

CARACTERIZAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA E COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

Sabrina Kodjaoglanian Martins MOLINA¹, Isabel Kaufmann de ALMEIDA¹, Jorge Luiz STEFFEN¹, Teodorico ALVES SOBRINHO¹

(1) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Cidade Universitária, CEP 79070-900. Campo Grande, MS. Endereços eletrônicos: sabrinakmmolina@gmail.com; isabel.almeida@ufms.br; jorgeluizsteffen@gmail.com; teodorico.alves@ufms.br.

Introdução
Materiais e Métodos
Área de estudo
Análise e seleção de dados
Regionalização Hidrológica de vazões mínimas
Metodologia baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente SIG
Metodologia baseada na vazão específica
Metodologia de conservação de massas (continuidade de vazões)
Avaliação das metodologias
Resultados e Discussão
Comportamento pluviométrico
Comportamento fluviométrico
Vazões de referência
Comparação entre metodologias
Conclusão
Referências Bibliográficas

RESUMO - Neste trabalho procedeu-se à caracterização da disponibilidade hídrica, tendo como referência de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Amambai, tributário do Rio Paraná, localizada em Mato Grosso do Sul. Para tanto, estudaram-se as precipitações médias anual e mensal, contribuição potencial e real para os afluentes diretos do rio principal, coeficiente de deságue, bem como as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} . Fez-se a regionalização de vazões mínimas com base em três metodologias distintas: utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), vazão específica e conservação de massas. Constatou-se no estudo que as precipitações e vazões específicas médias diminuem da nascente para a foz da bacia. Pode-se concluir que: a Q_{95} , para os períodos anuais, é a vazão de referência mais adequada para regionalização de vazões mínimas na bacia; o método de regionalização baseado na conservação de massas é o que melhor representa o comportamento das vazões mínimas em bacias com escassos registros hidrológicos.

Palavras-chave: Recursos hídricos; precipitação; vazões de referência.

ABSTRACT - This paper presents a characterization of the water availability in the Amambai River basin, tributary of the Paraná River, located in state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Therefore we studied the average annual and monthly rainfall and the potential and real contribution to the tributaries of the main river, outflow coefficient, as well as the minimum stream flow $Q_{7,10}$, Q_{90} and Q_{95} . The minimum stream flows were regionalized based on three different methodologies: use of automatic techniques of interpolation and extrapolation in the Geographic Information Systems (GIS) environment, specific discharge and mass conservation. We noted that the rainfall and mean specific discharge diminish of the river head to the mouth of the basin. We can conclude that the Q_{95} , for annual periods, is the reference flow more suitable for low flows regionalization in the basin; the regionalization method based on mass conservation is the best for represent the minimum flows's behavior in basins with few hydrologic records.

Keywords: Water resource; precipitation; reference flow.

INTRODUÇÃO

A água é recurso limitado e insubstituível à manutenção da vida na Terra. O conhecimento da disponibilidade hídrica no âmbito da bacia hidrográfica é informação fundamental em estudos hidrológicos. Pereira et al. (2007) consideram que a determinação das características hidrológicas da bacia hidrográfica é de grande importância para o aproveitamento otimizado de suas águas, possibilitando identificar as áreas em que esse recurso é ou poderá ser escasso. A

disponibilidade dos recursos hídricos é representada pelas vazões médias e mínimas, sendo seu conhecimento imprescindível para um melhor planejamento e gestão dos referidos recursos (Novaes et al., 2009 a). De acordo com Salgueiro & Montenegro (2008), o estudo quantitativo da variabilidade espacial deve ser compreendido para o eficiente planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Oliveira & Fiorenze (2011) atentam quanto à importância em se observar a variação sazonal

do regime hidrológico natural dos rios, que ocorre de acordo com a distribuição da pluviosidade. Conforme Santos et al. (2011), a compreensão da variabilidade espacial da precipitação constitui informação básica para estudos hidrológicos, manejo de bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos.

A quantificação dos processos hidrológicos depende da observação de variáveis cuja estimativa depende de amostras confiáveis e representativas (Reis et al., 2008). A implantação e operação de estações de monitoramento pluviométricas e fluviométricas em unidades hidrológicas são de alto custo e, para que os dados históricos tenham boa representatividade estatística, são necessários vários anos de registro. A problemática é a baixa densidade de estações de monitoramento existentes em determinadas regiões.

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados (Samuel et al., 2011; Eslamian & Biabanak, 2008). No entanto, não há um método universal para determinada área ou bacia hidrográfica. A abordagem usual continua sendo o teste de vários métodos de regionalização a fim de identificar o mais adequado à região de interesse. Neste contexto, estudos são desenvolvidos visando a transferência espacial de informações dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante (Assani et al., 2011; Mwale et al., 2010). Samuel et al. (2011) avaliaram o desempenho de seis métodos para regionalização de vazões em 93 bacias localizadas na província de Ontário, Canadá e concluíram que a metodologia que alia o emprego de técnicas de interpolação e

extrapolação às semelhanças físicas entre bacias é a mais apropriada para a região. Mamun et al. (2010), com dados de 82 estações fluviométricas localizadas na Península da Malásia, desenvolveram e validaram modelo que utiliza regressão multivariada na regionalização de vazões mínimas. Novaes et al. (2009 b), em estudo de regionalização de vazões mínimas, usaram dados de 21 estações fluviométricas localizadas na Bacia do Rio Paracatu, com área de drenagem de 45.600 Km², para ajuste de equações de regressão. O método proposto possibilitou a continuidade da estimativa de vazões ao longo de toda a rede hidrográfica.

A Bacia Hidrográfica do Rio Amambai é área de grande desenvolvimento agropecuário. Desta forma, justifica-se a realização de estudos que forneçam informações sobre a disponibilidade hídrica na região, propiciando a utilização sustentável da água, com baixo impacto ambiental. Neste trabalho, caracterizou-se a disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Amambai, referente aos dados de precipitação média anual e mensal, contribuição potencial e real para os afluentes diretos do rio principal, coeficiente de deságue, bem como as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} . Fez-se a regionalização de vazões mínimas com base em três metodologias distintas: utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), vazão específica e conservação de massas, selecionadas segundo a realidade da região de estudo, e comparadas entre si para adoção do melhor método.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Amambai está compreendida na região Sul do Estado de Mato Grosso do Sul, na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná e sub-bacia do Rio da Prata. Possui ponto central de localização com latitude 23°00'00"S e longitude 54°45'00"W. O relevo é predominantemente plano e o clima úmido.

O Rio Amambai, desde a nascente até a foz no Rio Paraná, apresenta extensão de

aproximadamente 354 km com área de drenagem de, aproximadamente, 10.125 km². Cruza dez municípios do Estado de Mato Grosso do Sul, a saber: Amambai, Aral Moreira, Caarapó, Coronel Sapucaia, Iguatemi, Itaquiraí, Juti, Laguna Carapã, Naviraí e Ponta Porã. Os principais afluentes são os rios Corrente e Verde e Córrego Guaembepéri, além dos rios Bonito, Emboscada, Piratinim, Taquara, e dos córregos Camgueri, Emboscada,

Guaçu, Guacuri, Guiriri, Itaipá, Jaguari, Jaceri, Maitaré, Panduí, Pirapó, Pindó, Saljú, São Lucas, Tarumã, Tejuí e Touro.

Os limites da bacia hidrográfica do Rio Amambai e das sub-bacias dos afluentes diretos do rio principal foram extraídos utilizando o software ArcGIS versão 9.3. Fez-se a digitalização de cartas topográficas na escala de 1:100.000 para extração das curvas de nível, hidrologia e pontos cotados.

Identificaram-se os cursos d'água principais, para cada bacia e sub-bacia, como sendo aqueles que drenam a maior área. A partir dos dados obtidos delimitou-se a área de drenagem do Rio Amambai e suas sub-bacias, bem como

as áreas de drenagens para os três fluviômetros disponíveis.

Análise e seleção de dados

Realizou-se levantamento preliminar utilizando o Inventário de Estações Pluviométricas e Fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA). Adotou-se como critério de escolha das estações pluviométricas, a existência de pelo menos 10 anos de dados consecutivos. Para determinação do período base, descartou-se o ano com mais de 30% da série com dados falhos, selecionando-se 24 estações com período base de 1984 a 2010 (Tabela 1).

Tabela 1. Estações pluviométricas.

| Código | Estação | Latitude | Longitude | Código | Estação | Latitude | Longitude |
|---------|---------------------|-------------|------------|---------|--------------------|------------|------------|
| 2255003 | Bocaja | 22° 43'55"S | 55°14'32"W | 2355003 | Tacuru | 23°38'25"S | 55°01'09"W |
| 2254000 | Caarapó | 22°37'28"S | 54°49'29"W | 2354001 | Iguatemi | 23°40'55"S | 54°33'42"W |
| 2355001 | Coronel | 23°15'58"S | 55°31'28"W | 2355002 | Porto São Domingos | 23°39'01"S | 55°23'31"W |
| 2355000 | Amambai | 23°05'52"S | 55°14'37"W | 2353032 | Venda do Paulo | 23°19'59"S | 53°25'00"W |
| 2354002 | Florida | 22°58'13"S | 54°33'48"W | 2353019 | Bairro Gurucaia | 23°41'35"S | 53°54'32"W |
| 2354000 | Naviraí | 23°03'28"S | 54°11'38"W | 2255002 | Antônio João | 22°11'17"S | 55°56'37"W |
| 2354004 | Colônia | 23°26'59"S | 54°23'37"W | 2254004 | Porto Wilma | 22°04'31"S | 54°11'21"W |
| 2254003 | Glória de Dourados | 22°24'21"S | 54°14'07"W | 2254005 | Itaporã | 22°04'29"S | 54°47'02"W |
| 2353048 | Fazenda Vaca Branca | 23°04'22"S | 53°49'14"W | 2255004 | Itaum | 22°05'10"S | 55°21'11"W |
| 2353031 | Icaraima | 23°22'59"S | 53°37'00"W | 2254001 | Dourados | 22°23'53"S | 54°47'32"W |
| 2353025 | Marco Preto | 23°28'46"S | 53°43'37"W | 2253015 | Fazenda Jangada | 22°32'42"S | 54°01'40"W |
| 2253010 | Icatu | 22°58'29"S | 53°23'47"W | 2353010 | Querência do Norte | 23°04'54"S | 53°28'52"W |

Na escolha das estações fluviométricas, optou-se pela existência de pelo menos 10 anos de dados consecutivos. As estações que apresentaram dados suficientes foram Estação Ponte Rio Amambai (código: 64700000; Latitude: 22°55'59"S e Longitude: 55°13'00"W), Estação Florida (código: 64715001; Latitude: 22°58'19"S e Longitude: 54°33'48"W) e Estação Naviraí (código: 64717000; Latitude: 23°07'56"S e Longitude: 54°11'42"W).

O Método da Ponderação Regional, que possibilita o preenchimento de falhas de uma estação através da ponderação com base em três estações vizinhas, foi utilizado para o preenchimento de dados pluviométricos. Adotou-se o método de Regressão Linear para preenchimento de leitura dos fluviômetros, cuja seleção dos modelos foi realizada a partir de

coeficientes de correlação de 0,96, e a existência de pelo menos 10 anos de dados.

Na análise de consistência dos dados utilizou-se o Método de Dupla Massa, que consiste em analisar a homogeneidade dos dados por meio da declividade da reta para cada estação. As estações apresentaram boa consistência, sem mudança de tendência.

Para a distribuição espacial das precipitações média anual e média mensal utilizou-se o método da Krigagem Ordinária, obtida por meio do Software ArcGIS, versão 9.3.

As vazões médias anuais de longa duração foram obtidas com a média das vazões médias anuais. Através da relação entre as vazões médias anuais e respectivas áreas de drenagem de cada estação fluviométricas, obtiveram-se as vazões específicas médias de longa duração. Para as vazões médias estimadas na confluência

entre os afluentes diretos e o rio principal foi adotado o método de Pereira (2004) aprimorado por Novaes et al. (2009 b), que propõe o ajuste de equações de regressão, em função da área de drenagem de cada fluviômetro, às séries de dados calculados.

Foram propostos os conceitos de contribuição potencial e real, objetivando a identificação da proporção de contribuição de cada um dos afluentes para a formação da vazão do Rio Amambai. A contribuição potencial (%) é estabelecida pela relação entre volume precipitado na área de drenagem de cada afluente e o volume precipitado na área de drenagem da bacia, ou seja, é a contribuição que o afluente apresentaria para a formação da vazão do rio principal, se toda a precipitação fosse convertida em escoamento. A contribuição real (%) é determinada pela relação entre o volume médio escoado na seção de deságue do afluente e o volume médio escoado na foz da bacia.

Determinadas as precipitações médias, as vazões médias e as áreas de drenagem dos afluentes diretos, calculou-se o coeficiente de deságue para os afluentes diretos do rio principal. O coeficiente de deságue é estabelecido pela relação entre o volume escoado na seção de deságue e o volume total precipitado.

Com base nas séries históricas, estudaram-se as vazões de referência ($Q_{7,10}$), e as vazões associadas às permanências de 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}). Para determinação da $Q_{7,10}$ de cada estação, testaram-se os modelos probabilísticos Normal, Log-Normal a dois parâmetros, Gama, Extremos tipo I e Weibull. A seleção da distribuição de probabilidades ajustável a cada série histórica foi efetuada utilizando a análise do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov com intervalo de confiança de 95%. As vazões mínimas de Q_{90} e Q_{95} , para o período anual, foram obtidas da curva de permanência construída conforme Tucci (2004).

Regionalização hidrológica de vazões mínimas

Vazões médias mínimas de referência $Q_{7,10}$ para os períodos trimestral e anual, e vazões associadas à permanência de Q_{90} e Q_{95} para o período anual, foram regionalizadas segundo três métodos distintos:

Metodologia baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente SIG

Proposta por Chaves et al. (2002), dispensa o uso de regiões hidrologicamente homogêneas. Foi desenvolvido a partir do método de razão de áreas de drenagem, por meio de interpolações e extrapolações de vazões mínimas. Consideram-se quatro situações, dependendo da posição do ponto de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos.

Caso 1: ponto de interesse localizado a montante de um ponto com vazão conhecida. Para este caso é utilizado o método de razão de área de drenagem proposto por Stedinger et al. (1992), (eq. (1)).

$$Q_y = \left(\frac{A_y}{A_x} \right) * Q_x \quad (1)$$

onde, Q_y ($m^3.s^{-1}$) é a vazão na seção de interesse; Q_x ($m^3.s^{-1}$) é a vazão de referência conhecida; A_y (km^2) é a área de drenagem da seção de interesse; A_x (km^2) é a área de drenagem da vazão conhecida.

Caso 2: ponto de interesse localizado entre duas vazões conhecidas, (eq. (2)).

$$Q_z = A_z \left[p_x * \left(\frac{Q_x}{A_x} \right) + p_y * \left(\frac{Q_y}{A_y} \right) \right] \quad (2)$$

onde, Q_z ($m^3.s^{-1}$) é a vazão no ponto de interesse; Q_x ($m^3.s^{-1}$) e Q_y ($m^3.s^{-1}$) são as vazões nos pontos X e Y; A_x (km^2), A_y (km^2) e A_z (km^2) são as áreas relativas aos pontos X (montante), Y (jusante) e Z (ponto de interesse); p_x : pesos relativos a X, (eq. (3)); p_y : pesos relativos a Y, (eq. (4)).

$$p_x = \frac{d_y}{(d_x + d_y)} \quad (3)$$

$$p_y = \frac{d_x}{(d_x + d_y)} \quad (4)$$

onde, d_x (km) é a distância do ponto X ao ponto Z; d_y (km) é a distância do ponto Z ao ponto Y.

Caso 3: ponto de interesse localizado a jusante de uma estação com vazão conhecida obtida pela equação proposta por Stedinger et al. (1992), (eq. (1)).

Caso 4: ponto de interesse localizado nos afluentes. Não foi utilizado no estudo.

Metodologia baseada na vazão específica

Descrito por Eletrobrás (1985), este método é baseado na proporcionalidade de vazões específicas, ou seja, 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 utiliza o conceito de regiões hidrologicamente homogêneas e apresenta quatro casos distintos dependentes da localização da seção de interesse.

Quando o ponto de interesse está localizado a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de uma estação com vazão conhecida, a vazão de interesse é estimada pela eq. (1).

Caso 3: ponto de interesse localizado entre duas vazões conhecidas, (eq. (5)).

$$Q_z = Q_m + \left(\frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) * (Q_j - Q_m) \quad (5)$$

onde, Q_z ($m^3.s^{-1}$) é a vazão no ponto de interesse; A_z (km^2); é a área de drenagem do ponto de interesse; Q_m ($m^3.s^{-1}$) e Q_j ($m^3.s^{-1}$) são vazões a montante e a jusante do ponto de interesse; A_m (km^2) e A_j (km^2) são áreas de drenagem a montante e a jusante do ponto de interesse.

Caso 4: ponto de interesse localizado no afluente direto do rio principal, cuja foz está localizada entre duas estações fluviométricas. Não foi utilizado no estudo.

Metodologia de conservação de massas (continuidade de vazões)

Esta metodologia, proposta por Pereira (2004), consiste em ajustar equações de regressão em função da área de drenagem ou vazão equivalente ao volume precipitado no rio principal para representação das vazões $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} . A partir dessas equações obtêm-se as vazões na foz dos afluentes diretos do rio principal, utilizando-se valores de áreas de drenagem de cada ponto de interesse. No ajuste, faz-se que as equações passem pela origem, uma vez que, para área de drenagem zero, tem-se vazão nula. Com as equações de regressão ajustadas para o rio principal, torna-se possível estimar a vazão em qualquer ponto, necessitando para isso somente a área de drenagem do ponto de interesse.

Avaliação de metodologias

Os valores de vazão ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) estimados pelas três metodologias de regionalização para cada uma das estações fluviométricas (Q_{est}) e os estimados a partir de dados observados nas estações correspondentes (Q_{obs}) foram comparados com base no erro relativo (%), conforme eq. (6) e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (Nash & Sutcliffe, 1970), (eq. (7)).

$$ER = 100 * Abs \left(\frac{Q_{obs} - Q_{est}}{Q_{obs}} \right) \quad (6)$$

$$E = \frac{\sum(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2 - \sum(Q_{obs} - Q_{est})^2}{\sum(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (7)$$

onde, ER é o erro relativo (%); Abs é o valor absoluto; Q_{obs} é a vazão observada; E é o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento pluviométrico

Observou-se precipitação mais intensa na região de cabeceira do Rio Amambai com valores aproximadamente de 1.730 mm, decaindo gradativamente ao longo do curso

d'água principal, e chegando à seção exutória com valores próximos a 1.410 mm (Figura 1). A precipitação média anual espacializada na área da bacia foi de 1.527 mm, com desvio padrão de 91,04 mm.

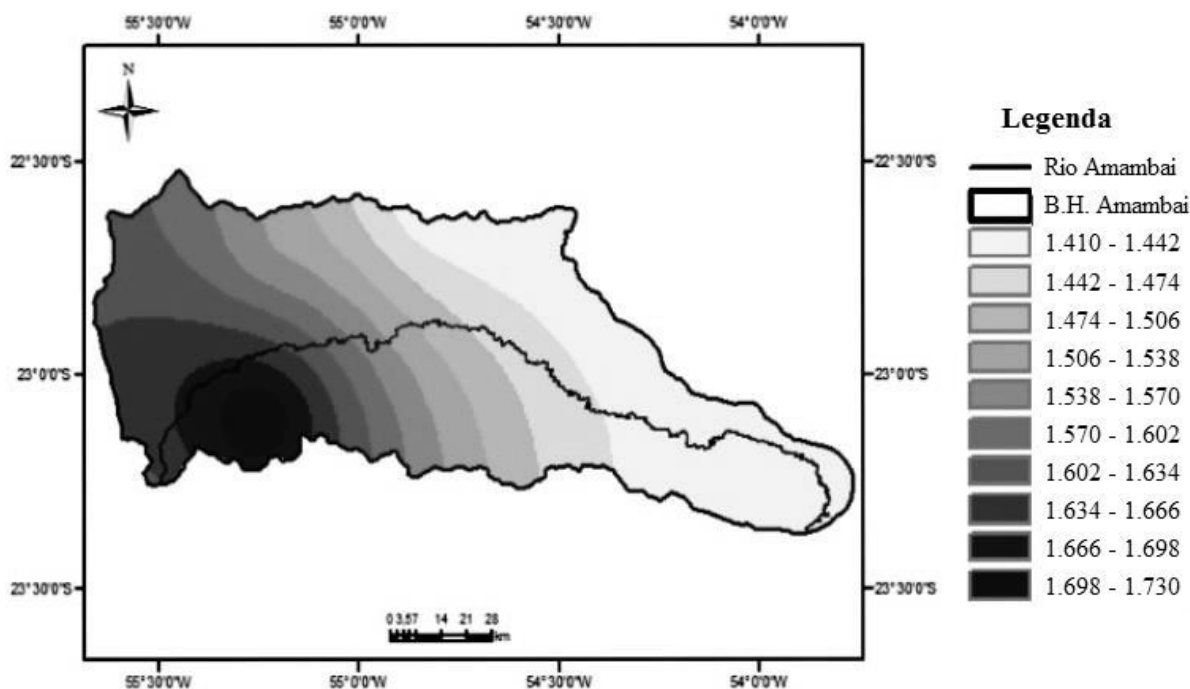


Figura 1. Espacialização da precipitação média anual na Bacia em mm.

Os meses de Julho e Dezembro apresentaram, respectivamente, os menores e maiores valores de precipitação na região de estudo. Verificou-se que o período chuvoso compreendido de Outubro a Março apresentou média de precipitação de 134 mm em Março, chegando a 178 mm em Dezembro. O período de estiagem compreendido de Abril a Setembro apresentou precipitação média em Julho de 46 mm, chegando a 132 mm em Maio.

Adotou-se a Estação Naviraí como representante da área de drenagem da bacia hidrográfica Amambai por ser a última estação com série histórica de dados antes da foz do rio principal e possuir área envolvendo 89% da bacia em estudo. Nas sub-bacias dos Córregos Camgueri, Panduí, Jaguari, Guaembeperi, e Rios Corrente e Verde foram observados os maiores valores de precipitações médias anuais, superando a precipitação média da Estação Naviraí.

Comportamento fluviométrico

As maiores contribuições potenciais foram provenientes dos Rios Piratinim e Verde, registrados com influência de 9% cada, e Córrego Guaembeperi, com influência de 14%. Apesar de não serem as sub-bacias com as maiores precipitações médias, são as que

possuem os maiores valores de área de drenagem. A Sub-bacia do Córrego Guaembeperi representa 13% da área de drenagem da Bacia e apresentou maior contribuição potencial. A Sub-bacia do Rio Verde, com área de drenagem de 8% da área da Bacia foi responsável pela segunda maior contribuição potencial (9%), indicando precipitação média superior de 5% da média da Bacia. A maior contribuição de precipitação média (10% superior à média da Bacia) ocorreu na Sub-bacia do Rio Camgueri, que, por possuir área de drenagem 2% da área da Bacia, apresentou baixa contribuição potencial (2%).

A Sub-bacia do Córrego Guaembeperi, com área de drenagem 1.198km², apresentou a maior contribuição real dos afluentes (14%), mantendo o mesmo valor encontrado para a contribuição potencial (Figura 2).

A maior diferença observada entre os dois tipos de contribuição ocorreu na Sub-bacia do rio Piratinim, com cerca de 0,5% a mais para a proporção de contribuição real. Para os demais afluentes a proporção foi praticamente igualada.

Na Figura 3 apresentam-se as vazões específicas médias de longa duração nos afluentes do Rio Amambai e no próprio rio principal.

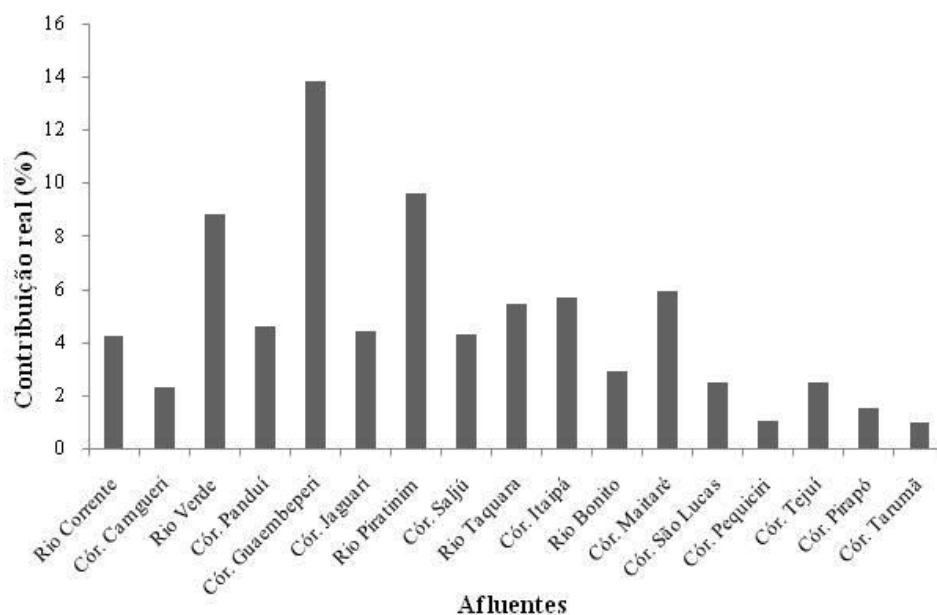


Figura 2. Proporção da contribuição real dos afluentes do Rio Amambai.

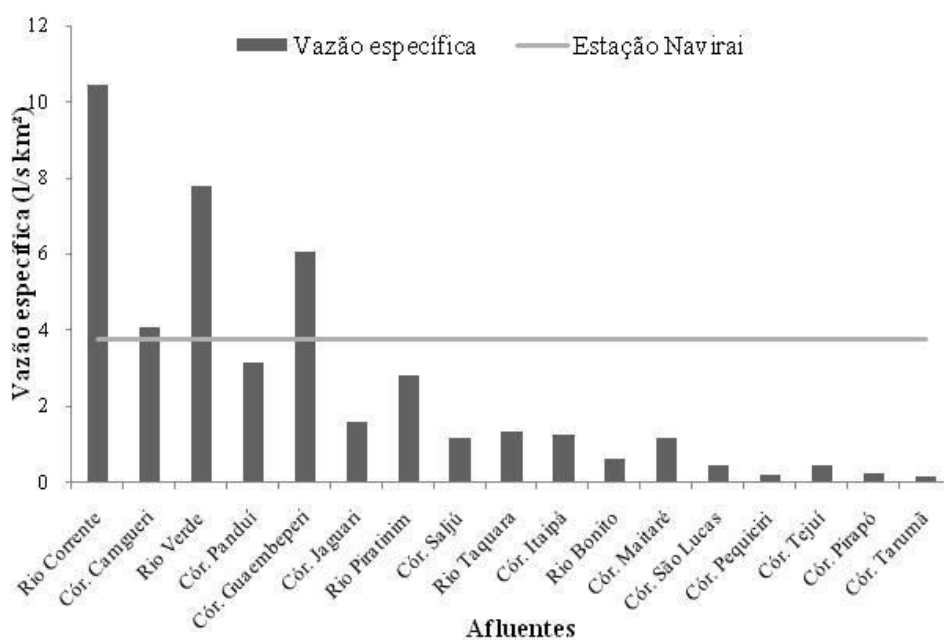


Figura 3. Vazão específica média de longa duração nos afluentes e no rio Amambai (Estação Naviraí).

As vazões específicas mais elevadas foram encontradas na região de cabeceira do rio principal, decaindo ao longo do curso, com valores mais baixos nos últimos afluentes, os Córregos Pequiciri e Tarumã. Essa diminuição deveu-se ao fato de a área de drenagem aumentar ao longo do curso principal e ao fato de a precipitação ter sido mais intensa na região de cabeceira. Segundo TUCCI (2004), existe tendência geral de a vazão específica diminuir com o aumento da área de drenagem da bacia e

com concentração de precipitação maior em regiões de cabeceira. Observou-se que na Sub-bacia do Córrego Guaembeperi (com maior área de drenagem) a vazão específica foi superior cerca de 62% em relação à média da bacia em estudo. Na Sub-bacia do Rio Corrente (342 km² de área), obteve-se o maior valor de vazão específica, representando 178% a mais que a média da Bacia.

Os Córregos Camgueri e Panduá apresentaram os menores coeficientes de

deságue, respectivamente 0,4% e 3,4% de redução em relação à média da bacia. Já o rio Taquara apresentou valor 9,6% acima dessa média (Figura 4). Foi possível verificar

coeficientes de deságue menores na primeira porção da bacia, do Córrego Camgueri até o Córrego Jaguari. O menor coeficiente de deságue referiu-se ao Córrego Panduí.

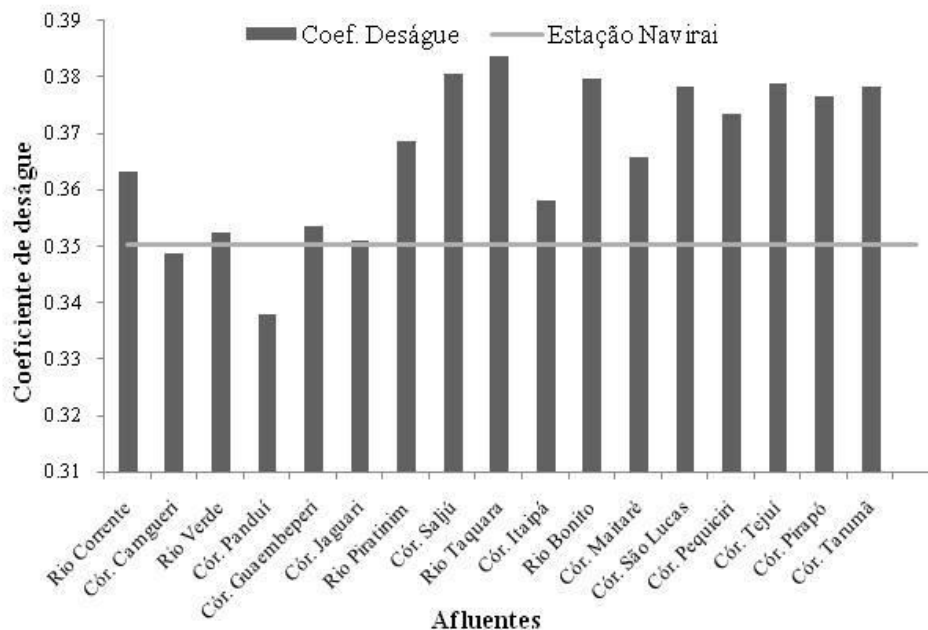


Figura 4. Coeficiente de deságue nos afluentes e no rio principal (Estação Naviraí).

Atribuiu-se a diminuição do coeficiente de deságue nas sub-bacias dos Córregos Camgueri, Panduí, Guaembeperi, Jaguari e Rio Verde às maiores precipitações ocorridas na região. Observou-se que, na margem direita da Bacia do Amambai, todos os afluentes, com exceção do Rio Corrente (primeiro afluente da Bacia), apresentaram aumento gradativo no coeficiente de deságue de montante para jusante, quando comparado à média da Bacia.

Vazões de referência

Ao compararem-se as variações das vazões $Q_{7,10}$ obtidas a partir de dados observados, com as estimadas através dos modelos probabilísticos, constatou-se, ao nível de significância de 5% do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, que as funções de distribuições de probabilidades Log-Normal e Gama representam melhor os dados observados. No estudo de regionalização de vazões mínimas, $Q_{7,10}$ adotaram-se os valores obtidos pela distribuição de probabilidade Log-Normal.

As vazões mínimas com permanência de 90% apresentaram valores de $19,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para a primeira estação (Ponte Rio Amambai), e $92,5$

$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para a última estação (Naviraí), enquanto que as vazões mínimas com permanência de 95% apresentam valores de $17,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $84,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente.

Comparação entre metodologias

Os casos 1 e 3 de Chaves et al. (2002) e 1 e 2 de Vazão Específica, por terem sido obtidos de forma idêntica, apresentaram os mesmos resultados. Desta forma, baseou-se a análise de comparação somente nos casos em que a vazão estimada está inserida entre duas outras vazões conhecidas. Comparando essas duas metodologias, os períodos trimestrais de Chaves et al. (2002), para a $Q_{7,10}$, apresentaram menores erros relativos. Com relação ao período anual ocorreu o inverso, maior erro relativo, porém apresentando pouca diferença.

A vazão mínima com permanência de 95% no tempo apresentou melhores resultados em comparação às outras duas vazões ($Q_{7,10}$ e Q_{90}), ou seja, com relação a Q_{95} , obtiveram-se, para os três métodos de regionalização estudados, os menores valores de erros relativos (%) e maiores coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe. Portanto, a Q_{95} , para os períodos anuais, é a vazão de referência mais indicada

para regionalização de vazões mínimas na bacia do Rio Amambai.

Na Tabela 2 estão representados os erros relativos (%) e coeficientes de eficiência de

Nash e Sutcliffe para as metodologias de regionalização estudadas.

Tabela 2. Erro relativo (%) e Coeficiente de Nash e Sutcliffe (Coefi. N-S)

| | 1º trimestre | 2º trimestre | 3º trimestre | 4º trimestre | Anual | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | Q _{7,10} | Q _{7,10} | Q _{7,10} | Q _{7,10} | Q _{7,10} | Q ₉₅ | Q ₉₀ |
| Chaves et al. (2002) | | | | | | | |
| Erro relativo (%) | 11,56 | 21,33 | 13,42 | 13,48 | 19,26 | 14,71 | 17,93 |
| Coefi. N-S. | 0,92 | 0,76 | 0,87 | 0,90 | 0,83 | 0,88 | 0,82 |
| Vazão específica | | | | | | | |
| Erro relativo (%) | 11,90 | 21,65 | 14,20 | 13,67 | 19,16 | 14,99 | 18,36 |
| Coefi. N-S. | 0,92 | 0,76 | 0,86 | 0,90 | 0,84 | 0,88 | 0,81 |
| Conservação de massas | | | | | | | |
| Erro relativo (%) | 4,57 | 8,07 | 5,83 | 5,17 | 6,64 | 6,00 | 7,18 |
| Coefi. N-S. | 0,98 | 0,94 | 0,97 | 0,97 | 0,96 | 0,97 | 0,95 |

As vazões anuais obtidas pelas três metodologias não apresentaram maiores valores de erro relativo (%), quando comparadas com as vazões trimestrais.

As metodologias de Chaves et al. (2002) e Vazão específica apresentaram resultados praticamente constantes entre si. Como seguiram a mesma tendência, não houve possibilidade de identificar qual, dentre as duas, foi mais eficiente para a área de estudo. No entanto, ao comparar as metodologias de Chaves et al. (2002) e Vazão específica com Conservação de massas, verificou-se que, nesta,

houve melhor ajustamento da vazão estimada com as vazões observadas em cada posto fluviométrico. A Conservação de massas apresentou menores erros relativos (%) e maiores coeficientes de Nash e Sutcliffe dentre as três metodologias estudadas, sendo, portanto, a de maior eficiência na regionalização de vazões mínimas na bacia de referência. Desta forma, a regionalização de vazões mínimas baseada na Conservação de massas é a mais indicada para obtenção de informações básicas acerca da disponibilidade hídrica na bacia do Rio Amambai.

CONCLUSÕES

As precipitações e vazões específicas médias diminuem da nascente para a foz da bacia;

As sub-bacias com as maiores contribuições potencial e real para a formação da vazão do Rio Amambai são do Rio Verde, Rio Piratinim e Córrego Guaembeperi;

O coeficiente de deságue apresenta crescimento gradual, de montante para jusante, nos afluentes diretos da margem direita do Rio Amambai. O coeficiente de deságue na bacia é mais elevado para o Rio Taquara e Córrego Saljú;

A Q₉₅, para os períodos anuais, é a vazão de referência mais adequada para regionalização de vazões mínimas na bacia;

A análise do comportamento hidrológico do Rio Amambai e seus afluentes e a regionalização de vazões mínimas na bacia possibilitam a obtenção de informações básicas acerca da disponibilidade hídrica na bacia do Rio Amambai;

O método de regionalização baseado na conservação de massas é o que melhor representa o comportamento das vazões mínimas em bacias com escassos registros hidrológicos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES pelos recursos financeiros e bolsas concedidas para realização do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSANI, A. A.; CHALIFOUR, A.; LÉGARÉ, G.; MANOUANE, C.; LEROUX, D. Temporal regionalization of 7-day low flows in the St. Laurence watershed in Quebec (Canada). *Water Resources Management*, v. 25, p. 3559-3574, 2011.
2. 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 geográficas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.
3. ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Manual de mini centrais hidrelétricas. Rio de Janeiro, 1985.
4. ESLAMIAN, S.; BIABANAKI, M. Low flow regionalization modeling. *International Journal of Ecological Economics & Statistics*, Roorkee, v.12, n. 8, p. 82-97, 2008.
5. MAMUM, A. A.; HASHIM, A.; DAOUD, J. I. Regionalisation of low flow frequency curves for the Peninsular Malaysia. *Journal of Hydrology*, Reston, n. 381, p. 174-180, 2010.
6. MWALE, D.; GAN, T. Y.; DEVITO, K. J.; SILINS, U.; MENDOZA, C.; PETRONE, R. Regionalization of Runoff Variability of Alberta, Canada, by Wavelet, Independent Component, Empirical Orthogonal Function, and Geographical Information System Analysis. *Journal of Hydrologic Engineering*, Reston, v. 16. n. 2, p. 93-107, 2010.
7. NASH, J.E. & SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Reston, n. 10, p. 282-290, 1970.
8. NOVAES, L.F.; PRUSKI, F.F.; QUEIROZ, D.O.; RODRIGUEZ, R. DEL G.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica: Parte 1 - Obtenção da equação de recessão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, RS, v.14, n.1, p.15-26, 2009 a.
9. NOVAES, L.F.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; QUEIROZ, D.O.; RODRIGUEZ, R. DEL G. Gestão de recursos hídricos: uma nova metodologia para a estimativa das vazões mínimas. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.17, n.1, p.62-74, 2009 b.
10. OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.1, p.9-15, 2011.
11. PEREIRA, S.B. Evaporação no lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco. 2004, 105 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.
12. PEREIRA, S. B.; ALVES SOBRINHO, T.; FEDATTO, E.; PEIXOTO, P. P. P.; BONACINA, R. Variação temporal do comportamento hidrológico na Bacia do Rio Dourados. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.2, p.560-568, 2007.
13. REIS, J. A. T.; GUIMARÃES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. *Geociências*, São Paulo, v.21, n.4, p.509-516, 2008.
14. SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise da distribuição espacial da precipitação na Bacia do Rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v.29, n.2, p.174-185, 2008.
15. SAMUEL, J.; COULIBALY, P.; METCALFE, R. A. Estimation of Continuous Streamflow in Ontario Ungauged Basins: Comparison of Regionalization Methods. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 16. n. 5, p. 447-459, 2011.
16. SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L.F.C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite – GO. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.31, n.1, p.78-89, 2011.
17. STEDINGER, J. R.; VOGEL, R. M.; FOUFOULA-GEORGIOU, E. Frequency analysis of extreme events. In: Maidment, D. R. *Handbook of hydrology*. New York: Mac Graw Hill, 1992. cap. 18.
18. TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C. E. M (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2004. cap. 15. p. 573-619.

Manuscrito recebido em: 06 de Setembro de 2013

Revisado e Aceito em: 20 de Agosto de 2014