

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO EM ESTUDOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

Fernanda Abreu Oliveira¹; Fernando Falco Pruski²; Paulo Roberto Cecon³; Demetrius David da Silva⁴ & Márcio Mota Ramos⁵

RESUMO --- O objetivo do trabalho foi propor um procedimento para analisar a influência dos reservatórios nos dados das estações e a repercussão da utilização destes em estudos de regionalização. O estudo foi realizado para as condições da bacia do Rio Grande. O índice do potencial de regularização (IPR%) reflete a capacidade de regularização dos reservatórios, calculado a partir do seu volume útil. Considerou-se que estações com IPR(%) superior ou igual a 50% têm grande potencial para modificar o regime hídrico da bacia, sendo estas excluídas da regionalização REG_{IPR%}. Foi calculada a variação entre as estimativas das vazões da REG_{TOTAL} (sem excluir estações) e da REG_{IPR%}, considerando que esta variação poderia ter duas origens: o efeito de reservatório e o efeito da alteração na base de dados. Quatro estações tiveram IPR% superior ou igual a 50%. O efeito da alteração na base de dados foi inferior a 1,25%. O efeito dos reservatórios foi pouco expressivo: 89% e 93,5% dos trechos apresentaram variações inferiores a 5% no estudo da vazão mínima e máxima, respectivamente. O IPR(%) mostrou-se uma ferramenta prática para identificar as estações influenciadas pelo efeito de reservatórios. Para a bacia do Rio Grande, recomenda-se regionalizar as vazões sem excluir estações fluviométricas.

ABSTRACT --- The objective of this work was to propose a procedure to analyze the influence of reservoirs on station data and the repercussion of their use in the regionalization studies. The study was done taking account the Rio Grande's basin conditions. The potential of regularization index (IPR%) reflects the capacity of the reservoir's regularization and it is calculated using the useful volume. The stations with IPR(%) superior or equal to 50% were considered with a high potential to modify the hydric regime of the basin and they were excluded from the REG_{IPR%} regionalization. The variation between the discharge estimatives of the REG_{TOTAL} (without stations exclusion) and the REG_{IPR%} was calculated and this variation was explained using the reservoir's effect and the effect of the database. Four stations had IPR% superior or equal to 50%. The effect of the database was inferior to 1,25%. The reservoir's effect had low expressivity: 89% and 93,5% of the hydrographic sections presented variations inferior to 5% in the study of the minimum and maximum discharge, respectively. The IPR(%) was a practical tool to identify the stations influenced by the reservoir's effect. It is recommended to regionalize discharges in the Rio Grande's basin without excluding fluviometric stations.

Palavras-chave: Estimativa da vazão, Reservatório, Bacia do Rio Grande.

¹ Mestre em Recursos Hídricos e Ambientais, UFV. SHIN QI 06 conjunto 01 casa 03, Brasília, DF. E-mail: abreu.fernanda@uol.com.br

² Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV. E-mail: fpruski@ufv.br

³ Professor Associado, Departamento de Estatística, UFV. E-mail: cecon@dpi.ufv.br

⁴ Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV. E-mail: demetrius@funarbe.org.br

⁵ Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV. E-mail: mmramos@ufv.br

INTRODUÇÃO

A regionalização de vazões é um processo de transferência de informações hidrológicas de uma seção com dados obtidos de uma estação fluviométrica para outras seções da bacia sem dados hidrológicos (FILL, 1987). Trata-se de um instrumento eficaz em estudos de planejamento e administração de recursos hídricos, possibilitando a obtenção de variáveis hidrológicas, como vazões máximas, mínimas e médias de longo período, a partir de modelos matemáticos, com a agilidade e precisão aceitável que a administração dos recursos hídricos requer para suas decisões.

A obtenção de resultados fidedignos na regionalização depende da qualidade e representatividade dos dados de vazão coletados nas estações fluviométricas, sendo de suma importância o processo de seleção das estações que irão integrar a base de dados do estudo.

A instalação de barragens em seções hidrográficas interfere no regime hídrico do rio. No caso daquelas construídas para regularizar a vazão, as séries históricas das estações fluviométricas localizadas a jusante das seções dos reservatórios podem deixar de ser estacionárias. Esses reservatórios têm a função de acumular água nos períodos de maior disponibilidade e liberar o volume acumulado em períodos de menor disponibilidade hídrica, de forma a suavizar o hidrograma. Portanto, nesses casos, a vazão em um determinado instante em um ponto de controle de um curso de água a jusante de um reservatório deixa de ser aquela que ocorreria caso a bacia contribuinte permanecesse em suas condições naturais, devido à regularização.

Além da operação de acumulação e liberação de água, os reservatórios interferem na quantidade de água evaporada quando se compara o quantitativo verificado na situação do curso normal do rio com o da água represada. A área da superfície líquida do reservatório, que anteriormente apresentava perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas, passa a apresentar uma evaporação que, dependendo da dimensão dessa área de superfície líquida, das condições climáticas regionais e da cobertura vegetal original, pode representar uma perda significativa (ONS, 2003).

No Brasil muitos reservatórios de regularização foram planejados para aproveitar o potencial hidráulico dos rios e, conseqüentemente, gerar energia elétrica. Atualmente existem, espalhados pelo território nacional, 158 empreendimentos hidrelétricos com capacidade superior a 30 megawatts, que respondem por 74,67% da capacidade nacional instalada, e 509 pequenas centrais hidrelétricas, que respondem por 1,93%. A hidroeletricidade produz 82,8% da energia elétrica consumida no país (ANEEL, 2007).

A utilização de estações fluviométricas com dados alterados em função do efeito dos reservatórios em estudos de regionalização de vazão pode interferir no ajuste das equações e

propagar esse efeito para outras seções em que não haja represamento, comprometendo a estimativa das vazões na bacia estudada. Dessa forma, analisar a influência dos reservatórios nos dados das estações fluviométricas a jusante de sua seção e dimensionar o efeito de sua presença em estudos de regionalização podem contribuir para aprimorar a gestão dos recursos hídricos.

Tendo em vista a presente necessidade, o trabalho teve como objetivo propor um procedimento para analisar a influência dos reservatórios nos dados das estações fluviométricas e a repercussão da utilização destes em estudos de regionalização de vazão.

METODOLOGIA

Dados utilizados no estudo

O presente estudo foi aplicado para as condições da bacia do Rio Grande, a qual está inserida entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais e pertence à bacia do Paraná (Figura 1). O Rio Grande drena uma área de, aproximadamente, 143.000 km², dos quais 85.000 km² se encontram em território mineiro e 58.000 km² em território paulista.

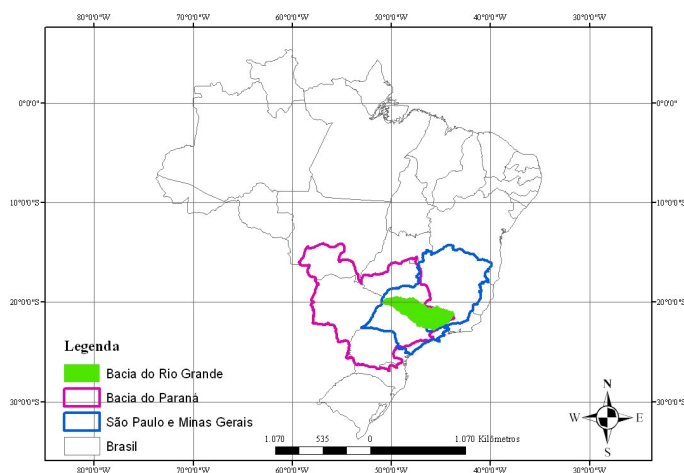


Figura 1. Localização da bacia do Rio Grande.

A bacia do Rio Grande foi escolhida em função da quantidade de usinas hidrelétricas espalhadas por sua rede hidrográfica e da sua importância na produção de energia elétrica no cenário brasileiro. De acordo com a base de dados disponibilizada pela ANA (Agência Nacional de Águas), esta bacia possui um total de 40 usinas hidrelétricas e responde por 12,3% da energia elétrica produzida no Brasil.

O período-base adotado para o estudo foi de 1968 a 2001, tendo sido selecionadas 74 estações fluviométricas para estudar a vazão máxima e 68 estações para estudar a vazão média e a mínima (Figura 2).

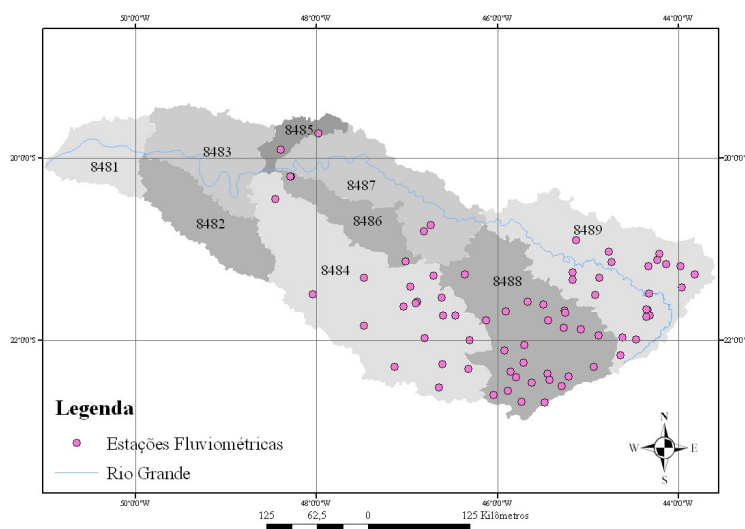


Figura 2. Localização das estações fluviométricas nas ottobacias da bacia do Rio Grande

Para o cumprimento do objetivo do estudo, foram utilizados os dados referentes aos 40 reservatórios presentes na bacia do Rio Grande, sendo que suas informações foram obtidas na base de dados da ANA (Tabela 1). O valor zero hm^3 referente ao volume útil dos reservatórios significou um baixo valor de volume em relação ao número de casas decimais utilizado pela ANA ou a indisponibilidade de informação a respeito daquele reservatório.

Os reservatórios da bacia do Rio Grande se encontram em série. Furnas é a usina com maior volume útil (17.217 hm^3), seguida pelas usinas de Marimbondo (5.260 hm^3) e Água Vermelha (5.169 hm^3), todas localizadas no Rio Grande.

Índice do Potencial de Regularização

Primeiramente, foi feito um levantamento das estações fluviométricas que tiveram reservatórios em sua área de drenagem (Tabela 2). A simples presença do reservatório na área de drenagem da estação fluviométrica não implica dizer que este esteja exercendo influência expressiva no regime de variação da vazão. Por isso, foi desenvolvido o índice do potencial de regularização (IPR%) para avaliar o grau de influência dos reservatórios sobre os dados das estações fluviométricas a partir de dados referentes ao volume útil dos reservatórios.

Tabela 1. Reservatórios presentes na bacia do Rio Grande segundo dados da ANA

Nome	Rio	Lat (°)	Long (°)	Volume útil (hm ³)
Furnas	Grande	-20,665	-46,320	17.217,0
Marimbondo	Grande	-20,301	-49,197	5.260,0
Água Vermelha	Grande	-19,851	-50,346	5.170,0
Mascarenhas de Moraes	Grande	-20,288	-47,066	2.500,0
Camargos	Grande	-21,326	-44,616	670,0
Caconde	Pardo	-21,577	-46,624	504,0
Volta Grande	Grande	-20,029	-48,221	268,0
Porto Colômbia	Grande	-20,124	-48,572	234,0
L.C.B. de Carvalho	Grande	-20,151	-47,279	178,0
Jaguará	Grande	-20,023	-47,434	90,0
Mogi-Guaçu	Mogi-Guaçu	-22,380	-46,901	23,5
Limoeiro	Pardo	-21,625	-47,009	16,4
Bortolan (José Togni)	Antas	-21,782	-46,631	10,5
Xicão	Santa Cruz	-21,919	-45,478	6,4
Euclides da Cunha	Pardo	-21,603	-46,949	4,7
Poço Fundo	Machado	-21,791	-46,124	3,7
Pinheirinho	Pinheirinho	-21,126	-47,047	1,9
São Sebastião	Canoas	-21,425	-46,923	1,1
Anil	Jacaré	-20,818	-45,085	0,0
Antas I Eng. Pedro A. J.	Antas	-21,750	-46,600	0,0
Antas II (Walther Rossi)	Antas	-21,747	-46,603	0,0
Buritis	Bandeira	-20,217	-47,717	0,0
Capao Preto	Quilombo 3	-21,883	-47,800	0,0
Dourados	Sapucaí Paulista	-20,650	-47,683	0,0
Emas Nova	Mogi-Guaçu	-21,925	-47,368	0,0
Eng. Ubirajara Machado Moraes	Antas	-21,776	-46,610	0,0
Esmeril	Esmeril	-20,833	-47,300	0,0
Fojo	Fojo	-22,713	-45,532	0,0
Itutinga	Grande	-21,292	-44,624	0,0
Jacutinga	Mogi-Guaçu	-22,259	-46,674	0,0
Luis Dias	Lourenco Velho	-22,370	-45,352	0,0
Pinhal	Mogi-Guaçu	-22,283	-46,767	0,0
Rio do Peixe (Casa de Força I)	Peixe	-21,622	-46,813	0,0
Rio do Peixe (Casa de Força II)	Peixe	-21,622	-46,813	0,0
Salto Pinhal	Mogi-Guaçu	-22,283	-46,767	0,0
Santa Alice	Fartura	-21,600	-46,903	0,0
São Bernardo	São Bernardo	-22,561	-45,538	0,0
São Joaquim	Sapucaí Paulista	-20,583	-47,783	0,0
Socorro	Peixe	-22,600	-46,500	0,0
Sodré	Piaguí	-22,664	-45,309	0,0

Tabela 2. Estações fluviométricas com reservatório em sua área de drenagem

Código	Estação fluviométrica	Código	Estação fluviométrica
61145000	Macaia	61787500	Fazenda São Domingos
61202000	Santana do Jacaré	61807002	Abaixo Cascata das Antas
61250000	Fazenda da Guarda	61817004	São José do Rio Pardo
61285000	São João de Itajubá	61820000	Jusante Usina Limoeiro - ASJ
61305000	Santa Rica do Sapucaí	61826000	Ponte do Canoas
61410000	Careaçu	61830000	Fazenda Corredeira
61425000	Paraguaçu (Ponte Baguari)	61879000	Lindóia
61530000	Palmela dos Coelhos	61886000	Pádua Sales
61537000	Porto dos Buenos	61902000	Porto Ferreira
61565000	Cachoeira Poço Fundo	61912000	Ponte Guarapará
61568000	Machado	61925000	Ponte Joaquim Justino

O IPR(%) tem uma estreita relação com a capacidade de regularização dos reservatórios. Para cada estação fluviométrica foi obtido o volume útil acumulado dos reservatórios a montante, o qual foi obtido pela soma dos volumes de todos os reservatórios presentes na área de drenagem da estação em estudo. A partir de então, foi gerada a curva de regularização com os dados históricos da estação fluviométrica, a qual relaciona dados de volume do reservatório, vazão regularizada e a porcentagem da vazão regularizada em relação à vazão média de longa duração (beta). Com esses dados, foi verificado, a partir de uma interpolação, a que valor de beta estaria associado o volume útil acumulado, sendo este beta caracterizado como IPR(%), que representa o potencial de regularização da vazão média da estação em relação ao volume útil acumulado dos reservatórios a montante.

Quanto maior o valor do índice, maior a influência potencial dos reservatórios sobre as estações e quanto menor o índice, menor a influência. Portanto, com o valor do índice, puderam-se identificar os reservatórios com maior tendenciosidade a modificar o regime hídrico. Foi considerado que estações com IPR(%) superior ou igual a 50% têm grande potencial para modificar o regime hídrico da bacia; enquanto que aquelas com IPR% inferior a 50% têm pouca expressividade na propagação do efeito de reservatório.

Posteriormente, com a identificação das estações fortemente influenciadas pelo efeito de reservatório (com IPR% > 50%), procedeu-se à eliminação das mesmas do estudo de regionalização para verificar o efeito produzido no ajuste das equações regionais. Portanto, a avaliação da influência dos reservatórios em estudos de regionalização foi feita excluindo estações fluviométricas fortemente influenciadas pelo efeito dos reservatórios.

Regionalização de vazões

Para dimensionar o efeito dos reservatórios nos ajustes das equações regionais, realizaram-se duas regionalizações, as quais vêm descritas na Tabela 3. A REG_{TOTAL}, a qual não eliminou nenhuma estação fluviométrica devido ao efeito de reservatório, foi utilizada como base de comparação.

Tabela 3. Descrição das regionalizações realizadas para a avaliação do efeito de reservatório

Regionalização	Descrição
REG _{TOTAL}	Regionalização que contempla o efeito de todos os reservatórios e que não excluiu nenhuma estação fluviométrica devido ao efeito de reservatório.
REG _{IPR(%)}	Regionalização que visa minimizar o efeito dos reservatórios utilizando como referência o índice do potencial de regularização, sendo excluídas as estações fluviométricas com $IPR(\%) \geq 50\%$.

As variáveis dependentes das regionalizações foram: a vazão média anual de longa duração (Q_{mld}), a vazão mínima (Q_{95}) e a vazão máxima com período de retorno de 100 anos (Q_{max}). A vazão máxima é o resultado do ajuste das séries históricas de vazão às distribuições teóricas de probabilidade para diferentes períodos de retorno. A vazão mínima proveniente da curva de permanência (Q_{95}) é um valor associado a uma frequência de ocorrência. A vazão média de longa duração é expressa apenas pela média dos dados e as falhas em suas séries históricas foram reconstruídas mensalmente, empregando o método da regressão linear simples.

O *software* Siscah (Sistema Computacional de Análise Hidrológica), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que pode ser obtido no site www.ufv.br/dea/gprh, foi utilizado para estimar as variáveis dependentes (SOUZA *et al.*, 2007).

Foram adotadas como variáveis independentes: a vazão equivalente, no estudo da vazão média e mínima, e a área de drenagem, no estudo da vazão máxima. A vazão equivalente é calculada conforme a equação

$$P_{eq} = \frac{P \cdot AD}{31.536} \quad (1)$$

em que

P_{eq} = vazão equivalente, m^3/s ;

P = precipitação média anual, mm; e

AD = área de drenagem, km^2 .

A área de drenagem das estações fluviométricas foi obtida na rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA). A precipitação média anual foi obtida por meio da interpolação dos dados de 85 estações pluviométricas, utilizando o método de krigagem.

Oliveira (2008) mostrou que, para as condições da bacia do Rio Grande, a vazão equivalente é a variável que melhor explica o comportamento das vazões médias e mínimas, proporcionando uma representação bidimensional da relação entre a variável dependente (vazão) e as independentes (área de drenagem e precipitação média anual) com um ganho de um grau de liberdade na análise estatística. No caso da vazão máxima, a área de drenagem apresentou o melhor ajuste físico e estatístico.

A regionalização de vazões foi realizada pelo método tradicional. Os modelos linear, potencial, exponencial e logarítmico foram aplicados ao conjunto de dados, sendo que o mais adequado foi selecionado de acordo com os seguintes critérios:

- significância da regressão e dos coeficientes de regressão (teste t a 5%) para os modelos lineares;
- maior coeficiente de determinação; e
- menores erros relativos (resíduos).

Para a aplicação do método tradicional utilizou-se o *software* Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões (SisCoRV), desenvolvido também pela rede de pesquisa 2 do SNIRH.

A bacia foi subdividida em regiões de comportamento hidrológicamente homogêneo, sendo utilizados, como critérios: a variabilidade da precipitação e do relevo ao longo da bacia; o bom ajuste à equação de regressão (baixos erros relativos); a similaridade nos valores das vazões específicas; e um número mínimo de cinco estações por região homogênea para aumentar a confiabilidade nas estimativas.

Avaliação da influência dos reservatórios no ajuste das equações regionais

A partir das equações regionais das duas regionalizações, as vazões foram estimadas para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande, gerando um mapa das vazões estimadas para cada regionalização, os quais foram sobrepostos para calcular a variação entre as estimativas das vazões, de acordo com a equação

$$VR(\%) = \frac{(Q_{REG_TOTAL} - Q_{REGIPR})}{Q_{REG_TOTAL}} 100 \quad (2)$$

em que

$$\begin{aligned} VR(\%) &= \text{variação relativa, \%}; \\ Q_{REGTOTAL} &= \text{vazão estimada pela } REG_{TOTAL}, \text{ m}^3/\text{s}; \text{ e} \\ Q_{REGIPR} &= \text{vazão estimada pela } REG_{IPR(\%)}, \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

Com isso foi obtido um valor de variação relativa para cada um dos 3.353 trechos da hidrografia da bacia do Rio Grande. Considerou-se que a variação entre as duas regionalizações poderiam ter duas origens: o efeito de reservatório e o efeito da alteração na base de dados. Sabe-se que a exclusão de estações fluviométricas pode vir a alterar a tendência estatística da base de dados de uma regionalização, interferindo nas estimativas das vazões. O efeito dos reservatórios foi complementar ao efeito da alteração na base de dados.

O efeito da alteração na base de dados foi explicado pelas variações nas estatísticas da base de dados. Para tanto, foram avaliadas as bases de dados utilizadas nas regionalizações da vazão média de longa duração, verificando se elas apresentaram diferença expressiva entre si a partir do desvio relativo entre as médias e os desvios-padrão das bases de dados (equação 3).

$$DR(\%) = \frac{(Est_{TOTAL} - Est_{IPR})}{Est_{TOTAL}} 100 \quad (3)$$

em que

$$\begin{aligned} DR &= \text{Desvio relativo entre as estatísticas das bases de dados analisadas, \%}; \\ Est_{TOTAL} &= \text{Média ou desvio-padrão das } Q_{mld} \text{ das estações utilizadas na } REG_{TOTAL}; \\ &\text{e} \\ Est_{IPR} &= \text{Média ou desvio-padrão da } Q_{mld} \text{ das estações utilizadas na } REG_{IPR(\%)}. \end{aligned}$$

A vazão média foi escolhida como parâmetro de análise do efeito da alteração na base de dados partindo-se da hipótese de que a regularização de vazões não influencia os valores da vazão média de longa duração tanto quanto o faz com as vazões mínimas e máximas. O efeito da evaporação nos reservatórios não foi considerado e, portanto, as variações relativas encontradas para as Q_{mld} foram atribuídas, exclusivamente, ao efeito da alteração na base de dados, decorrente da quantidade de estações fluviométricas utilizadas em cada regionalização.

Em relação à vazão mínima e máxima, as variações relativas encontradas foram atribuídas à alteração na base de dados e ao efeito dos reservatórios, pois se acredita que a regularização promova variações expressivas nas estimativas dessas vazões. Portanto, as variações relativas encontradas na Q_{mld} foram usadas como referência para individualizar o efeito da alteração da base de dados na análise das vazões mínimas e máxima e, assim, poder avaliar o efeito de reservatório em estudos de regionalização.

RESULTADOS

Índice do Potencial de Regularização: influência dos reservatórios sobre os dados das estações fluviométricas

A Tabela 4 apresenta os reservatórios presentes na área de drenagem de cada estação fluviométrica, o volume útil, o volume acumulado (soma dos volumes úteis de todos os reservatórios presentes na área de drenagem da estação em estudo) e o IPR(%) para cada estação. Nota-se que o maior IPR foi de 76,8%, correspondente à estação 61817004, a qual está localizada no Rio Pardo e o menor valor foi de 10,5%, correspondente à estação 61912000, localizada no Rio Mogi-Guaçu.

Os maiores índices do potencial de regularização estiveram associados às estações localizadas no Rio Grande e Rio Pardo, os quais apresentam os reservatórios com maior volume útil da bacia do Rio Grande. O reservatório que apresentou o maior grau de influência sobre as estações a jusante foi o reservatório Caconde, sendo o principal responsável pelos três maiores índices obtidos. O reservatório de Furnas, que tem o maior volume útil da bacia do Rio Grande, não apareceu nessa análise, pois não houve nenhuma estação fluviométrica a jusante de sua seção.

De acordo com os valores de IPR(%), quatro estações apresentaram índices maiores ou iguais a 50%, sendo consideradas fortemente influenciadas pelo efeito de reservatórios. Dessa forma, as estações fluviométricas que constituíram a base de dados da $REG_{IPR(\%)}$ foram aquelas utilizadas na REG_{TOTAL} excluindo-se as estações 61817004, 61820000, 61830000 e 61145000.

Equações regionais obtidas

As equações de regressão obtidas para a Q_{mld} , Q_{95} e Q_{max} estão apresentadas na Tabela 5, sendo que o modelo potencial foi o que apresentou os melhores ajustes estatísticos. O número de estações utilizadas na REG_{TOTAL} foi de 74 para o estudo da vazão máxima e 68 para a vazão média e a mínima; na $REG_{IPR(\%)}$ foram 70 estações para a vazão máxima e 64 para a vazão média e a mínima.

Avaliação do efeito da alteração na base de dados

A análise do efeito da alteração na base de dados utilizou como parâmetro de comparação o desvio relativo da média e do desvio-padrão entre as vazões médias de longa duração estimadas pela REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada região homogênea (Tabela 6).

Tabela 4. Dados referentes ao volume útil dos reservatórios, volume acumulado dos reservatórios a montante das estações fluviométricas e índice do potencial de regularização (IPR) das vazões das estações fluviométricas

	Estação	Reservatórios a montante	Volume (hm ³)		IPR
			Útil	Acumulado	
Estações excluídas	61817004	Caconde	504,0	514,5	76,8%
		Bortolan (José Togni)	10,5		
	61820000	Caconde	504,0	535,6	64,0%
		Limoeiro	16,4		
		Euclides da Cunha	4,7		
		Bortolan (José Togni)	10,5		
	61830000	Caconde	504,0	536,7	50,6%
		Limoeiro	16,4		
		Euclides da Cunha	4,7		
		Bortolan (José Togni)	10,5		
		São Sebastião	1,1		
Estações consideradas	61145000	Camargos	670,0	670,0	49,9%
	61925000	Caconde	504,0	560,2	34,6%
		Limoeiro	16,4		
		Euclides da Cunha	4,7		
		Bortolan (José Togni)	10,5		
		São Sebastião	1,1		
		Mogi-Guaçu	23,5	23,5	10,5%
	61530000	Xicão	6,4		
	61537000	Xicão	6,4		
	61565000	Poço Fundo	3,7		
	61886000	Mogi-Guaçu	23,5		
	61568000	Poço Fundo	3,7		
	61807002	Bortolan (José Togni)	10,5		
	61902000	Mogi-Guaçu	23,5		
	61826000	São Sebastião	1,1		
	61787500	Pinheirinho	1,9		
	61912000	Mogi-Guaçu	23,5		
	61425000	Luis Dias	0,0		
	61410000	Luis Dias	0,0		
	61250000	Fojo	0,0		
	61305000	Luis Dias	0,0		
	61879000	Socorro	0,0		
	61285000	Luis Dias	0,0		
	61202000	Anil	0,0		

Tabela 5. Equações de regionalização obtidas para a REG_{TOTAL} e REG_{IPR(%)}

		REG _{TOTAL}			REG _{IPR(%)}		
Região	$Y = a.x^b$	$Q_{mld} = f(P_{eq})$	$Q_{95} = f(P_{eq})$	$Q_{max} = f(AD)$	$Q_{mld} = f(P_{eq})$	$Q_{95} = f(P_{eq})$	$Q_{max} = f(AD)$
R1	a	0,4769	0,1687	0,6506	0,4732	0,1750	0,6160
	b	0,9829	0,9946	0,8524	0,9844	0,9813	0,8608
	Nº estações	45	36	33	44	34	32
	R ²	0,9900	0,9820	0,7790	0,9881	0,9794	0,7617
R2	a	0,4603	0,0884	0,9384	0,4604	0,0923	0,9384
	b	0,9641	1,0491	0,8344	0,9632	1,0286	0,8344
	Nº estações	23	23	14	20	21	14
	R ²	0,993	0,991	0,8230	0,9923	0,9933	0,8230
R3	a	-	0,1088	1,2057	-	0,1088	1,2406
	b	-	1,0696	0,7433	-	1,0696	0,7378
	Nº estações	-	9	16	-	9	13
	R ²	-	0,9486	0,9050	-	0,9486	0,9012
R4	a	-	-	1,4543	-	-	1,4543
	b	-	-	0,7600	-	-	0,7600
	Nº estações	-	-	11	-	-	11
	R ²	-	-	0,8710	-	-	0,8710

AD = área de drenagem (km²); P_{eq} = vazão equivalente (m³/s)

Tabela 6. Desvios relativos da média e do desvio-padrão entre as regionalizações REG_{TOTAL} e REG_{IPR(%)} para análise do efeito da alteração na base de dados

Região	Estatística	Desvio relativo (%)
R1	Média	15,06%
	Desvio-padrão	26,82%
R2	Média	6,61%
	Desvio-padrão	-6,52%

Observa-se que a alteração na base de dados foi mais expressiva na região 1, a qual apresentou desvios de até 27% nos valores dos desvios-padrão; a região 2, no entanto, apresentou desvios bem menores, que não ultrapassaram os 7%.

A Figura 3 apresenta a espacialização das variações relativas encontradas entre a REG_{TOTAL} e a REG_{IPR(%)}, evidenciando-se que as estimativas das vazões foram bastante similares, sendo obtidas variações entre -1,00% a 1,25%.

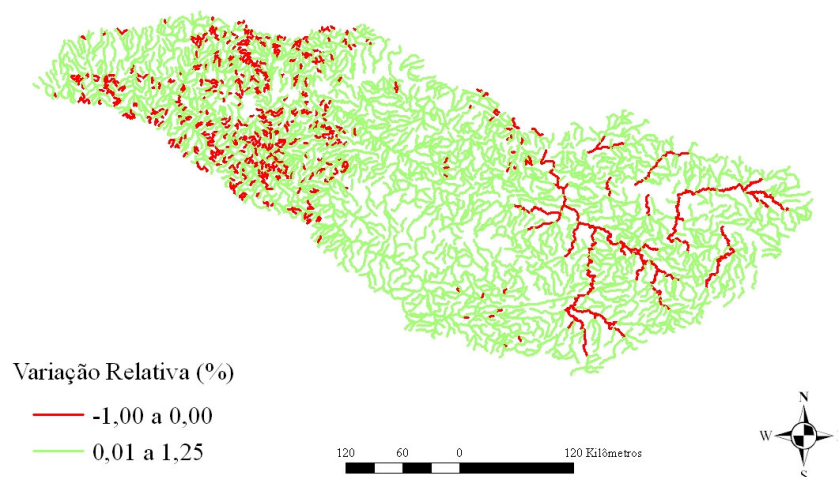


Figura 3. Variações relativas entre as vazões médias de longa duração estimadas pela REG_{TOTAL} e $REG_{IPR}(\%)$.

A retirada das quatro estações fortemente influenciadas pelo efeito de reservatório ($IPR\%$ superior a 50%) produziu efeitos inferiores a 1,25% na estimativa da vazão média de longa duração em toda a hidrografia da bacia do Rio Grande, mostrando que as variações na base de dados não produziram um efeito expressivo sobre as estimativas das vazões.

Dessa forma, variações de até 1,25% na análise das vazões mínimas e da máxima podem ser atribuídas ao efeito da alteração na base de dados e não ao efeito dos reservatórios.

Avaliação do efeito de reservatório no ajuste das equações regionais

Vazão mínima

A Figura 4 apresenta a espacialização das variações relativas entre as estimativas das vazões mínimas, em que foram observadas variações de -11,1% a 9,7%, sendo que as maiores variações negativas corresponderam a trechos com pequenas áreas de drenagem e as maiores variações positivas corresponderam a trechos dos rios Mogi-Guaçu, Sapucaí e Turvo.

A Figura 5 apresenta a curva da variação relativa ao longo da área de drenagem da bacia do Rio Grande, separada por regiões homogêneas, em que nota-se que a região 3 não apresentou diferença entre as estimativas das vazões, uma vez que o número de estações utilizadas nesta região foi igual para as duas regionalizações, não variando a equação de regressão.

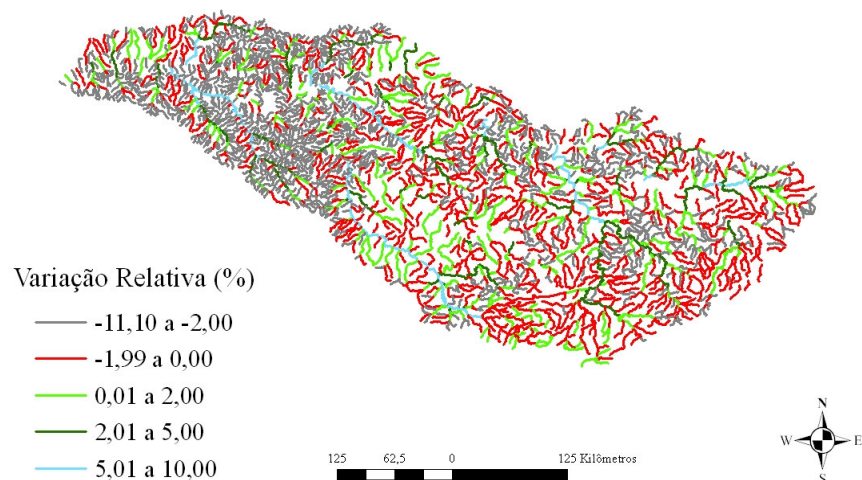


Figura 4. Variações relativas entre as vazões mínimas estimadas (Q_{95}) pela REG_{TOTAL} e $REG_{IPR(\%)}$.

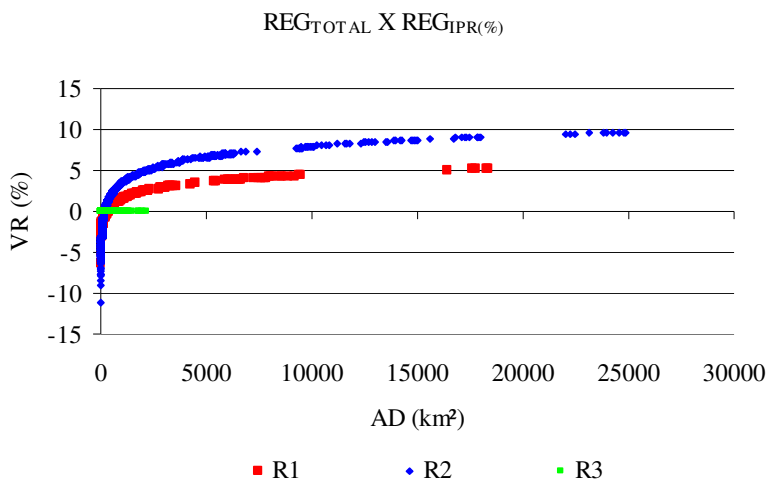


Figura 5. Curva da variação relativa entre REG_{TOTAL} e $REG_{IPR(\%)}$ ao longo da área de drenagem para as três regiões homogêneas da vazão mínima Q_{95} .

A curva da variação relativa das regiões 1 e 2 apresentaram comportamento semelhante, sendo que a diferença foi a maior amplitude dos dados verificada na região 2. As variações negativas ocorreram em trechos isolados com pequenas áreas de drenagem que variaram entre 1,1 e 192,9 km², sendo que a ocorrência de variações relativas altas em trechos de cabeceira pode estar relacionada à baixa magnitude das vazões nestas áreas, o que faz com que qualquer diferença entre as vazões seja suficiente para produzir variações acentuadas.

As variações positivas tiveram uma tendência crescente, mostrando que o efeito dos reservatórios teve uma relação direta com a área de drenagem, e que estas variações ocorreram de maneira geral em trechos grandes, como o Rio Mogi-Guaçu apresentado na Figura 6. A amplitude da variação relativa neste rio foi de 6,2% a 9,1%, sendo que o limite inferior correspondeu à menor área de drenagem e o limite superior à maior área de drenagem. Nota-se também que a REG_{TOTAL} teve uma leve tendência a superestimar as vazões em relação à $REG_{IPR(\%)}$, mostrando que a inserção das estações fluviométricas influenciadas por reservatórios no estudo de regionalização promoveu um discreto aumento da vazão mínima no Rio Mogi-Guaçu.

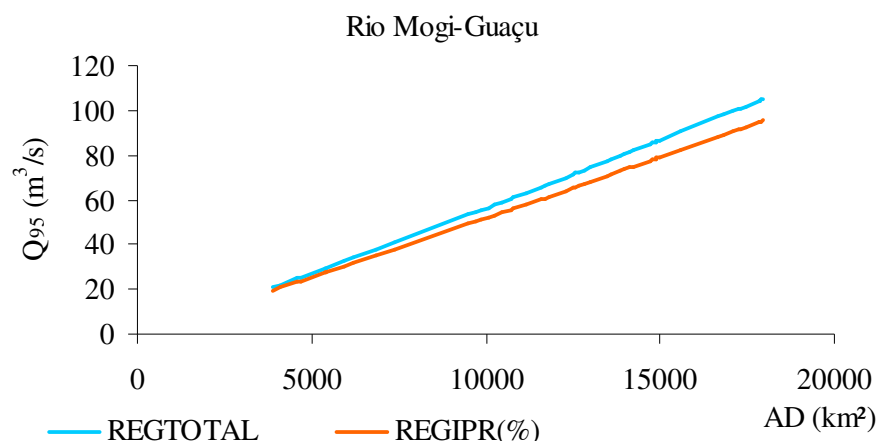


Figura 6. Comportamento da vazão mínima Q_{95} estimada pela REG_{TOTAL} e pela $REG_{IPR(\%)}$ no Rio Mogi-Guaçu.

O histograma apresentado na Figura 7 permite uma análise mais detalhada da distribuição das variações, mostrando que 89% dos trechos apresentaram variações de até 5% e apenas um trecho teve variação superior a 10%.

Individualizando o efeito da alteração na base de dados verificado na vazão média de longa duração, o qual foi responsável por variações de até 1,25%, pode-se esperar, de maneira geral, que a propagação do efeito dos reservatórios produza alterações nas estimativas da vazão mínima inferiores a 10%, sendo considerado de pouca expressividade para estudos de regionalização.

Portanto, a consideração ou não das estações fluviométricas influenciadas pelos reservatórios de maior potencial de regularização na regionalização de vazões não alterou expressivamente a estimativa das vazões mínimas.

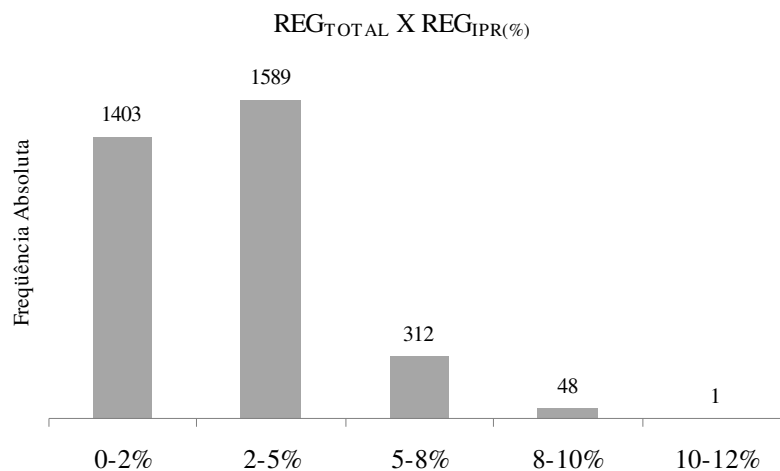


Figura 7. Histograma com as frequências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão mínima Q_{95} .

Vazão máxima

A Figura 8 apresenta a espacialização das variações relativas entre as estimativas das vazões máximas, em que foram observadas variações de -54,9% a 39,0%, sendo que as maiores variações relativas foram referentes a trechos com pequenas áreas de drenagem (trechos de cor preta).

A Figura 9 mostra claramente o predomínio das variações relativas altas, tanto positivas quanto negativas, nos trechos de cabeceira dos rios. Nota-se que para os trechos com maiores áreas de drenagem, a variação relativa praticamente não variou, apresentando um comportamento quase linear ao longo da hidrografia. Portanto, no caso da vazão máxima, não se observou uma relação direta entre o efeito do reservatório e a área de drenagem, como verificado na vazão mínima.

O histograma apresentado na Figura 10 identificou 93,5% dos trechos com variações de até 5% e apenas 5% dos trechos com variações superiores a 20%. Portanto, o efeito dos reservatórios não apresentou potencial para modificar em grande medida as estimativas das vazões, sendo que a maioria das variações verificadas para a vazão máxima foram ainda menos expressivas que as da vazão mínima, como se observa na Figura 11, em que as estimativas das vazões pelas duas regionalizações foram bem parecidas no Rio Mogi-Guaçu.

Apesar de a vazão máxima ter apresentado maior amplitude das variações relativas em relação às vazões mínimas, o efeito dos reservatórios na regionalização de vazões máximas foi menos expressivo, já que mais trechos apresentaram variações de até 5%. Portanto, o efeito do reservatório na regionalização da vazão máxima foi evidenciado em poucos trechos da bacia do Rio Grande, sem apresentar uma importância expressiva devido à baixa representatividade dos trechos afetados.

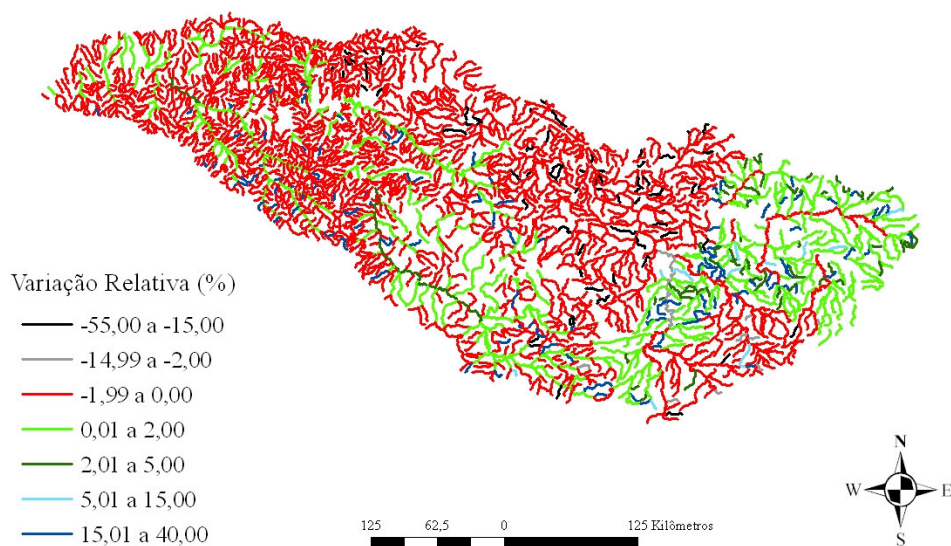


Figura 8. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão máxima.

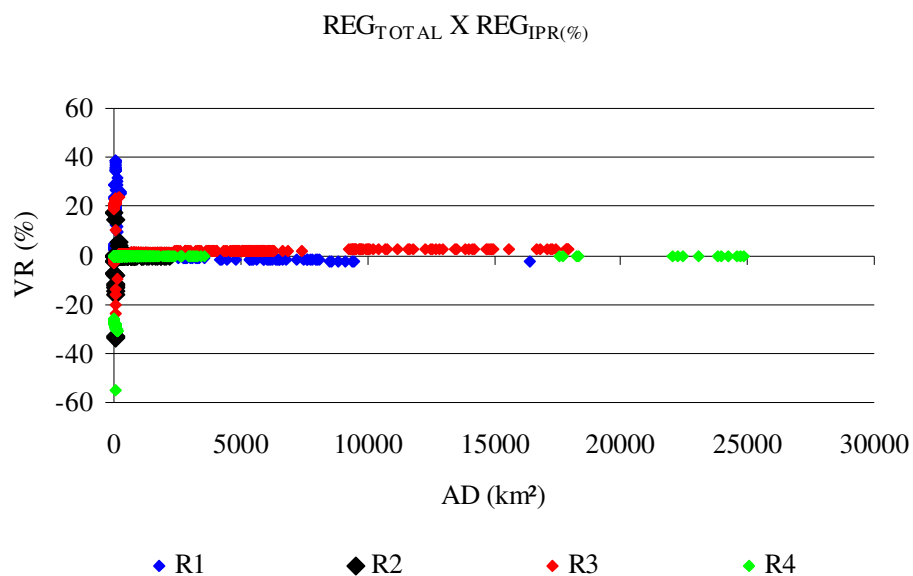


Figura 9. Curva da variação relativa entre REG_{TOTAL} e $REG_{IPR(\%)}$ ao longo da área de drenagem para as quatro regiões homogêneas da vazão máxima.

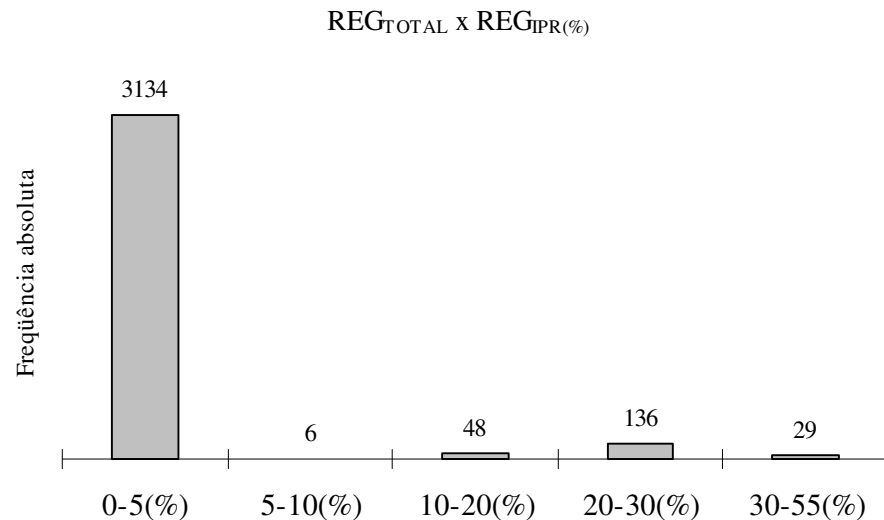


Figura 10. Histograma com as frequências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão máxima.

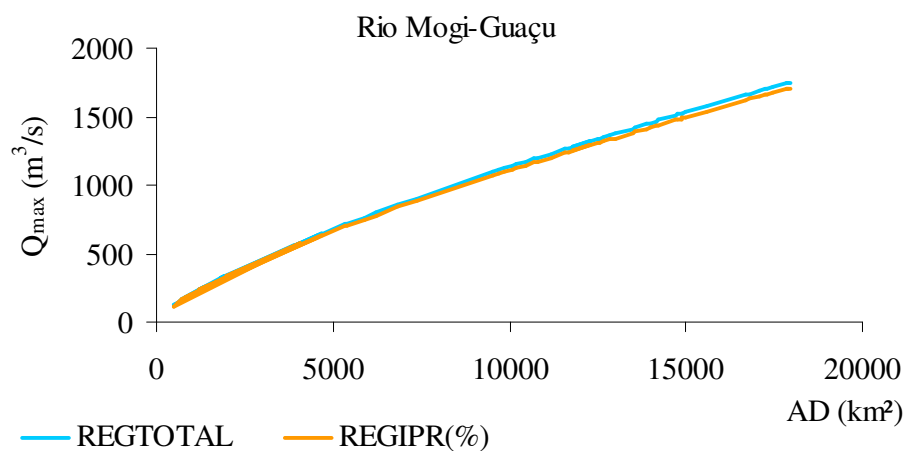


Figura 11. Comportamento da vazão máxima estimada pela REG_{TOTAL} e pela $REG_{IPR(\%)}$ no Rio Mogi-Guaçu.

A Tabela 7 apresenta uma análise estatística comparativa dos coeficientes de determinação ajustados das regionalizações realizadas, mostrando que a REG_{TOTAL} obteve uma melhor capacidade para explicar as variações nas vazões analisadas, podendo-se dizer que a redução do número de estações utilizadas na regionalização reduziu a precisão do ajuste estatístico das equações.

Tabela 7. Coeficientes de determinação ajustados e número de estações utilizadas nas regionalizações

Região	Estatística	Q _{mld}		Q ₉₅		Q _{max}	
		REG _{TOTAL}	REG _{IPR(%)}	REG _{TOTAL}	REG _{IPR(%)}	REG _{TOTAL}	REG _{IPR(%)}
R1	R ² ajustado	0,9893	0,9878	0,9816	0,9786	0,7786	0,7537
	Nº estações	45	44	36	34	33	32
R2	R ² ajustado	0,9927	0,9919	0,9903	0,9929	0,8083	0,8083
	Nº estações	23	20	23	21	14	14
R3	R ² ajustado	-	-	0,9413	0,9413	0,9047	0,8923
	Nº estações	-	-	9	9	16	13
R4	R ² ajustado	-	-	-	-	0,8567	0,8567
	Nº estações	-	-	-	-	11	11

CONCLUSÕES

O índice do potencial de regularização mostrou-se uma ferramenta prática para identificar as estações fluviométricas mais influenciadas pelo efeito de reservatórios, utilizando como dado o volume útil dos reservatórios. Uma desvantagem do índice é que nem sempre este dado (volume útil) está disponível.

É importante minimizar a contribuição do efeito da alteração na base de dados para individualizar o efeito dos reservatórios nos resultados.

O efeito dos reservatórios no estudo de regionalização da bacia do Rio Grande teve pouca expressividade. As variações nos ajustes das equações regionais foram, na maioria dos trechos, inferiores a 5%, tanto no estudo da vazão mínima quanto da vazão máxima.

Para o caso específico da bacia do Rio Grande, recomenda-se regionalizar as vazões sem excluir as estações fluviométricas influenciadas pelo efeito de reservatório.

Recomenda-se expandir o estudo para outras bacias hidrográficas para se obter outros resultados em relação à utilização do índice do potencial de regularização como ferramenta de avaliação da influência dos reservatórios em estudos de regionalização de vazões.

BIBLIOGRAFIA

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG – Banco de Informações de Geração**. 2007.

FILL, H. H. Informações hidrológicas. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987.

OLIVEIRA, F.A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do Rio Grande**. 2008. 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **Revisão das séries de vazões naturais nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional- SIN**. Brasília: 2003.

SOUSA, H.T.; PRUSKI, F.F.; BOF, L.H.; CECOM, P.R.; SOUSA, J.R.C. **SisCAH 1.0**: Sistema Computacional para Análises Hidrológicas. Viçosa, MG, 2007. 65p.