
NOTA TÉCNICA:**COMPARAÇÃO DOS VALORES DA $Q_{7,10}$ ESTIMADOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES**

Michel Castro Moreira¹, Fernando Falco Pruski², Demetrius David da Silva³, José Márcio Alves da Silva⁴

RESUMO

No presente trabalho, foram comparadas três metodologias de regionalização de vazões para estimativa da vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), para diferentes seções da bacia do rio Paracatu. Os métodos de regionalização utilizados foram: o Tradicional; o baseado na proporcionalidade de vazões específicas e o baseado na conservação de massas. Na estimativa da $Q_{7,10}$ para cada seção analisada foi utilizado o Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos (SINGERH). Nos resultados obtidos, foram evidenciadas, para algumas seções, diferenças expressivas na estimativa dos valores de $Q_{7,10}$ pelos três métodos de regionalização estudados, sendo o método baseado na conservação de massas o único que garantiu a continuidade das vazões em toda a área em estudo. A análise dos resultados permitiu constatar a necessidade de maior cuidado na escolha do método de regionalização, pois essa atividade pode comprometer o processo de tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos.

Palavras-chave: disponibilidade hídrica, gestão de recursos hídricos, outorga

 $Q_{7,10}$ ANALYSIS ESTIMATED BY DIFFERENT DISCHARGE REGIONALIZATION METHODS**ABSTRACT**

In the present work three discharge regionalization were analyzed to estimate minimum discharge with a 7-day duration and a 10-year return period ($Q_{7,10}$) for different sections of the Paracatu river basin. The regionalization methods used were: traditional; based on the proportionality of specific flows; and based on the conservation of mass. The Integrated System to the Water Resources Management (SINGERH) was carried out to estimated the $Q_{7,10}$ to different sections. Was evidenced, in the obtained results, in some sections, expressive differences in the $Q_{7,10}$ values for the three regionalization methods studied. The method based on the conservation of mass was the only that guaranteed the continuity of the flows in the whole area in study. The analysis allowed to verify a larger care in the choice of the regionalization method, because it can hamper the process of decision in the water resource management.

Keywords: water availability, water resource management, water rights

Recebido para publicação em 27/02/2009. Aprovado em 07/04/2009

1- Bel. C. da Computação. Doutorando em Eng. Agrícola, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista do CNPq. mmoreira@gprh.ufv.br

2- Eng.º Agrícola. Professor Titular, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista do CNPq. ffpruski@ufv.br

3- Eng.º Agrônomo. Professor Associado, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista do CNPq. demetrius@funarbe.org.br

4- Eng.º Civil. Pós-Doutorando em Eng. Agrícola, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista da FAPEMIG. jmarcio@gprh.ufv.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento da disponibilidade hídrica é a informação básica para a tomada de decisão no processo de outorga. A necessidade de se conhecer ao longo da rede hidrográfica a vazão e as limitadas séries de dados fluviométricos disponíveis dificultam, ou, muitas vezes, impedem a realização de uma adequada gestão de recursos hídricos (MOREIRA, 2006).

Para superar a dificuldade encontrada em se cobrir todos os locais de interesse, necessários ao adequado gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, utiliza-se a técnica de regionalização de vazões, a qual permite transferir espacialmente as informações, a partir dos dados disponíveis em determinadas localidades.

Diversas metodologias para essa finalidade encontram-se disponíveis, como as descritas em Eletrobrás (1985a), Eletrobrás (1985b) e Chaves *et al.* (2002). Além dessas, outras têm sido propostas, como a de Novaes *et al.* (2009). Estas metodologias apresentam grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica; no entanto, exigem um estudo minucioso a fim de verificar a sua aplicabilidade às condições da bacia hidrográfica.

Na bacia do rio Paracatu, principal contribuinte para a formação das vazões do rio São Francisco, com cerca de 19,5% do volume médio escoado na sua foz (PEREIRA, 2004), já são evidenciadas vazões de retirada superiores à máxima permissível para outorga.

De acordo com Rodriguez (2004), dentre as 21 seções com informações fluviométricas da bacia do rio Paracatu, em três as vazões de retirada pela irrigação são superiores às permissíveis no Estado de Minas Gerais, sendo evidenciado que esta bacia tem dois terços dos recursos hídricos superficiais outorgáveis já efetivamente utilizados.

Dada a importância da bacia do rio Paracatu para o Estado de Minas Gerais e para a bacia do rio São Francisco, e considerando que o órgão gestor dessa bacia (Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM) utiliza o critério de outorga baseado na vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), o presente trabalho teve por objetivo comparar os valores da $Q_{7,10}$, estimados por diferentes métodos de regionalização de vazões, para diferentes seções da bacia do rio Paracatu.

MATERIAL E MÉTODOS

A fim de estimar os valores de $Q_{7,10}$ por diferentes métodos de regionalização de vazões, para diversas seções da bacia do rio Paracatu, estando essas localizadas no rio Escuro, ribeirão Entre Ribeiros e rio Paracatu (Figura 1), utilizou-se o Sistema Integrado para a Gestão dos Recursos Hídricos (SINGERH), desenvolvido por Moreira (2006), o qual permite obter a disponibilidade hídrica para qualquer seção de interesse ao longo da rede hidrográfica de uma bacia.

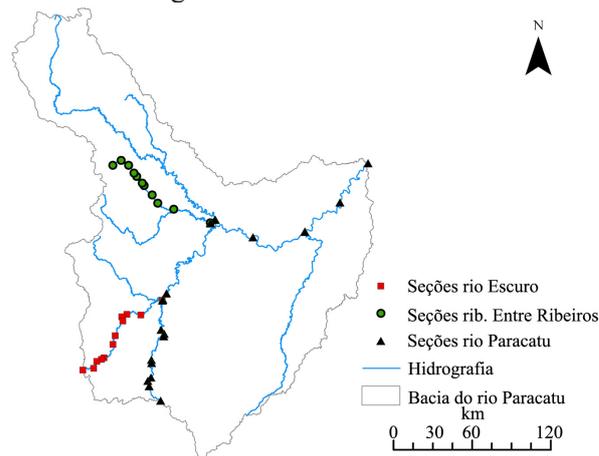


Figura 1. Seções do rio Escuro, ribeirão Entre Ribeiros e rio Paracatu para as quais foram estimados os valores de $Q_{7,10}$.

Para utilização do SINGERH, é necessária a construção de uma base de dados relativa à bacia em estudo, na qual devem constar: o modelo digital de elevação (MDE), os valores das vazões mínimas e média, sendo, no presente estudo, utilizados apenas os valores da $Q_{7,10}$, e as equações de regionalização de vazões dos métodos Tradicional (ELETROBRÁS, 1985b) e baseado na conservação de massas (NOVAES *et al.*, 2009).

O MDE foi gerado a partir dos procedimentos descritos por Chaves (2002), Baena (2002) e Pires *et al.* (2005), sendo estes: amostragem, pré-processamento dos dados de drenagem e elevação, geração do MDE, pós-processamento do MDE e validação do MDE.

Os valores de $Q_{7,10}$ foram obtidos a partir da análise dos dados consistidos, correspondentes ao período de 1970 a 2000, de 21 estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (*HidroWeb*).

Para obtenção das equações de regionalização de vazões com base no método Tradicional, foi realizada a identificação das regiões hidrologicamente homogêneas e o ajuste de regressões regionais entre a $Q_{7,10}$ e a área de drenagem da bacia. Os modelos de regressão adotados foram linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco.

A área de drenagem foi a única característica física da bacia utilizada na obtenção das equações de regressão regionais, tendo em vista o fato de ser esta a variável obtida automaticamente pelo Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos (SINGERH), sistema computacional no qual as equações de regressão regionais serão implementadas.

Para a obtenção das equações de regionalização pelo método baseado na conservação de massas, proposto por Pereira (2004) e aperfeiçoado por Novaes *et al.* (2009), procedeu-se ao ajuste dos modelos de regressão para representação da $Q_{7,10}$ em função da área de drenagem das estações fluviométricas localizadas no rio principal. A partir desses modelos, obteve-se a vazão na foz de cada rio afluente direto do rio principal (Figura 2), procedendo-se, então, a novos ajustes, em um processo recursivo, dos rios de maior para os de menor ordem.

Apesar de não ter sido necessário obter equações de regionalização para o método baseado na proporcionalidade de vazões específicas, descrito em Eletrobrás (1985b), vale ressaltar que o SINGERH possui esse método, implementado para a estimativa das vazões mínimas e média.

O comportamento da $Q_{7,10}$ em função da área de

drenagem, foi analisado, tendo sido quantificados os desvios relativos percentuais (Dp) entre as estimativas das vazões pelos diferentes métodos de regionalização:

$$Dp = \frac{|Q_{in} - Q_{im}|}{Q_{im}} 100 \quad (1)$$

em que,

Q_{in} = vazão estimada na seção i pelo método n , $m^3 s^{-1}$;

Q_{im} = vazão estimada na seção i pelo método m , $m^3 s^{-1}$;

$\overline{Q_{im}}$ = média das vazões estimadas na seção i pelos métodos n e m , $m^3 s^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3, apresenta-se a linha de tendência, em função da área de drenagem, dos valores de $Q_{7,10}$, estimados com base nos métodos Tradicional (MT), no da proporcionalidade de vazões específicas (MPV) e no da conservação de massas (MCM), utilizando o SINGERH para diferentes seções do rio Escuro, ribeirão Entre Ribeiros e rio Paracatu.

Pela análise do comportamento das vazões para o rio Escuro (Figura 3a), evidencia-se que, em áreas de drenagem inferiores a 2.000 km^2 , os valores estimados pelos três métodos de regionalização não apresentaram diferenças expressivas entre si, inclusive com oscilação entre os métodos em relação àquele que conduziu ao maior valor de $Q_{7,10}$.

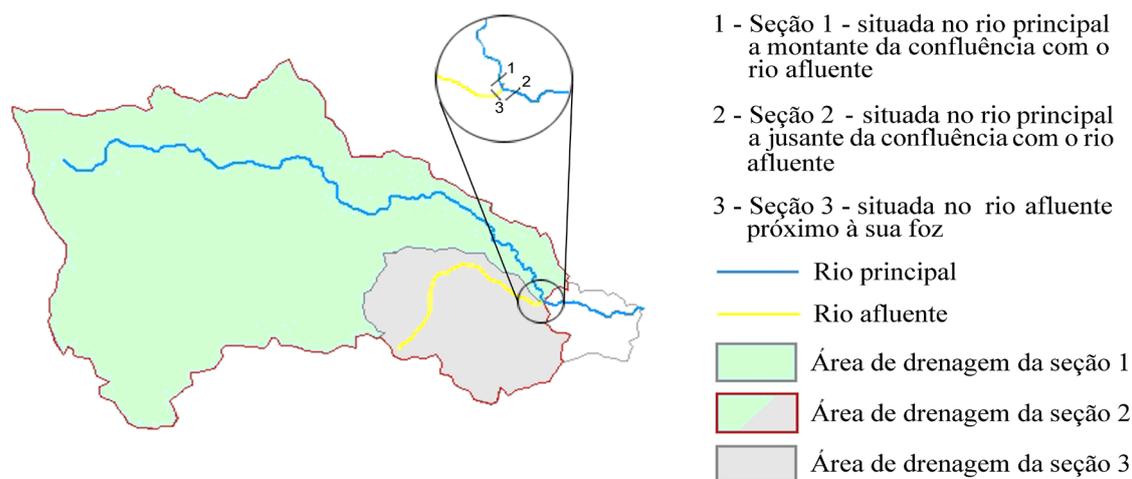


Figura 2. Procedimento para a determinação das vazões a montante e a jusante da confluência do rio com equação ajustada e um afluente direto.

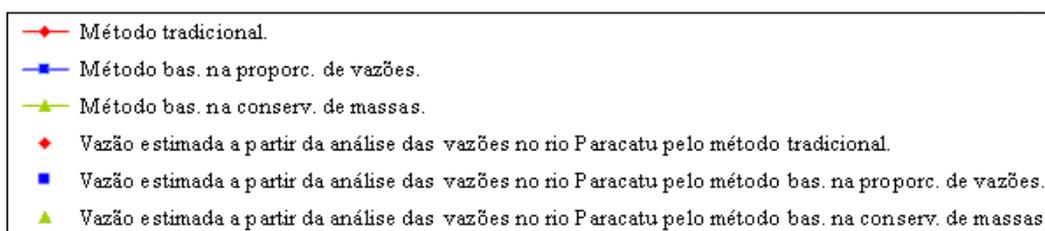
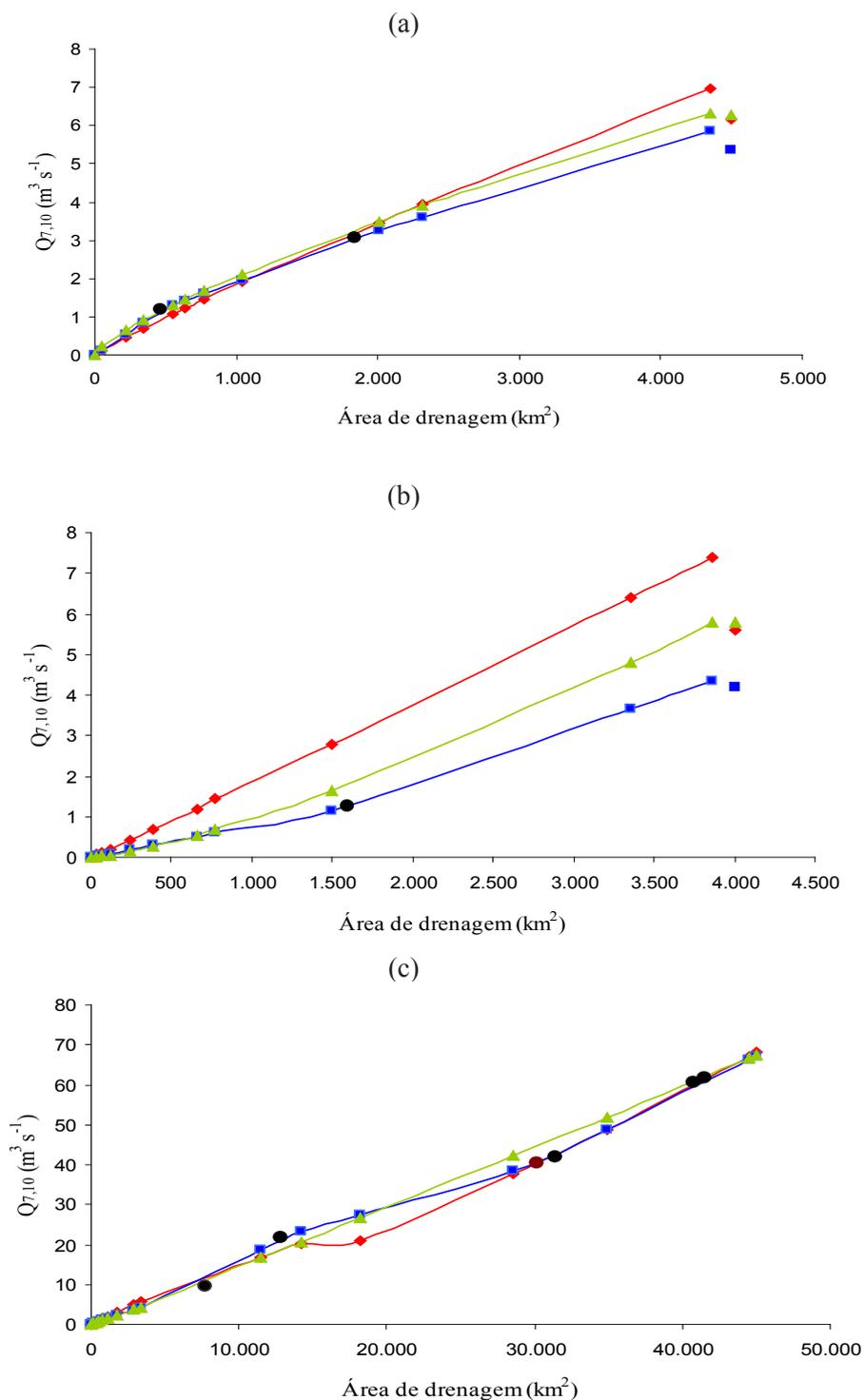


Figura 3. $Q_{7,10}$, em $m^3 s^{-1}$, estimada pelos três métodos de regionalização de vazões nas diferentes seções da bacia do rio Paracatu: (a) rio Escuro; (b) ribeirão Entre Ribeiros e (c) rio Paracatu.

Observa-se, para áreas de drenagem superiores a 2.000 km², tendência de comportamento aproximadamente linear nos três métodos estudados, sendo os valores obtidos pelo MT superiores aos do MCM e estes, por sua vez, sempre superiores aos do MPV, o que conduz, para a foz do rio Escuro, aos seguintes valores de $Q_{7,10}$: 6,97 m³ s⁻¹ (MT), 5,84 m³ s⁻¹ (MPV), e 6,31 m³ s⁻¹ (MCM); acarretando desvios percentuais (Dp) de 17,6% entre os métodos MT e MPV, 9,9% entre os métodos MT e MCM e 7,7% entre os métodos MPV e MCM.

Outro aspecto que pode ser evidenciado na Figura 3a é a diferença entre os valores estimados na foz do rio Escuro e aqueles obtidos pela diferença entre a vazão do rio Paracatu, imediatamente a montante e a jusante da confluência com o rio Escuro. Enquanto no MCM não existe diferença entre estes valores, para o MT a diferença foi de 0,82 m³ s⁻¹ (correspondente a 11,8% da vazão estimada na foz), e, para o MPV, a diferença foi de 0,47 m³ s⁻¹, o que representa 8,0% da vazão estimada na foz.

Considerando a afirmação de Cruz (2001), de que a garantia da continuidade das vazões ao longo da rede hidrográfica de uma bacia é de suma importância para a gestão de recursos hídricos, pois uma estimativa das vazões em uma seção pode alterar as proporções de vazões outorgadas em relação à disponibilidade hídrica, evidencia-se que o MCM é o método que melhor atende a esta necessidade.

No ribeirão Entre Ribeiros (Figura 3b), observa-

se tendência do MT a produzir as maiores estimativas de $Q_{7,10}$. Para os MCM e MPV, evidencia-se que as $Q_{7,10}$ estimadas são semelhantes para valores de área de drenagem de até, aproximadamente, 800 km², sendo que, a partir de então, o MCM passa a produzir maiores valores de $Q_{7,10}$. Em relação à foz, observa-se que a $Q_{7,10}$ correspondente ao MT é de 7,39 m³ s⁻¹, ao MPV de 4,36 m³ s⁻¹ e ao MCM de 5,78 m³ s⁻¹, o que acarreta uma descontinuidade em relação às vazões estimadas a partir da análise da vazão do rio Paracatu, imediatamente a montante e a jusante da confluência com o ribeirão Entre Ribeiros, de 1,79 m³ s⁻¹ para o MT; 0,16 m³ s⁻¹ para o MPV e uma vazão nula para o MCM, caracterizando, novamente, neste método, a continuidade das vazões de um afluente para o rio principal.

Pela análise da Figura 3c, observa-se uma tendência de comportamento aproximadamente linear para o MCM, tal como evidenciado por Novaes (2005). Para os outros dois métodos, entretanto, foram observadas mudanças expressivas no comportamento da $Q_{7,10}$, em função da área de drenagem.

No MPV, essas variações podem ser atribuídas às diferenças entre as vazões específicas mínimas das seis estações situadas no rio Paracatu, que correspondem a: Porto Alegre (1,49 Ls⁻¹km⁻²); Porto do Cavalo (1,48 Ls⁻¹km⁻²); Caatinga (1,33 Ls⁻¹km⁻²); Porto da Extrema (1,34 Ls⁻¹km⁻²); Santa Rosa (1,69 Ls⁻¹km⁻²) e Ponte da BR-040 (1,23 Ls⁻¹km⁻²).

Quadro 1. Diferença absoluta, em m³s⁻¹, e desvio relativo percentual, em %, entre as vazões estimadas pelos três métodos de regionalização para diferentes seções do rio Escuro

Área de drenagem (km ²)	MT X MPV		MT X MCM		MPV X MCM	
	Dif. Abs. (m ³ s ⁻¹)	Dp (%)	Dif. Abs. (m ³ s ⁻¹)	Dp (%)	Dif. Abs. (m ³ s ⁻¹)	Dp (%)
4.355	1,13	17,6	0,66	9,9	0,47	7,7
4.323	1,12	17,6	0,64	9,7	0,48	7,9
2.317	0,33	8,7	0,04	1,0	0,29	7,7
2.009	0,19	5,6	0,04	1,1	0,23	6,8
1.036	0,06	3,1	0,2	10,0	0,14	6,9
775	0,13	8,5	0,22	13,9	0,09	5,5
640	0,19	14,3	0,23	17,1	0,04	2,8
556	0,21	17,6	0,22	18,3	0,01	0,8
463	0,249	23,8	0,219	21,3	0,03	2,6
338	0,161	20,8	0,207	26,0	0,046	5,2
219	0,085	16,6	0,178	31,9	0,093	15,5
52	0,003	2,3	0,088	50,9	0,085	48,7
0,25	0	0,0	0,003	120,0	0,003	120,0

MT: método Tradicional; MPV: método baseado na proporcionalidade de vazões específicas; e MCM: método baseado na conservação de massas.

Por sua vez, no MT observa-se que para áreas de drenagem entre 14.216 e 18.204 km², o valor da $Q_{7,10}$ apresenta uma taxa de crescimento (contribuição específica) muito inferior à taxa observada nos demais segmentos do rio, comportamento que está diretamente associado à transição de uma região hidrologicamente homogênea para outra.

Este problema de transição de uma região hidrologicamente homogênea para outra é, aliás, um problema típico do MT. A tentativa de alteração do limite das regiões hidrologicamente homogêneas, a fim de solucionar o problema de descontinuidade da $Q_{7,10}$ no rio Paracatu, transfere o problema de descontinuidade para os demais rios.

Ainda na Figura 3c, evidenciam-se, no MPV, diferentes declividades na curva de estimativa da $Q_{7,10}$, implicando na descontinuidade das vazões estimadas. A tendência, apresentada pelo MPV, de conduzir à desproporção do aumento do valor da $Q_{7,10}$ com o aumento da área de drenagem representa uma grande dificuldade quando da análise de processos de outorga.

Tal comportamento advém das reduções das vazões nas estações com maior área de drenagem. Pereira (2004), ao estudar o comportamento hidrológico de 23 estações fluviométricas da bacia do rio São Francisco, verificou várias dessas inconsistências, fato que o fez propor um método de ajuste dessas vazões.

No Quadro 1, apresentam-se os valores da diferença absoluta e do desvio relativo percentual entre as vazões estimadas pelos três métodos de regionalização de vazões para diferentes seções do rio Escuro.

Nota-se, no Quadro 1, que, embora as diferenças na magnitude das $Q_{7,10}$ tenham sido pequenas, o fato de as vazões associadas a pequenas áreas de drenagem serem reduzidas acaba por acarretar maiores desvios relativos. Assim sendo, observa-se, para a relação dos métodos MT x MCM e MPV x MCM, que houve uma tendência de decréscimo dos valores dos desvios relativos percentuais (D_p) em relação ao aumento da área de drenagem, sendo verificados valores de D_p correspondentes a 120% para diferenças absolutas das vazões estimadas de apenas 0,003 m³ s⁻¹. Na relação dos métodos MT x MPV; no entanto, não houve uma tendência definida nos valores de D_p , sendo verificadas diferenças inferiores a 25%.

De modo geral, verifica-se que os maiores D_p estiveram associados a menores áreas de drenagem, caracterizando um comportamento já observado

por outros autores (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2003; NOVAES, 2005) em relação à ocorrência de maiores desvios entre vazões estimadas e observadas nas regiões próximas às cabeceiras.

Tendo em vista a análise apresentada, evidenciam-se, para algumas seções, diferenças expressivas na estimativa das vazões mínimas pelos três métodos de regionalização estudados, sendo, portanto, necessário um maior cuidado na escolha do método de regionalização, pois essa atividade pode comprometer o processo de tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos, vindo a gerar conflitos. Nesse sentido, o SINGERH, ao calcular a disponibilidade hídrica por diferentes métodos de regionalização, fornece subsídios para o gestor proceder à análise de qual método é o mais adequado às condições da bacia em estudo.

É necessário salientar que a qualidade das vazões estimadas, utilizando os métodos de regionalização, depende do número de estações fluviométricas consideradas e de sua distribuição, bem como da consistência das séries históricas. É importante que se tenha consciência de que nenhum dado pode ser criado, o que se deve é buscar, da melhor maneira possível, extrair o máximo de informações dos dados existentes (IPH, citado por Silva Júnior *et al.*, 2003). Cabe lembrar que a estimativa das vazões pode não considerar particularidades locais, devendo, neste caso, a decisão sobre o emprego dos valores a serem utilizados recair em critérios baseados na experiência do hidrólogo e de seu conhecimento da região.

CONCLUSÕES

- Existem diferenças expressivas nas estimativas dos valores de $Q_{7,10}$ pelos métodos de regionalização, o que vem reforçar a importância da utilização do SINGERH no processo de tomada de decisão no gerenciamento de recursos hídricos;
- As diferenças na estimativa dos valores de $Q_{7,10}$ apontam para a necessidade de um maior critério na escolha do método de regionalização a ser utilizado na gestão de recursos hídricos;
- O método baseado na conservação de massas de vazões garantiu a continuidade das vazões em toda a área em estudo, ao contrário do que foi evidenciado quando da aplicação dos métodos Tradicional e baseado na proporcionalidade de vazões específicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica.** 2002. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais.** 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões.** Rio de Janeiro, 1985a. 202p.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de minicentrais hidrelétricas.** Rio de Janeiro, 1985b.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água.** 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

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

NOVAES, L. F.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. 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.

PEREIRA, S. B. **Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco.** 2004. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C. do.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.10, n.2, p.39-47, 2005.

RODRIGUEZ, R. G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu.** 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

SILVA JÚNIOR, O. B.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, N. M. R. Extrapolação espacial na regionalização da vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8, n.1, p.21-37, 2003.