

# MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES EM COTAS BAIXAS DE REFERÊNCIA PARA O RIO TELES PIRES NA BACIA AMAZÔNICA

*Aldrei M. Veiga<sup>1</sup>; Denise Melo<sup>2</sup>; Francisco F. N. Marcuzzo<sup>3</sup>; Murilo Raphael Dias Cardoso<sup>4</sup>*

**RESUMO** – As metodologias de regionalização de vazão apresentam modelos que representam hidrológicamente uma bacia hidrográfica, visando suprir de informações lugares com carências de dados fluviométricos. O presente trabalho objetivou estudar os métodos de regionalização de vazão: Interpolação Linear; Chaves; Interpolação Linear Modificado; Chaves Modificado. Para desenvolvimento deste estudo foi coletado informações de duas estações fluviométricas instaladas próximas a cabeceira do Rio Teles Pires, na bacia amazônica, com uma série histórica de dados de 33 anos, sendo elas: Porto Roncador e Teles Pires a quais apresentam as áreas de drenagens de 10.800 km<sup>2</sup> e 13.900 km<sup>2</sup> respectivamente. Essas informações consistem nos valores de cotas e medições de descarga líquida, onde foram consistidas e traçadas a curva-chave das estações. A média aritmética dos valores de vazões obtidas pela curva de permanência de 95%, para as estações a Montante e a Jusante, resultou em um valor igual ao do método de Interpolação Linear. Os valores entre os métodos de Interpolação Linear com Interpolação Linear Modificado não apresentaram nenhuma diferença. O mesmo ocorreu entre os métodos de Chaves e Chaves Modificado. Comparados com a curva de permanência 95%, conclui-se que os melhores métodos foram em ordem decrescente: Interpolação Linear, Interpolação Linear Modificado, Chaves, Chaves Modificado.

**ABSTRACT** – The flow methods of regionalization presents models that represent a hydrological basin, in order to supply information to places in need of fluciometric data. The present study investigated methods of flow regionalization: Linear Interpolation; Chaves; Modified Linear Interpolation; Modifier Chaves. To develop this study information was collected from two gauging stations installed near the River Teles Pires headwaters, in the Amazon basin, with a 33 years of data, namely: Port Roncador and Teles Pires to show which areas of the drainage 10,800 km<sup>2</sup> and 13,900 km<sup>2</sup> respectively. This information consists of the values of shares and net discharge measurements, which were to consist and plotted the key curve on stations. The arithmetic average of values obtained by the flow curve at 95% for stations upstream and downstream, resulting in an amount equal to the Linear Interpolation Method. The values between the methods of Linear Interpolation and Linear Interpolation Modified presents no difference, the same methods presented between Chaves and Modifier Chaves. Compared with the 95% remaining flow curve, it is concluded that the best methods, in descending order, were: Linear Interpolation, Linear Interpolation Modified, Chaves, Modifier Chaves.

**Palavras-chave:** Curva de permanência, fluviometria, curva chave.

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup>, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – Ministério de Minas e Energia – Rua 148, nº485 - Setor Marista - CEP 74170-110, Tel.: (62) 3240-1426 – Goiânia/GO. aldreiveiga@cprm.gov.br .

<sup>2</sup> Eng<sup>a</sup>, Pesquisadora em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – Ministério de Minas e Energia – Rua 148, nº485 - Setor Marista - CEP 74170-110, Tel.: (62) 3240-1426 – Goiânia/GO. denisemelo@cprm.gov.br.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup>, Doutor, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – Ministério de Minas e Energia – Rua 148, nº485 - Setor Marista - CEP 74170-110, Tel.: (62) 3240-1426 – Goiânia/GO. franciscomaruzzo@cprm.gov.br.

<sup>4</sup> Acadêmico em Geografia, UFG (Universidade Federal de Goiás) – Caixa Postal: 131, Campus Samambaia (Campus II), Conjunto Itatiaia – CEP 74001-970. Tel.: (62) 3521-1000 – Goiânia/GO. muriloshinobi@gmail.com.

## 1 – INTRODUÇÃO

O princípio dos usos múltiplos foi instituído como uma das bases da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH. Os diferentes setores usuários de água passaram a ter igualdade no direito de acesso a esse bem. A única exceção, já estabelecida na própria lei, é que em situações de escassez, a prioridade de uso da água no Brasil é o abastecimento público e a dessedentação de animais. Os demais usos, tais como, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento industrial, turismo e lazer, dentre outros, não têm ordem de prioridade definida. Desde então, o crescimento da demanda por água para os mais variados usos fez crescer e tomar corpo o princípio dos usos múltiplos, gerando uma série de conflitos de interesses. Um problema que também ocorre com grande frequência em muitas regiões do mundo são as inundações, que resultam nos mais diversos tipos de prejuízos e na morte de milhares de pessoas por ano. Por outro lado, há regiões do mundo onde não há disponibilidade de água suficiente para atender às necessidades mínimas de vida de uma pessoa. O estudo da regionalização de vazão tem papel importante na mitigação da problemática acima exposta, pois é preciso conhecer a disponibilidade dos mananciais para poder disponibilizá-los aos setores consumidores, dando a preferência à quem é devido, bem como este conhecimento possibilita prevenir a população ribeirinha de uma possível inundação onde a região deve ser desocupada e realocada em local que não sofra com enchentes. É válido mencionar também que muitas vezes em uma bacia hidrográfica defronta-se, muitas vezes, com o problema de ausência ou insuficiência de dados que permitam a construção da série histórica de vazões, necessárias a avaliação da disponibilidade hídrica superficial. Nesses casos, requer-se a aplicação de técnicas de transferência de informações de outros locais climaticamente semelhantes para a bacia hidrográfica em questão, conhecida como regionalização.

Um benefício adicional da análise regional da informação é o de permitir o aprimoramento da rede de coleta de dados hidrológicos, à medida que a metodologia explora melhor as informações disponíveis e identifica as lacunas (TUCCI, 2002).

A regionalização consiste num conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou informações insuficientes. Esta técnica pode ser utilizada para melhor explorar as amostras pontuais, verificar a consistência das séries hidrológicas e identificar a falta de postos de observação. Os postos selecionados devem ter pelo menos cinco anos de dados. A amostra não é necessariamente representativa para séries curtas na vizinhança de cinco anos, mas o conjunto dos postos pode ser representativo do comportamento das vazões em estudo para a região (TUCCI, 2002; CHAVES *et al.*, 2002). No estudo de regionalização devem ser consideradas as características morfológicas e climáticas das bacias que mais explicam a distribuição da vazão e

sejam mais facilmente mensuráveis. Segundo Tucci *et al.* (1998), são usados, como características físicas, a área da bacia, o comprimento do curso d'água principal, a densidade de drenagem e a precipitação. Além dessas variáveis, pode-se incluir, também, o tempo de concentração e a altitude média da bacia. (SILVA *et al.*, 2003).

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para transferir informação espacialmente, buscando explorar ao máximo os dados disponíveis numa determinada área geográfica. Os estudos de regionalização desenvolvidos geralmente utilizam as vazões existentes, quando estas informações são representativas; no entanto, quando os dados são deficientes, a regionalização fica comprometida (OBREGON *et al.*, 1999; SIMMERS, 1984; MOSLEY, 1981).

Conforme citado por Amorim *et al.* (2005), o estudo realizado por Novaes (2005), não foram encontradas elevadas diferenças na aplicação dos cinco métodos de regionalização de vazões (tradicional, interpolação linear, interpolação linear modificado, CHAVES *et al.* (2002) ), tanto para as vazões mínimas com sete dias de duração e tempo de retorno de 10 anos (Q7,10), ou para a vazão com permanência de 95% (Q95%) e a vazão média de longa duração (Qmld).

No estudo realizado por Azevedo (2004), a melhor metodologia de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do Rio Paraná foi a baseada na utilização de equações de regressão regionais, com erro relativo médio de 13,58% e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe médio de 0,97.

Em seu estudo, AGRA *et al.* (2003) verificou que a metodologia proposta, de transferência espacial da informação hidrológica pelo método do coeficiente de escoamento era aplicá-la a pequenas bacias (Bacia do Rio Carreiro,RS), é alterado pela variável hidrológica "precipitação" altera significativamente os resultados em relação à metodologia da vazão específica e da regionalização elaborada pelo IPH/CEEE (Instituto de Pesquisas Hidráulicas / Companhia Estadual de Energia Elétrica). Uma vez que a precipitação é uma variável sensível nos resultados de regionalização para pequenas bacias, a metodologia do coeficiente de escoamento pode apresentar bons resultados na transferência de informações de médias bacias para pequenas bacias, desde que se faça uma boa caracterização da precipitação no local de estudos. Dessa forma, propõe-se que a metodologia seja aplicada a outras bacias, com disponibilidade de dados para pequenas áreas de modo a uma melhor avaliação da técnica proposta, considerando-se uma melhor representação espacial da precipitação média mensal.

Segundo Melo *et al.* (1995), com relação ao tipo de equação que gerou o melhor ajuste, verificou-se que, para a vazão média foi com o uso de equações do tipo potencial. Observou-se também que os melhores ajustes foram obtidos considerando-se uma única região como hidrologicamente homogênea. Para a vazão média, o modelo que incorporou as variáveis fisiográficas área de drenagem e densidade de drenagem e a climática precipitação média foi o que

apresentou melhor ajuste. Portanto, caso sejam verificadas modificações no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, recomenda-se o uso dos modelos que incorporam as variáveis representativas dessas mudanças e, que também apresentaram os melhores ajustes, para os valores de vazão média. Caso contrário, se for verificado que não houve mudanças na bacia hidrográfica, recomenda-se o uso dos modelos baseados nas variáveis usuais para a estimativa das vazões médias.

Conforme a argumentação acima, este trabalho objetiva dar subsídios técnicos ao entendimento de metodologias de regionalização de vazão com a utilização de técnicas simplificadas de regionalização hidrológica. Iniciando pelos registros diários e estudos das quantidades de chuva e vazão em estações pluviométricas e fluviométricas na cabeceira do Rio Teles Pires formador da bacia do Rio Tapajós, a partir dos quais são construídas as séries históricas anuais dessas variáveis posteriormente comparando resultados obtidos para a regionalização das séries históricas e suas estatísticas.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - Localização, divisão territorial municipal, população e clima das áreas de estudo

A área em estudo pertence à bacia 1, Região hidrográfica Amazônica, sendo uma sub-divisão desta, denominada de sub-bacia 17 (Figura 1).

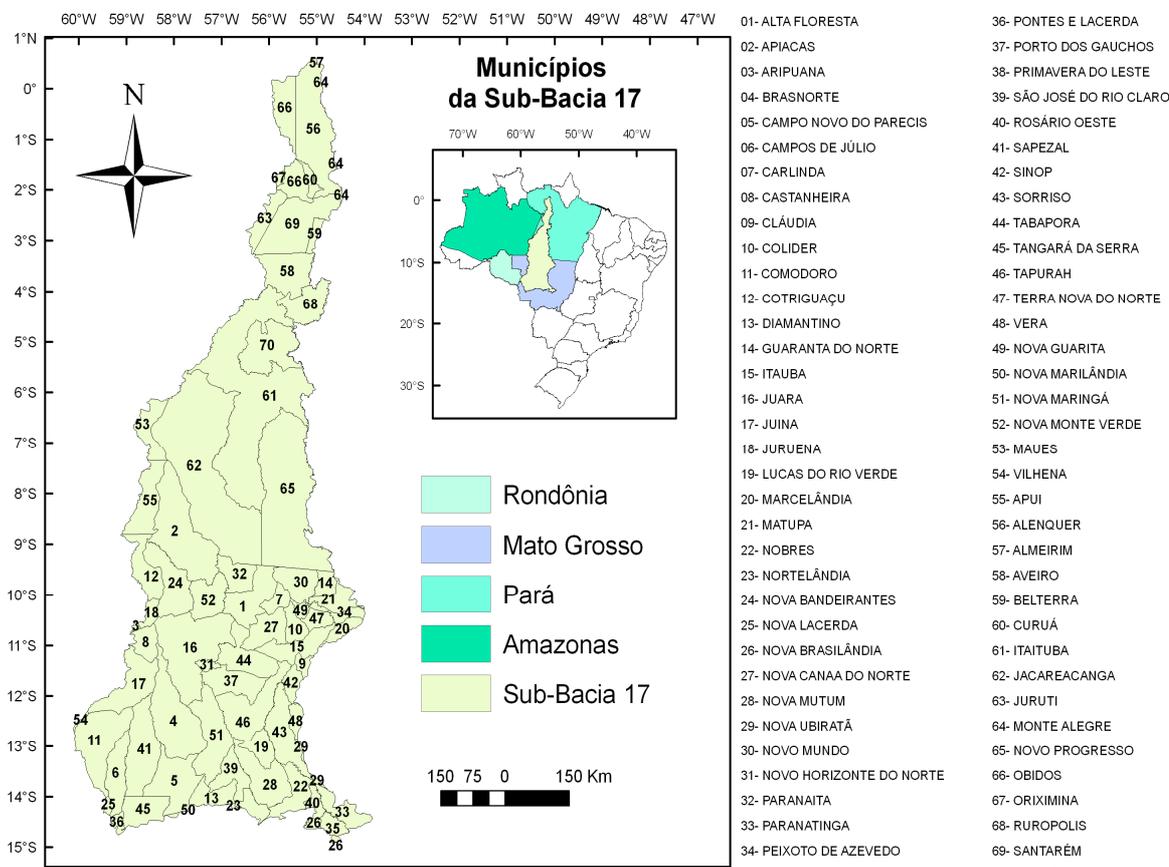


Figura 1 - Localização dos municípios na sub-bacia 17 (Fonte: IBGE, 2010).

Encontra-se totalmente situada na Amazônia Legal Brasileira, entre os paralelos 14°00' de latitude sul e 1°00' de latitude norte e os meridianos 54°00' e 60°00' de longitude oeste, compreendendo terras nos estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso

A sub-bacia 17 abrange 70 municípios dentro do estado do Pará e Mato Grosso, perfazendo um total de 1.980.922 habitantes e 997.332,30 km<sup>2</sup> de área dos municípios, onde 46% da população da sub-bacia encontra-se no estado do Pará e 54% no estado do Mato Grosso.

São encontradas na sub-bacia 17 duas tipologias climáticas, de acordo com a classificação de Köppen adaptado em Peel *et al.* (2007):

- Acima do paralelo 10°S é classificado como Am - clima de monções. É a designação dada aos ventos sazonais, em geral associados à alternância entre a estação das chuvas e a estação seca, que ocorrem em grandes áreas das regiões costeiras tropicais e subtropicais.

- Entre os paralelos 10°S e 20°S a classificação é Aw – clima tropical com estação seca, onde todos os meses do ano têm temperatura média mensal superior a 18°C, mas pelo menos um dos meses do ano tem precipitação média total inferior a 60 mm.

## **2.2 - Vegetação e uso do solo**

Tal como o relevo, a vegetação na região em estudo se apresenta muito diversificada de sul para norte, podendo-se perceber também uma variação do uso do solo ao longo da bacia do rio Tapajós, como será apresentado a seguir.

Ao sul da sub-bacia 17, a vegetação florestal recobre o Planalto dos Parecis e as Savanas na Chapada dos Parecis. A cobertura vegetal é de Floresta Estacional. Entretanto, nas áreas mais próximas das escarpas a sul, a cobertura vegetal é variável de gramíneas para Savana aberta, evidenciando-se nesta faixa uma tensão ecológica com a transição do domínio da Floresta-Amazônica para o domínio dos Cerrados típicos do Brasil Central.

No que se refere aos aspectos humanos e econômicos, a região se define por uma área de subpovoamento, onde a atividade econômica de maior destaque é o extrativismo em geral e secundariamente a agropecuária. Na Chapada dos Parecis os solos são aproveitados para a agricultura. A intensidade de uso está relacionada ao tipo de solo. Assim, toda a região sedimentar do Planalto dos Parecis está constituída por Latossolos e Areias Quartzosas, onde basicamente há três tipos de uso, que são: pastagem, lavoura e exploração de madeira. No lado oeste do planalto, onde predominam as areias quartzosas, o uso se restringe à pastagem com o aproveitamento das espécies nativas que compõem o estrato graminoso das Savanas. E na porção nordeste, nas bacias dos altos rios Teles Pires e Arinos, com vegetação de Floresta, a economia está em grande parte relacionada à exploração de madeira, exceto algumas áreas ao norte do estado e ao longo das rodovias, onde são encontradas lavouras, respectivamente, de café e arroz.

### 2.3 - Hidrografia

A sub-bacia 17 compreende o trecho da região hidrográfica Amazônica cujo principal rio é o Tapajós, que é formado pelos rios Juruena e São Manuel ou Teles Pires. Possui aproximadamente 648.207 km<sup>2</sup> de área de drenagem e deságua no rio Amazonas pela margem direita. A Figura 2 mostra as principais drenagens da sub-bacia.

Os vários afluentes do Rio Tapajós, onde foram avaliadas estações fluviométricas, serão descritos a seguir.

O Rio Juruena nasce na Chapada dos Parecis, no município de Vila Bela da Santíssima Trindade, estado de Mato Grosso. Seus principais afluentes pela margem direita são: os rios Arinos, do sangue, Papagaio, São João da Barra e São Tomé, e pela margem esquerda os rios: Juína, Camaré, Urugatos e Bararati.

O Rio Teles Pires ou São Manoel nasce na Serra Azul, município de Chapada dos Guimarães, estado de Mato Grosso. São seus afluentes pela margem direita os rios: Caiapó, Tabatinga, Parado, Peixoto de Azevedo e Cururu-Açú, e pela margem esquerda os rios: Verde, Paranaíba, Apiaça e Santa Rosa.

O Rio Peixoto de Azevedo nasce próximo à Serra Formosa, no município de Peixoto de Azevedo, estado de Mato Grosso, sendo afluente do Rio Teles Pires pela margem direita. Seus afluentes mais expressivos são: pela margem direita os rios Peixotinho Primeiro, Peixotinho Segundo e Braço Norte, e pela margem esquerda os rios do Pombo e Braço Dois.

O Rio Arinos nasce na Serra Cuiabazinho, no município de Nobres, estado de Mato Grosso, desaguando no Rio Juruena pela margem direita. Recebe os seguintes afluentes: pela margem direita os rios Novo, dos Patos, Marapé, São Venceslau, São Miguel e dos Peixes, e pela margem esquerda os rios Claro, Alegre ou Parecis, Tomé de França e Manoel Gomes.

O Rio dos Peixes nasce próximo à Serra dos Caiabis, no município de Porto dos Gaúchos, estado de Mato Grosso, desaguando no Rio Arinos pela margem direita. Seus principais afluentes são: pela margem direita o Ribeirão Macaco e pela esquerda o Rio Batelão, o Rio Piau e o Córrego Jaú.

O Rio do Sangue nasce no município de Nova Maringá, no estado de Mato Grosso, servindo de divisa entre este município e Brasnorte. É um dos principais afluentes pela margem direita, do Rio Juruena.

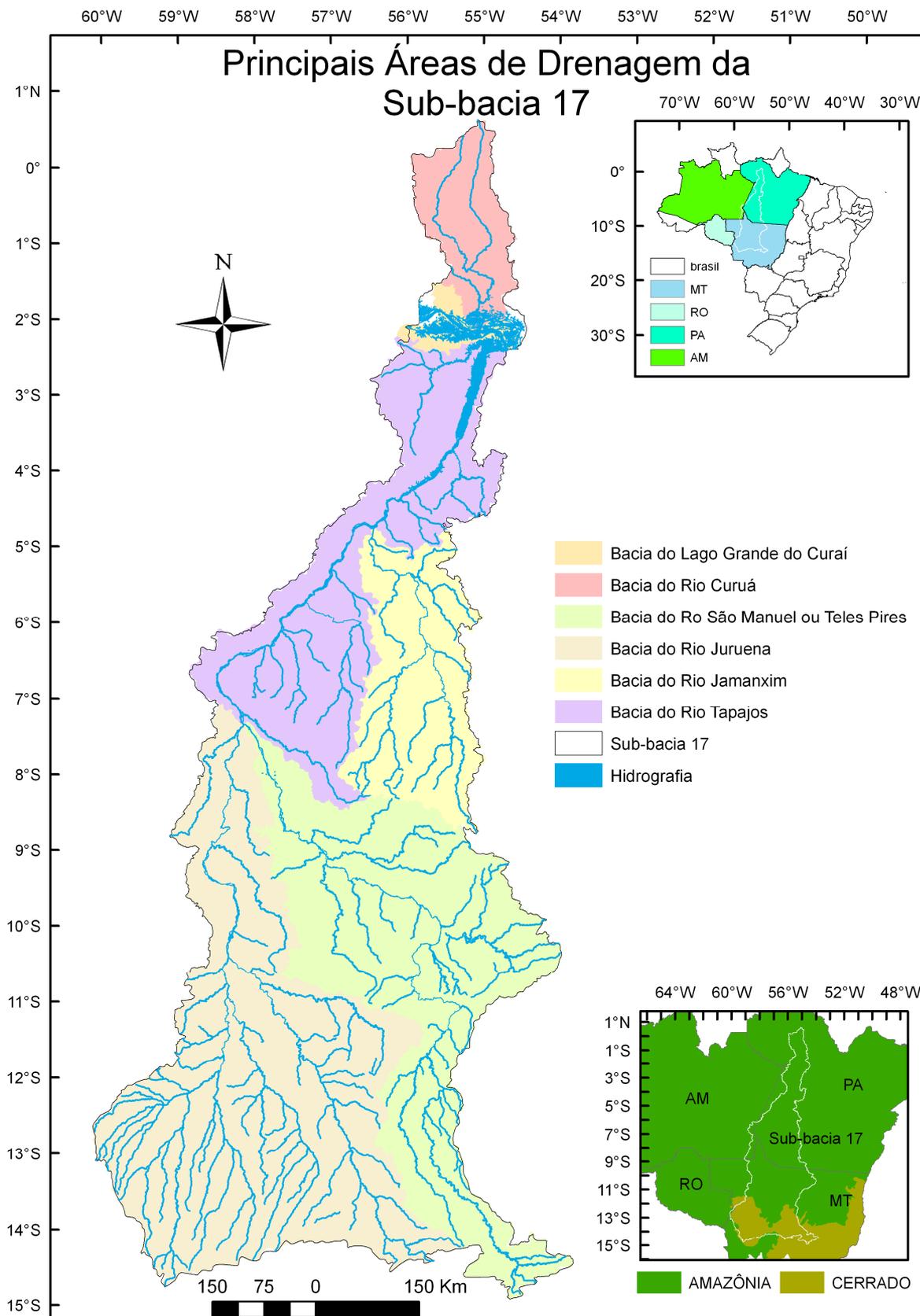


Figura 2 - Principais áreas de drenagem da sub-bacia 17.

O Rio Sacre nasce no município de Tangará da Serra, no estado de Mato Grosso. Seus principais afluentes são: o Rio Verde pela margem direita e o Córrego Buriti pela margem esquerda. deságua no Rio Papagaio, que é afluente do Rio Juruena pela margem direita.

O Rio Verde nasce na Serra Azul, no município de Nobres, estado de Mato Grosso. Recebe pela margem direita o Ribeirão José Galdino e pela margem esquerda os Ribeirões: Ranchão, do Cedro e o Rio Branco. Deságua no Rio Teles Pires pela margem esquerda.

O Rio Braço Sul nasce na Serra do Cachimbo, no município de Novo Progresso, no estado de Mato Grosso. É afluente do rio Braço Norte pela margem esquerda.

O Rio Braço Norte nasce na Serra do Cachimbo, no município de Novo Progresso, no estado de Mato Grosso. Seus principais afluentes são: pela margem direita o Rio Formiga e pela esquerda o Rio Braço Sul.

O Rio Tapajós, afluente da margem direita do Rio Amazonas, é formado no planalto central brasileiro, pela confluência dos rios Juruena e São Manoel ou Teles Pires, sendo navegável desde sua foz até a localidade de São Luiz, próximo à cachoeira do Maranhão.

O Rio Amazonas nasce na Cordilheira dos Andes (território peruano), atravessa no sentido oeste-leste dos estados do Amazonas e Pará e desemboca no Oceano Atlântico.

O Rio Curuá vem da Serra do Tumucumaque com nome de Curuapanema, recebendo pela margem direita os rios Mamiá e Cuminapanema e pela margem esquerda os Igarapés Recreio, Maçaranduba e do Inferno.

## **2.4 – Regime Pluviométrico**

Os totais pluviométricos anuais variam de 1.500 mm, ao sul da bacia e no trecho próximo à foz do Rio Tapajós, com os valores crescendo até 2.600 mm, do centro a leste e ao norte, já no estado do Pará, como mostra a Figura 3.

O regime pluviométrico é típico das regiões de clima tropical, com a ocorrência dos valores mensais máximos no período de verão e dos mínimos no inverno.

O trimestre mais chuvoso corresponde aos meses de janeiro a março com valores entre 650 a 1.000 mm. O trimestre mais seco corresponde aos meses de julho a setembro com valores crescendo de sul a norte, entre 75 e 475 mm.



- Linigramas disponíveis;
- Fichas descritivas e croquis de localização das estações;
- Fichas de inspeção de campo;
- Seções transversais das estações;
- Gráficos em Excel contendo as curvas chave e medições de descarga existentes;
- Gráficos em Excel contendo os perfis transversais;
- Históricos das estações;
- Cartas planialtimétricas da bacia e/ ou bases digitalizadas.
- Coordenadas atualizadas das estações em operação e desativadas;
- Fotos das estações.

#### *2.5.3 – Criação de banco de dados*

Deverá conter toda a série histórica disponível de dados de cotas e vazão (dupla leitura e médias diárias), resumos das medições de descarga, perfis, dados pluviométricos e curvas chave existentes;

#### *2.5.4 – Avaliação inicial das séries de vazões constantes do banco de dados*

Avaliação, através do Sistema de Análise de Dados Hidrológicos – SiADH, das séries de vazões constantes do banco de dados, identificando, por curso d'água, a ocorrência de falhas, incrementais negativos e períodos ou faixas de vazões que apresentem distorções e desproporcionalidades gráficas entre as estações analisadas.

Deverão ser analisados, além dos incrementais, os cotogramas diários, os hidrogramas (vazões e vazões específicas diárias e mensais), as curvas de permanência de vazões e de vazões específicas, as curvas vazões específicas para as diversas permanências versus área de drenagem.

#### *2.5.5 – Análise das medições de descarga*

As medições de descarga deverão ser plotadas em gráfico bilog utilizando planilhas de cálculo (.xls). Se for verificada a ocorrência de distorções, as mesmas deverão ser analisadas e, caso identificadas as possíveis causas, corrigidas.

#### *2.5.6 – Análise das curvas de descarga existentes*

Todas as curvas chave já definidas pelos estudos de consistência anteriores deverão ser analisadas, verificando-se, a partir da análise das medições de descarga e dos perfis, os respectivos períodos de validade, a distribuição dos desvios com relação às medições e os segmentos extrapolados.

### 2.5.7 - Geração e análise de vazões

A partir da análise e revisão das curvas existentes e definição das novas curvas relativas aos períodos mais recentes, serão geradas novas vazões, que passarão por uma nova análise através dos sistemas HIDRO e SiADH, que irão permitir o preenchimento de falhas, bem como avaliar se as alterações efetuadas geraram os resultados esperados em nível diário e mensal.

## 2.6 – Aplicação dos métodos de regionalização de vazão

### 2.6.1 – Método baseado na Interpolação Linear

Esse método é descrito pela ELETROBRÁS (1985), a qual obtém as vazões relativas à seção de interesse utilizando as vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas. Assim, quando a seção de interesse encontra-se entre dois postos fluviométricos a vazão na seção de interesse é igual à vazão na seção de montante mais um incremento da vazão proporcional ao aumento da área de drenagem entre a estação de montante e a de jusante. Quando isto não acontece, ou seja, a seção de interesse está a montante ou a jusante de apenas um posto fluviométrico considera-se que a vazão específica das duas seções é igual, porém o autor recomenda que a aplicação desta metodologia somente deve ser feita quando a diferença das áreas de drenagem das duas seções analisadas é inferior a três vezes uma em relação a outra (ELETROBRÁS, 1985).

Tal método é baseado no princípio de que a vazão na seção de interesse é obtida por uma relação de proporcionalidade entre as vazões e áreas de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos. O método não necessita de definição de regiões hidrologicamente homogêneas, sendo, portanto, utilizadas as mesmas equações ao longo de toda a bacia hidrográfica.

O método apresenta quatro situações distintas, dependendo da posição da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos. Assim, quando a seção de interesse está situada a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um posto com vazão conhecida, a vazão de interesse é estimada pela equação 1. Já quando a seção de interesse está situada num trecho de rio entre duas estações fluviométricas (caso 3), a vazão desconhecida é estimada pela equação 2.

$$Q_z = \left( \frac{Q_{mj}}{A_{mj}} \right) A_z \quad (1)$$

$$Q_z = Q_m + \left( \frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (2)$$

em que,  $Q_z$  é a vazão na seção de interesse,  $m^3 s^{-1}$ ;  $Q_{mj}$  = vazão no posto de montante ou de jusante,  $m^3 s^{-1}$ ;  $Q_m$  = vazão no posto de montante,  $m^3 s^{-1}$ ;  $Q_j$  = vazão no posto de jusante,  $m^3 s^{-1}$ ;  $A_z$  = área de drenagem na seção de interesse,  $km^2$ ;  $A_{mj}$  = área de drenagem do posto de montante ou de jusante,  $km^2$ ;  $A_m$  = área de drenagem do posto de montante,  $km^2$ ;  $A_j$  = área de drenagem do posto de jusante,  $km^2$ .

A quarta situação (caso 4) é quando a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Neste XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

caso aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 2) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplicou-se a equação 1 para estimar a vazão na seção de interesse.

### 2.6.2 – Método proposto por Chaves

Também com a finalidade de propor um método que seja condizente com a realidade da maioria das bacias hidrográficas brasileiras, CHAVES *et al.* (2002) desenvolveram metodologia de interpolação e extrapolação de vazões mínimas a qual apresenta soluções que dependem da posição relativa da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos, sendo as variáveis utilizadas para a estimativa das vazões nas seções de interesse a área de drenagem e as distâncias entre a seção de interesse e o posto fluviométrico considerado.

Tal método também apresenta quatro situações distintas, dependendo da localização da seção de interesse em relação às seções de vazão conhecida, sendo que as áreas de drenagem e as distâncias entre as seções analisadas foram as variáveis independentes para o cálculo da vazão desconhecida.

Assim, quando a seção de interesse está situada a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um posto fluviométrico a metodologia é a mesma da interpolação linear, sendo, portanto, a vazão na seção de interesse calculada pela equação 1. Já quando a seção de interesse está situada num trecho de um rio entre duas estações fluviométricas (caso 3) a vazão desconhecida é estimada pela equação

$$Q_z = Az \left[ \left( pm \frac{Q_m}{A_m} \right) + \left( pj \frac{Q_j}{A_j} \right) \right] \quad (3)$$

$$pm = \left( \frac{dj}{dm+dj} \right) \quad (4)$$

$$pj = \left( \frac{dm}{dm+dj} \right) \quad (5)$$

em que,  $pm$  = peso relativo à estação de montante, adimensional;  $pj$  = peso relativo à estação de jusante, adimensional;  $dm$  = distância entre o posto de montante e a seção de interesse, km;  $dj$  = distância entre o posto de jusante e a seção de interesse, km.

A quarta situação (caso 4) é quando a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Neste caso aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 3) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplicou-se a equação 1 para estimar a vazão na seção de interesse.

### 2.6.3 – Método da Interpolação Linear Modificado

Conforme descrito, o método baseado na interpolação linear considera que a vazão na seção de interesse é uma proporcionalidade entre as áreas de drenagem da seção de interesse e os postos fluviométricos mais próximos. Considerando que pelo processo físico de formação das vazões estas são mais dependentes dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem, propôs-se a XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

modificação desta metodologia. Tal modificação consiste em inserir a variável precipitação média no método proposto, considerando assim que a vazão na seção de interesse é também proporcional à relação entre os volumes precipitados. Desta forma, as equações 1 e 2 utilizadas no método baseado na interpolação linear passam a ser expressas pelas equações 6 e 7, respectivamente.

$$QZ = \left( \frac{Qmj}{Pmj Amj} \right) (Az Pz) \quad (6)$$

$$QZ = Qm + \left( \frac{(Az Pz) - (Am Pm)}{(Aj Pj) - (Am Pm)} \right) \times (Qj - Qm) \quad (7)$$

em que, Pmj = precipitação média anual na área de drenagem do posto de montante ou de jusante, mm; Pz = precipitação média anual na área de drenagem do posto da seção de interesse, mm; Pm = precipitação média anual na área de drenagem do posto de montante, mm; Pj = precipitação média anual na área de drenagem do posto de jusante, mm. Para a situação em que a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior, aplicou-se o mesmo procedimento do método original, porém usando as novas equações propostas neste método.

#### 2.6.4 – Método Chaves Modificado

Tal método é baseado no mesmo princípio utilizado pela proposição do método da Interpolação Linear Modificado, ou seja, considerando o processo físico de formação das vazões estas são mais dependentes dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem. Assim, o método Chaves modificado consiste em inserir a variável precipitação média no método proposto por Chaves *et al.* (2002), sendo a vazão obtida na seção de interesse proporcional ao volume precipitado nas áreas analisadas. Desta forma, as equações 1 e 3 utilizadas no método de Chaves *et al.* (2002) passam a ser expressas pelas equações 6 e 8, respectivamente.

$$QZ = (Az Pz) \left[ \left( pm \frac{Qm}{Am Pm} \right) + \left( pj \frac{Qj}{Aj Pj} \right) \right] \quad (8)$$

Para a situação em que a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior, aplicou-se o mesmo procedimento do método original, porém usando as novas equações propostas neste método.

Para a aplicação das metodologias interpolação linear, Chaves *et al.* (2002), Interpolação Linear Modificado e Chaves Modificado, procedeu-se a estimativa das vazões nas seções correspondentes a cada um dos quatro postos fluviométricos estudados utilizando estas quatro metodologias visando a comparação do resultado obtido pelos procedimentos destas metodologias com os próprios valores estimados com base nas séries históricas. Para tanto, primeiramente observou-se no mapa da bacia a posição dos postos fluviométricos mais próximos à seção de interesse, sendo então procedido o enquadramento em uma das quatro situações previstas nos métodos.

### 2.5.9 - Dados pluviométricos

Os dados de chuva média foram obtidos do Atlas Pluviométricos do Brasil, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, localizando-se a seção de interesse no mapa, verifica-se em quais isolinhas está inserido. Faz a média aritmética das isolinhas e adota-se o valor obtido.

### 2.5.10 – Curva de permanência de 95%

Pelo programa HidroWeb, de domínio da Agência Nacional de Águas - ANA, os dados de medição de descarga líquida foram extraídos das estações Porto Roncador (código ANA: 17200000) e Teles Pires (código ANA:17210000). No programa Hidro 1.2 é obtido os dados da curva de permanência.

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir são divididos da seguinte forma: Construção do Diagrama Unifilar (Figuras 4 e 5); Aplicação dos métodos: - Interpolação Linear, - Chaves, - Interpolação Linear Modificado, - Chaves Modificado, - Curva de Permanência a 95% gerada pelo programa HIDRO; Comparação entre os métodos de regionalização de vazão proposto e a curva de permanência.

Foi escolhido uma seção para o estudo (seção de interesse) localizado próximo a cabeceira do Rio Teles Pires, a qual está equidistante das estações Porto Roncador e Teles Pires.

### 3.1 - Resultados preliminares

#### 3.1.1- Curva de Permanência de 95% e Área de Drenagem

Observa-se na Tabela 1 que a vazão obtida pela curva de permanência para a estação Teles Pires foi maior que para a estação Porto Roncador devido a área de drenagem também ser maior.

Tabela 1- Q curva de permanência e área de drenagem

Parâmetro	Q <sup>1</sup> Curva Permanência	Área de Drenagem
	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	km <sup>2</sup>
Porto Roncador	50,2	10.800
Teles Pires	96,1	13.900
Seção de estudo	-	12.350

<sup>1</sup> Vazão obtida pela curva de permanência.

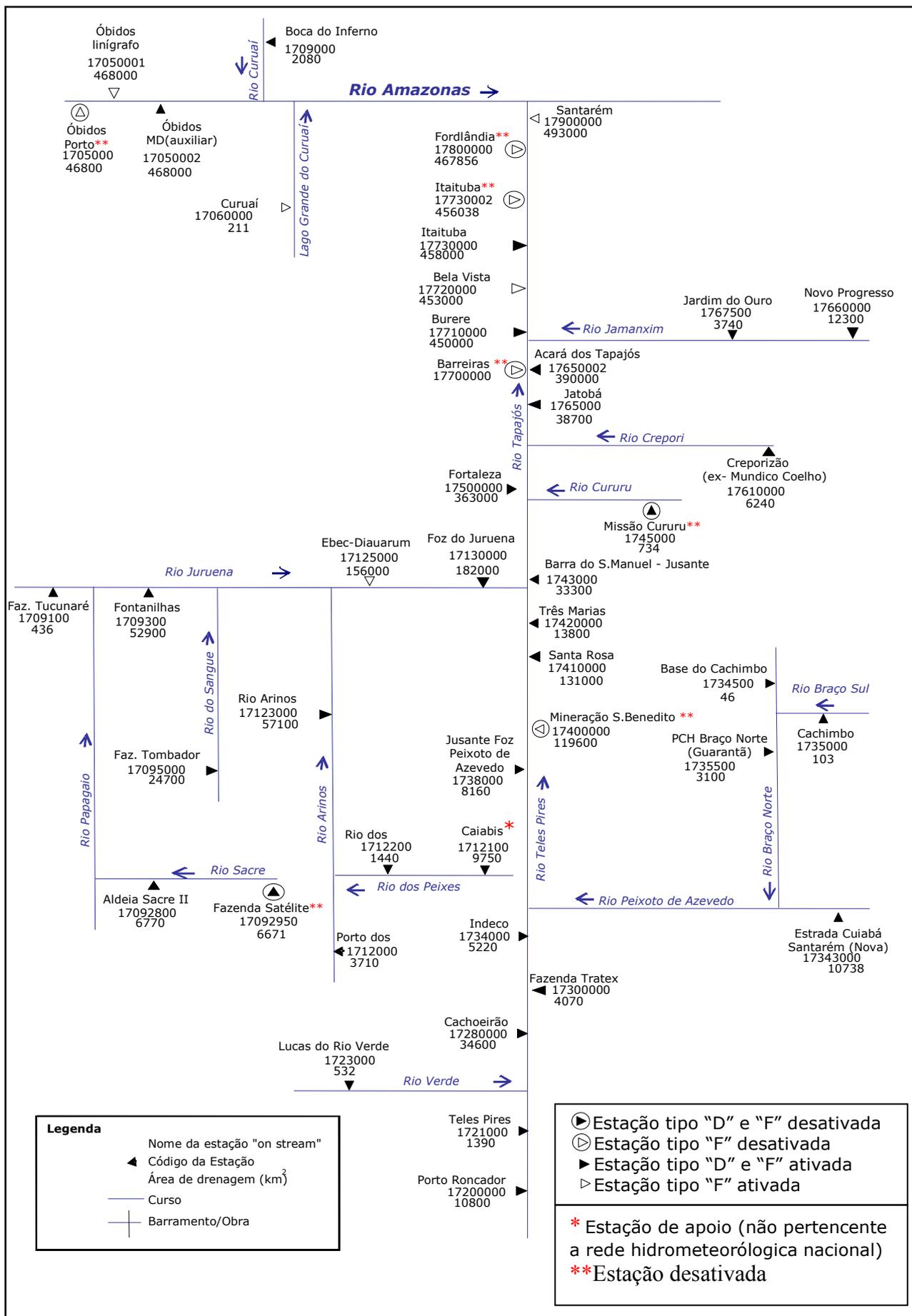


Figura 4 – Diagrama Unifilar da sub-bacia 17.

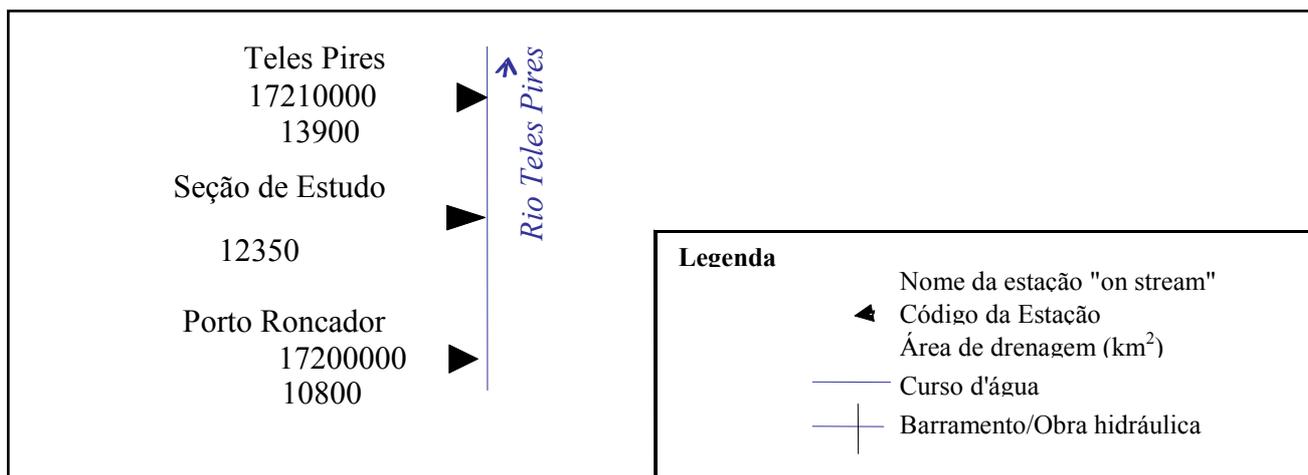


Figura 5 – Diagrama Unifilar das estações do estudo.

### 3.1.2- Métodos de regionalização de Vazão

No método de Interpolação Linear, leva em consideração a vazão das estações a Montante e a Jusante, bem como suas respectivas áreas de drenagens e da seção de interesse, que foram obtidas pelo banco de dados do Inventário da Agência Nacional de Águas - ANA.

A diferença entre os métodos Interpolação Linear Modificado e o Interpolação Linear está na utilização das precipitações médias das estações Porto Roncador e Teles Pires.

Chaves *et al.* (2002) em seus estudos consideraram os mesmos parâmetros que do método descrito acima, porém com outra fórmula matemática e além disso atribuiu um peso para as estações a Montante e a Jusante os quais estão baseados nas distancias dessas com a seção de interesse.

O que difere o método Chaves Modificado com Chaves *et al.* (2002) está na consideração que o primeiro traz com as precipitações médias das estações a Montante e a Jusante da seção de estudo

Constata-se na Tabela 2 que o método Interpolação não houve diferença com o método Interpolação Linear Modificado bem como não apresentou diferença entre os métodos Chaves e Chaves Modificado.

Tabela 2 - Métodos de regionalização de vazão aplicados para a seção de estudo.

Parâmetro	Interpolação Linear	Chaves	Interpolação Linear Modificado	Chaves Modificado
	----- m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> -----			
Seção de estudo	73,15	71,39	73,15	71,39

### 3.1.3 - Comparação entre os métodos

Na Figura 6 está ilustrado a comparação entre os métodos estudados.

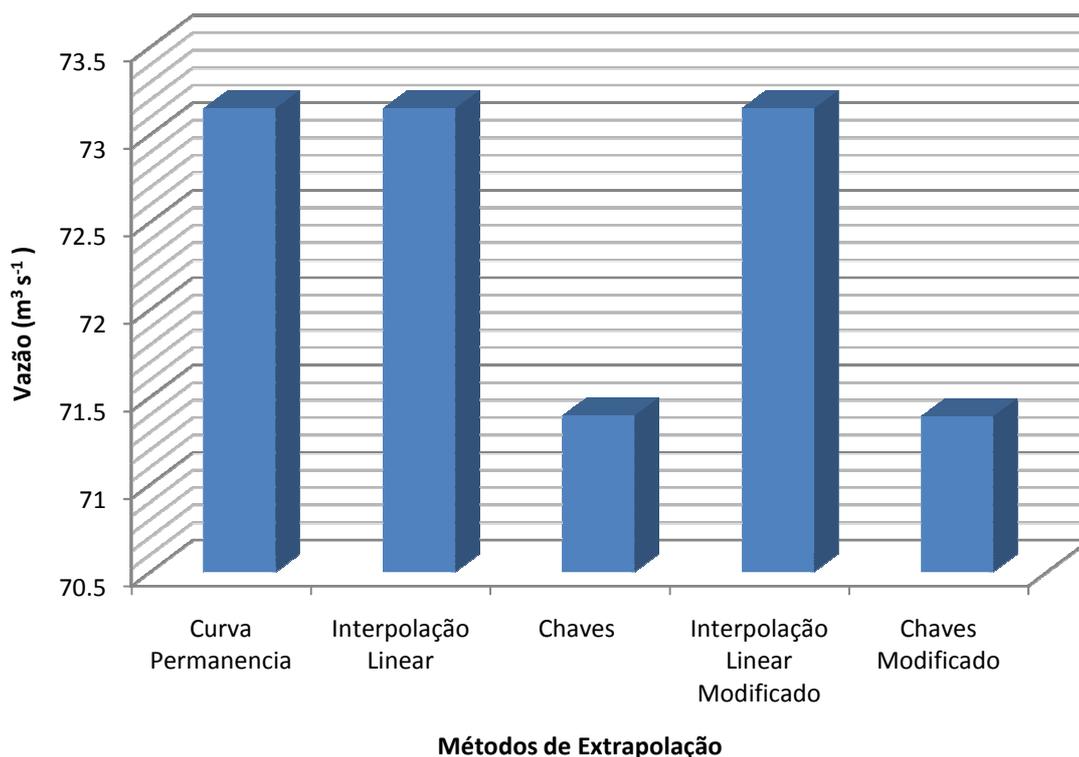


Figura 6 - Comparação entre os Métodos de Extrapolação e a Curva de Permanência a 95%.

#### 4 – CONCLUSÕES

Este estudo de regionalização de vazões é aplicado muito bem a seção de interesse, ao se fazer a média aritmética dos valores de vazões obtidas pela curva de permanência de 95% para as estações a Montante e a Jusante, observou-se que o valor obtido foi igual ao do método de Interpolação Linear, o que conclui é que de montante a jusante não há nenhuma contribuição hídrica ao curso d'água.

Considerando que a seção de interesse é equidistante as estações Porto Roncador e Teles Pires, os valores entre os métodos de Interpolação Linear com Interpolação Linear Modificado, não houve nenhuma diferença, o mesmo apresentou entre os métodos de Chaves e Chaves Modificado.

Os métodos aplicados apresentam valores muito próximos uns dos outros, com uma pequena diferença de 2% entre os métodos de Interpolação Linear e Chaves e não há diferença nos resultados apresentados pela Curva de Permanência de 95% e Interpolação Linear.

Comparados com a curva de permanência 95%, conclui-se que os melhores métodos foram em ordem decrescente: Interpolação Linear, Interpolação Linear Modificado, Chaves, Chaves Modificado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

AGRA, S.G.; SOUZA, V.C.B.; NEVES, M.G.F.P.; CRUZ, M.A.S. (2003) “*Método de regionalização de vazão: estudo comparativo na bacia do rio Carreiro-RS*” in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos-ABRH. Curitiba-PR, 2003.

ALYNE, S. P. (2003) “*Análise de Regionalização de Vazão Máxima para Pequenas Bacias Hidrográficas*”. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (área de concentração de Recursos Hídricos). Campinas-SP, 2003.

AMORIM, E.L.C.; NETTO, A.P.O.; MENDIONDO, E.M. (2005) “*Estudo de métodos para regionalização de vazão*”. in Anais do: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos-ABRH. São Paulo-SP, 2005.

AZEVEDO, A. A.(2004) “*Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do Rio Paraná*”. 2004. 116 p. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CHAVES, H. M. L., ROSA, J. W. C., VADAS, R. G., OLIVEIRA, R. V. T.(2002) “*Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informações Geográfica*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.7, n. 3, 2002. p. 43-51.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Ministério de Minas e Energia (2011). “*Dados do Atlas Pluviométrico do Brasil*” Disponível em <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em 16 jun. 2011.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A.(1985) *Manual de minicentrals hidrelétricas*. Rio de Janeiro-RJ, 231p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Brasil (2008). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 10/05/2011.

MELO, D.C.R.; PAIXÃO, K,V.(1992) “*Regionalização de vazões médias para a bacia hidrográfica do Alto Araguaia*”.in Anais do II Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos-ABRH. Campo Grande-MS, 1992.

MOSLEY, M. P.(1981). “*Delimitation of New Zealand hydrologic regions*”. *Jornal of Hydrology*, v. 49, p. 173-192, 1981.

NOVAES, L. F. (2005)“*Modelo para quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu*”. 116 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2005.

- OBREGON, E.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A.(1999) “*Regionalização de vazões com base em séries estendidas: bacias afluentes à lagoa Mirim, RS*”, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte-MG, v. 4, n. 1, 1999, p. 57-75.
- PEEL, MC;, FINLAYSON, B.L; MCMAHON, T.A.(2007) “*Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol*”. Earth Syst. Sc., 2007.
- SILVA, B. C., TIAGO FILHO, G. L., SILVA, A. P. M., de PAULO, R. G. F. (2003) “*Regionalização de vazões na bacia do Rio Grande*”. in: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003.
- SIMMERS, I. (1984) “*A systematic problem-oriented approach to hydrological data regionalisation.*” Journal of Hydrology, v. 73, 1984, p. 71-87.
- TUCCI, C. E. M. *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. p. 669.
- TUCCI, C. E. M.(2002) *Regionalização de Vazões*. 1ª ed. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002. 256p.