

Avaliação do Desempenho de Cinco Metodologias de Regionalização de Vazões

Luciano Farias de Novaes, Fernando Falco Pruski, Douglas Oliveira de Queiroz,
Renata del Giudice Rodriguez, Demetrius David da Silva, Márcio Mota Ramos

Universidade Federal de Viçosa – UFV - MG

lnovaes@vicosa.ufv.br; ffppruski@ufv.br; eg42678@yahoo.com.br; ms45944@vicosa.ufv.br; david@ufv.br; mmramos@ufv.br

Recebido: 11/10/05 – Revisado: 29/11/06 – Aceito: 19/04/07

RESUMO

Quando as bases de dados disponíveis em uma bacia hidrográfica são reduzidas, a regionalização de vazões pelo método tradicional, considerando regiões hidrologicamente homogêneas e equações de regressão regionais, apresenta grandes restrições. Diversas metodologias que necessitam menos informações que o método tradicional têm sido desenvolvidas, sendo, o objetivo do presente trabalho avaliar o desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões para a estimativa das vazões mínimas e médias de longa duração considerando as condições de 21 estações fluviométricas situadas na bacia do Paracatu. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os seguintes métodos de regionalização de vazões: tradicional, interpolação linear; Chaves et al. (2002); sendo os outros dois métodos analisados advindos de modificações nas metodologias da interpolação linear e de Chaves et al. (2002). Avaliando as vazões estimadas pelos cinco métodos de regionalização de vazões estudados evidenciou-se que não ocorreram diferenças expressivas no desempenho destes na bacia do Paracatu.

Palavras-chave: Disponibilidade hídrica, outorga, gestão de recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, sendo considerada uma ferramenta de grande importância no gerenciamento dos recursos hídricos. Os modelos de regionalização de vazões buscam uma melhor estimativa das vazões em seções que não possuem medições fluviométricas, não sendo recomendada a utilização destes modelos em seções que possuem medições, pois os mesmos não substituem as informações reais (Silva Júnior et al., 2002).

Um dos métodos mais difundidos para a regionalização de vazões é o método tradicional, o qual é descrito pela Eletrobrás (1985a) e consiste na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea.

Quando as bases de dados disponíveis em uma bacia hidrográfica são reduzidas, a regionaliza-

ção de vazões pelo método tradicional apresenta grandes restrições. A identificação de uma metodologia de regionalização de vazões que necessitasse menos informações que o método tradicional e que proporcionasse uma boa confiabilidade constituirá uma grande contribuição para o gerenciamento dos recursos hídricos, colaborando, assim, para a otimização do uso da água e, conseqüentemente, para a minimização dos conflitos entre os usuários.

Diversas metodologias tem sido desenvolvidas com o intuito de superar as limitações das bases de dados existentes na maioria das bacias hidrográficas brasileiras. Dentre elas destaca-se a metodologia baseada na interpolação linear, descrita pela Eletrobrás (1985b), na qual obtém-se as vazões relativas à seção de interesse utilizando as vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas. Assim, quando a seção de interesse encontra-se entre dois postos fluviométricos a vazão na seção de interesse é obtida somando-se a vazão na seção de montante um incremento de vazão proporcional à vazão específica da área de drenagem entre a estação de montante e jusante. Quando a seção de interesse está a montante ou a jusante de apenas um posto fluviométrico é considerado que a vazão específica das duas seções é igual, sendo a vazão de inte-

resse calculada com base nesta premissa. Eletrobrás (1985) recomenda, entretanto, que a aplicação desta metodologia somente deve ser feita quando a relação das áreas de drenagem das duas seções analisadas é inferior a três.

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

Visando comparar o desempenho de diferentes metodologias para a regionalização de vazões mínimas e médias de longa duração, desenvolveu-se o presente trabalho considerando cinco diferentes procedimentos experimentais e aplicando-os às condições de 21 estações fluviométricas situadas na bacia do Paracatu.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia do rio Paracatu está situada no Médio São Francisco e drena uma área de aproximadamente 45.600 km², sendo a segunda maior sub-bacia do São Francisco (Brasil, 1996). Da área de drenagem da bacia do Paracatu cerca de 92% encontram-se no Estado de Minas Gerais, 5% em Goiás e 3% no Distrito Federal (Ferreira e Euclides, 1997).

Dados utilizados no estudo

Para a realização do estudo foram analisados os dados consistidos correspondentes ao período de 1970 a 2000 de 21 estações fluviométricas (Tabela 1) e de 30 estações pluviométricas (Tabela 2) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). As áreas de drenagem apresentadas na Tabela 1 foram obtidas pelo mapa digitalizado na escala de 1:100.000 correspondente à rede hidrográfica.

Pela análise dos dados das 21 estações fluviométricas estudadas obteve-se a vazão média anual de longa duração (Q_{mld}) pela média das vazões médias anuais. As vazões mínimas utilizadas no estudo foram a vazão associada à permanência de 95% ($Q_{95\%}$) e a vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$).

Para o cálculo da precipitação média nas áreas de drenagem das 21 estações fluviométricas estudadas foi empregado o método do Polígono de Thiessen.

Métodos de regionalização de vazões analisados

Uma vez conhecidas as $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$ e Q_{mld} nas 21 estações fluviométricas para as quais foi realizado este trabalho procedeu-se o estudo de regionalização destas vazões na bacia do Paracatu, tendo sido utilizados e comparados cinco diferentes métodos de regionalização de vazões.

O primeiro método está baseado na definição de regiões hidrologicamente homogêneas e no estabelecimento de equações de regressão regionais, sendo denominado de método tradicional. O segundo e o terceiro métodos analisados são baseados na interpolação/extrapolação das vazões relativas à seção de interesse, utilizando para tanto as vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas, sendo estes métodos denominados de interpolação linear e de Chaves et al. (2002). O quarto e o quinto métodos estudados constituem em propostas de modificações nas metodologias da interpolação linear e Chaves et al. (2002), sendo denominados neste trabalho como métodos da interpolação linear modificado e Chaves modificado, respectivamente.

• Método tradicional

Para a aplicação deste método foram utilizados as equações obtidas por Euclides et al. (2004) em estudo relativo à regionalização das vazões máxima, mínima e média de longa duração para o Estado de Minas Gerais. Neste estudo os autores obtiveram, para a bacia do Paracatu, as regiões hidrologicamente homogêneas apresentadas na Figura 1 e os modelos de regressão apresentados na Tabela 3.

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de drenagem (km ²)	Curso d'água
42250000	Fazenda Limociro	17° 54' 56"	47° 00' 38"	490	Rio Claro
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	17° 36' 48"	46° 51' 31"	1.846	Rio Escuro
42255000	Fazenda Nolasco	17° 13' 48"	47° 01' 20"	264	Ribeirão Santa Isabel
42257000	Barra do Escurinho	17° 30' 45"	46° 38' 46"	2.035	Ribeirão Escurinho
42290000	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	7.756	Rio Paracatu
42395000	Santa Rosa	17° 15' 19"	46° 28' 26"	12.537	Rio Paracatu
42435000	Fazenda Barra da Égua	16° 52' 28"	46° 35' 12"	1.591	Ribeirão Barra da Égua
42440000	Fazenda Poções	17° 02' 31"	46° 49' 04"	545	Ribeirão São Pedro
42460000	Fazenda Limeira	16° 12' 35"	47° 13' 58"	3.901	Rio Preto
42490000	Unai	16° 20' 58"	46° 52' 48"	5.265	Rio Preto
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	5.844	Rio Preto
42545500	Fazenda o Resfriado	16° 30' 10"	46° 39' 46"	697	Ribeirão Roncador
42546000	Fazenda Santa Cruz	16° 08' 06"	46° 44' 52"	554	Rio Salobro
42600000	Porto dos Poções	16° 50' 23"	46° 21' 26"	9.419	Rio Preto
42690001	Porto da Extrema	17° 01' 49"	46° 00' 49"	28.721	Rio Paracatu
42750000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	31.401	Rio Paracatu
42840000	Veredas	18° 08' 19"	45° 45' 32"	185	Rio Santo Antônio
42850000	Cachoeira das Almas	17° 21' 02"	45° 31' 57"	4.370	Rio do Sono
42860000	Cachoeira do Paredão	17° 07' 16"	45° 26' 08"	5.679	Rio do Sono
42930000	Porto do Cavalo	17° 01' 50"	45° 32' 22"	40.869	Rio Paracatu
42980000	Porto Alegre	16° 46' 29"	45° 22' 55"	41.868	Rio Paracatu

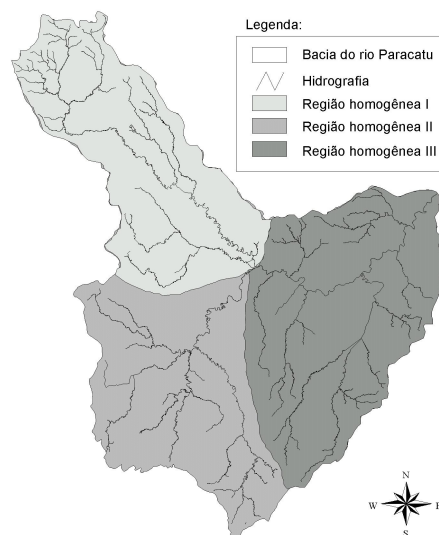


Figura 1 - Delimitação das regiões hidrologicamente homogêneas na bacia do Paracatu (Euclydes et al., 2004).

Tabela 2 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
01546005	Cabecceiras	15° 48' 03"	46° 55' 29"	900
01547002	Planaltina	15° 27' 12"	47° 36' 48"	1.000
01645000	São Romão	16° 22' 18"	45° 04' 58"	472
01645002	Santo Inácio	16° 16' 54"	45° 24' 51"	460
01645003	Barra do Escuro	16° 16' 07"	45° 14' 16"	437
01645009	Cachoeira da Manteiga	16° 39' 25"	45° 04' 51"	-
01645013	Fazenda Água Branca	16° 48' 26"	45° 01' 49"	-
01646000	Porto dos Poções	16° 49' 47"	46° 19' 20"	540
01646001	Unai	16° 21' 05"	46° 53' 23"	-
01646003	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	-
01647001	Ponte São Bartolomeu	16° 32' 16"	47° 48' 02"	790
01647002	Cristalina	16° 45' 23"	47° 36' 22"	1.239
01744006	Pirapora-Barreiro	17° 21' 50"	44° 56' 54"	471
01745000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	502
01745001	Cachoeira do Paredão	17° 06' 40"	45° 26' 16"	520
01745007	Porto do Cavalo	17° 01' 37"	45° 32' 26"	473
01746001	Porto da Extrema	17° 01' 51"	46° 00' 49"	510
01746002	Santa Rosa	17° 15' 19"	45° 28' 26"	490
01746006	Ponte da BR-040 (Prata)	17° 39' 49"	46° 21' 18"	-
01746007	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	-
01746008	Paracatu	17° 13' 00"	46° 52' 00"	-
01747001	Campo Alegre de Goiás	17° 30' 15"	47° 33' 20"	800
01747005	Guarda Mor	17° 46' 21"	47° 05' 55"	-
01845013	São Gonçalo do Abaeté	18° 20' 37"	45° 50' 12"	836
01846003	Major Porto	18° 42' 25"	46° 02' 13"	672
01846005	Presidente Olegário	18° 24' 45"	46° 25' 20"	-
01846016	Ponte Firme	18° 02' 02"	46° 25' 10"	-
01846017	Leal dos Patos	18° 38' 28"	46° 20' 04"	-
01847003	Abadia dos Dourados	18° 29' 28"	47° 24' 23"	784
01847040	Fazenda São Domingos	18° 06' 11"	47° 41' 41"	-

Tabela 3 – Modelos de regressão recomendados para a representação da vazão média de longa duração (Q_{mld}), da vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) e da vazão associada à permanência de 95% ($Q_{95\%}$)

Região	Modelos recomendados
I	$Q_{mld} = 0,0169 A^{0,9777}$
	$Q_{7,10} = 0,0019 A^{1,0279}$
	$Q_{95\%} = 0,0029 A^{1,0018}$
II	$Q_{mld} = 0,0239 A^{0,9199}$
	$Q_{7,10} = 0,0042 A^{0,8944}$
	$Q_{95\%} = 0,0060 A^{0,9039}$
III	$Q_{mld} = 0,0066 A^{1,0568}$
	$Q_{7,10} = 1,94 \cdot 10^{-4} A^{1,1957}$
	$Q_{95\%} = 1,80 \cdot 10^{-4} A^{1,2414}$

Fonte: Euclides et al., 2004

Aplicou-se as equações propostas por Euclides et al. (2004) para os 21 postos fluviométricos, visando a comparação dos valores obtidos a partir da aplicação da metodologia com aqueles estimados a partir dos dados observados. Vale ressaltar que o estudo realizado por Euclides et al. (2004) foi realizado para os dados de 21 postos fluviométricos mostrando assim, boas condições para o uso do método tradicional.

- **Método baseado na interpolação linear**

Tal método é baseado no princípio de que a vazão na seção de interesse é obtida por uma relação de proporcionalidade entre as vazões e áreas de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos. O método não necessita de definição de regiões

hidrológicamente homogêneas, sendo, portanto, utilizadas as mesmas equações ao longo de toda a bacia hidrográfica.

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

$$Q_z = \left(\frac{Q_{m,j}}{A_{m,j}} \right) A_z \quad (2)$$

$$Q_z = Q_m + \left(\frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (3)$$

em que:

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

A quarta situação (caso 4) é quando a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Neste caso aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 3) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplicou-se a equação 2 para estimar a vazão na seção de interesse.

• Método proposto por Chaves et al. (2002)

Tal método também apresenta quatro situações distintas, dependendo da localização da seção

de interesse em relação às seções de vazão conhecida, sendo que as áreas de drenagem e as distâncias entre as seções analisadas foram as variáveis independentes para o cálculo da vazão desconhecida.

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

$$Q_z = A_z \left[\left(p_m \frac{Q_m}{A_m} \right) + \left(p_j \frac{Q_j}{A_j} \right) \right] \quad (4)$$

sendo:

$$p_m = \left(\frac{d_j}{d_m + d_j} \right) \quad (5)$$

$$p_j = \left(\frac{d_m}{d_m + d_j} \right) \quad (6)$$

em que:

p_m	=	peso relativo à estação de montante, adimensional; e
p_j	=	peso relativo à estação de jusante, adimensional.
d_m	=	distância entre o posto de montante e a seção de interesse, km; e
d_j	=	distância entre o posto de jusante e a seção de interesse, km.

A quarta situação (caso 4) é quando a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Neste caso aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 4) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplicou-se a equação 2 para estimar a vazão na seção de interesse.

• Método da interpolação linear modificado

Conforme descrito, o método baseado na interpolação linear considera que a vazão na seção

de interesse é uma proporcionalidade entre as áreas de drenagem da seção de interesse e os postos fluviométricos mais próximos. Considerando que pelo processo físico de formação das vazões estas são mais dependentes dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem, propôs-se a modificação desta metodologia. Tal modificação consiste em inserir a variável precipitação média no método proposto, considerando assim que a vazão na seção de interesse é também proporcional à relação entre os volumes precipitados. Desta forma, as equações 2 e 3 utilizadas no método baseado na interpolação linear passam a ser expressas pelas equações 7 e 8, respectivamente.

$$Q_z = \left(\frac{Q_{m,j}}{P_{m,j} A_{m,j}} \right) (A_z P_z) \quad (7)$$

$$Q_z = Q_m + \left(\frac{A_z P_z - A_m P_m}{A_j P_j - A_m P_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (8)$$

em que:

- $P_{m,j}$ = precipitação média anual na área de drenagem do posto de montante ou de jusante, mm;
- P_z = precipitação média anual na área de drenagem da seção de interesse, mm;
- P_m = precipitação média anual na área de drenagem do posto de montante, mm;
- P_j = precipitação média anual na área de drenagem do posto de jusante, mm.

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

Método Chaves modificado

Tal método é baseado no mesmo princípio utilizado pela proposição do método da interpolação linear modificado, ou seja, considerando o processo físico de formação das vazões estas são mais dependentes dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem. Assim, o método Chaves modificado

consiste em inserir a variável precipitação média no método proposto por Chaves et al. (2002), sendo a vazão obtida na seção de interesse proporcional ao volume precipitado nas áreas analisadas. Desta forma, as equações 2 e 4 utilizadas no método de Chaves et al. (2002) passam a ser expressas pelas equações 7 e 9, respectivamente.

$$Q_z = (A_z P_z) \left[\left(P_m \frac{Q_m}{A_m P_m} \right) + \left(P_j \frac{Q_j}{A_j P_j} \right) \right] \quad (9)$$

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

Para a aplicação das metodologias interpolação linear, Chaves et al. (2002), interpolação linear modificado e Chaves modificado, procedeu-se a estimativa das vazões nas seções correspondentes a cada um dos 21 postos fluviométricos estudados utilizando estas quatro metodologias visando a comparação do resultado obtido pelos procedimentos destas metodologias com os próprios valores estimados com base nas séries históricas. Para tanto, primeiramente observou-se no mapa da bacia a posição dos postos fluviométricos mais próximos à seção de interesse, sendo então procedido o enquadramento em uma das quatro situações previstas nos métodos.

Comparação entre os métodos de regionalização

A comparação dos valores obtidos pelas cinco metodologias com aqueles estimados a partir dos dados observados foi feita pela análise do índice erro relativo percentual, o qual é definido pela seguinte equação:

$$ER = 100 \left(\frac{Q_{calc} - Q_{est}}{Q_{calc}} \right) \quad (10)$$

em que:

- ER = erro relativo, %;
- Q_{calc} = vazão calculada pela análise estatística dos dados observados na seção fluviométrica; e
- Q_{est} = vazão estimada pela metodologia de regionalização de vazão na seção fluviométrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 estão apresentados os valores das vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) estimados pelas cinco metodologias de regionalização de vazões analisadas neste estudo: tradicional, interpolação linear, interpolação linear modificado, Chaves et al. (2002) e Chaves modificado, assim como os valores das $Q_{7,10}$ obtidos por análise probabilística das séries observadas de Q_7 e os erros relativos (ER) entre as vazões estimadas e as calculadas.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4 verifica-se que as cinco metodologias de regionalização de vazões apresentaram erros relativos médios semelhantes, variando de 25,2%, evidenciado na metodologia baseada na interpolação linear, a 30,4%, observado no método de Chaves modificado. Também foi evidenciado para todas as metodologias uma tendência de que quanto menor for a magnitude da $Q_{7,10}$ obtida por análise probabilística das séries observadas maior será o valor do ER, pois o ER considera o valor observado da série histórica no denominador da equação. Conseqüentemente, quanto menor for o denominador maior tenderá ser o valor do ER, já que qualquer diferença entre os valores observados e estimados terá um peso muito maior no resultado do erro do que quando a magnitude do evento for mais alta.

O método tradicional de regionalização de vazões aplicado para a estimativa das $Q_{7,10}$ apresentou valores de ER variando de 0,8 a 200 %, sendo estes valores observados nas seções correspondentes às estações Porto Alegre e Fazenda Barra da Égua, respectivamente. A estação Fazenda Barra da Égua está situada no ribeirão Entre Ribeiros que, segundo Rodriguez (2004), possui um expressivo uso da água pela irrigação, sendo a vazão de retirada para este uso nos meses de maior demanda correspondente a 85,1% da $Q_{7,10}$, o que faz com que esta estação apresente um comportamento diferenciado das outras estações situadas na mesma região hidrologicamente homogênea.

Pelo método baseado na interpolação linear os valores do ER variaram de 0,1 a 96,3%, sendo estes valores observados nas estações Porto do Cavalo e Fazenda Barra da Égua, respectivamente. A estação Fazenda Barra da Égua foi novamente a que apresentou o maior ER, pois como o método baseado na interpolação linear utiliza os dados dos postos fluviométricos mais próximos para a estimativa da vazão na seção de interesse, os quais, conforme des-

crito anteriormente, apresentam comportamento bastante diferenciado da estação Fazenda Barra da Égua, o erro relativo obtido quando da estimativa da $Q_{7,10}$ para a seção correspondente a esta estação também foi muito alto.

Para as metodologias da interpolação linear modificado, Chaves et al. (2002) e Chaves modificado também foram evidenciados valores de ER elevados para a estação Fazenda Barra da Égua, tendo em vista o fato destas metodologias também se basearem nos dados dos postos fluviométricos mais próximos para a estimativa da vazão na seção de interesse.

Na seção correspondente à estação Veredas ($A_d = 185 \text{ km}^2$), assim como naquela correspondente à estação Fazenda Barra da Égua, os valores do ER foram muito grandes para todos os métodos, o que pode ser justificado para os métodos da interpolação linear, interpolação linear modificado, Chaves et al. (2002) e Chaves modificado, pelo fato da estimativa da vazão nesta seção ter sido feita com base nos dados da estação Cachoeira das Almas, que apresenta área de drenagem 22,9 vezes maior que a área de drenagem da estação Veredas, o que não é recomendado por Eletrobrás (1985b), que ressalta que não se deve aplicar o método baseado na interpolação linear quando a relação entre a área de drenagem entre o posto fluviométrico em análise e a seção de interesse for superior a três. Já para o método tradicional, Euclydes et al. (1998) ressaltam que certa cautela é aconselhável no caso da estimativa de vazões para sub-bacias com áreas de drenagem inferiores a 249 km^2 na bacia do Paracatu, embora os autores tenham utilizado a própria estação Veredas na obtenção das equações de regionalização.

Os métodos interpolação linear modificado e Chaves modificado não apresentaram melhores resultados quando comparado com os métodos da interpolação linear e Chaves et al. (2002), respectivamente, mostrando que a inserção da variável precipitação não apresentou melhoria na estimativa das vazões não justificando, portanto, para as condições estudadas, a inclusão desta variável nos métodos originais. Tal comportamento decorre da pequena variação das precipitações ao longo da bacia do Paracatu (não ocorre diferenças expressivas nas magnitudes da variável precipitação média dos postos fluviométricos situados mais próximos, ou seja, aqueles utilizados para fazer a inter-extrapolação dos dados), sendo, portanto, a relação entre as áreas de drenagem e os volumes precipitados uniforme na bacia.

Tabela 4 - $Q_{7,10}$ estimadas pelas cinco metodologias avaliadas ($Q_{7,10}$ Est., $m^3 s^{-1}$), $Q_{7,10}$ obtidas por análise probabilística das séries observadas de Q_7 ($Q_{7,10}$ Prob., $m^3 s^{-1}$) e erro relativo (ER) entre as $Q_{7,10}$ Est. e as $Q_{7,10}$ Prob.

Estações	Caso*	$Q_{7,10}$ Prob	TRADICIONAL		Interpolação linear		Interpolação linear modi- ficado		CHAVES et al. (2002)		CHAVES modificado	
			$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)
Fazenda Limociro	1	1,2	1,0	11,6	0,8	34,9	0,7	37,1	0,8	34,9	0,7	37,1
Fazenda Córrego do Ouro	2	3,0	3,5	17,6	4,6	53,5	4,7	58,9	4,6	53,5	4,7	58,9
Fazenda Nolasco	1	0,4	0,6	33,7	0,4	1,6	0,4	3,0	0,4	1,6	0,4	3,0
Barra do Escurinho	2	3,5	3,8	9,3	3,5	1,6	3,6	3,1	3,5	1,6	3,6	3,1
Ponte da BR-040 (Paracatu)	1	9,6	12,6	31,9	12,9	35,4	12,9	35,0	12,9	35,4	12,9	35,0
Santa Rosa	3	21,6	19,9	7,8	17,0	21,2	17,3	19,9	16,5	23,6	16,7	22,8
Fazenda Barra da Égua	4	1,2	3,7	200,0	2,4	96,3	2,5	98,4	2,4	90,7	2,4	92,8
Fazenda Poções	4	1,0	1,2	24,0	0,6	34,6	0,6	33,7	0,5	51,3	0,5	49,5
Fazenda Limeira	1	13,0	9,2	29,3	8,1	37,3	8,4	34,9	8,1	37,3	8,4	34,9
Unaí	3	11,1	12,7	13,7	12,8	14,6	12,8	14,6	13,1	17,7	13,0	17,1
Santo Antônio do Boqueirão	3	12,7	14,1	11,4	12,0	5,4	12,0	5,7	12,0	5,2	12,0	5,7
Fazenda o Resfriado	4	1,0	1,6	65,6	1,5	49,7	1,4	47,7	1,5	56,4	1,5	51,4
Fazenda Santa Cruz	4	1,3	1,2	5,6	1,0	19,7	1,0	19,0	1,1	12,2	1,1	13,2
Porto dos Poções	2	17,2	23,0	33,9	20,4	18,7	19,9	16,0	20,4	18,7	19,9	16,0
Porto da Extrema	3	40,4	42,1	4,2	40,3	0,3	40,6	0,5	41,1	1,8	41,4	2,3
Caatinga	3	41,6	44,2	6,1	42,6	2,4	42,0	0,9	43,0	3,3	42,5	2,1
Veredas	1	0,8	0,1	87,4	0,2	80,6	0,2	80,7	0,2	80,6	0,2	80,7
Cachoeira das Almas	3	3,6	4,3	20,4	4,1	12,3	4,3	18,9	6,8	87,5	7,0	94,4
Cachoeira do Paredão	2	5,1	6,0	17,3	4,7	7,5	4,4	13,6	4,7	7,5	4,4	13,6
Porto do Cavalo	3	60,4	61,1	1,1	60,4	0,1	63,0	4,3	58,0	4,0	59,5	1,6
Porto Alegre	2	61,8	62,3	0,8	61,4	0,6	59,5	3,6	61,4	0,6	59,5	3,6
Média				30,1		25,2		26,2		29,8		30,4

* Enquadramento da seção de interesse nas situações previstas nas metodologias: interpolação linear, interpolação linear modificado, Chaves et al. (2002) e CHAVES modificado.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores das vazões mínimas associadas à permanência de 95% ($Q_{95\%}$) estimados pelas cinco metodologias de regionalização de vazões analisadas neste estudo, assim como os valores das $Q_{95\%}$ calculados com base nas séries observadas e os erros relativos (ER) entre as vazões estimadas e as calculadas. Evidencia-se neste quadro comportamento similar ao descrito anteriormente para a regionalização das $Q_{7,10}$, sendo observados valores de ER de menores magnitudes na estimativa das $Q_{95\%}$ quando comparados com os obtidos na estimativa das $Q_{7,10}$, pois, sendo os valores das $Q_{95\%}$ maiores, o denominador da equação para o cálculo do ER torna-se maior tendendo, conseqüentemente, a reduzir o valor do próprio ER.

Na Tabela 6 estão apresentados os valores das vazões médias de longa duração (Q_{mld}) estimados pelas cinco metodologias de regionalização de vazões analisadas neste estudo, assim como os valores das Q_{mld} calculados pela série histórica e os erros relativos (ER) entre as vazões estimadas e observadas.

Pela análise dos resultados apresentados na Tabela 6 verifica-se que as cinco metodologias de regionalização de vazões apresentaram, assim como evidenciado para a $Q_{7,10}$ e a $Q_{95\%}$, erros relativos médio semelhantes, variando de 9,6%, obtido pela metodologia de Chaves modificado, a 13,0% obtido pelo método tradicional de regionalização de vazões. Os valores de ER para a estimativa da Q_{mld}

Tabela 5 - $Q_{95\%}$ estimadas pelas cinco metodologias avaliadas ($Q_{95\%}$ Est., $m^3 s^{-1}$), $Q_{95\%}$ calculadas com base na série observada ($Q_{95\%}$ Obs., $m^3 s^{-1}$) e erro relativo (ER) entre as $Q_{95\%}$ Est. e as $Q_{95\%}$ Obs.

Estações	Caso*	$Q_{95\%}$ (obs.)	TRADICIONAL		Interpolação linear		Interpolação linear modifi- cado		CHAVES et al. CHAVES (2002) modifi- cado		$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)
			$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)	$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)	$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)	$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)		
Fazenda Limoeiro	1	1,8	1,6	13,3	1,5	14,9	1,5	17,7	1,5	14,9	1,5	17,7
Fazenda Córrego do Ouro	2	6,0	5,4	10,7	7,0	17,4	7,3	21,5	7,0	17,4	7,3	21,5
Fazenda Nolasco	1	0,7	0,9	29,2	0,7	2,1	0,7	0,7	0,7	2,1	0,7	0,7
Barra do Escurinho	2	5,6	5,8	3,8	5,5	2,1	5,6	0,7	5,5	2,1	5,6	0,7
Ponte da BR-040 (Paracatu)	1	15,9	19,6	23,2	19,4	21,8	19,3	21,3	19,4	21,8	19,3	21,3
Santa Rosa	3	32,3	31,1	3,6	27,3	15,6	27,7	14,3	26,9	16,7	27,2	15,9
Fazenda Barra da Égua	4	1,7	4,7	175,6	3,7	118,4	3,8	120,6	3,6	113,5	3,7	115,8
Fazenda Poções	4	1,5	1,6	4,2	0,9	37,2	1,0	36,6	0,7	55,3	0,7	53,7
Fazenda Limeira	1	19,0	11,3	40,7	13,9	26,7	14,5	23,9	13,9	26,7	14,5	23,9
Unai	3	19,1	15,5	19,0	19,1	0,2	19,1	0,2	19,6	2,7	19,5	2,2
Santo Antônio do Boqueirão	3	19,2	17,2	10,4	19,9	3,5	19,8	3,3	20,0	4,0	19,9	3,4
Fazenda o Resfriado	4	1,5	2,1	37,7	2,2	44,1	2,1	42,8	2,3	52,6	2,2	47,8
Fazenda Santa Cruz	4	1,4	1,6	11,0	1,5	6,0	1,5	7,3	1,7	19,5	1,7	18,1
Porto dos Poções	2	24,5	27,6	12,8	30,8	25,7	30,1	22,9	30,8	25,7	30,1	22,9
Porto da Extrema	3	62,9	62,5	0,6	64,9	3,2	65,5	4,1	65,7	4,5	66,1	5,1
Caatinga	3	67,3	65,7	2,4	66,5	1,1	65,5	2,6	67,2	0,2	66,4	1,3
Veredas	1	1,1	0,1	89,0	0,3	71,8	0,3	72,0	0,3	71,8	0,3	72,0
Cachoeira das Almas	3	7,1	5,9	16,7	6,4	9,5	6,8	4,0	9,9	39,7	10,3	45,2
Cachoeira do Paredão	2	8,1	8,2	1,3	9,2	14,1	8,6	6,5	9,2	14,1	8,6	6,5
Porto do Cavalo	3	95,5	91,9	3,8	87,7	8,2	90,5	5,3	87,9	8,0	90,1	5,7
Porto Alegre	2	89,1	93,8	5,3	97,1	9,0	94,1	5,6	97,1	9,0	94,1	5,6
Média				24,5		21,6		20,7		24,9		24,1

* Enquadramento da seção de interesse nas situações previstas nas metodologias: interpolação linear, interpolação linear modificado, Chaves et al. (2002) e CHAVES modificado.

foram menores que os valores de ER para a estimativa das $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, pois as Q_{mld} apresentam magnitude de variação menor que as vazões mínimas, e também devido a magnitude dos valores da Q_{mld} ser maior o que acarreta uma tendência de diminuir os valores de ER.

O método tradicional de regionalização de vazões apresentou valores de ER variando de 0 a 50,9% para a estimativa das Q_{mld} , sendo estes valores observados nas seções correspondentes às estações Fazenda Santa Cruz e Veredas, respectivamente. Conforme descrito anteriormente, a seção correspondente à estação Veredas apresenta área de drenagem inferior ao limite aconselhável por Euclides et al. (2004) para a aplicação dos modelos de

regionalização de vazões pelo método tradicional, sendo, portanto, esta estação susceptível a valores de ER maiores.

O método baseado na interpolação linear, quando aplicado para a estimativa da Q_{mld} , apresentou valores de ER variando de 1,4 a 39,6%, sendo estes valores observados nas seções correspondentes às estações Porto da Extrema e Fazenda Poções, respectivamente. O alto valor do ER evidenciado na estação Fazenda Poções está diretamente associado à propagação dos erros advinda da necessidade de obtenção das vazões na confluência do rio Paracatu com o ribeirão Entre Ribeiros e a partir desta na confluência dos ribeirões Entre Ribeiros e São Pedro. Este fato também fez com que fossem evidenci-

Tabela 6. Q_{mld} estimadas pelas cinco metodologias avaliadas (Q_{mld} Est., $m^3 s^{-1}$), Q_{mld} calculadas com base na série observada (Q_{mld} Obs., $m^3 s^{-1}$) e erro relativo (ER) entre as Q_{mld} Est. e as Q_{mld} Obs.

Estações	Caso*	Q_{mld} (obs.)	TRADICIONAL		Interpolação linear		Interpolação linear modifi- cado		CHAVES et al. CHAVES (2002)		CHAVES modi- ficado	
			Q_{mld} (est.)	ER (%)	Q_{mld} (est.)	ER (%)	Q_{mld} (est.)	ER (%)	Q_{mld} (est.)	ER (%)	Q_{mld} (est.)	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1	8,1	6,9	15,4	7,2	11,3	6,9	14,3	7,2	11,3	6,9	14,3
Fazenda Córrego do Ouro	2	28,1	24,1	14,4	31,7	12,8	32,8	16,7	31,7	12,8	32,8	16,7
Fazenda Nolasco	1	3,2	3,9	24,4	3,6	12,6	3,5	11,0	3,6	12,6	3,5	11,0
Barra do Escurinho	2	27,9	26,2	6,3	24,8	11,2	25,1	9,9	24,8	11,2	25,1	9,9
Ponte da BR-040 (Paracatu)	1	93,1	90,1	3,2	95,3	2,4	94,9	2,0	95,3	2,4	94,9	2,0
Santa Rosa	3	159,0	144,2	9,3	150,9	5,1	153,0	3,7	153,0	3,7	154,4	2,9
Fazenda Barra da Égua	4	17,4	22,9	31,7	18,9	9,0	18,3	5,7	18,7	7,8	18,9	9,0
Fazenda Poções	4	10,1	7,8	22,4	6,1	39,6	5,1	49,6	5,9	41,8	6,1	39,8
Fazenda Limeira	1	56,0	53,8	3,9	54,2	3,2	56,3	0,4	54,2	3,2	56,3	0,4
Unaí	3	74,3	73,3	1,4	76,8	3,3	76,9	3,4	76,8	3,3	76,7	3,2
Santo Antônio do Boqueirão	3	85,4	81,3	4,7	80,9	5,3	80,6	5,6	81,0	5,1	80,6	5,6
Fazenda o Resfriado	4	9,0	10,3	13,9	9,9	9,5	9,6	6,0	10,2	13,3	9,9	9,7
Fazenda Santa Cruz	4	7,8	7,8	0,0	7,1	9,4	6,7	13,5	7,6	2,9	7,5	4,0
Porto dos Poções	2	120,1	129,1	7,5	137,0	14,1	134,0	11,6	137,0	14,1	134,0	11,6
Porto da Extrema	3	332,4	343,8	3,4	337,0	1,4	340,1	2,3	339,2	2,0	341,2	2,6
Caatinga	3	349,9	358,5	2,5	344,5	1,5	341,2	2,5	343,8	1,8	339,8	2,9
Veredas	1	3,4	1,7	50,9	3,0	11,9	3,0	12,4	3,0	11,9	3,0	12,4
Cachoeira das Almas	3	69,4	46,2	33,4	54,0	22,2	57,7	16,8	58,6	15,5	61,8	11,0
Cachoeira do Paredão	2	69,9	61,0	12,7	90,3	29,1	84,3	20,6	90,3	29,1	84,3	20,6
Porto do Cavalo	3	442,1	477,4	8,0	458,7	3,8	473,7	7,2	458,8	3,8	470,2	6,4
Porto Alegre	2	466,4	485,8	4,2	449,4	3,6	435,5	6,6	449,4	3,6	435,5	6,6
Média				13,0		10,6		10,6		10,2		9,6

* Enquadramento da seção de interesse nas situações previstas nas metodologias: interpolação linear, interpolação linear modificado, Chaves et al. (2002) e CHAVES modificado.

ados para esta estação os maiores valores de ER para as metodologias da interpolação linear modificado, Chaves et al. (2002) e CHAVES modificado.

Conforme evidenciado para a estimativa da $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ a inserção da variável precipitação nos métodos interpolação linear e Chaves et al. (2002) não apresentou melhoria expressiva na estimativa da Q_{mld} não sendo, portanto, recomendável a inclusão desta variável nos métodos originais para a estimativa da Q_{mld} na bacia do Paracatu, uma vez que acarreta uma maior dificuldade na aplicação da metodologia sem, contudo, oportunizar melhoria no seu desempenho.

Como recomendação sugere-se outros estudos utilizando os presentes métodos inter-

extrapoladores para bacias hidrográficas com menores densidades de postos fluviométricos, pois a vantagem destes métodos reside exatamente nas situações onde há informações limitadas.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

- não foram caracterizadas diferenças expressivas no desempenho dos cinco métodos analisados de regionalização de vazões,

tanto para a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) quanto para a vazão associada à permanência de 95% ($Q_{95\%}$) e para a vazão média de longa duração (Q_{mld}); e

- - a inserção da variável precipitação nas metodologias interpolação linear e Chaves et al. (2002) não apresentou melhoria expressiva que justificasse a sua recomendação.

REFERÊNCIAS

- BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS - Governo do Estado. DISTRITO FEDERAL. *Plano Diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu – PLAN-PAR*. S.I.: 1996. v. 1. T. 1. CD-ROM.
- 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*, v.7, n. 3, 2002. p. 43-51.
- ELETOBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. *Metodologia para regionalização de vazões*. Rio de Janeiro. v. 1, 1985a.
- ELETOBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. *Manual de minicentrals hidrelétricas*. Rio de Janeiro, 1985b.
- EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A., PINTO, F. A., VIGODERIS, R. B. *Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período para a bacia do rio Paracatu, Minas Gerais*. Brasília, DF.: MMA.SRH; Viçosa: UFV; Belo Horizonte: RURALMINAS, 1998. 200p.
- EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A., PINTO, F. A., VIGODERIS, R. B. *Ferramenta para o planejamento e gestão de recursos hídricos nos Estado de Minas Gerais – HIDROTEC*. Viçosa: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS. 2004. Disponível em: www.ufv.br/dea/hidrotec.
- FERREIRA, P. A.; EUCLYDES, H. P. *Recursos hídricos e tecnologia necessária aos projetos hidroagrícolas: bacia do Paracatu*. Viçosa, MG: UFV/DEA, 1997. 200 p.
- RODRIGUEZ, R. del G. *Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu*. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- 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*, v.8, n. 1, 2002. p. 21-37.

Evaluation Of The Performance Of Five Flow Regionalization Methodologies

ABSTRACT

When the databases on a river basin are small, flow regionalization by the traditional method taking hydrologically homogeneous regions and regression equations into account is very limited. Several methodologies that require less information than the traditional method have been developed, and the objective of the present work was to evaluate the performance of five flow regionalization methods to estimate the minimum and mean long duration flows considering the conditions of 21 river gauging stations in the Paracatu basin. The following flow regionalization methods were used to develop the study: traditional, linear interpolation, Chaves et al. (2002); and the other two methods analyzed were developed by changing the linear interpolation methodology and that of Chaves et al. (2002). Evaluating the estimated flow using the five flow regionalization methods studied it was clear that there were no significant differences in their performances in the Paracatu basin.

Key-words: water availability, grant concessions, water resources management.