porto Gilândia	-10,78556	-47,80000	300
01047004	Ponte Alta do Tocantins	-10,75083	-47,53611	300
01048000	Fátima	-10,76333	-48,90278	340
01048001	Paraíso do Tocantins	-10,16528	-48,89056	390
01048003	Porto Nacional	-10,70444	-48,41833	270
01048005	Taquarussu do Porto	-10,31333	-48,15944	--
01049001	Pium	-10,44083	-49,22417	298
01050000	Luciara	-11,21833	-50,66778	--
01050002	Santa Terezinha	-10,46111	-50,51250	--
01051001	Porto Alegre do Norte	-10,87472	-51,63056	--
01146000	Dianópolis	-11,62528	-46,81056	--
01147000	Almas	-11,57861	-47,17472	600
01147002	Pindorama do Tocantins	-11,14056	-47,57667	637
01147003	Poto Alegre	-11,61250	-47,04500	--
01148000	Fazenda Lobeira	-11,53139	-48,29472	300
01149000	Dueré	-11,35000	-49,26667	200
01149001	Formoso do Araguaia	-11,80167	-49,52972	211
01149002	Gurupi	-11,73639	-49,13639	497
01150001	São Felix do Araguaia	-11,62750	-50,68972	--
01151000	Bate-papo	-11,67472	-51,37639	--
01246000	Ponte Alta do Bom Jesus	-12,09861	-46,47861	600
01246001	Aurora do Norte	-12,71444	-46,40861	700
01247000	Conceição do Tocantins	-13,20194	-47,29667	--
01247002	Rio da Palma	-12,42000	-47,19167	400
01248001	Colonha	-12,39139	-48,71139	--
01248003	Palmeirópolis	-13,04028	-48,49167	--
01249000	Alvorada	-12,48083	-49,12417	356
01249001	Araguaçu	-12,92889	-49,82750	500
01249002	Projeto Rio Formoso	-12,00472	-49,67972	--
01249003	Barreira do Pequi	-12,08861	-49,93778	108
01249004	Praia Alta	-12,41778	-49,58917	--
01250000	Fazenda Piratininga	-12,82056	-50,33611	254



01250001	Santo Antonio do Leverger	-12,29167	-50,96306	--
01346000	São Domingos	-13,39750	-46,31583	--
01346001	Nova Roma	-13,74222	-46,87750	--
01346002	Fazenda Ingazeiro	-13,56806	-46,36722	--
01346004	Campos Belos	-13,03583	-46,77694	600
01346005	São Vicente	-13,63361	-46,46722	--
01347000	Cavalcante	-13,79694	-47,46167	--
01347001	Ponte Paraná	-13,42389	-47,13194	--
01348001	Sama	-13,53306	-48,22694	--
01348003	Trombas	-13,51167	-48,74500	450
01349000	Estrela do Norte	-13,87167	-49,07139	--
01349001	Novo Planalto	-13,23583	-49,50806	250
01349002	Porangatu	-13,44528	-49,14472	600
01349003	Entroncamento São Miguel	-13,26889	-49,20111	427
01350000	Bandeirantes	-13,68972	-50,80000	276,1
01350001	Rio Pintado	-13,52889	-50,18833	200
01350002	São Miguel do Araguaia	-13,27389	-50,16056	331
01351000	Trecho Médio	-14,08667	-51,69639	--
01446001	Alvorada do Norte	-14,48333	-46,49167	--
01446002	Posse	-14,08417	-46,37111	826
01446004	Sítio D'abadia	-14,80389	-46,25333	--
01447001	Flores de Goiás	-14,45000	-47,04583	200
01447002	São João d' Aliança	-14,70722	-47,52361	--
01448002	Ponte Quebra Linha	-14,97750	-48,67556	--
01449002	Santa Terezinha de Goiás	-14,43333	-49,70611	400
01450001	Mozarlândia	-14,74139	-50,57722	400
01452000	Xavantina	-14,67222	-52,35472	--
01547001	Fazenda Santa Sé	-15,21611	-47,15694	--
01548002	Padre Bernardo	-15,16917	-48,27806	750
01548003	Plenópolis	-15,85000	-48,95000	--
01549009	Uruana	-15,49611	-49,69083	--
01551001	Monte Claros de Goiás	-15,60556	-51,35667	400
01552002	Torriqueje	-15,25028	-53,05472	--
01554005	Rio das Mortes	-15,31472	-54,17583	--
01555005	São José da Serra	-15,83694	-55,32306	--
01649007	Itaberaí	-16,03028	-49,80028	680
01651001	Ipora	-16,43222	-51,07917	400
01651002	Piranhas	-16,42333	-51,82139	600
01652003	Doverlândia	-16,72167	-52,31972	--
01653002	Guiratinga	-16,35083	-53,75917	551

## Quadro 2A

Identificação das estações fluviométricas pré-selecionadas para a realização do estudo

Código	Estação	Curso D'água	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
21080000	São Salvador	Tocantins	12,74250	48,23667
22040000	Fazenda Angical	Tocantins	12,25111	48,34667
22050001	Peixe	Tocantins	12,02306	48,53306
22100000	Colonha	Santa Tereza	12,39139	48,71139
22150000	Jacinto	Santa Tereza	11,98139	48,65750
22350000	Porto Nacional	Tocantins	10,70444	48,41833
22500000	Miracema do Tocantins	Tocantins	9,56750	48,37861
23100000	Tupirantins	Tocantins	8,39167	48,11139
23130000	Próximo Colinas de Goiás	Capivara	8,06917	48,45167
23300000	Carolina	Tocantins	7,33417	47,48139
23600000	Tocantinópolis	Tocantins	6,28861	47,39194
23700000	Descarreto	Tocantins	5,78944	47,48194
25800000	Jusante do Rio Pintado	--	13,56140	50,40110
25950000	Luiz Alves	Araguaia	13,20970	50,58500
26015000	Jus. Barra do Forquilha	Crsitalino	12,88360	50,83220
26030000	Fazenda Telesforo	Araguaia	11,91667	50,66667
26300000	Santo Antonio do Leverger	Manso	12,29170	50,96310
26350000	São Félix do Araguaia	Araguaia	11,61972	50,66250
26700000	Jusante Crisostomo	Araguaia	10,28330	50,41670
26710000	Barreira do Pequi	Javaés	12,08861	49,98778
26720000	Praia Alta	Formoso	12,41778	49,58917
26750000	Projeto Rio Formoso	Formoso	12,06667	49,73333
26800000	Barreira da Cruz	Javaés	10,56472	49,93417
27380000	Ponte Rio Piranhas	Piranhas	9,18333	49,37722
27500000	Conceição do Araguaia	Araguaia	8,10278	49,25944
27550000	Arapoema	Jenipapo	7,61361	49,04528
28150000	Muricilândia	Muricizal	7,15444	48,46972
28240000	Piraque	Lontra	6,67167	48,46972
28300000	Xambioá	Araguaia	6,40972	48,54222
28850000	Araguatins	Araguaia	5,65083	48,13250



# APÊNDICE

---













# APÊNDICE

## Quadro 1C

Valores vazões máximas observadas mediante análise probabilística ( $Q_{mo}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), vazões máximas estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{me}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados, para os períodos de retorno de 2 e 10 anos

Estações	2 anos			10 anos		
	$Q_{mo}$	$Q_{me}$	% dr	$Q_{mo}$	$Q_{me}$	% dr
Colonha	551,33	407,387	26,10832	950,41	562,157	40,85111
Praia Alta	392,16	319,451	18,54065	583,47	436,948	25,11217
Jacinto	769,39	634,176	17,57418	1199,3	888,656	25,90211
Proj. Rio Formoso	343,04	386,231	-12,5907	394	531,826	-34,9812
St. A. do Leveger	2254,28	2508,17	-11,2626	2979,52	3689,3	-23,822
Ponte Rio Piranhas	63,05	75,8623	-20,3209	74,92	99,0523	-32,2108
Jus. Rio Pintado	619,24	822,51	-32,8257	852,1	1163,31	-36,5227
		<b>Média</b>	<b>18,89</b>		<b>Média</b>	<b>31,34</b>
Muricilândia	112,13	142,99	-27,52	150,92	190,12	-25,97
P. Colina de Goiás	47,72	57,21	-19,88	56,12	72,17	-28,59
Piraque	322,18	242,85	24,62	437,35	332,85	23,89
Arapoema	128,14	118,13	7,81	178,54	155,35	12,99
		<b>Média</b>	<b>19,96</b>		<b>Média</b>	<b>22,86</b>

## Quadro 2C

Valores de vazão máxima observados mediante análise probabilística ( $Q_{mo}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), vazões máximas estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{me}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados, para os períodos de retorno de 20 e 50 anos

Estações	20 anos			50 anos		
	$Q_{mo}$	$Q_{me}$	% dr	$Q_{mo}$	$Q_{me}$	% dr
Colonha	1096,04	611,721	44,18808	1278,89	670,955	47,53614
Praia Alta	639,8	474,973	25,76227	704,31	520,683	26,0719
Jacinto	1332,67	968,502	27,32619	1489,25	1062,8	28,63522
Proj. Rio Formoso	409,78	578,516	-41,1772	428,29	634,361	-48,1148
St. A. do Leveger	3214,88	4041,86	-25,7235	3496,28	4444,64	-27,1248
Ponte Rio Piranhas	80,03	107,34	-34,1247	86,86	117,79	-35,609
Jus. Rio Pintado	919,22	1269,17	-38,0703	995,32	1393,41	-39,9962
		<b>Média</b>	<b>33,77</b>		<b>Média</b>	<b>36,16</b>
Muricilândia	163,15	204,95	-25,62	177,63	222,53	-25,28
P. Colina de Goiás	58,41	76,73	-31,36	60,96	82,05	-34,60
Piraque	472,56	361,73	23,45	513,62	396,21	22,86
Arapoema	196,15	167,00	14,86	218,04	180,74	17,11
		<b>Média</b>	<b>23,82</b>		<b>Média</b>	<b>24,96</b>

### Quadro 3C

Valores de vazão máxima observados mediante análise probabilística ( $Q_{mo}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), vazões máximas estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{me}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados, para os períodos de retorno de 100 e 500 anos

Estações	100 anos			500 anos		
	$Q_{mo}$	$Q_{me}$	% dr	$Q_{mo}$	$Q_{me}$	% dr
Colonha	1412,49	712,606	49,54966	1713,17	802,484	53,15795
Praia Alta	747,98	552,997	26,06794	838,052	623,164	25,64137
Jacinto	1597,61	1128,38	29,37075	1827,11	1268,05	30,59805
Proj. Rio Formoso	441,09	673,66	-52,7262	468,19	758,536	-62,0146
St. A. do Leveger	3693,86	4715,84	-27,667	4119,03	5270,47	-27,9542
Ponte Rio Piranhas	92,11	125,49	-36,2393	104,57	143,012	-36,762
Jus. Rio Pintado	1046,38	1479,31	-41,3741	1150,58	1660,93	-44,3559
		<b>Média</b>	<b>35,57</b>		<b>Média</b>	<b>40,07</b>
Muricilândia	187,72	234,79	-25,07	209,28	260,99	-24,71
P. Colina de Goiás	62,64	85,72	-36,84	66,00	93,44	-41,58
Piraque	541,85	420,43	22,41	601,21	472,66	21,38
Arapoema	233,98	190,30	18,67	269,89	210,69	21,93
		<b>Média</b>	<b>25,75</b>		<b>Média</b>	<b>27,40</b>

### Quadro 4C

Valores de  $Q_{7,10}$ , observados mediante análise probabilística ( $Q_{7,10o}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), estimados pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{7,10e}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados para os períodos anual/seco e chuvoso

Estações	Anual ou seco			Chuvoso		
	$Q_{7,10o}$	$Q_{7,10e}$	% dr	$Q_{7,10o}$	$Q_{7,10e}$	% dr
Colonha	1,49	1,58	-6,15	12,25	13,11	-7,02
Praia Alta	0,69	1,15	-67,38	7,24	6,69	7,61
Jacinto	1,94	2,60	-34,12	21,02	27,07	-28,78
Proj. Rio Formoso	3,46	1,32	61,91	11,77	9,69	17,65
St. A. do Leveger	293,04	263,20	10,18	510,25	457,22	10,39
Ponte Rio Piranhas	0,87	0,77	11,59	8,57	8,52	0,59
Jus. Rio Pintado	2,85	3,95	-38,75	47,00	50,32	-7,07
		<b>Média</b>	<b>32,87</b>		<b>Média</b>	<b>11,30</b>
Muricilândia	3,46	3,35	3,18	10,56	11,02	-4,34
P. Colina de Goiás	0,48	0,46	4,29	1,61	1,88	-16,66
Piraque	10,95	10,57	3,49	26,54	30,65	-15,47
Arapoema	1,98	2,21	-11,82	10,71	7,62	28,85
		<b>Média</b>	<b>16,33</b>		<b>Média</b>	<b>5,70</b>

### Quadro 5C

Vazões médias observados nas séries históricas ( $\bar{Q}_o$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), estimados pelos modelos de regressão recomendados ( $\bar{Q}_e$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados

Estações	$\bar{Q}_o$	$\bar{Q}_e$	% dr
Colonha	109,40	114,01	-4,21
Praia Alta	83,44	87,90	-5,34
Jacinto	169,61	180,04	-6,15
Proj. Rio Formoso	102,98	107,14	-4,04
St. A. do Leveger	921,63	758,77	17,67
Ponte Rio Piranhas	25,21	21,72	13,84
Jus. Rio Pintado	203,82	237,00	-16,28
		<b>Média</b>	<b>9,65</b>
Muricilândia	30,76	34,00	-10,54
P. Colina de Goiás	10,36	10,01	3,41
Piraque	73,31	68,95	5,96
Arapoema	26,46	26,35	0,41
		<b>Média</b>	<b>5,08</b>

### Quadro 6C

Vazões associadas às permanências de 50, 90 e 95% observadas nas curvas de permanência ( $Q_{\%o}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{\%e}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados para o período anual

Estações	$Q_{50}$			$Q_{90}$			$Q_{95}$		
	$Q_{50o}$	$Q_{50e}$	% dr	$Q_{90o}$	$Q_{90e}$	% dr	$Q_{95o}$	$Q_{95e}$	% dr
Colonha	45,16	42,09	6,80	4,31	4,12	4,30	2,96	3,00	-1,41
Praia Alta	20,51	25,89	-26,22	1,76	1,90	-8,13	1,30	1,33	-2,28
Jacinto	85,99	76,01	11,61	7,01	9,92	-41,50	4,50	7,41	-64,80
Prj. Rio Formoso	41,99	34,55	17,71	5,01	2,95	41,02	4,16	2,10	49,52
St. A. Leveger	675,80	668,03	1,15	361,47	278,68	22,90	340,12	238,74	29,81
Pte Rio Piranhas	17,48	17,45	0,18	1,75	1,73	1,01	1,45	1,43	1,62
J. Rio Pintado	101,78	120,55	-18,44	13,45	20,41	-51,74	9,40	15,78	-67,84
		<b>Média</b>	<b>11,73</b>		<b>Média</b>	<b>24,37</b>		<b>Média</b>	<b>31,04</b>
Muricilândia	20,81	21,68	-4,17	6,15	6,36	-3,46	4,92	5,20	-5,75
P. C. de Goiás	4,77	5,07	-6,22	0,86	0,91	-6,29	0,70	0,74	-5,17
Piraque	47,79	50,23	-5,11	18,54	19,54	-5,38	15,55	16,12	-3,65
Arapoema	18,62	16,01	14,02	4,92	4,25	13,70	3,99	3,46	13,25
		<b>Média</b>	<b>7,38</b>		<b>Média</b>	<b>7,21</b>		<b>Média</b>	<b>6,96</b>

### Quadro 7C

Vazões associadas às permanências de 50, 90 e 95% observadas nas curvas de permanência ( $Q_{\%o}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{\%e}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados para o semestre seco

Estações	$Q_{50}$			$Q_{90}$			$Q_{95}$		
	$Q_{50o}$	$Q_{50e}$	% dr	$Q_{90o}$	$Q_{90e}$	% dr	$Q_{95o}$	$Q_{95e}$	% dr
Colonha	11,05	11,19	-1,24	2,92	3,06	-4,94	2,24	2,14	4,57
Praia Alta	5,57	6,02	-8,06	1,35	1,36	-0,70	0,75	0,88	-17,12
Jacinto	21,03	24,09	-14,55	4,30	7,58	-76,20	3,05	5,62	-84,23
Prj. Rio Formoso	11,31	8,73	22,78	4,22	2,15	49,12	3,12	1,44	53,92
St. A. Leveger	428,34	395,35	7,70	336,43	243,98	27,48	322,52	239,37	25,78
Pte Rio Piranhas	3,27	3,25	0,47	1,44	1,42	1,47	1,14	1,13	0,93
J. Rio Pintado	38,67	43,50	-12,48	10,91	16,12	-47,72	8,91	12,77	-43,34
		<b>Média</b>	<b>9,61</b>		<b>Média</b>	<b>29,66</b>		<b>Média</b>	<b>32,84</b>
Muricilândia	9,98	9,68	2,97	4,92	5,28	-7,35	4,16	4,49	-7,94
P. C. de Goiás	1,26	1,40	-10,86	0,69	0,72	-3,99	0,61	0,60	1,06
Piraque	26,53	29,67	-11,82	16,41	16,75	-2,08	14,78	14,33	3,05
Arapoema	7,78	6,47	16,87	3,97	3,48	12,25	3,06	2,96	3,42
		<b>Média</b>	<b>10,63</b>		<b>Média</b>	<b>6,42</b>		<b>Média</b>	<b>3,97</b>

### Quadro 8C

Vazões associadas às permanências de 50, 90 e 95% observadas nas curvas de permanência ( $Q_{\%o}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{\%e}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados para o semestre chuvoso

Estações	$Q_{50}$			$Q_{90}$			$Q_{95}$		
	$Q_{50o}$	$Q_{50e}$	% dr	$Q_{90o}$	$Q_{90e}$	% dr	$Q_{95o}$	$Q_{95e}$	% dr
Colonha	126,84	149,61	-17,95	39,67	40,56	-2,25	28,55	27,88	2,36
Praia Alta	99,23	107,17	-8,00	22,09	24,45	-10,68	13,99	15,88	-13,54
Jacinto	222,19	238,63	-7,40	65,90	72,86	-10,57	45,91	52,56	-14,49
Prj. Rio Formoso	193,47	133,15	31,18	43,91	32,72	25,48	29,41	21,85	25,72
St. A. Leveger	1322,04	1195,97	9,54	723,73	661,17	8,64	642,48	589,88	8,19
Pte Rio Piranhas	49,56	48,80	1,52	21,01	20,87	0,68	15,38	15,32	0,37
J. Rio Pintado	278,08	331,54	-19,22	99,08	117,10	-18,19	76,53	88,75	-15,97
		<b>Média</b>	<b>13,54</b>		<b>Média</b>	<b>10,93</b>		<b>Média</b>	<b>11,52</b>
Muricilândia	46,31	51,60	-11,43	20,08	21,27	-5,95	16,82	17,31	-2,93
P. C. de Goiás	15,15	14,99	1,09	4,87	5,28	-8,34	3,45	3,87	-12,13
Piraque	109,75	105,48	3,89	44,63	47,64	-6,74	36,98	41,18	-11,35
Arapoema	42,24	39,88	5,59	19,49	15,91	18,38	16,28	12,67	22,19
		<b>Média</b>	<b>5,50</b>		<b>Média</b>	<b>9,85</b>		<b>Média</b>	<b>12,15</b>

### Quadro 9C

Vazões associadas à regularização de 50 e 60% da vazão média, observadas nas curvas de regularização ( $Q_{reg,o}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{reg,e}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados

Estações	50%			60%		
	$Q_{reg,o}$	$Q_{reg,e}$	% dr	$Q_{reg,o}$	$Q_{reg,e}$	% dr
Colonha	53,46	55,70	-4,19	64,15	66,84	-4,19
Praia Alta	37,93	42,97	-13,27	45,52	51,56	-13,27
Jacinto	84,35	87,86	-4,16	101,22	105,43	-4,16
Proj. Rio Formoso	49,92	52,35	-4,87	59,90	62,82	-4,87
St. A. do Leveger	437,85	368,98	15,73	525,42	442,78	15,73
Ponte Rio Piranhas	12,60	10,65	15,47	15,13	12,78	15,47
Jus. Rio Pintado	106,13	115,58	-8,90	127,35	138,69	-8,90
		Média	9,51		Média	9,51
Muricilândia	15,38	17,36	-12,90	18,46	20,84	-12,90
P. Colina de Goiás	5,00	4,46	10,80	6,00	5,35	10,80
Piraque	38,62	38,10	1,34	46,34	45,72	1,34
Arapoema	14,02	13,08	6,70	16,82	15,70	6,70
		Média	7,94		Média	7,94

### Quadro 10C

Vazões associadas à regularização de 70 e 80% da vazão média, observadas nas curvas de regularização ( $Q_{reg,o}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{reg,e}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados

Estações	70%			80%		
	$Q_{reg,o}$	$Q_{reg,e}$	% dr	$Q_{reg,o}$	$Q_{reg,e}$	% dr
Colonha	74,84	77,98	-4,19	85,53	89,12	-4,19
Praia Alta	53,11	60,15	-13,27	60,70	68,75	-13,27
Jacinto	118,09	123,00	-4,16	134,96	140,57	-4,16
Proj. Rio Formoso	69,88	73,29	-4,87	79,86	83,76	-4,87
St. A. do Leveger	612,99	516,57	15,73	700,56	590,37	15,73
Ponte Rio Piranhas	17,65	14,92	15,47	20,17	17,05	15,47
Jus. Rio Pintado	148,58	161,81	-8,90	169,80	184,92	-8,90
		Média	9,51		Média	9,51
Muricilândia	21,53	24,31	-12,90	24,61	27,78	-12,90
P. Colina de Goiás	7,00	6,24	10,80	8,00	7,14	10,79
Piraque	54,07	53,34	1,34	61,79	60,96	1,34
Arapoema	19,63	18,31	6,70	22,43	20,93	6,70
		Média	7,94		Média	7,93



### Quadro 11C

Vazões associadas à regularização de 90 e 100% da vazão média, observadas nas curvas de regularização ( $Q_{reg\ o}$ ,  $m^3\ s^{-1}$ ), estimadas pelos modelos de regressão recomendados ( $Q_{reg\ e}$ ,  $m^3\ s^{-1}$ ) nas estações fluviométricas usadas na regionalização e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os valores estimados

Estações	90%			100%		
	$Q_{reg\ o}$	$Q_{reg\ e}$	% dr	$Q_{reg\ o}$	$Q_{reg\ e}$	% dr
Colonha	96,22	100,26	-4,19	106,91	111,39	-4,19
Praia Alta	68,28	77,34	-13,27	75,87	85,93	-13,27
Jacinto	151,83	158,14	-4,16	168,70	175,71	-4,16
Proj. Rio Formoso	89,85	94,23	-4,87	99,83	104,69	-4,87
St. A. do Leveger	788,14	664,16	15,73	875,71	737,96	15,73
Ponte Rio Piranhas	22,69	19,18	15,47	25,21	21,31	15,47
Jus. Rio Pintado	191,03	208,04	-8,90	212,25	231,15	-8,90
		Média	9,51		Média	9,51
Muricilândia	27,68	31,25	-12,90	30,76	34,73	-12,90
P. Colina de Goiás	9,00	8,03	10,78	10,00	8,92	10,78
Piraque	69,51	68,58	1,34	77,24	76,20	1,34
Arapoema	25,24	23,54	6,70	28,04	26,16	6,71
		Média	7,93		Média	7,93



**Av. João Davino, 186 - 1º andar**

**Mangabeiras - Maceió/AL**

**Tel.: (82) 3325 8489**

[www.gamaengenharia.com.br](http://www.gamaengenharia.com.br)