

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/272814233>

Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo

Article · October 2014

DOI: 10.21168/rbrh.v19n4.p21-33

CITATIONS

10

READS

1,049

3 authors:



Wagner Wolff

University of São Paulo

15 PUBLICATIONS 50 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Sergio N. Duarte

University of São Paulo

164 PUBLICATIONS 948 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



R. Mingoti

Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA)

89 PUBLICATIONS 223 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Identification of critical scenarios for environmental risk assessment of pesticides in groundwater [View project](#)



Hydrological modeling [View project](#)

Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo

Wagner Wolff

Universidade de São Paulo/ESALQ, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas

Sergio Nascimento Duarte

Universidade de São Paulo/ESALQ, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Professor Dr. Associado

Rafael Mingoti

Embrapa Gestão Territorial Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)Campinas / SP,
Eng. Agrônomo Dr. Analista em Geoprocessamento

Recebido: 27/05/13 - Revisado: 29/05/14 - Aceito: 05/08/14

RESUMO

A regionalização de vazões é uma técnica que permite transferir informação entre bacias hidrográficas semelhantes, a fim de calcular, em sítios que não dispõem de dados, as variáveis fluviométricas de interesse; de tal modo, a mesma caracteriza-se por ser uma ferramenta útil na obtenção de outorga de direitos de uso de recursos hídricos no Estado de São Paulo; utiliza um modelo de regionalização de vazões formulado na década de 80. Diante de algumas limitações do modelo utilizado pelo DAEE, este estudo tem como objetivo geral formular um modelo, por intermédio de uma nova metodologia, e assim testar a precisão dos dois modelos, no que diz respeito à predição de vazões utilizadas como critério de outorga. A avaliação dos modelos fez-se pela validação cruzada, conjunta ao índice de confiança (c), utilizando como valor de estimativa as vazões geradas pelos modelos, e como valor padrão as calculadas por intermédio das séries históricas de estações fluviométricas. O novo modelo rejeitou a hipótese de ter capacidade preditiva inferior e desvantagens de uso, confrontado ao antigo; portanto, a nova metodologia apresenta potencial, quando comparada às comumente utilizadas neste tipo de estudo.

Palavras Chave: Regionalização de Vazões. Curva de Permanência. Outorga. Interpolação Espacial. Recursos hídricos

INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 12% das reservas de água doce do planeta e apresenta avanços significativos na gestão de suas águas. De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), foram aprovadas e publicadas 907 resoluções referentes a gestão dos recursos hídricos no ano de 2011. Essas resoluções foram, em sua maioria, relacionadas às concessões de outorgas de direito de uso de recursos hídricos, fundamentais para a adequada gestão dos cursos d'água (ANA, 2012).

A principal referência para a gestão de recursos hídricos no Brasil é a Lei n.º 9433/97, (BRASIL, 1997), que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH). Essa Lei proporciona princípios fundamentais para a gestão democrática das águas, ao considerar, dentre outros, os princípios da participação e descentralização na tomada de decisões. Essa Lei incorpora o princípio constitucional de que a água é um bem público e elege os planos de recursos hídricos como um dos instrumentos para a implementação da PNRH, prevendo sua elaboração para as bacias hidrográficas, para os estados e para o país.

Dentre os instrumentos estabelecidos pela PNRH, a outorga dos direitos de uso da água assume como escopo assegurar

um controle quali-quantitativo dos usos da água, bem como garantir à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, adequando o padrão de qualidade aos respectivos usos (Lei n.º 9433, art. 11, BRASIL, 1997).

O Estado de São Paulo, por meio da Lei 9034/94 (SÃO PAULO, 1994), estabelece que a vazão de referência para orientar a outorga de direitos de uso de recursos hídricos é calculada com base na média mínima de 7 dias consecutivos e 10 anos de período de retorno ($Q_{7,10}$) e nas vazões regularizadas por reservatórios, descontadas as perdas por infiltração, evaporação ou por outros processos físicos, decorrentes da utilização das águas e das reversões de bacias hidrográficas. Estabelece ainda que, quando a soma das vazões captadas em uma determinada bacia hidrográfica, ou em parte desta, superar 50% da respectiva vazão de referência ($Q_{7,10}$), a mesma será considerada crítica e haverá gerenciamento especial.

Neste contexto, é de suma importância quantificar as vazões que servem de referência para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos; isto é possível com a coleta de dados das estações fluviométricas, embora as mesmas se localizem em seções específicas da hidrografia. Segundo Tucci (2009), a rede hidrométrica dificilmente cobrirá completamente a hidrografia, o que enfatiza a importância dos métodos que permitam a obtenção das informações necessárias. A regionalização hidrológica

consiste em um conjunto de ferramentas que exploram ao máximo os dados disponíveis, para estimar variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com dados em quantidade insuficiente (TUCCI, 2009).

Dentre as metodologias mais utilizadas para regionalizar vazões podem-se citar duas: (i) metodologias que tem como princípio básico a utilização de equações de regressão aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas, (NERC, 1975; ELETROBRÁS, 1985; Euclides et al. 2001; Tucci, 2002, Li et al. 2010; Costa et al. 2012); (ii), metodologias que utilizam técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas, (CHAVES et al. 2002).

Desde 1980, o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) vem utilizando uma metodologia para estimar a disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas do Estado, que não possuem dados hidrológicos observados. Essa metodologia, proposta por Liazi et al. (1988), foi formulada em uma época em que não havia a capacidade computacional, tecnologias e metodologias, principalmente as fundamentadas nas técnicas de geoprocessamento, que atualmente se dispõe, apresentando algumas limitações, como coeficientes generalizados para extensas áreas e uso de dados da década de 40 a 80, que não expressam a variabilidade hidrológica diante das mudanças climáticas atuais.

Diante do exposto, propõe-se nesse estudo testar a hipótese de que o modelo de regionalização de vazões, desenvolvido pela nova metodologia, possui melhor capacidade preditiva e vantagens de uso, quando comparado, ao modelo de Liazi et al. (1988). Portanto, o objetivo geral é avaliar os dois modelos se demonstrar uma metodologia superior às comumente utilizadas em regionalização de vazões.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no Estado de São Paulo, que possui uma área de aproximadamente 248.197 km²; está localizado entre as longitudes -44° 10' e -53° 07', e entre as latitudes -19° 46', e -25° 19'; tem 85% de sua superfície entre 300 e 900 m de altitude.

Dentre os principais rios do Estado de São Paulo destacam-se três: (i) rio Tietê, que percorre todo o território paulista, de sudeste a noroeste; (ii) rio Paraná, formado pela junção dos rios Grande e Paranaíba; (iii) rio Paranapanema, que é um divisor entre os Estados de São Paulo e Paraná, a partir da região de Ourinhos.

Predomina no estado o clima tropical, os rios enchem no verão e reduzem suas vazões no inverno, que constitui o período de estiagem. Segundo a classificação climática de Köppen e Geiger (1928), pode-se afirmar que predominam os tipos climáticos A e C, com os subtipos, Aw, Am, Af, e as variações Cfa, Cfb, Cwa e Cwb. Prevalectem estações úmidas e secas bem definidas na maior parte do Estado, exceto nas encostas da Serra do Mar: próximo à costa, a estação seca é curta.

Dados utilizados no estudo

A etapa inicial do estudo constituiu na escolha das estações fluviométricas e pluviométricas a serem utilizadas. Para uma melhor amostragem dos dados, foram selecionadas estações com períodos de dados superiores a 15 anos, compreendidas no período de 1941 a 2006.

De acordo com o tipo de finalidade, dividiram-se as séries hidrológicas em três grupos: (i) para avaliar o modelo de Liazi et al. (1988), trabalhou-se com 176 estações fluviométricas, sendo estas administradas pelo DAEE e disponíveis em: <http://www.sigrh.sp.gov.br>; (ii) para computo da precipitação média anual das bacias de drenagem das estações do DAEE, visto que esta é uma variável de entrada no modelo de Liazi et al., (1988), trabalhou-se com 403 estações pluviométricas, disponibilizadas pelo CPRM - Serviço Geológico do Brasil, em <http://www.cprm.gov.br>; (iii) para formulação do novo modelo, considerando que a metodologia utilizada para tal é dependente da interpolação espacial; portanto, para evitar a incerteza ocasionada pela extrapolação de valores, entre as estações fluviométricas do Estado de São Paulo, utilizaram-se, também, estações fluviométricas vizinhas ao Estado; essas localizam-se, respectivamente, nos Estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná e Rio de Janeiro, são consistidas, administradas pela ANA e disponíveis em: <http://portalsnirh.ana.gov.br/Estações da ANA>. A Figura 1 mostra a localização de todas as estações hidrométricas utilizadas.

Delimitação das bacias hidrográficas e estimativa da precipitação média anual para as mesmas

Todas as estações fluviométricas e pluviométricas foram georreferenciadas em Sistema de Informação geográfica (SIG), ArcGIS 9.3 (ESRI, 2009). Os limites das bacias hidrográficas de cada estação fluviométrica, foram delineados por meio deste SIG e de um Modelo Digital de Elevação (MDE). As imagens do MDE do Brasil, divididas em cenas, são distribuídas no endereço eletrônico <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>, como produto do estudo de Miranda (2005). De modo a abranger todo o Estado foi necessário realizar um mosaico de todas as cenas do Estado de São Paulo e as cenas SG-22-X-A e SF-22-X-C, do Estado do Paraná, resultando em uma única imagem de resolução espacial igual a 90 m; sendo assim, obtiveram-se os valores médios de altitude para a área em estudo (Figura 2).

Para estimar a precipitação média anual das bacias de drenagem das estações fluviométricas do Estado de São Paulo, inicialmente foi analisada a dependência espacial da precipitação média anual e posteriormente, interpolou-se a mesma, por meio do interpolador geoestatístico, Krigagem Ordinária Circular. Sendo avaliado o desempenho do mesmo, de acordo com a metodologia da validação cruzada denominado "*jack-knife*", conjunta ao índice de confiança (c) (Camargo e Sentelhas, 1997). Por fim, estimou-se a precipitação média anual para as estações fluviométricas em questão.

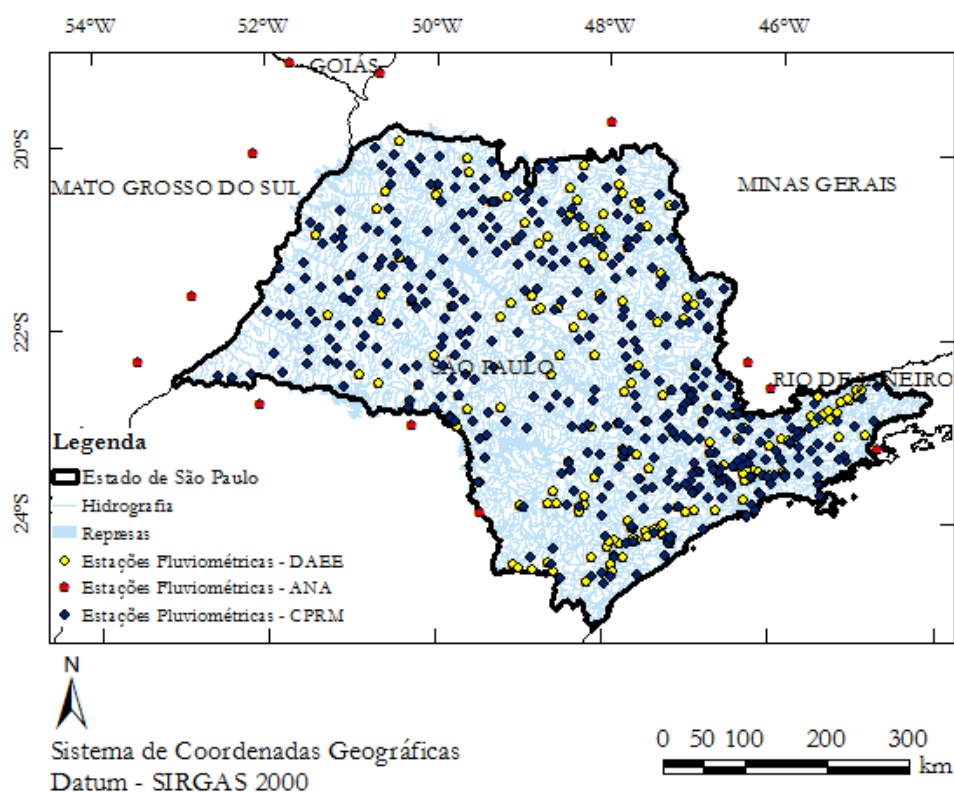


Figura 1- Localização das estações hidrométricas utilizadas no estudo

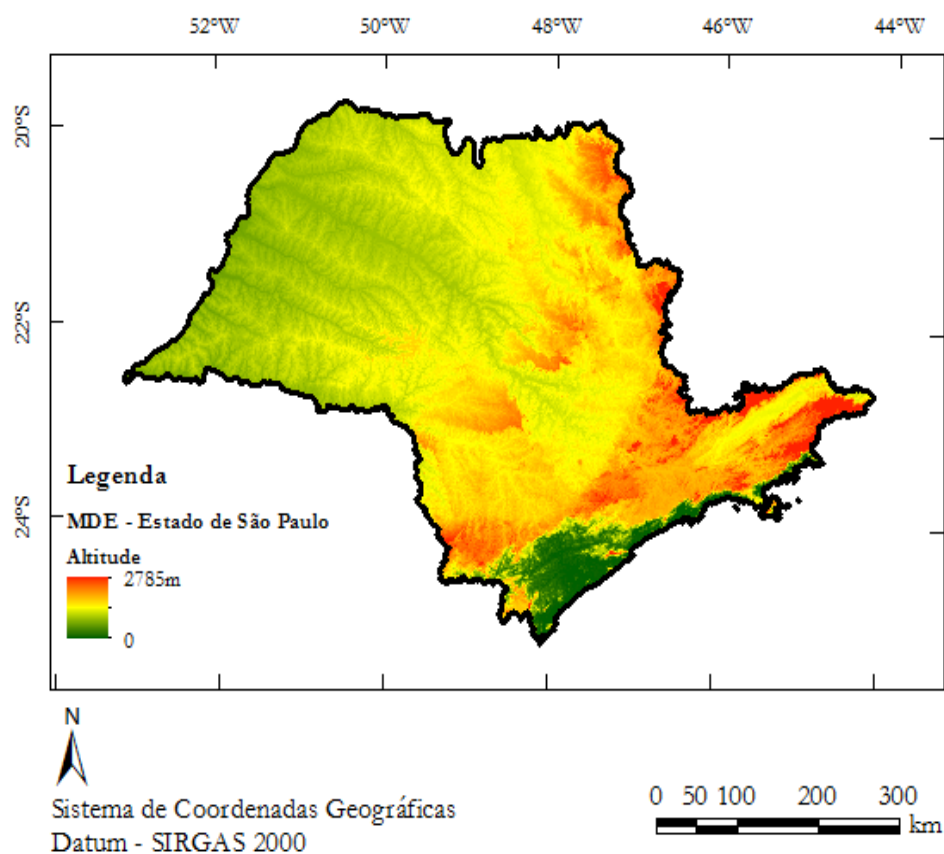


Figura 2 – Modelo digital de elevação (MDE) do Estado de São Paulo

Cálculo das vazões estudadas por intermédio das estações fluviométricas

Após o preenchimento de falhas dos dados das respectivas estações fluviométricas, procedeu-se ao cálculo das vazões a serem avaliadas: $Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} , por meio de planilhas eletrônicas, utilizando-se da automatização possibilitada pela programação em linguagem Visual Basic, tendo como referência temporal o ano civil, e seguindo o conceito de Hosking e Wallis (1997); esses autores defendem ideia, que se as séries são homogêneas e representativas da variável em análise, é desnecessário o uso de períodos comuns. Portanto, utilizou-seas séries completas, ganhando assim em informação.

Cálculo da $Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} e

Para calcular a $Q_{7,10}$ utilizou-se os valores de vazões médias diárias, procedendo-se ao cálculo da média móvel de sete dias seguidos, e escolhendo a menor no respectivo ano, (Q_7). Nos anos que apresentaram falta de dados, foi verificado, com base em postos vizinhos, se o período de falha foi chuvoso; quando isso ocorreu, foi possível escolher as vazões mínimas do ano com o restante da série.

Posteriormente, com os dados dispostos em ordem crescente, ajustou-se as seguintes distribuições: Weibull, Weibull de três parâmetros, Log-normal, Log-normal de três parâmetros, Gumbel Mínimo, Gamma e Generalizada de Valores Extremos (GEV).

O teste de aderência utilizado para escolher a distribuição de probabilidade que melhor se ajustou às séries de Q_7 foi o de Anderson-Darling (Anderson e Darling, 1954) ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Este teste se baseia na diferença entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica, $F_N(x)$, e teórica, $F_X(x)$, de variáveis aleatórias contínuas. Este ajuste visa dar maior peso às caudas da distribuição, nas quais, as maiores (ou as menores) observações da amostra podem alterar a qualidade do ajuste (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Por fim, escolheu-se entre as distribuições candidatas a que apresentou o melhor ajustepara os respectivos postos fluviométricos, e assim, estimou-se o quantil para um tempo de retorno igual a dez anos, estabelecendo assim o valor da $Q_{7,10}$ para a respectiva amostra.

Para o cálculo da Q_{95} , Q_{90} e utilizaram-se os dados de vazões médias mensais; a Q_{95} foi obtida por meio da média aritmética das vazões, e para Q_{90} e Q_{90} obteve-se a curva de permanência de cada uma das estações fluviométricas, agrupando-se em intervalos de classe, como sugerido por PRUSKI et al. (2006).

Cálculo das vazões estudadas por intermédio do modelo proposto por Liazi et al. (1988)

De posse dos valores da área de drenagem, da precipitação média anual das coordenadas geográficas das estações fluviométricas do DAEE, estimaram-se as vazões estudadas, por intermédio da metodologia de LIAZI et al. (1988). A mesma encontra-se disponível como aplicativo computacional no endereço eletrônico: <http://www.sigth.sp.gov.br/cgi-bin/regnet.exe?lig=pdfp>

Regionalização de vazões para o Estado de São Paulo, desenvolvimento da metodologia proposta

Por meio das séries de vazões médias mensais e das áreas de drenagem das estações fluviométricas, estabeleceram-se, de acordo com a Eq. (1), séries de vazões específicas médias mensais, retirou-se, assim, o efeito da área da bacia sobre os valores das vazões.

$$\bar{Q}_{\text{esp.m}} = \frac{\bar{Q}_m}{A} \quad (1)$$

Em que, $\bar{Q}_{\text{esp.m}}$ é a vazão específica média mensal, ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$); $\bar{Q}_m$ é a vazão média mensal, ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); e A é a área da bacia de drenagem, (km^2).

A partir das séries de vazões específicas médias mensais, dos respectivos postos fluviométricos fez-se a curva de duração, ajustando-se os dados, à distribuição Log-normal de três parâmetros. Utilizou-se esta distribuição, pois a mesma se ajustou a todos os dados das estações fluviométricas de acordo com o teste de Anderson-Darling (Anderson e Darling, 1954), com nível de significância $\alpha = 0,05$. A função de distribuição cumulativa e inversa da Log-normal de três parâmetros é expressa pela Eq. (2) e Eq. (3), respectivamente.

$$F(x) = \Phi \left[\frac{\ln(x - \gamma) - \mu}{\sigma} \right] \quad (2)$$

Em que, μ , σ , γ são os parâmetros que indicam a forma e a escala da distribuição; $\Phi^{-1}(x)$ é a função inversa da distribuição cumulativa normal associada a uma probabilidade x ; e $x(F)$ é o

$$x(F) = \gamma + e^{\{\mu + [\sigma \cdot \Phi^{-1}(x)]\}} \quad (3)$$

valor da amostra relacionada à permanência no tempo.

Sendo assim, representaram-se, para cada bacia hidrográfica, suas características físicas e fluviométricas, por intermédio dos parâmetros de escala (σ) e (γ), e de forma (μ), respectivamente, indicado por meio da forma e da escala da curva de duração das vazões específicas médias mensais.

Posteriormente, substituindo-se a Eq. (1) na Eq. (3), sendo a função inversa da distribuição cumulativa normal uma função crescente, ou seja, refere-se à ocorrência de um evento ser menor ou igual a uma probabilidade p , subtraiu-se 1 da probabilidade de igualdade ou superação da vazão de permanência a ser determinada. Portanto, as vazões de permanência foram calculadas por meio da Eq. (4), sendo esta, função da área da bacia de drenagem, dos parâmetros da distribuição Log-normal de três parâmetros e da probabilidade de permanência no tempo.

$$Q_p = \left\{ \gamma + e^{\{\mu + [\sigma \cdot \Phi^{-1}(1 - p)]\}} \right\} \cdot A \quad (4)$$

Em que, μ , σ , γ são os parâmetros indicativos da forma e escala da distribuição Log-normal de três parâmetros; $\Phi^{-1}(1 - p)$

é a função inversa da distribuição cumulativa normal associada a uma probabilidade $1 - p$; A é a área da bacia de drenagem, (km^2) e Q_p é a vazão de permanência, ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

A vazão média pode ser estimada a partir da curva de permanência, em que a mesma é caracterizada pela área sob a respectiva curva. Portanto, para obtenção desta variável fez-se a integração da Eq.(4), definida no intervalo de p , correspondente aos limites superior e inferior da curva de permanência.

Como a integral definida da Eq.(4) não apresenta solução analítica, utilizou-se o método numérico do tipo Newton - Côtes (Abramowitz; Stegun, 1972), empregando-se valores de Q_p para valores de p uniformemente espaçados, pela regra de Simpson (Horwitz, 2001). Para se obter uma alta precisão, a curva de permanência foi dividida em 100 faixas de mesma largura h .

Estudos feitos pela WSC (2004) revelaram que a vazão $Q_{7,10}$ possui uma correlação alta e positiva com as vazões de permanência; sendo assim, por meio da regressão das vazões mínimas ($Q_{7,10}$) com as vazões de 98% de permanência no tempo (Q_{98}), obteve-se analogamente a Eq. (5).

$$Q_{7,10} = 0,829 \cdot Q_{98} \quad (5)$$

Interpolação espacial dos parâmetros da distribuição de probabilidade Log-normal de três parâmetros

Por intermédio dos três parâmetros da distribuição Log-normal, de escala (σ) e (γ), e de forma (μ), para as respectivas estações fluviométricas, analisou-se inicialmente, a dependência espacial dos mesmos, expressa no semivariograma. Portanto,

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{d_i^2} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (6)$$

optou-se por utilizar o modelo interpolador inverso do quadrado da distância, que desconsidera o padrão da estrutura de dependência espacial, (SILVA et al., 2008). A interpolação, por meio do inverso do quadrado da distância, foi feita da seguinte forma:

Em que: X_p é a variável interpolada; X_i é o valor da variável da i -ésima localidade vizinha e d_i é a distância euclidiana entre o i -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

No presente estudo, avaliou-se o número de localidades mais próximas a ser interpolada, estas variando de 3 a 9 vizinhos. O item subsequente apresenta a metodologia aplicada na avaliação dos mesmos.

Análise estatística dos modelos de regionalização hidrológica do Estado São Paulo

Com o propósito de avaliar as vazões geradas pelos modelos de regionalização hidrológica do Estado de São Paulo (Liazi et al. 1980 e o proposto neste estudo), compararam-se os valores obtidos por meio dos modelos com os valores padrões medidos, em que, os valores padrões constituíram as vazões calculadas a partir das séries históricas das estações fluviométricas

do DAEE e ANA. Neste trabalho, a mencionada avaliação foi realizada; por intermédio, do procedimento de validação cruzada denominado “*jack-knife*”, conforme aplicado por Costa et al. (2012). Por fim, utilizaram-se os índices de desempenho descritos a seguir.

$$d = 1 - \left| \frac{\sum (E_i - P_i)^2}{\sum (|E_i - P| + |P_i - P|)^2} \right| \quad (7)$$

Para aferir o desvio da reta de regressão em relação à reta 1:1, foi calculado o índice de Willmott et al. (1985), Eq. (7). Esse índice assume o valor máximo de 1,0 quando a reta de regressão coincide com a reta 1:1.

Em que: E_i é o valor estimado; P_i é o valor padrão observado e P é a média dos valores padrões observados.

O índice de confiança (c), sugerido por Camargo e Sentelhas (1997), foi obtido pelo produto entre o coeficiente de correlação de Spearman (1904), (r), e o índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985). Esta combinação de $r \cdot d = c$, agrega a precisão, dada por r , à exatidão, dada por d , expressando assim o desempenho do modelo.

Os critérios de avaliação do desempenho de modelos, quanto ao seu índice de confiança, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do desempenho por meio do índice de confiança ou de desempenho (c)

Desempenho	Ótimo	Muito Bom	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
Valor de c	$> 0,85$	$0,76 \text{ a } 0,85$	$0,66 \text{ a } 0,75$	$0,51 \text{ a } 0,65$	$0,41 \text{ a } 0,50$	$< 0,40$

Fonte: adaptado de (Camargo; Sentelhas, 1997)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Delimitação das bacias de drenagem

As bacias de drenagem das 176 estações fluviométricas inicialmente estudadas estão ilustradas na Figura 3. A maior área de bacia de drenagem observada foi da estação a 6C-002 com aproximadamente 47795 km^2 ; a mesma localiza-se no município de Borborema e mede a vazão do rio Tietê; por outro lado, a menor foi a estação 4F-010 com 22 km^2 , existente no município de Itariri, no curso d' água Cor das Pedras.

Observa-se que existe uma maior concentração de estações na região leste do Estado e uma defasagem na região oeste, onde se localizam as Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (URGHIs) Pontal do Parapanema, Peixe, Aguapeí, Baixo Tietê e São José dos Dourados. Sendo assim, a informação hidrológica obtida nestas URGHIs depende das regiões hidrológicamente homogêneas vizinhas, diante da baixa densidade de postos fluviométrico que as mesmas apresentam. Consequentemente, a emissão de outorgas que utilizam vazões regionalizadas pode ser deficitária, ocasionando problemas no gerenciamento de recursos hídricos na região.

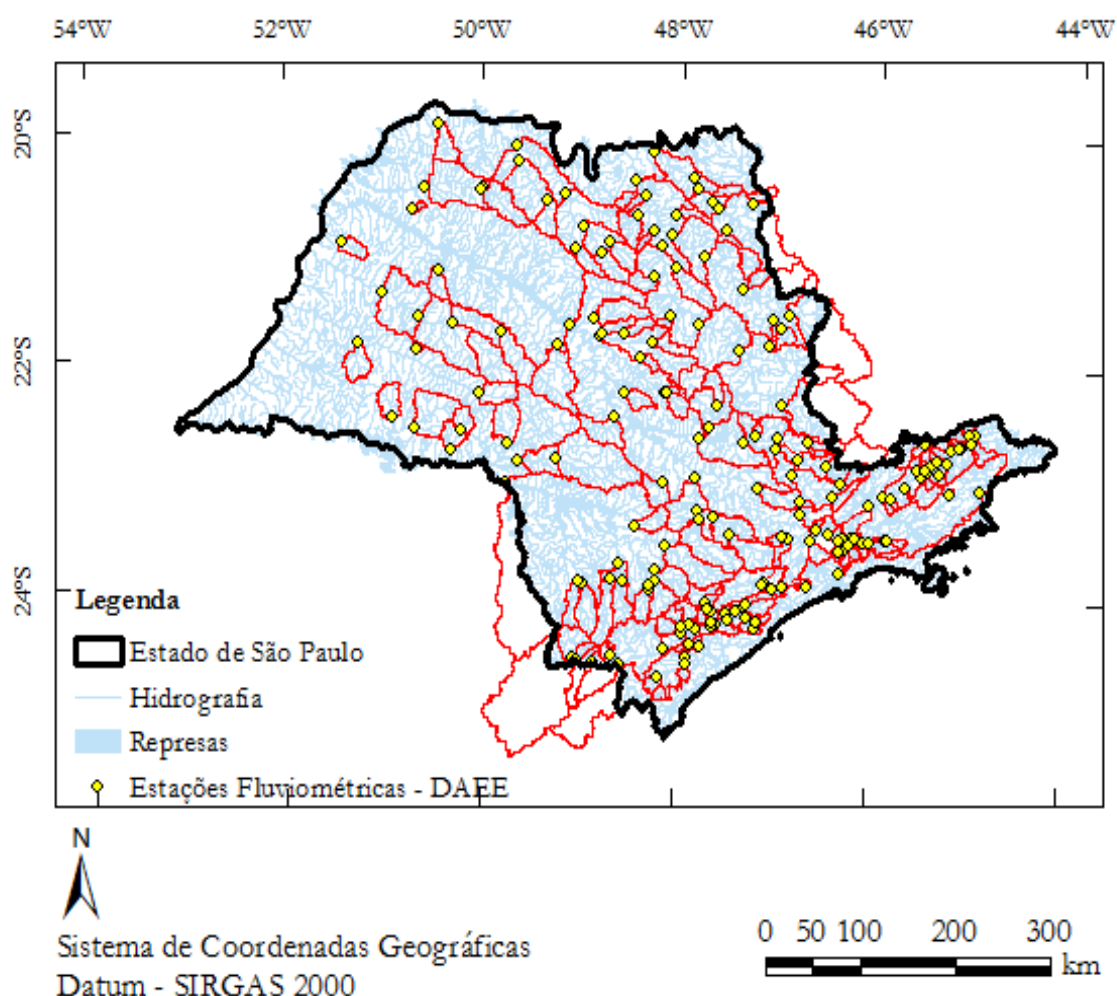


Figura 3 – Bacias de drenagem das estações fluviométricas do DAEE

Interpolação espacial da precipitação média anual e cálculo da mesma para as bacias de drenagem

O semivariograma permite representar quantitativamente a variação da precipitação média anual regionalizado no espaço (Figura 4). Sendo revelado a existência de dependência espacial, em que o efeito pepita foi $C_0 = 0,00015$, este, revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

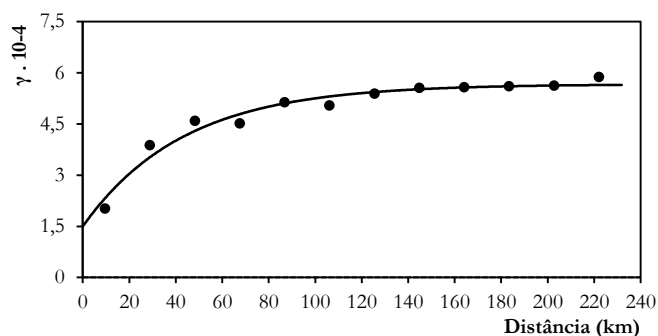


Figura 4 – Valores médios do semivariograma experimental para a precipitação média anual no Estado de São Paulo

Por conseguinte, O alcance (a) foi igual a 41,7 km, distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. O baixo efeito pepita demonstra que não há continuidade entre valores afastados por distâncias menores do que a usada no intervalo de amostragem. O patamar, é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras. A proporção do efeito pepita (C_0) para o patamar (C_1) foi de 2,74%, sendo um indicativo da quantidade de variação ao acaso de um ponto para outro; quanto menor seu valor, mais parecidos são os valores vizinhos. O alcance (a) de 41,7 km denota que todos os vizinhos dentro desse raio podem ser usados na estimativa de valores em espaçamentos mais próximos.

Na Figura 5 são apresentadas as isoietas médias anuais geradas por meio do interpolador espacial Krigagem Ordinária Circular. Observa-se uma faixa de alta precipitação pluviométrica no litoral do Estado, com pico de aproximadamente 4250 mm, caracterizando uma região singular.

Isso ocorre devido ao relevo concordante (a Serra do Mar segue quase que paralelamente à linha da costa); os ventos úmidos vindo do mar se deparam com a barreira montanhosa e são obrigados a subir. Ao subir, o ar se esfria e se satura,

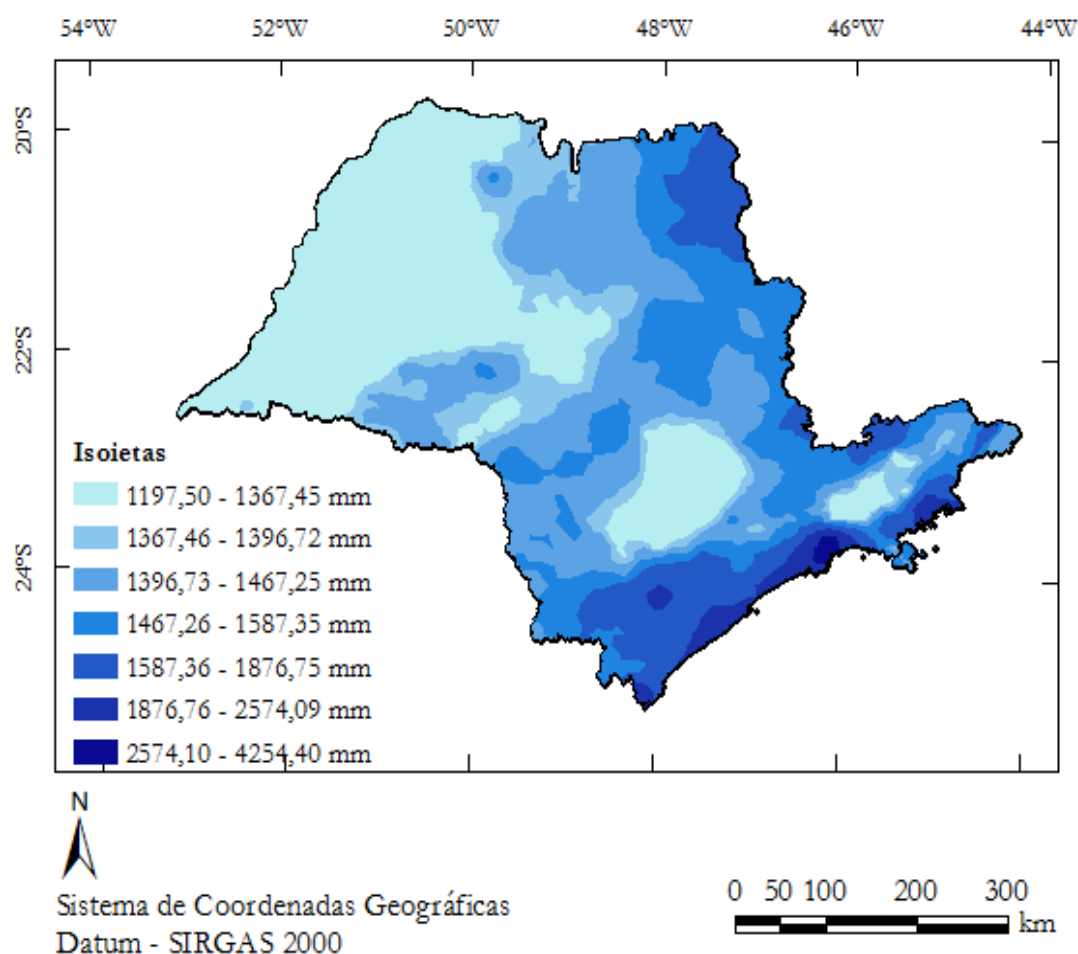


Figura 5 – Distribuição espacial para precipitação pluviométrica média anual no Estado de São Paulo obtida por meio da Krigagem Ordinária Circular

ocorrendo a condensação do vapor de água e a formação de nuvens; consequentemente, nessa região ocorre precipitação do tipo orográfico ou de relevo. As vertentes opostas são mais protegidas pelos ventos, onde o ar é mais seco, e a distribuição de precipitação é mais constante, variando de 1000 a 2000 mm.

Carvalho e Assad (2005) utilizaram 1027 postos pluviométricos para interpolar espacialmente a precipitação média anual no Estado de São Paulo; os autores utilizaram a Krigagem Ordinária Circular e obtiveram um semivariograma com os valores do efeito pepita (C_0) igual a 0,0002 e alcance (a) igual a 48,5 km; observa-se uma alta similaridade com os dados aqui apresentados, corroborando, assim, o estudo.

O modelo de interpolação espacial Krigagem Ordinária Circular apresentou um índice de concordância (d) elevado, com valor de 0,99; este índice representa que, quanto mais próximo de 1 mais a reta de regressão linear entre os valores esperados e observados, tende a reta 1:1, sendo esta a condição ideal. Com relação ao desempenho, o modelo foi classificado como muito bom (índice de confiança (c) igual a 0,75).

Sendo assim, escolheu-se, para calcular a precipitação média anual das bacias hidrográficas das estações fluviométricas do DAEE, o interpolador espacial Krigagem Ordinária Circular.

Em estudos, relacionados à comparação de diferentes

interpoladores espaciais, para a pluviosidade média anual, verificou-se que a Krigagem foi o melhor método para representar esta variável (CASTRO, 2008; RIBEIRO, 2009; YAVUZ e ERDOĞAN, 2011).

Portanto, a maior precipitação média anual, ocorreu na estação fluviométrica Embu(3E-095) com valor de 2651 mm, e a menor na estação Iguia (6B-011), estimada a 1260 mm.

Avaliação do modelo de Liazi et al.(1988)

Com relação ao ajuste dos dados estimados por este modelo e os observados pelo método padrão, calculado pelas séries históricas das estações fluviométricas, e analisando-se os indicadores estatísticos testados (Tabela 2), verifica-se que, para a $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} o modelo apresentou ajuste classificado pelo índice de confiança ou desempenho (c), como ótimo.

A vazão utilizada como referência para a concessão de uso de recursos hídricos no Estado de São Paulo é a $Q_{7,10}$, sendo permitido a captação, a fio d'água, de até 50% da mesma, deixando a jusante o restante. Além de São Paulo os Estados do Espírito Santo e Minas Gerais utilizam a $Q_{7,10}$ como vazão de referência nos processos de outorga (ANA, 2007).

A não é utilizada como critério para avaliação dos

Tabela 2 - Classificação do modelo de regionalização hidrológica do Estado de São Paulo (LIAZI et al., 1988) de acordo com o índice de confiança (c)

Vazões	d	r*	c	R ²	Classificação
Q _{7,10}	0,96	0,92	0,88	0,84	Ótimo
Q ₉₀	0,98	0,95	0,93	0,91	Ótimo
Q ₉₅	0,97	0,94	0,91	0,89	Ótimo
$\overline{Q}$	0,99	0,98	0,98	0,97	Ótimo

Nota: *Correlação de Spearman (1904), significativa a $\alpha = 0,05$

pedidos de outorga no Brasil; entretanto, sua mensuração é importante em uma bacia, pois representa a disponibilidade hídrica máxima. Ela é, teoricamente, a maior vazão que pode ser regularizada por um reservatório em regime intranual, permitindo a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial com barramento, para distintas finalidades (TUCCI, 2009).

As vazões referentes à Curva de Permanência Q₉₀ e Q₉₅ classificaram-se como ótimas, com c igual a 0,93 e 0,91, respectivamente. Devido aos baixos índices de precipitação e a irregularidade do regime hídrico na Região Nordeste do Brasil, aliados a situação hidrogeológica, especialmente no Semiárido brasileiro, ocorrem reduzidos valores de disponibilidade hídrica na região. Nesse contexto, os Estados da Região Nordeste utilizam as vazões com 95% e 90% de permanência como sendo referência aos critérios de outorga. Segundo a ANA (2007), os Estados que utilizam a Q₉₀ como referência para os critérios de outorga são: Tocantins, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe e Bahia; o único que usa a Q₉₅ na Região Nordeste como referência é o Piauí, sendo permitido o uso de até 80% da Q₉₅. É importante frisar que, para os cursos hídricos federais, a ANA impõe um limite de 70% da Q₉₅.

Na Figura 6 está demonstrada, graficamente, a qualidade

do modelo de Liazzi et al. (1988). Pode-se verificar que a maioria dos pontos encontra-se na parte inferior da reta 1:1, gerando uma subestima nos valores; assim, o modelo trabalha a favor da conservação dos recursos hídricos; entretanto, em alguns casos, essa subestimativa é elevada, e acaba levando os usuários a conflitos com o órgão gestor de recursos hídricos.

Dentro deste enfoque, é plausível que se estabeleça critérios de outorga menos conservadores, bem como a adoção de vazões mínimas de referência sazonais, que correspondam às condições trimestrais de maior escassez hídrica, sendo que nos períodos chuvosos uma maior quantidade do recurso estaria passível de ser outorgado.

Considerando o ótimo desempenho do modelo de Liazzi et al. (1988), mediante a atualização do banco de dados em que o mesmo foi formulado, pode-se inferir na hipótese de que, as séries de vazões estudadas não apresentam tendências temporais significativas.

Avaliação do modelo proposto

Diante de algumas limitações da metodologia utilizada no desenvolvimento do modelo de regionalização hidrológica do Estado de São Paulo, proposto por Liazzi et al. (1988), fez-se

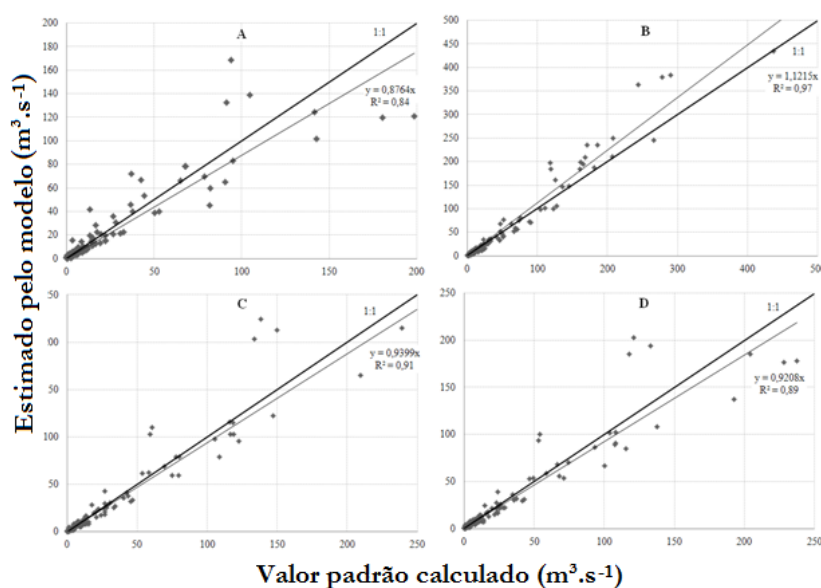


Figura 6 - Gráficos de dispersão entre vazões calculadas pelo modelo de regionalização de Liazzi et al. (1988) (ordenadas) e calculadas por meio das estações fluviométricas (abscissas). Em que A = Q_{7,10}, B = Q₉₀ e D = Q₉₅

um novo modelo, utilizando uma metodologia que corrigisse as limitações do antigo.

Na figura 7, estão apresentadas as vazões específicas, em função da área de drenagem das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

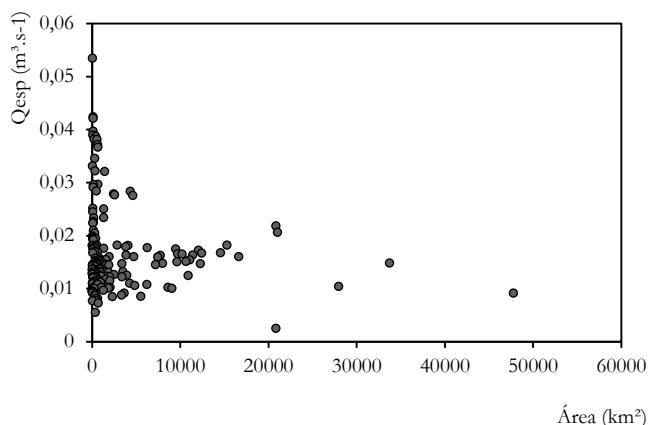


Figura 7 – Gráfico dispersão entre as vazões específicas e as áreas de drenagem das estações fluviométricas

Observa-se que, a vazão específica, não apresenta relação linear com área das bacias de drenagem, isto se dá pelo fato de que, esta variável representa a vazão unitária por área, sendo um indicativo regional do potencial de formação de vazão nos respectivos cursos d'água; portanto, com algumas ressalvas, o uso da interpolação pelo inverso do quadrado da distância dos parâmetros da curva de permanência de vazões específicas, apresenta-se admissível.

Por sua vez, na Tabela 3 estão apresentados os coeficientes de confiança das vazões estudadas, diante de uma análise de sensibilidade do modelo proposto, relacionado ao número de vizinhos utilizados na interpolação pelo inverso da distância ao quadrado. Observa-se que, a partir de 6 vizinhos não há melhora na capacidade preditiva do modelo.

Tabela 3 – Análise de sensibilidade do número de vizinhos interpoladores, por meio da interpolação pelo inverso da distância ao quadrado

Vizinhos	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{7,10}	Q _m
3	0,94	0,93	0,92	0,94
4	0,94	0,93	0,92	0,95
5	0,94	0,93	0,92	0,96
6	0,95	0,94	0,93	0,96
7	0,95	0,94	0,93	0,96
8	0,95	0,94	0,93	0,96
9	0,95	0,94	0,93	0,96

Com apenas 3 vizinhos utilizados na interpolação o modelo apresenta desempenho ótimo, com coeficiente de confiança maior que 0,85. Isto pode ser confirmado, pelo fato de

que os vizinhos mais próximos utilizados na interpolação tem um maior peso na estimativa do valor interpolado, visto que a metodologia proposta usa uma relação inversa pela distância.

Por fim, optou-se por utilizar no modelo a interpolação pelo inverso da distância ao quadrado utilizando os 6 vizinhos mais próximos, e assim obter os parâmetros da curva de permanência de vazões específicas médias mensais.

Na Tabela 4 está apresentado o modelo de regressão linear simples utilizado para estimar a Q_{7,10} em função da variável preditora Q₉₈, bem como a correlação entre as mesmas. Observa-se que o modelo gerado consegue explicar 99% da variação da Q_{7,10} pela variação da Q₉₈, com erro padrão de 2,44%. A correlação foi alta com valor de 0,99; portanto, as vazões correlacionadas são diretamente proporcionais.

Tabela 4- Estatística de regressão e correlação de Spearman (1904) entre as vazões Q_{7,10} e Q₉₈

Estatística de regressão	R ² Ajustado	Erro padrão (%)	r**
Q _{7,10} = 0,829*.Q ₉₈	0,99	2,44	0,99

Nota: *variável significativa a $\alpha = 0,05$, **Correlação de Spearman (1904), significativa a $\alpha = 0,05$

Segundo Tucci (2002), a rede hidrológica no Brasil foi instalada em grandes bacias hidrográficas. Portanto, o uso da regionalização para bacias de menor porte gera incertezas na tomada de decisão, caracterizada pela extrapolação de seus resultados. Neste enfoque, esta metodologia apresenta-se vantajosa, já que a mesma foi formulada por intermédio da interpolação espacial dos parâmetros da curva de duração das vazões específicas médias mensais, anulando, assim, o efeito da área da bacia sobre as vazões. Desta forma, o modelo gerado pode ser aplicado para todos os tamanhos de bacia; entretanto, estudos futuros com microbacias devem ser feitos para confirmar esta premissa. Está apresentada na Figura.8 a dispersão das vazões geradas pelo modelo proposto.

Os resultados da avaliação do modelo proposto neste estudo estão representados na Tabela 5. Assim como no modelo de Liazi et al. (1988), todas as vazões avaliadas foram classificadas como ótimas; entretanto, o novo modelo apresentou índice de confiança (c) superior para Q_{7,10}, Q₉₀, Q₉₅ e igual para Q_m. Assim, este modelo apresenta um desempenho pouco superior, diante dos índices estatísticos utilizados, entretanto, devido às incertezas desses métodos, os dois podem ser utilizados para comparação dos resultados.

Outro ponto a ser considerado importante é o fato do modelo proposto não ser dependente da precipitação média anual, sendo esta uma variável sujeita a certas subjetividades, em meio aos métodos para estimá-la.

Com relação à vantagem da metodologia utilizada comparada a de Liazi et al. (1988), para formular o modelo não é necessário a inicial delimitação de regiões hidrologicamente homogêneas, sendo esta uma etapa considerada morosa e subjetiva pelas metodologias que a utilizam.

Dentre as metodologias para definir regiões homogêneas destacam-se: (i) distribuição de frequência da vazão média anual

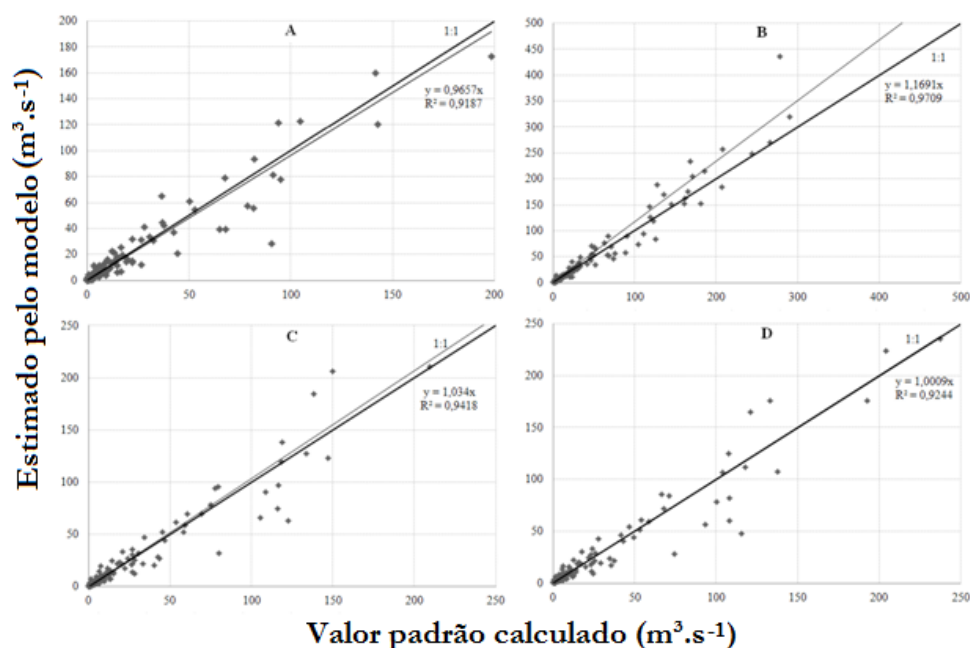


Figura 8 - Gráficos de dispersão entre vazões calculadas pelo modelo de regionalização proposto (ordenadas) e calculadas por meio das estações fluviométricas (abscissas). Em que A = $Q_{7,10}$, B = Q_{90} , C = Q_{95} e D = Q_{95}

Tabela 5 - Classificação do modelo proposto de acordo com o índice de confiança (c)

Vazões	d	r*	c	R²	Classificação
$Q_{7,10}$	0,98	0,96	0,94	0,92	Ótimo
Q_{90}	0,99	0,97	0,96	0,94	Ótimo
Q_{95}	0,98	0,96	0,94	0,92	Ótimo
	0,98	0,99	0,97	0,97	Ótimo

Nota: *Correlação de Spearman (1904), significativa a $\alpha = 0,05$

e o coeficiente de variação; (ii) similaridades das características físicas das bacias (WHITE, 1975); (iii) variância das vazões máximas (WILTSHIRE, 1985); e (iv) métodos baseados na análise multivariada (JOHNSTON e SHMAGIN, 2008; KAHYA et al., 2008; PETERSON et al., 2011).

Sadri e Burn (2011) utilizaram o algoritmo “Fuzzy C-Means” (FCM) na delimitação de regiões homogêneas nas províncias canadenses de Alberta, Saskatchewan e Manitoba, ilustrando que os aglomerados difusos derivados da (FCM) geralmente não são hidrologicamente homogêneos, concluindo que se deva utilizar uma estatística auxiliar, chamada de medida de heterogeneidade - H (HOSKING e WALLIS, 1997).

A medida de heterogeneidade - H é considerada uma metodologia objetiva na delimitação de regiões hidrologicamente homogêneas ela tende à constituição de regiões homogêneas a partir do agrupamento de postos de monitoramento em um ou mais grupos, de forma que uma dada estatística local extrapole ou não um valor limite, atribuído de modo a minimizar algum

critério de heterogeneidade dentro dos grupos. Essa metodologia fundamenta-se em esperar que todas as áreas contribuintes tenham os mesmos momentos-L populacionais, embora seus momentos-L amostrais sejam diferentes, devido à variabilidade natural (HOSKING e WALLIS, 1997).

O modelo formulado pela metodologia proposta neste estudo não depende da preliminar delimitação de regiões hidrologicamente homogêneas. Isso ocorre, pelo fato que o mesmo utiliza a técnica e interpolação espacial do inverso do quadrado da distância entre as 6 estações fluviométricas mais próximas, afim de obter os três parâmetros da distribuição Log-normal para calcular as vazões de interesse. Sendo assim, esta metodologia assume a vantagem de não utilizar o processo mais moroso na regionalização de vazões, a delimitação de regiões hidrologicamente homogêneas.

CONCLUSÃO

O modelo proposto neste estudo apresenta-se com desempenho pouco superior ao de Liazi et al. (1988), de acordo como índice de confiança (c), (Camargo; Sentelhas, 1997). Esse desempenho pouco melhor pode ser explicado pelo fato que o modelo proposto utiliza dados mais recentes, e foi desenvolvido diante do uso de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o que sem dúvida, potencializou o melhor desempenho do mesmo.

O modelo proposto apresenta como vantagens: (i) não é dependente da inserção da precipitação média anual para efetuar os cálculos. Mesmo que o aplicativo Regionalização Hidrológica do DAEE a informe, a mesma é uma variável de entrada no modelo, sendo que o aplicativo a fornece de maneira não especializada para toda bacia, ou seja, é um valor pontual,

não inferindo na variabilidade espacial desta variável. Portanto, para estimativas mais precisas, mesmo que o aplicativo informe a precipitação média anual, deve-se fazer um estudo da espacialização da pluviometria para bacia hidrográfica estudada; (ii) não é vinculado à determinação de regiões hidrologicamente homogêneas, este é um processo moroso que requer a análise de metodologias estatísticas, sendo que, muitas vezes podem ser subjetivas. Com o desenvolvimento de uma metodologia que não utilize esta etapa no processo de regionalização hidrológica, pode-se ganhar um tempo considerável na análise e assim estender a outras regiões que não dispõe deste estudo, padronizando os modelos preditivos oriundos desta metodologia; e (iii) suspeita-se que o mesmo possa ser aplicado a todos os tamanhos de bacias; estudos futuros devem ser feitos para corroborar com esta última premissa. Esta afirmação vai de encontro ao conceito da vazão específica, variável utilizada por esta metodologia para ser ajustada a uma distribuição de probabilidade e tendo seus parâmetros interpolados espacialmente, sendo assim, a mesma informa a vazão unitária por área, inferindo sobre o potencial regional de formação de vazão nos respectivos cursos d'água, eliminando assim o efeito da área da bacia sobre as vazões dos cursos d'água.

Portanto, rejeita-se a hipótese de que a metodologia proposta neste estudo seja inferior a de Liazzi et al. (1988) no desenvolvimento de modelos de regionalização hidrológica.

O modelo desenvolvido está disponível como um aplicativo computacional, no endereço eletrônico: <http://www.leb.esalq.usp.br/wolff/rv/>. Para efetuar os cálculos do mesmo é necessária, apenas, a inserção da coordenada geográfica e da área da bacia de drenagem, a montante do ponto em que se deseja conhecer as vazões fornecidas.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. New York, 1972.
- ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012*. Brasília, 2012. 216p.
- ANA. *GEO Brasil recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectiva do meio ambiente no Brasil*. Brasília, 2007. 264 p.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, Boston, v.48, p.765-769, 1954.
- BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. I da Lei nº 8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 9 jan. 1997.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.2, p.377-384, 2005.
- CASTRO, F. da S. *Zoneamento agroclimático para a cultura do Pinus no Estado do Espírito Santo*. 2008. 123 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.
- 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.
- COSTA, V. A. F.; FERNANDES, W.; NAGHETTINI, M. Modelos Regionais para Curvas de Permanência de Vazões de Rios Perenes, Intermitentes e Efêmeros, com Emprego da Distribuição Burr XII Estendida. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 2, p. 171-180, 2012.
- ELETROBRÁS: *Centrais Elétricas Brasileiras*. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro, 1985. 2 v.
- EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RUBERT, O. A. SANTOS, R. M. Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias, MG. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v.6, n.2, p.81-105, 2001.
- HORWITZ, A. A Version of Simpson's Rule for Multiple Integrals. *Journal of Computational and Applied Mathematics North-Holland* v.134, n.1, p 1-11, 2001.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. *Regional Frequency Analysis – An Approach Based on L-Moments*. Cambridge: Ed. Cambridge University Press, 1997. 224 p.
- JOHNSTON, C. A.; SHMAGIN, B. A. Regionalization, seasonality, and trends of streamflow in the US Great Lakes Basin. *Journal of Hydrology*, v. 362, n. 1-2, p. 69-88, 2008. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169408004253>>. Acesso em: 20/5/2013.
- KAHYA, E.; KALAYCI, S.; PIECHOTA, T. C. Streamflow Regionalization: Case Study of Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 13, n. 4, p. 205-214, 2008. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291084-0699%282008%2913%3A4%28205%29>>. Acesso em: 20/5/2013.

- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate de Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. 1 mapa, color., 150 cm x 200 cm. Escala 1: 120.000.000.
- LI, M.; SHAO, Q.; ZHANG, L.; CHIEW, F. H. S. A new regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins. *Journal of Hydrology*, v. 389, n. 1-2, p. 137-145, 2010. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169410003240>>. Acesso em: 30/11/2012.
- LIAZI, A.; CONEJO, J. L.; PALOS, J. C. F.; CINTRA, P. S. *Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo*. São Paulo: Revista Águas e Energia Elétrica – DAEE, ano 5, n.14. p.4-10. 1988.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 26 abr. 2012.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte, Ed. CPRM, 2007.552 p.
- NERC. *Flood studied report*. London, 1975, 50.
- PETERSON, H. M.; NIEBER, J. L.; KANIVETSKY, R. Hydrologic regionalization to assess anthropogenic changes. *Journal of Hydrology*, v. 408, n. 3-4, p. 212-225, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002216941100521X>>. Acesso em: 24/3/2012.
- PRUSKI, F.F.; SILVA, D. D. da; KOETZ, M. *Estudo da vazão em cursos d'água*. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa. 2006. 151 p. (Caderno didático 43).
- RIBEIRO, C. A. D. *Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do Eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia*. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2009.
- SADRI, S.; BURN, D. H.A Fuzzy C-Means approach for regionalization using a bivariate homogeneity and discordancy approach. *Journal of Hydrology*, v. 401, n. 3-4, p. 231-239, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169411001429>>. Acesso em: 24/3/2012.
- SÃO PAULO. Lei nº 9034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, São Paulo, 27 dez. 1994.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. de S.; SOUZA, G. S. de; OLIVEIRA, R. B. de. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão. *Idesia*, Arica, v. 26, n. 2, p. 75-81, 2008.
- SPEARMAN, C. "General Intelligence", Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology*, Champaign, v. 15, n. 2, p. 201-292, 1904.
- TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre, Ed. ABRH/UFRGS, 2009. 944p.
- TUCCI, C.E.M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre, Ed. ABRH/UFRGS, 2002. 256 p.
- WATERSHED SCIENCE CENTRE (WSC). *Hydrological low flow and their uses*. WSC Report. 2004. Ontario, 2004. 34p.
- WHITE, E.L. Factor analysis of drainage basin properties: classification of flood behavior in terms of basin geomorphology. *Water Resources Bulletin*, v. 11, n. 4, p. 676-686, 1975.
- WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R. ; DONNELL, J. O.; ROWE, M. C. Statistics for the Evaluation and Comparison of Models. *Journal of Geophysical Research*, Lawrence, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.
- WILTSHIRE, S.E. Regional flood frequency analysis 1: Homogeneity statistics. *Hydrological Sciences Journal*, Wallingford, v. 31, n. 3, p. 321-333, Set. 1986.
- YAVUZ, H.; ERDOĞAN, S. Spatial Analysis of Monthly and Annual Precipitation Trends in Turkey. *Water Resources Management*, v. 26, n. 3, p. 609-621, 2011. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11269-011-9935-6>>. Acesso em: 19/9/2012.

New Methodology for Streamflow Regionalization, Case Study for the State of São Paulo

ABSTRACT

Streamflow regionalization is a technique that allows transferring information between similar watersheds in order to calculate the hydrological variables of interest at sites for which there are no data. This technique is a useful tool to ensure the rights to water resources use, an instrument provided by Law 9433/97. The Department of Water and Electric Power (DAEE) is the agency responsible for the management of water resources in the State of São Paulo and uses a streamflow regionalization model formulated in the 80s. Since the model used by DAEE presents some limitations, this study aims to formulate a model, through a new methodology and so test the accuracy of the models, with regard to the prediction of flows used as criteria for water rights concession. The models were evaluated

by cross-validation, jointly with the confidence index (c), using as estimated values the flows generated by the models and the default value calculated by means of the historical series. The new model rejected the hypothesis of a lower predictive capacity and disadvantages of use, compared to the former one; thus the new method has potential, compared to those commonly used in this type of study.

Keywords: *Streamflow regionalization. Duration curve. Water rights concession. Spatial interpolation. Water Resources*