

Seleção da regionalização e considerações sobre o uso do *Box Plot* no estudo de regionalização da vazão máxima

Seguindo as recomendações propostas no item 4.1.1.1.2., foram realizadas duas regionalizações: a REG_71, que excluiu as estações fluviométricas *outliers* apontadas no gráfico *Box Plot* (contando com 71 estações fluviométricas), e a REG_74, que não excluiu nenhuma estação (contando com 74 estações fluviométricas). O estudo comparativo das regionalizações foi feito com a variável explicativa área de drenagem, pois esta apresentou a melhor correlação com os dados de vazão máxima.

A Tabela 29 apresenta as equações ajustadas para cada região homogênea e regionalização, sendo que foram excluídas duas estações fluviométricas (códigos 61122000 e 61350000) da região 1 e uma da região 2 (código 61429000), para a realização da REG_71. As equações das regiões 3 e 4 foram iguais para a REG_71 e REG_74.

Tabela 29. Equações das regionalizações ajustadas para a vazão máxima na bacia do Rio Grande

Região	Regionalização	Vazão estimada (m ³ /s)	R ² ajustado	Estações
R1	REG_71	$Q_{\max} = 0,4158 AD^{0,9020}$	0,886	31
	REG_74	$Q_{\max} = 0,6506 AD^{0,8524}$	0,779	33
R2	REG_71	$Q_{\max} = 0,6268 AD^{0,8954}$	0,856	13
	REG_74	$Q_{\max} = 0,9384 AD^{0,8344}$	0,808	14
R3	REG_71	$Q_{\max} = 1,2057 AD^{0,7433}$	0,905	16
	REG_74			
R4	REG_71	$Q_{\max} = 1,4543 AD^{0,7600}$	0,857	11
	REG_74			

AD = área de drenagem (km²)

O modelo que melhor representou os dados foi o potencial e os coeficientes de determinação ajustados mostraram que a REG_71 sobressaiu-se no ajuste estatístico, apresentando uma maior capacidade de explicar as variações na vazão

máxima que a REG_74. A estatística dos resíduos (em módulo) corroborou com esse resultado, mostrando que a REG_71 reduziu em 4% a média dos resíduos, e em quase 50% o valor do resíduo máximo (Tabela 30). Dessa forma, em termos estatísticos, a REG_71 apresentou melhor desempenho que a REG_74.

Tabela 30. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as estações fluviométricas no estudo da $Q_{\max}$ para as regionalizações REG_71 e REG_74

Estatística	Módulo dos resíduos	
	REG_71	REG_74
Média	29,43%	33,41%
Máximo	132,08%	180,22%
Mínimo	0,06%	0,06%
ER > 30%	36,6% (26 estações)	35,1% (26 estações)

ER>30% = estações fluviométricas que apresentaram o módulo do resíduo superior a 30%

A análise do comportamento físico da vazão máxima foi feita somente nas regiões homogêneas 1 e 2, locais onde foram observadas as diferenças nos ajustes das regionalizações. A Figura 28 apresenta a amplitude das vazões específicas máximas estimadas pelas regionalizações e obtidas nas estações fluviométricas, em formato de gráficos *whiskers*, em que os bigodes representam os valores máximos e mínimos e a linha central a média da $q_{\max}$ para cada situação.

Nota-se que, nas duas regiões analisadas, houve uma redução da amplitude das $q_{\max}$ estimadas em relação às $q_{\max}$ das estações, sendo que esta foi mais expressiva na REG_71 e na região 1. Em relação aos valores médios das $q_{\max}$, eles foram parecidos entre si, principalmente comparando a $q_{\max}$ da REG_74 com a $q_{\max}$ das estações, porém as pequenas diferenças mostraram que a REG_71 subestimou, enquanto que a REG_74 superestimou as vazões máximas em relação ao valor obtido nas estações.

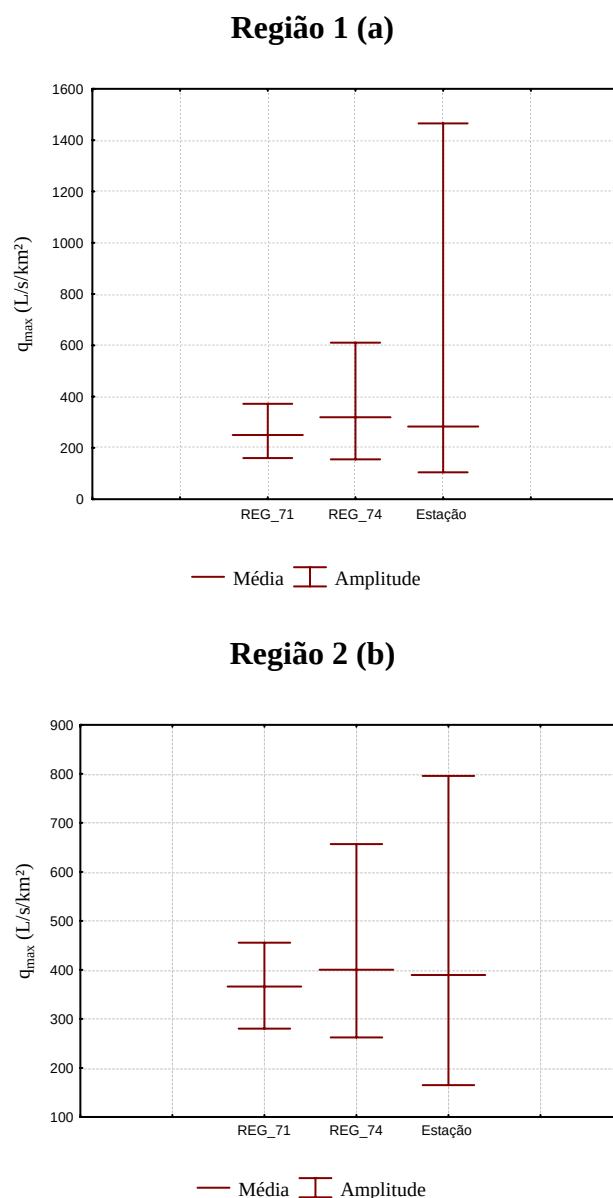
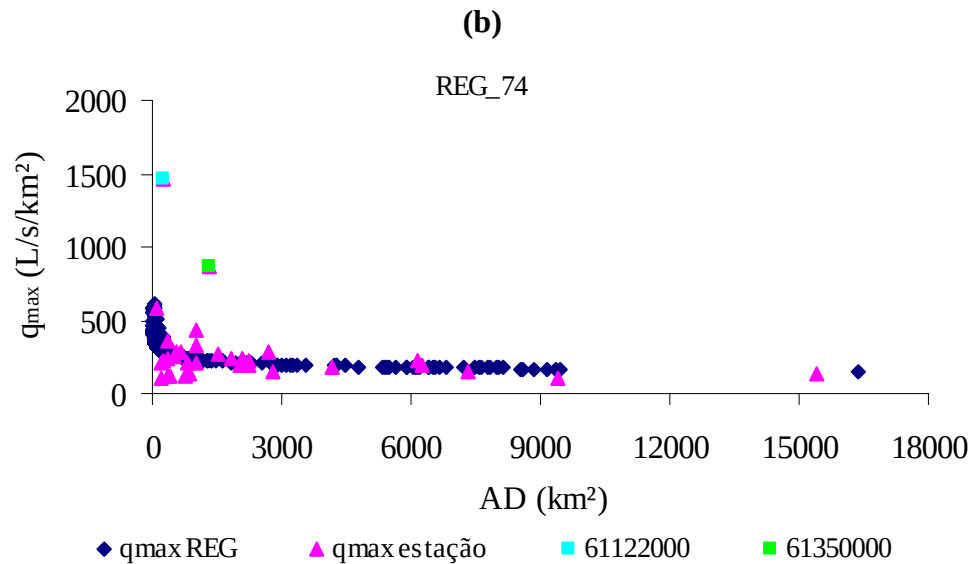
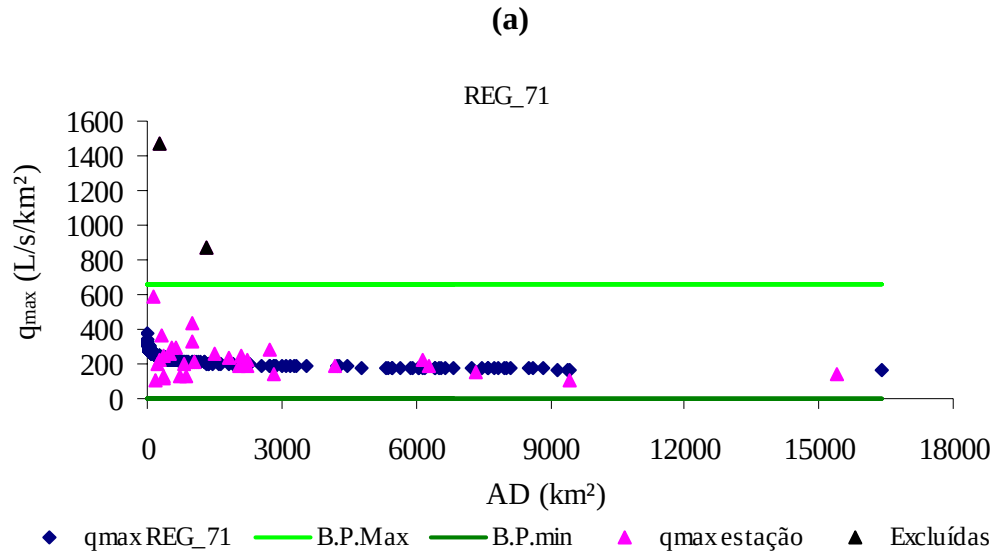


Figura 28. Gráficos *whiskers* das vazões específicas máximas estimadas na REG_71 e na REG_74 e obtidas nas estações fluviométricas para as regiões 1 (a) e 2 (b).

Procurando identificar os locais onde ocorreram os maiores achatamentos da $q_{\max}$, traçou-se a curva do comportamento da $q_{\max}$ estimada ao longo da hidrografia da bacia para a região 1 (Figura 29). Percebe-se que a redução da amplitude ocorreu basicamente nas áreas de cabeceira, regiões bastante suscetíveis à ocorrência de valores extremos, mostrando que a REG_71 apresentou um achatamento drástico, enquanto a REG_74 teve um melhor enquadramento dos seus valores com os obtidos nas estações. O mesmo resultado foi observado na região 2.



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*

B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 29. Curva da $q_{\max}$ estimada ao longo da hidrografia da região 1 comparada aos valores obtidos nas estações para a REG_71 (a) e para a REG_74 (b).

Como já discutido anteriormente, em estudos de regionalização da vazão máxima, deve-se evitar ao máximo o achatamento dos valores extremos, principalmente do valor máximo, assim como a subestimativa das suas vazões, pois, medidas dessa natureza podem contribuir para um dimensionamento mais adequado dos projetos de obras hidráulicas.

O uso do *Box Plot* no estudo da vazão máxima já demonstrou fragilidade no momento em que estabeleceu um valor negativo como limite inferior para os dados aceitáveis de $q_{\max}$. Os resultados obtidos nas regionalizações apenas confirmaram que sua aplicação interferiu negativamente no comportamento físico da vazão, não se recomendando, portanto, sua aplicação para o aprimoramento do estudo de regionalização das vazões máximas.

Diante dos resultados, apesar da REG_74 ter apresentado um desempenho estatístico inferior, suas equações proporcionaram vazões estimadas mais condizentes com a realidade e com a segurança dos projetos de obras hidráulicas. Dessa forma, recomenda-se sua utilização em detrimento da utilização da REG_71.

As análises apresentadas nos itens subseqüentes são relativas aos resultados obtidos na REG_74.

Análise da regionalização com base nos resíduos relativos

Analizando o uso das variáveis área de drenagem e vazão equivalente no estudo de regionalização da vazão máxima (Tabela 31), observa-se que a área de drenagem apresentou uma melhor resposta estatística, com uma redução de quase 4% no resíduo médio e de quase 40% no valor do resíduo máximo (valores em módulo). Esse resultado coincidiu com o obtido na matriz de correlação, a qual mostrou que a AD apresentou melhor correlação com a $Q_{\max}$.

Tabela 31. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as estações fluviométricas no estudo de regionalização da $Q_{\max}$

Estatística	Módulo do resíduo	
	P_{eq}	AD
Média	37,10%	33,41%
Máximo	218,62%	180,22%
Mínimo	0,31%	0,06%
ER > 30%	41,9% (31 estações)	35,1% (26 estações)

ER>30% = estações fluviométricas que apresentaram o módulo do resíduo superior a 30%

A Figura 30 apresenta a espacialização dos resíduos relativos calculados nas seções das estações fluviométricas, utilizando a área de drenagem. A vazão máxima foi a vazão que apresentou os maiores resíduos relativos dentre todas as outras, variando de -180,22% a 80,58%, em que a região 1 apresentou a maior média dos resíduos (39,28%), seguida das regiões 2 (32,73%), 3 (27,52%) e da 4 (25,20%). Os valores dos erros relativos para as duas variáveis explicativas são apresentados no Apêndice C.

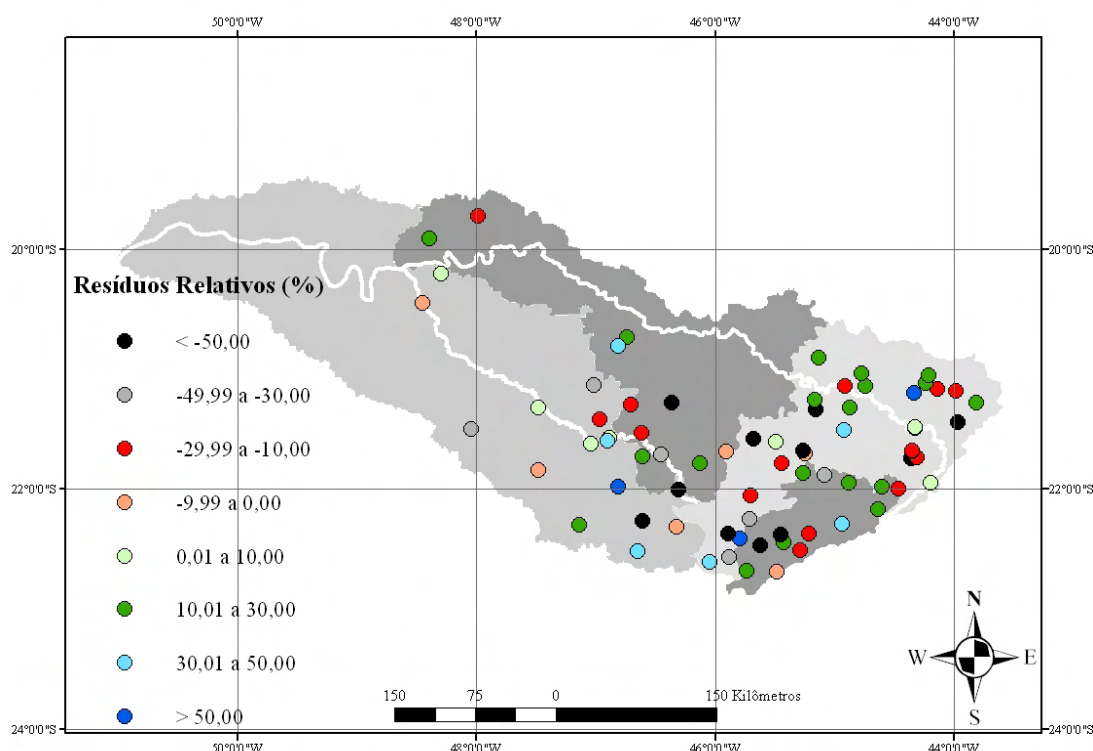


Figura 30. Resíduos relativos (%) para cada estação fluviométrica obtidos no estudo da $Q_{\max}$ para a bacia do Rio Grande.

Quatorze estações apresentaram resíduos, em módulo, superior a 50%, sendo que o maior resíduo correspondeu à estação com o menor valor de vazão (código 61100000). As equações obtidas não tiveram uma tendência clara à superestimativa ou subestimativa da vazão máxima, mostrando um equilíbrio entre os resíduos positivos e negativos (Tabela 32).

Tabela 32. Classes de frequência absoluta dos resíduos relativos calculados para as estações fluviométricas da $Q_{\max}$

Classes	Frequência Absoluta							
	R1		R2		R3		R4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
0 - 5%	1	1	0	1	3	1	0	1
5 - 15%	6	6	0	1	1	2	0	0
15 - 30%	5	2	6	2	1	1	4	3
30 - 50%	2	2	1	1	2	2	1	1
> 50%	2	6	0	2	1	2	0	1
Total	16	17	7	7	8	8	5	6

Análise da regionalização com base na vazão específica ($q_{\max}$)

Para avaliar o comportamento físico da vazão máxima estimada ao longo da hidrografia da bacia do Rio Grande, foi apresentada a estatística da $q_{\max}$ estimada para cada trecho da hidrografia utilizando a área de drenagem e a vazão equivalente como variável independente (Tabela 33).

Tabela 33. Vazões específicas máximas para cada trecho da hidrografia com o ajuste da área de drenagem e da vazão equivalente

Variável	Estatísticas da vazão específica máxima (L/s/km ²)		
	Média	Máximo	Mínimo
AD	408,40	1179,32	97,55
P _{eq}	374,01	1098,60	95,93

As estatísticas apresentadas das duas variáveis resultaram em valores bem próximos, mostrando, porém, uma leve tendência da área de drenagem em superestimar a vazão máxima em relação à vazão equivalente. Comparando esses resultados com os obtidos nas estações, observa-se que os máximos estimados foram menores que o máximo das estações (1465,60 L/s/km²), que os mínimos estimados foram maiores que o mínimo das estações (77,05 L/s/km²) e que as médias estimadas foram maiores que a obtida nas estações (291,56 L/s/km²), mostrando que o ajuste das equações de regionalização implicou a redução da amplitude dos dados, porém a

superestimativa do valor médio da vazão específica máxima. Como nenhuma $q_{\max}$ estimada ficou abaixo do menor valor obtido nas estações, pode-se dizer que esses resultados oferecem uma maior segurança aos projetos de obras hidráulicas.

Analisando o comportamento da $q_{\max}$ estimada em cada região homogênea, nota-se uma clara tendência decrescente dos valores de vazão específica da nascente para a foz dos rios, ressaltando a importância das áreas de cabeceira na produção de vazão. As regiões 3 e 4 (mais próximas à foz) obtiveram as maiores médias (401,39 L/s/km² e 480,27 L/s/km², respectivamente) e foram as únicas que apresentaram trechos com $q_{\max}$ estimadas superiores a 1.000 L/s/km² (Figura 31).

O procedimento sugerido para minimizar o efeito da extrapolação das equações não foi aplicado à vazão máxima, pois sua utilização implicaria na restrição das vazões estimadas a um limite físico máximo o que poderia comprometer a segurança dos projetos de obras hidráulicas. Portanto, no caso da vazão máxima sugere-se analisar a possibilidade de estabelecer um limite mínimo para as $q_{\max}$ estimadas, para assim, minimizar a ocorrência de vazões subestimadas.

A Figura 32 mostra que a $q_{\max}$ estimada não sofreu variações bruscas ao longo da bacia do Rio Grande, apresentando, praticamente, um mesmo padrão de cores para toda a bacia hidrográfica, em que predominaram as vazões específicas entre 300 e 600 L/s/km². No entanto, fazendo uma análise mais minuciosa, foi evidenciado que as maiores $q_{\max}$ estimadas ficaram próximas à foz da bacia e as menores mais próximas às áreas de cabeceira. De maneira geral, a classe dos valores de $q_{\max}$ obtidas nas estações coincidiu com a classe daqueles valores estimados pela regionalização ($q_{\max}$ REG). Os rios que apresentaram as menores vazões específicas máximas foram Mogi-Guaçu, Sapucaí, Cervo, Verde, Uberaba, Mortes, Aiuruoca, Peixe, Turvo, Jacaré e Ingaí.

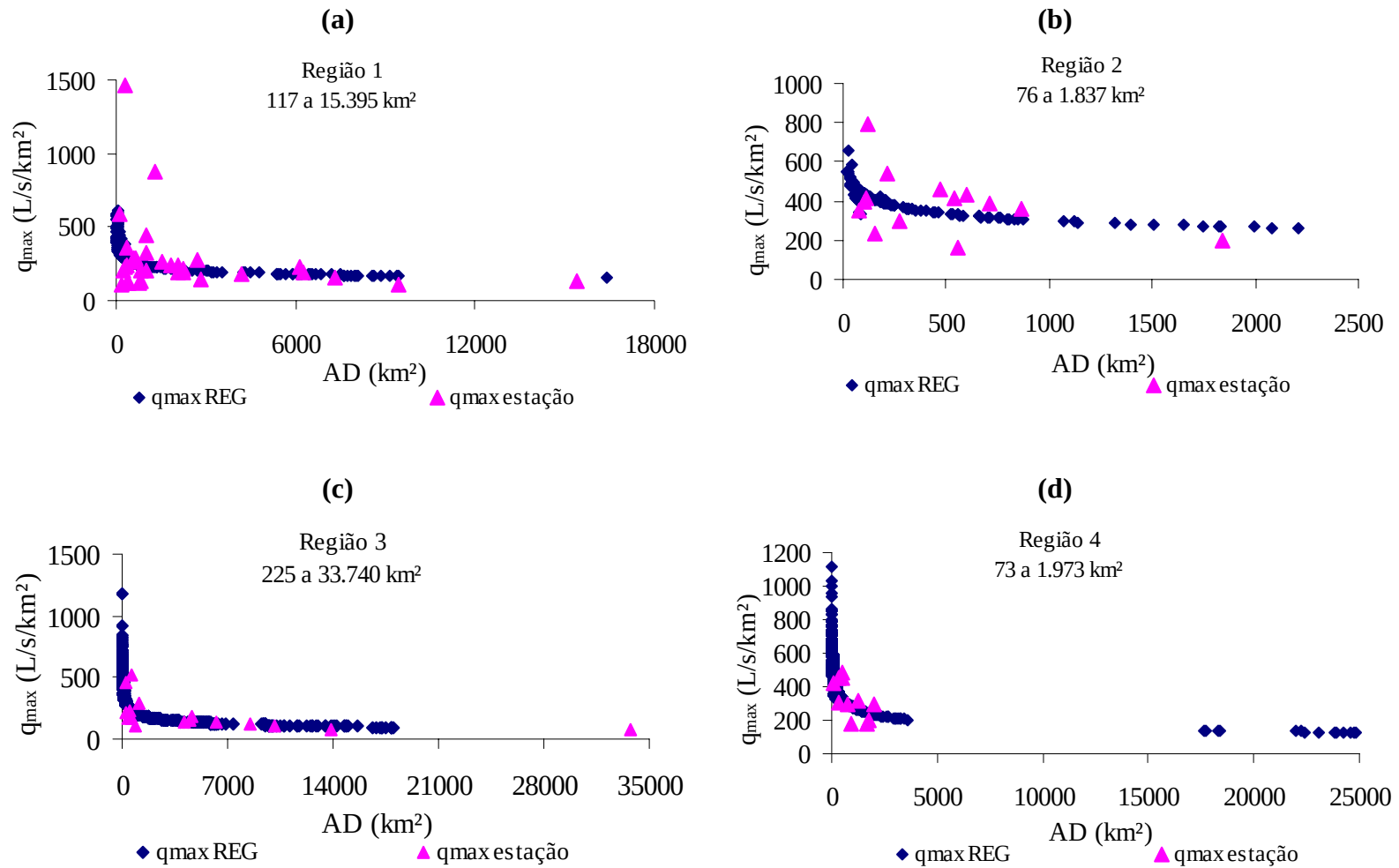


Figura 31. Curvas da vazão específica $q_{\max}$ estimada com a equação da área de drenagem para toda a hidrografia, comparado aos valores calculados para as estações para a região 1 (a), região 2 (b), região 3 (c) e região 4.

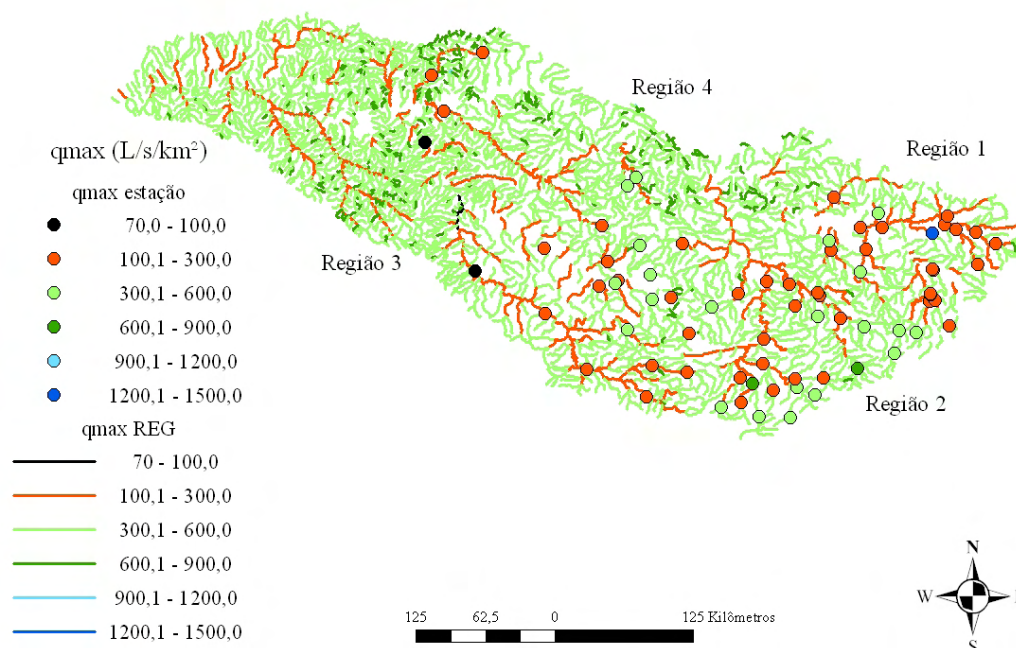


Figura 32. Vazões específicas $q_{\max}$ estimada para cada trecho da hidrografia em função da área de drenagem e calculada para as estações fluviométricas da bacia do Rio Grande.

4.1.2. Resultados para o Rio Grande e o Rio Pardo

4.1.2.1. Aplicação do *Box Plot*

4.1.2.1.1. Estudo da vazão média de longa duração e das vazões mínimas

Foram apresentados os valores máximos e mínimos obtidos para o coeficiente de escoamento e para as vazões específicas mínimas nas seções dos reservatórios para verificar se algum deles ficou fora dos limites estabelecidos pelo *Box Plot* (Tabela 34).

No caso do coeficiente de escoamento, os valores extremos (máximo e mínimo) ficaram dentro do limite estabelecido pelo gráfico *Box Plot*, mostrando que todos os valores calculados para as seções dos reservatórios foram considerados como aceitáveis. Porém, no caso das vazões específicas mínimas, apenas os valores mínimos ficaram dentro do limite, sendo que os valores máximos excederam o limite superior imposto, mostrando a presença de *outliers* superiores.

Tabela 34. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* e valores máximo e mínimo calculados para os parâmetros de análise dos dados dos reservatórios

Valores	CE	Vazão específica mínima (L/s/km ²)		
		Q _{7,10}	Q ₉₅	Q ₉₀
Limite superior	0,47	4,79	7,07	8,38
Máximo	0,44	6,23	7,93	9,04
Mínimo	0,35	3,92	5,50	6,58
Limite inferior	0,30	3,88	4,95	5,78

A Tabela 35 apresenta as vazões específicas mínimas calculadas para cada uma das seções dos reservatórios, no intuito de identificar o reservatório com valor *outlier*. De acordo com o limite máximo estabelecido, apenas o reservatório de Camargos apresentou dados discrepantes (ressaltados em vermelho), constituindo um *outlier* superior na análise das vazões mínimas.

Tabela 35. Vazões específicas mínimas calculadas para as seções dos reservatórios da bacia do Rio Grande

Reservatórios	Vazão específica (L/s/km ²)		
	Q _{7,10}	Q ₉₅	Q ₉₀
Porto Colômbia	3,92	5,50	6,58
Volta Grande	4,20	5,84	6,81
L C Barreto	4,20	5,65	6,63
Furnas	4,22	5,75	6,79
Jaguará	4,24	5,85	6,83
M de Moraes	4,26	5,71	6,63
Euclides da Cunha	4,31	6,27	7,42
A S Oliveira	4,31	6,25	7,40
Caconde	4,35	6,53	7,78
Água Vermelha	4,71	6,13	7,14
Marimbondo	4,74	6,29	7,35
Camargos	6,23	7,93	9,04

A partir desses resultados e mantendo a decisão de se realizar uma exclusão padrão para o estudo das vazões médias e mínimas, decidiu-se excluir os dados provenientes do reservatório Camargos do estudo de regionalização de vazões naturais médias e mínimas.

4.1.2.1.2. Estudo da vazão máxima

O estudo da vazão máxima utilizou como parâmetro de análise a vazão específica máxima calculada para as seções de cada um dos reservatórios, as quais foram apresentadas na Tabela 36 junto com os limites estabelecidos pelo *Box Plot*.

De acordo com os limites estabelecidos, nenhuma vazão específica foi enquadrada como *outlier*, mostrando que todos os valores estão dentro do intervalo dos dados aceitáveis e podem, portanto, ser utilizados no estudo de regionalização da vazão natural máxima.

Porém, como foi visto no estudo de regionalização da vazão máxima realizada para as estações fluviométricas (item 4.1.1.2.5.), a aplicação do *Box Plot* apresentou diversas fragilidades, as quais conjugaram para a não recomendação dessa técnica no estudo da vazão máxima.

Tabela 36. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* e vazões específicas máximas calculadas nas seções dos reservatórios da bacia do Rio Grande

Reservatórios	$q_{\max}$ (L/s/km ²)
Limite inferior	26,74
Água Vermelha	90,81
Marimbondó	99,19
Porto Colômbia	125,70
M de Moraes	130,93
L C Barreto	131,10
Volta Grande	132,84
Furnas	136,37
Jaguará	136,63
Camargos	193,63
A S Oliveira	211,95
Euclides da Cunha	216,90
Caconde	246,88
Limite Superior	301,09

No estudo da vazão natural tais fragilidades não foram evidenciadas, pois o conjunto de dados apresentou uma maior homogeneidade dos valores, com um desvio padrão de apenas 49,93 L/s/km² frente ao valor de 210,27 L/s/km², obtido nas $q_{\max}$ observadas no item 4.1.1.1.2. Tomando como base as desvantagens e as incoerências produzidas pela aplicação do *Box Plot* no estudo de caso da bacia do Rio Grande, decidiu-se por não adotar essa técnica ao estudo das vazões máximas naturais.

4.1.2.2. Regionalização das vazões naturais

Uma vez identificadas as inconsistências na base de dados, deu-se início à regionalização das vazões naturais, realizando as devidas exclusões. A regionalização de vazões naturais foi aplicada somente ao Rio Grande e ao Rio Pardo, os quais compuseram uma mesma região homogênea.

As seções dos reservatórios apresentaram áreas de drenagem que variaram entre 2.588 e 139.437 km², enquanto que a base hidrográfica dos rios em estudo apresentou áreas no intervalo de 150 a 143.352 km².

4.1.2.2.1. Pré-seleção das variáveis independentes

Para a pré-seleção das variáveis independentes obteve-se a matriz de correlação entre as variáveis dependentes e independentes, considerando os dados correspondentes às seções dos 12 reservatórios utilizados no estudo (Tabela 37).

As variáveis P, IH e $P_{\max}$ apresentaram baixas correlações com as vazões, mostrando que não possuem contribuição expressiva para este estudo. Já as variáveis AD e P_{eq} apresentaram correlações excelentes e praticamente iguais, sendo selecionadas para o estudo das vazões naturais.

4.1.2.2.2. Regionalização da vazão média de longa duração natural

Para a regionalização da vazão média de longa duração natural (Q_{mld}) utilizaram-se dados de 11 reservatórios, adotando-se o critério de exclusão proposto no item 4.1.2.1.1.

Tabela 37. Matriz de correlação entre as vazões naturais e as variáveis independentes

	Q _{7,10}	Q ₉₅	Q ₉₀	Q _{mld}	Q _{max}	AD	P	P _{max}	P _{eq}	IH
Q _{7,10}	1									
Q ₉₅	0,9993	1								
Q ₉₀	0,9990	0,9999	1							
Q _{mld}	0,9906	0,9947	0,9956	1						
Q _{max}	0,9420	0,9520	0,9539	0,9771	1					
AD	0,9951	0,9975	0,9980	0,9987	0,9685	1				
P	-0,4444	-0,4520	-0,4531	-0,4789	-0,5452	-0,4799	1			
P _{max}	-0,3500	-0,3523	-0,3524	-0,3673	-0,4179	-0,3737	0,9530	1		
P _{eq}	0,9950	0,9975	0,9981	0,9989	0,9686	1,0000	-0,4799	-0,3682	1	
IH	-0,4444	-0,4520	-0,4531	-0,4789	-0,5452	-0,4799	1,0000	0,9530	-0,4799	1

AD = área de drenagem; P = precipitação média anual; P_{eq} = vazão equivalente; IH = inércia hídrica; P_{max} = precipitação máxima mensal

A Tabela 38 apresenta as equações ajustadas para cada variável independente e o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o potencial, em que o coeficiente de determinação mostrou que a área de drenagem e a vazão equivalente explicaram 99,97% das variações na Q_{mld}.

Tabela 38. Equações de regionalização ajustadas para a vazão média de longa duração natural para o Rio Grande e Rio Pardo

Variável	Vazão estimada (m ³ /s)	R ²
AD	$Q_{mld} = 0,0293 AD^{0,9541}$	0,9997
P _{eq}	$Q_{mld} = 0,5277 P_{eq}^{0,9565}$	0,9997

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

Analisando a estatística dos módulos dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios, nota-se que as equações propostas apresentaram um excelente ajuste aos dados, com um erro máximo de 3,5% e erro médio de, aproximadamente, 2%. O desempenho estatístico das duas variáveis independentes foi praticamente igual (Tabela 39). Os resíduos relativos de cada seção de reservatório para as duas variáveis explicativas foram apresentados no Apêndice D.

A Tabela 40 apresenta a estatística do coeficiente de escoamento estimado para cada trecho da hidrografia do Rio Grande e do Rio Pardo.

Tabela 39. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios no estudo de regionalização da Q_{mld}

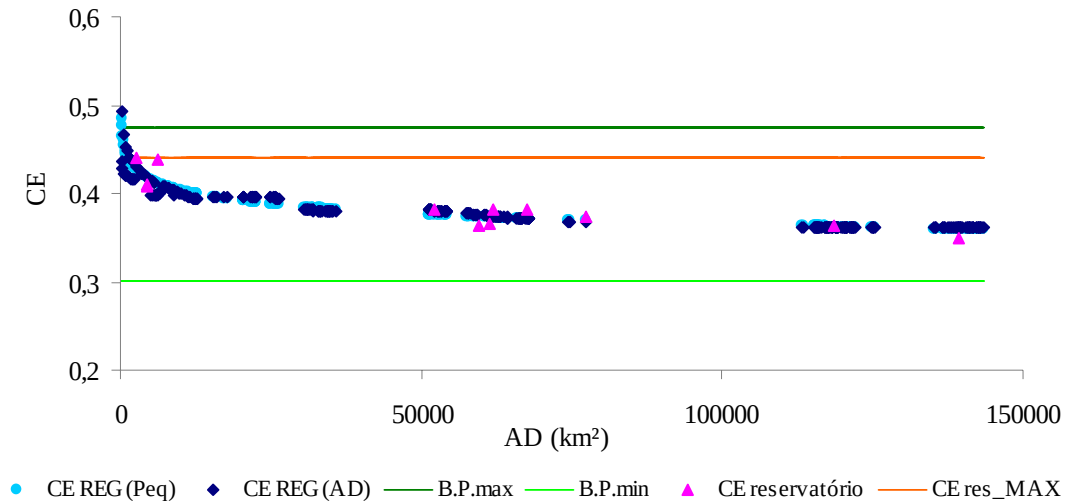
Estatística	Módulo do resíduo	
	P_{eq}	AD
Média	2,13%	2,17%
Máximo	3,03%	3,48%
Mínimo	0,60%	0,24%

Nota-se que o ajuste das duas variáveis produziu estatísticas iguais, com coeficientes de escoamento médios de 0,38 e uma amplitude de 0,13. A amplitude alcançada com os coeficientes calculados nas seções dos reservatórios foi um pouco menor, variando de 0,35 a 0,44 e o coeficiente médio foi de 0,39. Os resultados mostram que o valor máximo estimado foi maior que o obtido nas seções e que foi identificado um trecho *outlier* superior no ajuste da AD e de dois no ajuste da P_{eq} .

Tabela 40. Coeficientes de escoamento estimados para cada trecho da hidrografia do Rio Grande e Rio Pardo com o ajuste da área de drenagem e da vazão equivalente

Variável	Estatísticas do coeficiente de escoamento			Número de trechos	
	Média	Máximo	Mínimo	Totais	<i>Outliers</i>
AD	0,38	0,49	0,36	312	1
P_{eq}	0,38	0,49	0,36	312	2

A Figura 33 apresenta o comportamento do coeficiente de escoamento estimado ao longo da hidrografia analisada (CE REG) para as duas variáveis explicativas, comparado aos valores calculados nas seções dos reservatórios (CE reservatório), aos limites do *Box Plot* e ao máximo valor obtido nos reservatórios (CE res_MAX). A figura mostra que os trechos que apresentaram dados inconsistentes (*outliers*) estiveram localizados nas cabeceiras dos rios, assim como aqueles que apresentaram coeficientes de escoamento superiores ao máximo obtido nas seções dos reservatórios (0,44), com áreas variando de 150 e 1.944 km².



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*

B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 33. Curva do coeficiente de escoamento estimado para o Rio Grande e Rio Pardo, comparada aos valores calculados para as seções dos reservatórios, aos limites estabelecidos pelo *Box Plot* e ao máximo valor obtido nas seções dos reservatórios.

O coeficiente de escoamento estimado teve tendência decrescente da nascente à foz dos rios e mostrou um bom pareamento com os dados obtidos nas seções dos reservatórios, sendo que a utilização do *Box Plot* não promoveu o achatamento dos dados estimados em relação aos das seções, como foi verificado na regionalização das vazões feita com as 68 estações fluviométricas.

Foi necessário aplicar o procedimento para reduzir o efeito do uso da extrapolação de equações em quatro trechos dos rios analisados, se utilizada a AD, e em dez trechos se utilizada a P_{eq} , segundo a equação

$$Q_{mld_ajust} = 0,441 P_{eq}, \text{ para } CE_{(estimado)} > 0,441 \quad (15)$$

Com os devidos ajustes, as equações propostas se enquadraram dentro do comportamento hidrológico esperado para os rios em análise, sendo que a utilização da área de drenagem como variável explicativa da regionalização apresentou certa vantagem, pois obteve coeficientes de escoamento estimados mais condizentes com a realidade e com a segurança de projetos, além de ser uma variável de mais fácil obtenção que a vazão equivalente.

4.1.2.2.3. Regionalização das vazões mínimas naturais ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90})

A regionalização das vazões mínimas naturais utilizou os dados dos mesmos 11 reservatórios adotados na regionalização da Q_{mld} natural. A Tabela 41 apresenta as equações ajustadas para as vazões mínimas, mostrando que o modelo potencial foi o que melhor se ajustou aos dados e que as duas variáveis explicativas apresentaram o mesmo coeficiente de determinação, com equações que explicaram 99,87% das variações na $Q_{7,10}$, 99,91% das variações da Q_{95} e 99,92% das variações na Q_{90} .

Tabela 41. Equações de regionalização ajustadas para as vazões mínimas naturais para o Rio Grande e o Rio Pardo

Vazão	Variável	Vazão estimada (m^3/s)	R^2
$Q_{7,10}$	AD	$Q_{7,10} = 0,0041 AD^{1,0042}$	0,9987
	P_{eq}	$Q_{7,10} = 0,0867 P_{eq}^{1,0068}$	0,9987
Q_{95}	AD	$Q_{95} = 0,0076 AD^{0,9765}$	0,9991
	P_{eq}	$Q_{95} = 0,1473 P_{eq}^{0,9790}$	0,9991
Q_{90}	AD	$Q_{90} = 0,0094 AD^{0,9725}$	0,9992
	P_{eq}	$Q_{90} = 0,1784 P_{eq}^{0,9750}$	0,9992

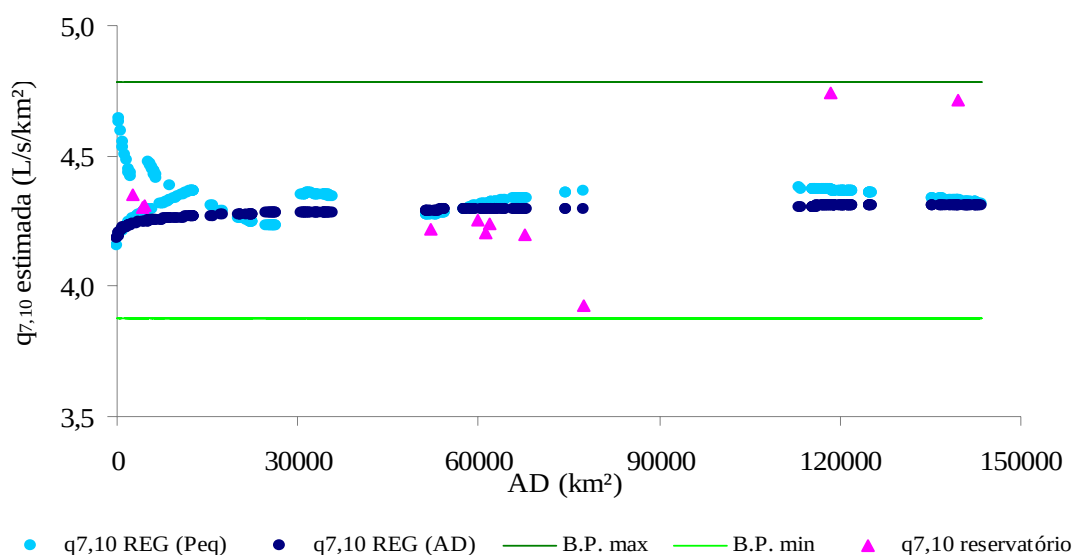
AD = área de drenagem (km^2); P_{eq} = vazão equivalente (m^3/s)

A estatística dos resíduos, em módulo, mostrou que os valores médios variaram de 3,01% a 3,73% e os máximos de 7,02% a 11,18%, sendo que os menores resíduos corresponderam à vazão mínima Q_{90} e à equação que utilizou a variável vazão equivalente, apesar da diferença entre as estatísticas das duas variáveis não ter sido expressiva. Dessa forma, pode-se dizer que os resultados estatísticos foram bem satisfatórios (Tabela 42). Os resíduos relativos de cada seção de reservatório para as vazões mínimas e as duas variáveis explicativas foram apresentados no Apêndice D.

Tabela 42. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios no estudo de regionalização das vazões mínimas

Estatística	Módulo do resíduo					
	Q _{7,10}		Q ₉₅		Q ₉₀	
	P _{eq}	AD	P _{eq}	AD	P _{eq}	AD
Média	3,68%	3,73%	3,10%	3,09%	3,01%	3,32%
Máximo	11,18%	9,55%	7,35%	8,24%	7,02%	7,22%
Mínimo	0,41%	0,87%	0,21%	0,20%	0,36%	0,64%

A Figura 34 mostra o comportamento da $q_{7,10}$ estimada ($q_{7,10}$ REG) ao longo da hidrografia para as duas variáveis explicativas, comparado aos valores calculados nas seções dos reservatórios ($q_{7,10}$ reservatório) e aos limites do *Box Plot*. Verifica-se um comportamento inesperado da $q_{7,10}$ dos reservatórios, em que os maiores valores foram observados nas maiores áreas de drenagem, não seguindo a tendência de decréscimo da vazão específica em direção à foz dos rios.



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*

B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 34. Curva da $q_{7,10}$ estimada para o Rio Grande e Rio Pardo, comparada aos valores calculados para as seções dos reservatórios e aos limites estabelecidos pelo *Box Plot*.

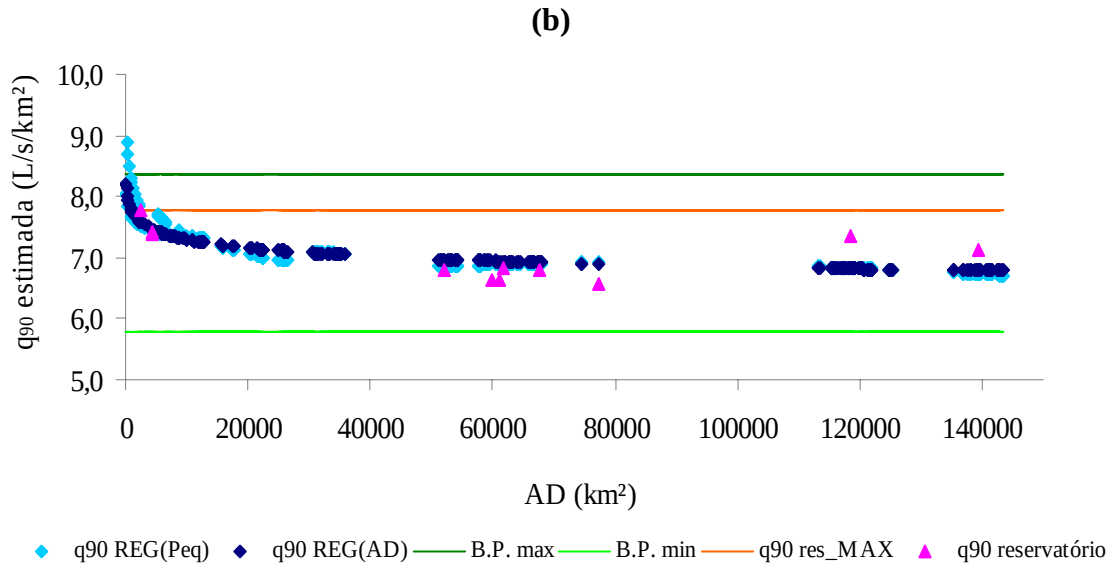
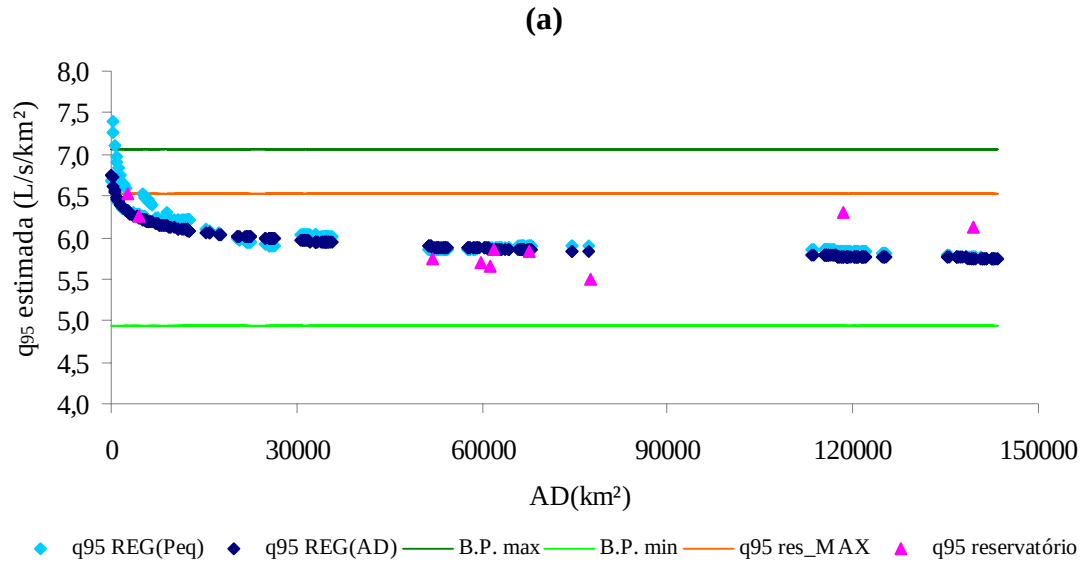
Não foi identificado nenhum trecho com vazão específica superior ao máximo valor encontrado nos reservatórios ($4,74 \text{ L/s/km}^2$) e também nenhum trecho com valor *outlier*, mostrando que as equações propostas para a $Q_{7,10}$ podem ser aplicadas ao Rio Grande e ao Rio Pardo sem necessidade de ajustes.

A estatística da $q_{7,10}$ estimada mostra que houve um leve achatamento dos valores estimados em relação aos dados obtidos nos reservatórios, principalmente quando a equação foi ajustada à AD, em que a amplitude alcançada foi de apenas $0,12 \text{ L/s/km}^2$.

O comportamento da $q_{7,10}$ estimada a partir da área de drenagem apresentou uma discreta tendência de crescimento em direção à foz da hidrografia e o comportamento atípico da $q_{7,10}$ estimada a partir da vazão equivalente é explicado pela variação da precipitação média anual ao longo dos rios analisados (Figura 22).

Na análise do comportamento físico da Q_{95} e da Q_{90} estimadas, nota-se que a curva das vazões específicas q_{95} e q_{90} foi bastante similar, mostrando um comportamento decrescente da nascente à foz dos rios. Além disso, as equações propostas apresentaram uma tendência a superestimar as vazões nas áreas próximas à cabeceira e a subestimar as vazões nas áreas próximas à foz, sendo esta mais ressaltada quando a variável explicativa utilizada foi a vazão equivalente. Não foi constatado o achatamento dos valores estimados frente aos obtidos nos reservatórios (Figura 35).

Alguns trechos apresentaram vazões específicas superiores ao máximo obtido nas seções dos reservatórios nas áreas de cabeceiras. Quando a equação utilizou a vazão equivalente como variável explicativa, foram identificados dez trechos com q_{95} estimada maior que $6,53 \text{ L/s/km}^2$ e treze trechos com q_{90} estimada maior que $7,78 \text{ L/s/km}^2$; quando se utilizou a área de drenagem, foram identificados quatro trechos para a q_{95} e sete para a q_{90} . Dessa forma, foi necessário realizar o ajuste da equação da Q_{95} e da Q_{90} para os trechos com valores críticos, segundo as equações



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*

B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 35. Curvas da q_{95} (a) e da q_{90} (b) estimadas para o Rio Grande e Rio Pardo, comparadas aos valores calculados para as seções dos reservatórios, aos limites estabelecidos pelo *Box Plot* e ao máximo valor obtido nas seções dos reservatórios.

$$Q_{95_ajust} = \frac{6,53AD}{1000}, \text{ para } q_{95}(\text{estimada}) > 6,53 \text{ L/s/km}^2 \quad (16)$$

ou

$$Q_{90_ajust} = \frac{7,78AD}{1000}, \text{ para } q_{90}(\text{estimada}) > 7,78 \text{ L/s/km}^2 \quad (17)$$

Foram identificados também três trechos com valores considerados *outliers* superiores nas curvas da q_{95} e da q_{90} , porém somente quando a equação foi ajustada à variável vazão equivalente. Esses valores foram corrigidos com a adoção do procedimento para minimizar o efeito do uso da extrapolação das equações de regionalização (equações 16 e 17).

O comportamento da q_{95} e da q_{90} , estimadas a partir da vazão equivalente, também seguiu o comportamento da precipitação média anual, no entanto não foi possível visualizá-lo na Figura 35, devido ao efeito da escala utilizada. A tabela com o resumo da estatística das vazões específicas mínimas estimadas para cada trecho da hidrografia do Rio Grande e do Rio Pardo foi apresentada no Apêndice D.

De maneira geral, as equações de regionalização propostas para as vazões mínimas apresentaram excelente desempenho estatístico, porém, as equações das vazões mínimas obtidas da curva de permanência produziram dados inconsistentes e vazões específicas que superaram o limite físico máximo, sendo necessário passar pelo procedimento de ajuste das vazões.

As vazões específicas q_{95} e q_{90} apresentaram um comportamento padrão, com tendência de crescimento em direção à cabeceira dos rios e já a $q_{7,10}$ teve um comportamento inverso. A vazão equivalente foi a variável que mais produziu valores restritivos e que apresentou maior tendência a superestimar a vazão mínima. Portanto, a utilização da variável explicativa área de drenagem foi mais satisfatória no estudo de regionalização das vazões mínimas naturais.

4.1.2.2.4. Regionalização da vazão máxima natural

Para a regionalização da vazão máxima natural utilizaram-se os dados dos 12 reservatórios, gerando as equações de regionalização apresentadas na Tabela 43. O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o potencial e o coeficiente de determinação mostrou que um excelente desempenho da área de drenagem e da vazão equivalente, as quais explicaram 99,60% das variações na $Q_{\max}$.

Tabela 43. Equações de regionalização ajustadas para a vazão máxima natural para o Rio Grande e o Rio Pardo

Variável	Vazão estimada (m ³ /s)	R ²
AD	$Q_{\max} = 1,2762 \text{ AD}^{0,7898}$	0,9960
P _{eq}	$Q_{\max} = 13,802 \text{ P}_{\text{eq}}^{0,7935}$	0,9960

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

Analisando a estatística dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios, nota-se que as equações propostas apresentaram um erro médio de, aproximadamente, 6,0%, alcançando erros de até 16,5%, em que o desempenho das duas variáveis independentes foi praticamente igual (Tabela 44). A vazão máxima produziu os maiores erros comparada às demais vazões. Os resíduos relativos de cada seção de reservatório para as duas variáveis explicativas foram apresentados no Apêndice D.

Tabela 44. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios no estudo de regionalização da Q_{max}

Estatística	Módulo do resíduo	
	P _{eq}	AD
Média	6,06%	5,72%
Máximo	16,41%	16,53%
Mínimo	0,64%	0,91%

Observa-se na Figura 36 que as curvas da q_{max} estimada possuem tendência decrescente, em que os maiores valores de q_{max} corresponderam aos trechos de cabeceira e os menores aos trechos próximos à foz. As vazões específicas estimadas apresentaram um bom enquadramento aos dados calculados para as seções dos reservatórios e as equações propostas apresentaram resultados favoráveis à segurança de quaisquer projetos de obras hidráulicas, pois nenhuma vazão específica estimada ficou abaixo do menor valor obtido nos reservatórios (90,81 L/s/km²).

A máxima vazão específica obtida nas seções dos reservatórios foi de 246,88 L/s/km², a qual correspondeu à menor área observada (2.588 km²). Para aqueles trechos com áreas ainda menores, as vazões estimadas variaram de 255,74 a 452,14 L/s/km², mostrando certa coerência nos resultados. A média da $q_{\max}$ estimada pela AD foi de 144,75 L/s/km² e a estimada pela P_{eq} foi de 145,34 L/s/km², as quais foram muito parecidas à calculada para as seções dos reservatórios (154,41 L/s/km²).

As curvas geradas pelas duas variáveis explicativas ficaram praticamente sobrepostas, mostrando que elas promoveram estimativas semelhantes. A análise dos resíduos e da vazão específica máxima não detectou diferença no desempenho das duas variáveis, sendo que o uso de qualquer uma delas promoveu bons resultados.

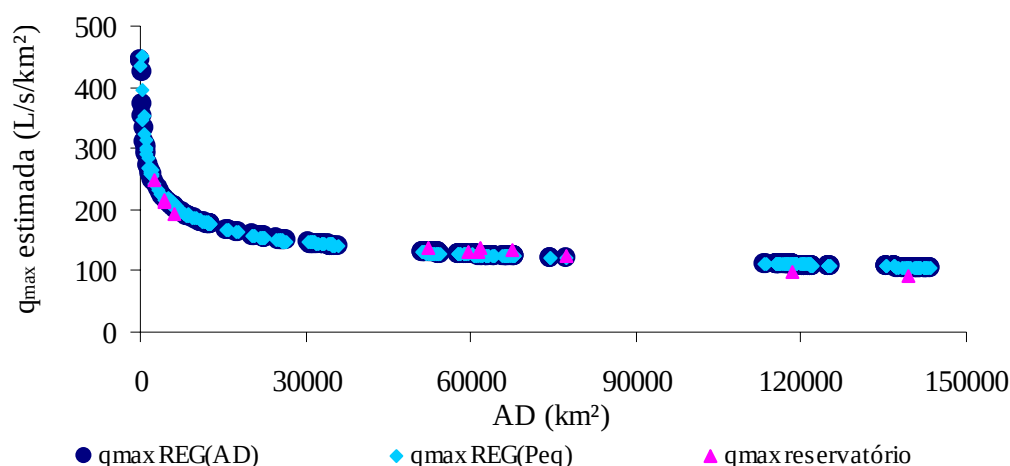


Figura 36. Curva da $q_{\max}$ estimada para o Rio Grande e Rio Pardo, comparada aos valores calculados para as seções dos reservatórios.

4.2. Proposta para a análise da propagação do efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazões

4.2.1. Regionalização com base no índice do potencial de regularização (IPR)

4.2.1.1. Estações fluviométricas excluídas

A Tabela 45 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.

Tabela 45. 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		
	61145000	Camargos	670,0	670,0	49,9%
Estações consideradas	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		
	61530000	Xicão	6,4	6,4	30,1%
	61537000	Xicão	6,4	6,4	26,2%
	61565000	Poço Fundo	3,7	3,7	21,3%
	61886000	Mogi-Guaçu	23,5	23,5	20,9%
	61568000	Poço Fundo	3,7	3,7	19,2%
	61807002	Bortolan (José Togni)	10,5	10,5	19,2%
	61902000	Mogi-Guaçu	23,5	23,5	13,9%
	61826000	São Sebastião	1,1	1,1	11,7%
	61787500	Pinheirinho	1,9	1,9	11,0%
	61912000	Mogi-Guaçu	23,5	23,5	10,5%
	61425000	Luis Dias	0,0	-	0,0%
	61410000	Luis Dias	0,0	-	0,0%
	61250000	Fojo	0,0	-	0,0%
	61305000	Luis Dias	0,0	-	0,0%
	61879000	Socorro	0,0	-	0,0%
	61285000	Luis Dias	0,0	-	0,0%
	61202000	Anil	0,0	-	0,0%

Os maiores índices do potencial de regularização estiveram associados às estações localizadas nos Rios Grande e 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.

Analisando os valores de IPR(%) obtidos, quatro estações apresentaram índices maiores ou iguais a 50% e foram excluídas da regionalização. Dessa forma, a $REG_{IPR(\%)}$ utilizou todas as estações fluviométricas quando da realização da REG_{TOTAL} com exceção das estações 61817004, 61820000, 61830000 e 61145000.

4.2.1.2. Equações obtidas e análise do efeito da alteração na base de dados

Para a regionalização das vazões média e mínimas foi utilizada a variável independente vazão equivalente e para a regionalização da vazão máxima a área de drenagem. As equações de regressão obtidas para a Q_{mld} , Q_{95} e Q_{max} estão apresentadas na Tabela 46, sendo que o modelo potencial foi o que apresentou os melhores ajustes estatísticos. O número de estações utilizadas na $REG_{IPR(\%)}$ foi de 70 para o estudo da vazão máxima e 64 para as vazões média e mínimas.

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 da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada região homogênea (Tabela 47).

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, as quais não ultrapassaram os 7%. Foi verificado no item subsequente o efeito dessas variações sobre a estimativa da vazão média de longa duração.

Tabela 46. Equações de regionalização obtidas para a Q_{mld} , Q_{95} e Q_{max} para análise do efeito dos reservatórios utilizando o índice do potencial de regularização

Região	$Y = a.x^b$	$Q_{mld} = f(P_{eq})$	$Q_{95} = f(P_{eq})$	$Q_{max} = f(AD)$
R1	a	0,4732	0,1750	0,6160
	b	0,9844	0,9813	0,8608
	Nº estações	44	34	32
	R^2	0,9881	0,9794	0,7617
R2	a	0,4604	0,0923	0,9384
	b	0,9632	1,0286	0,8344
	Nº estações	20	21	14
	R^2	0,9923	0,9933	0,8230
R3	a	-	0,1088	1,2406
	b	-	1,0696	0,7378
	Nº estações	-	9	13
	R^2	-	0,9486	0,9012
R4	a	-	-	1,4543
	b	-	-	0,76
	Nº estações	-	-	11
	R^2	-	-	0,8710

Tabela 47. 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%

4.2.1.3. Análise do efeito de reservatório na regionalização de vazões

4.2.1.3.1. Vazão média de longa duração

A Figura 37 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 1,24%.

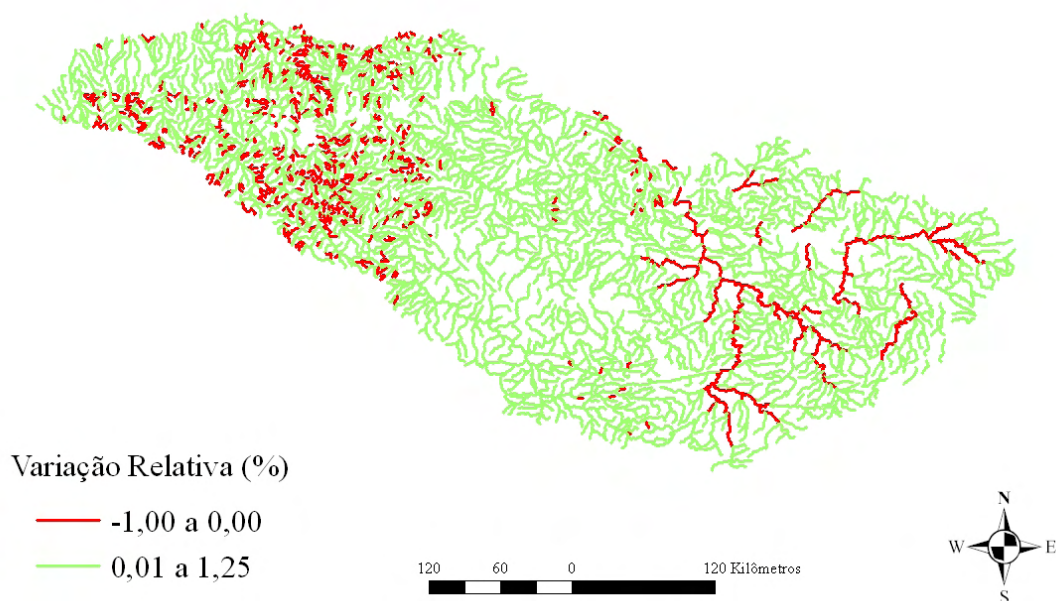


Figura 37. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão média.

A retirada das quatro estações com IPR superior a 50% produziu efeitos inferiores a 1,5% 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.

4.2.1.3.2. Vazão mínima

A Figura 38 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 39 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.

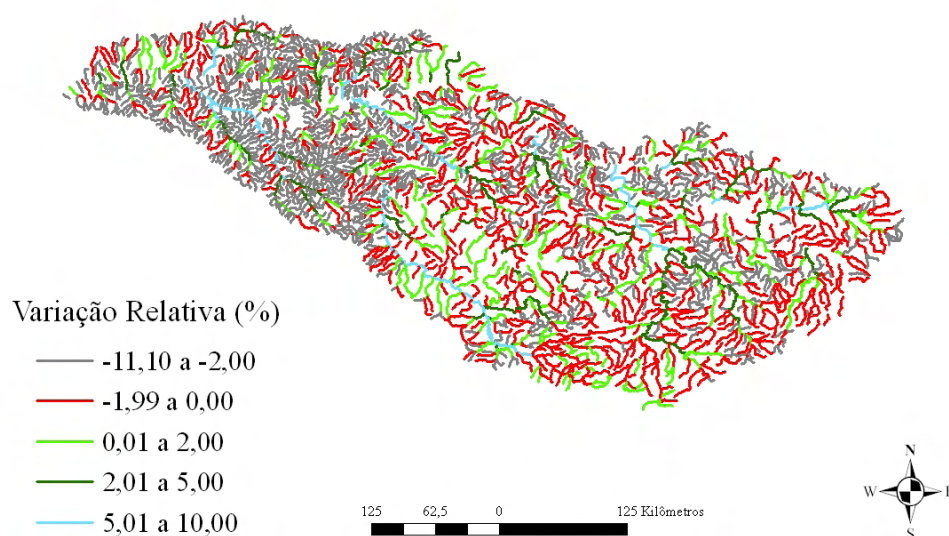


Figura 38. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão mínima.

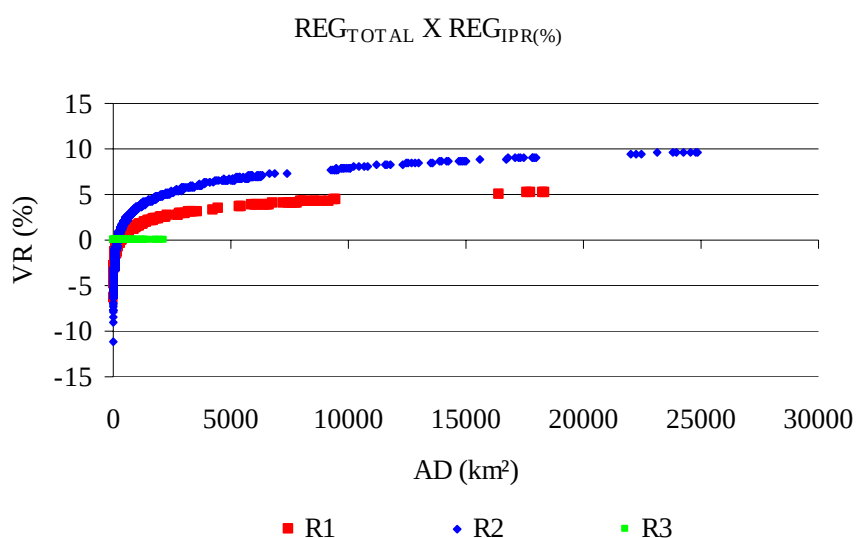


Figura 39. Curva da variação relativa entre REG_{TOTAL} e $REG_{IPR(\%)}$ ao longo da área de drenagem para as três regiões homogêneas da vazão Q_{95} .

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 40. A amplitude da variação relativa neste rio foi de 6,2% a 9,1%, sendo que o limite inferior correspondeu a 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.

O histograma apresentado na Figura 41 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%.

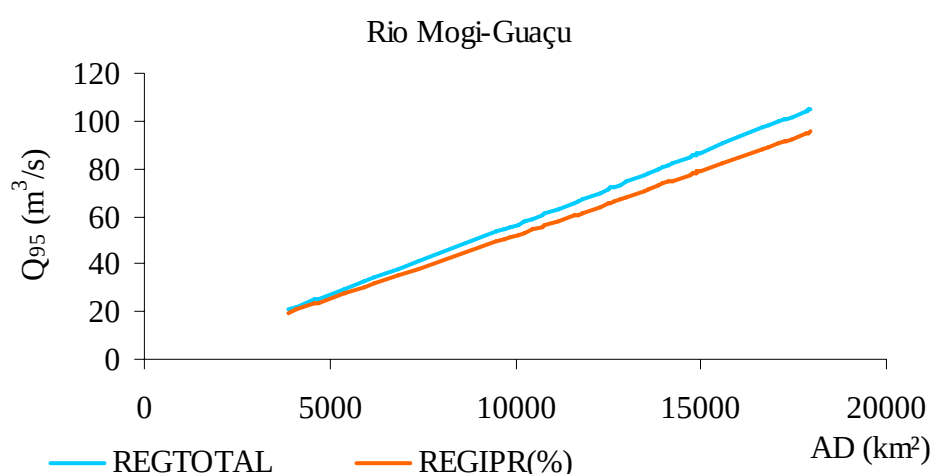


Figura 40. Comportamento da vazão Q_{95} estimada pela REG_{TOTAL} e pela REG_{IPR(%)} no Rio Mogi-Guaçu.

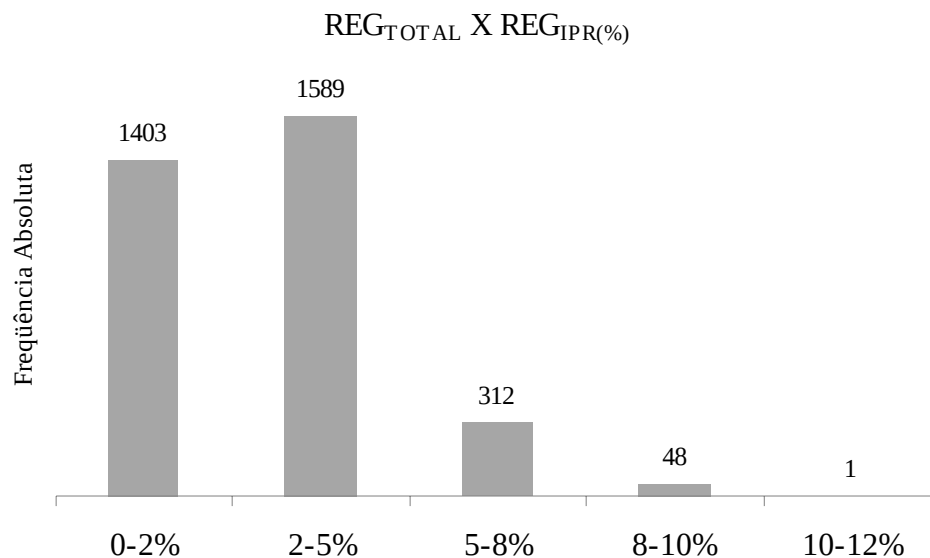


Figura 41. Histograma com as freqüências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão mínima.

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 das vazões 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.

4.2.1.3.3. Vazão máxima

A Figura 42 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).

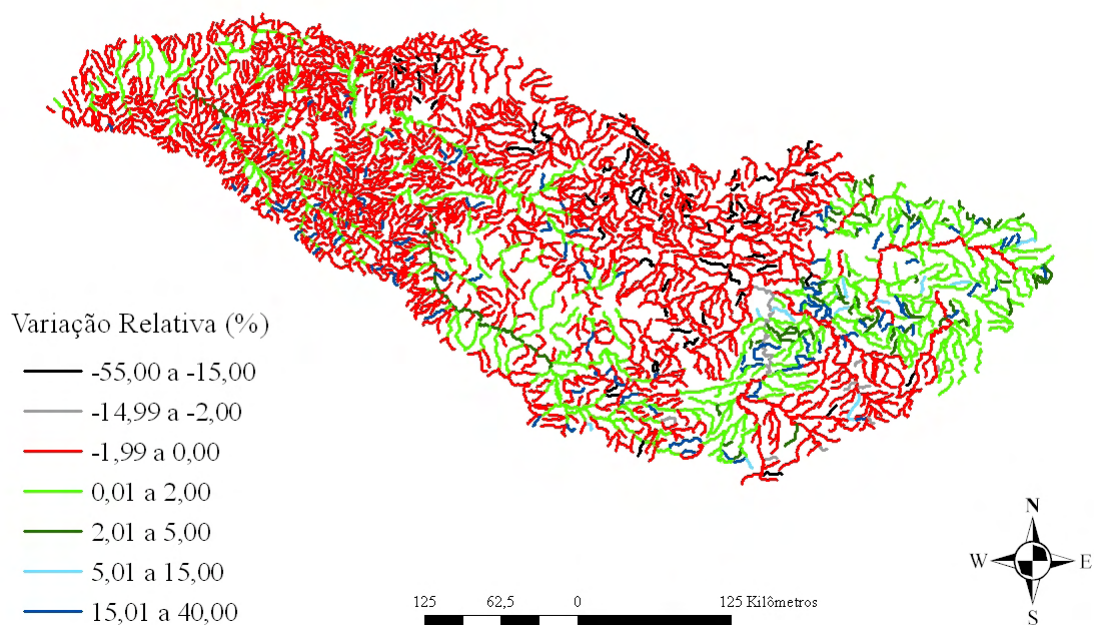


Figura 42. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{IPR}(%) para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão máxima.

A Figura 43 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 44 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 as estimativas das vazões, sendo que, de maneira geral, as variações verificadas para a vazão máxima foram ainda menos expressivas que as da vazão mínima, como se observa na Figura 45, em que as estimativas das vazões pelas duas regionalizações foram bem parecidas no Rio Mogi-Guaçu.

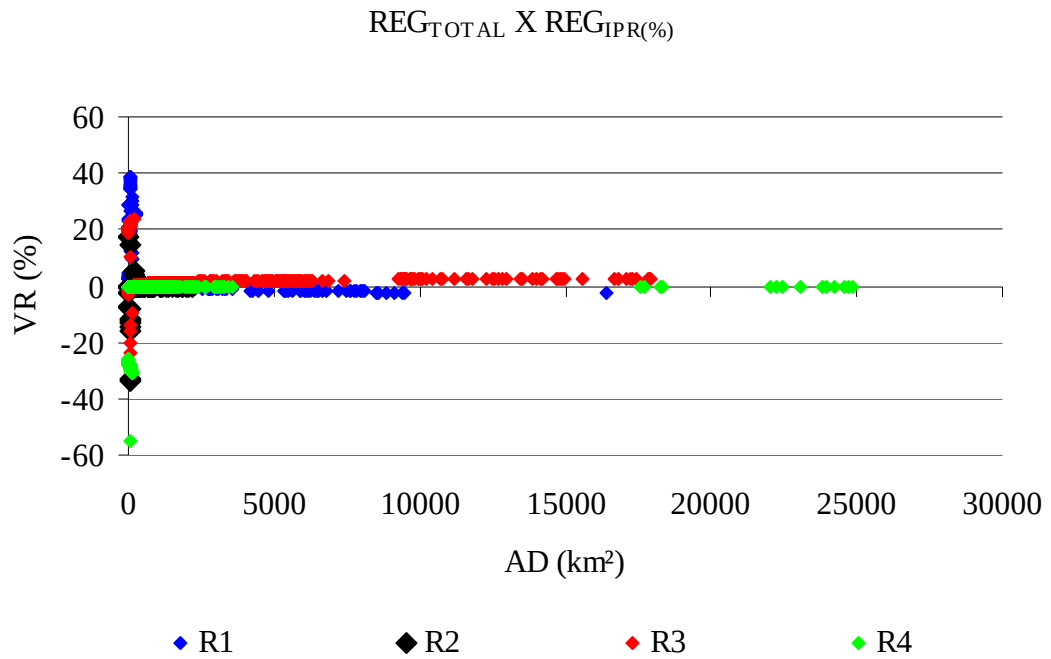


Figura 43. Curva da variação relativa entre REG_{TOTAL} e $REG_{IPR(\%)}$ ao longo da área de drenagem para as quatro regiões homogêneas da vazão máxima.

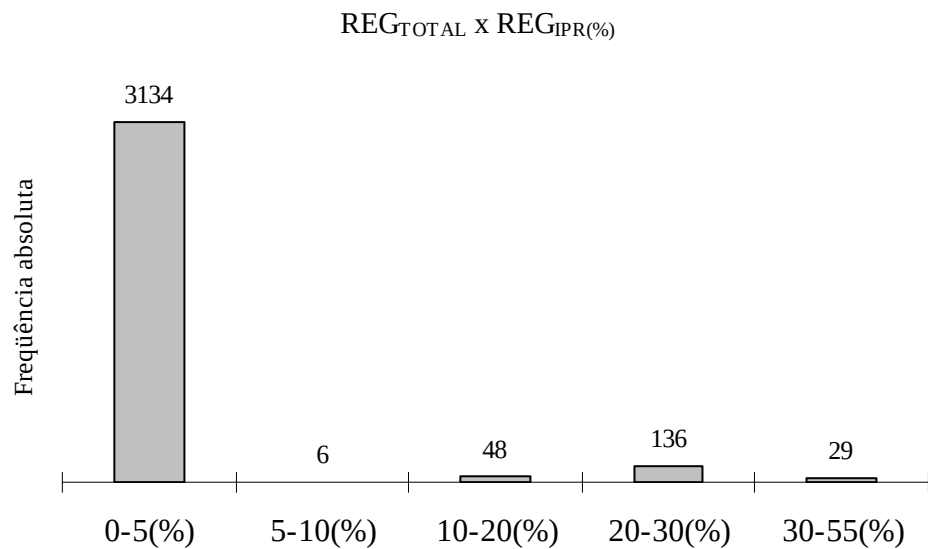


Figura 44. Histograma com as frequências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão máxima.

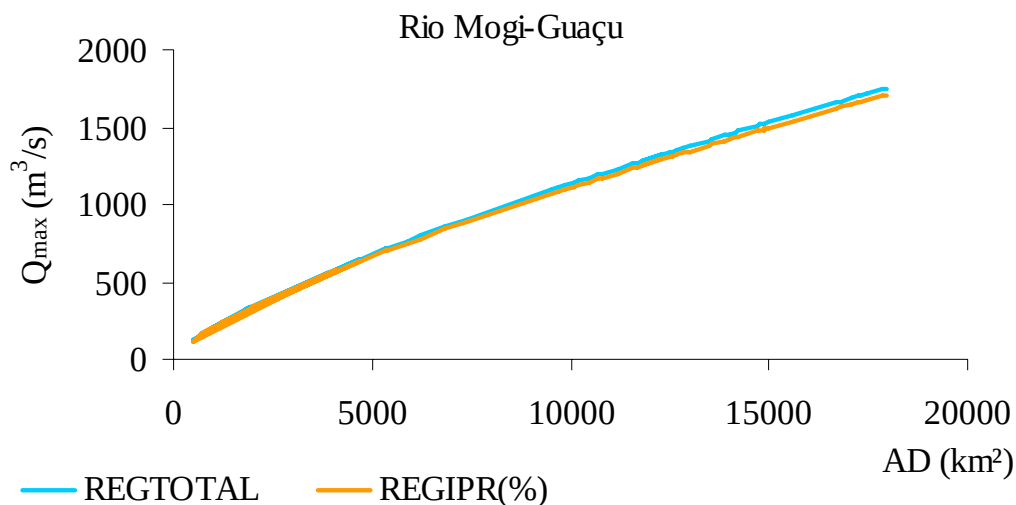


Figura 45. Comportamento da vazão máxima estimada pela REG_{TOTAL} e pela $REG_{IPR(\%)}$ no Rio Mogi-Guaçu.

Apesar da 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, entretanto, sem apresentar uma importância expressiva devido à baixa representatividade dos trechos afetados.

4.2.2. Regionalização com base no índice de contribuição (IC)

4.2.2.1. Estações fluviométricas excluídas

A Tabela 48 apresenta as vazões observadas nas estações, as vazões estimadas nos reservatórios e o IC(%) para cada estação. Os índices variaram entre 0,8% e 109%, mostrando uma grande diferenciação na influência dos reservatórios nas vazões das estações fluviométricas.

Tabela 48. Dados referentes à vazão média calculada para as estações e a estimada nas seções dos reservatórios com o respectivo índice de contribuição (IC) das vazões das estações fluviométricas

	Estação	Reservatório	Q _{mld} (m ³ /s)		IC
			Estação	Reservatório	
Estações excluídas	61902000	Emas Novas	153,16	167,36	109,3%
	61202000	Anil	28,96	28,68	99,0%
	61820000	Limoeiro	86,02	80,55	93,6%
	61565000	Poço Fundo	8,86	7,13	80,5%
	61285000	Luis Dias	13,43	10,47	78,00%
	61826000	São Sebastião	10,27	7,99	77,9%
	61807002	Antas II	11,91	9,23	77,5%
	61912000	Emas Novas	225,43	167,36	74,2%
	61886000	Mogi-Guaçu	83,82	61,31	73,2%
	61787500	São Joaquim	141,71	87,14	61,5%
	61817004	Caconde	80,03	47,49	59,3%
	61830000	Limoeiro	141,31	80,55	57,0%
	61568000	Poço Fundo	15,08	7,13	47,3%
	61145000	Camargos	296,16	132,75	44,8%
	61879000	Socorro	24,24	9,59	39,6%
Estações consideradas	61305000	Luis Dias	58,86	10,47	17,8%
	61925000	Limoeiro	510,00	80,55	15,8%
	61530000	Xicão	7,27	0,98	13,4%
	61250000	Fojo	3,61	0,31	8,5%
	61410000	Luis Dias	163,46	10,47	6,4%
	61425000	Luis Dias	173,67	10,47	6,0%
	61537000	Xicão	125,64	0,98	0,8%

Os maiores índices estiveram relacionados à maior representatividade da vazão do reservatório em relação à vazão da estação. Índices de contribuição superiores a 100% foram atribuídos aos erros advindos da equação de regionalização utilizada para estimar a vazão na seção do reservatório.

Portanto, para a realização da REG_{IC(%)} foram excluídas quinze estações fluviométricas, as quais apresentaram IC superior a 20%, sendo que esta regionalização contou com todas as estações quando da regionalização da REG_{TOTAL} com exceção das 15 estações separadas na Tabela 48.

Naqueles casos em que a estação esteve imediatamente a jusante do reservatório, o índice de contribuição apresentou um valor bastante alto, porém sem necessariamente significar que o reservatório tenha potencial para alterar o regime hídrico a jusante, pois a pequena distância entre as seções do reservatório e da estação faz com que as vazões sejam bastante parecidas. Dessa forma, o índice de

contribuição pode apresentar certa fragilidade na análise do efeito de reservatórios na regionalização de vazões.

4.2.2.2. Equações obtidas e análise do efeito da alteração na base de dados

As equações de regressão obtidas para a Q_{mld} , Q_{95} e Q_{max} estão apresentadas na Tabela 49, sendo que número de estações utilizadas na $REG_{IPR(\%)}$ foi de 59 estações para o estudo da vazão máxima e 53 para as vazões média e mínimas.

Tabela 49. Equações de regionalização obtidas para a Q_{mld} , Q_{95} e Q_{max} para análise do efeito dos reservatórios utilizando o índice de contribuição

Região	$Y = a.x^b$	$Q_{mld} = f(P_{eq})$	$Q_{95} = f(P_{eq})$	$Q_{max} = f(AD)$
R1	a	0,4623	0,1743	0,6193
	b	0,9890	0,9842	0,8593
	Nº estações	40	32	31
	R^2	0,9889	0,9819	0,7610
R2	a	0,4497	0,0951	0,8027
	b	0,9658	1,0277	0,8711
	Nº estações	13	13	13
	R^2	0,9947	0,9896	0,8747
R3	a	-	0,1104	1,2830
	b	-	1,0633	0,7261
	Nº estações	-	8	7
	R^2	-	0,9401	0,8579
R4	a	-	-	1,0814
	b	-	-	0,795
	Nº estações	-	-	8
	R^2	-	-	0,9004

Observa-se que os desvios relativos nas médias e nos desvios-padrão oscilaram entre 11% e 27%, sendo que a região 2 apresentou as maiores valores. Comparando os resultados verificados com o $IPR(\%)$, nota-se que, de maneira geral, os desvios relativos do $IC(\%)$ foram discretamente superiores, podendo esperar que o efeito da alteração na base de dados seja um pouco mais representativa nesta regionalização (Tabela 50).

Tabela 50. Desvios relativos da média e do desvio-padrão entre as regionalizações REG_{TOTAL} e REG_{IC(%)} para análise do efeito da alteração na base de dados

Região	Estatística	Desvio relativo (%)
R1	Média	10,84%
	Desvio-padrão	23,90%
R2	Média	26,71%
	Desvio-padrão	-21,56%

4.2.2.3. Análise do efeito de reservatório na regionalização de vazões

4.2.2.3.1. Vazão média de longa duração

A Figura 46 mostra a distribuição espacial das variações relativas ao longo da hidrografia da bacia do Rio Grande para a vazão média de longa duração, em que as diferenças encontradas variaram de -1,9% a 4,4%. Nota-se que as maiores variações ficaram mais concentradas nos trechos da região 2 (mais próximo à foz da bacia), justamente onde foi notificada uma maior alteração na base de dados.

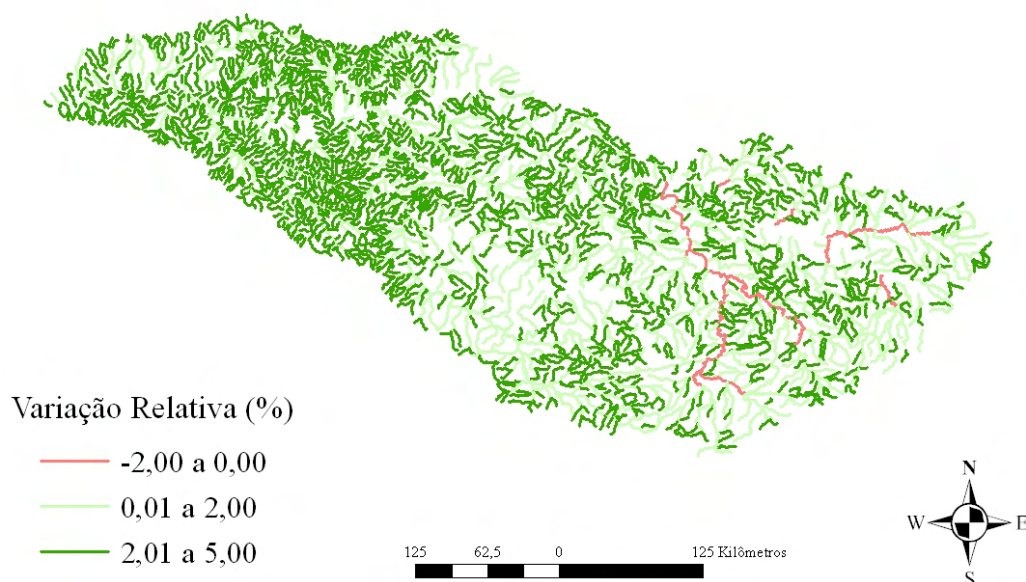


Figura 46. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{IC(%)} para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão média.

As variações nas estimativas das vazões encontradas nesta análise foram ligeiramente superiores às encontradas na análise da Q_{mld} adotando o procedimento

do IPR(%), sendo explicadas pela sutil alteração na base de dados, principalmente na região 2.

Portanto, as alterações na base de dados produziram variações de até 5% nas estimativas das vazões médias, sendo que variações desta ordem encontradas na análise das vazões mínima e máximas podem ser associadas ao efeito da alteração na base de dados.

4.2.2.3.2. Vazão mínima

A Figura 47 apresenta a distribuição espacial das variações relativas entre as estimativas das vazões mínimas, em que foram observadas variações de -14,8% a 7,5%, sendo que as maiores variações corresponderam aos trechos da região homogênea 2.

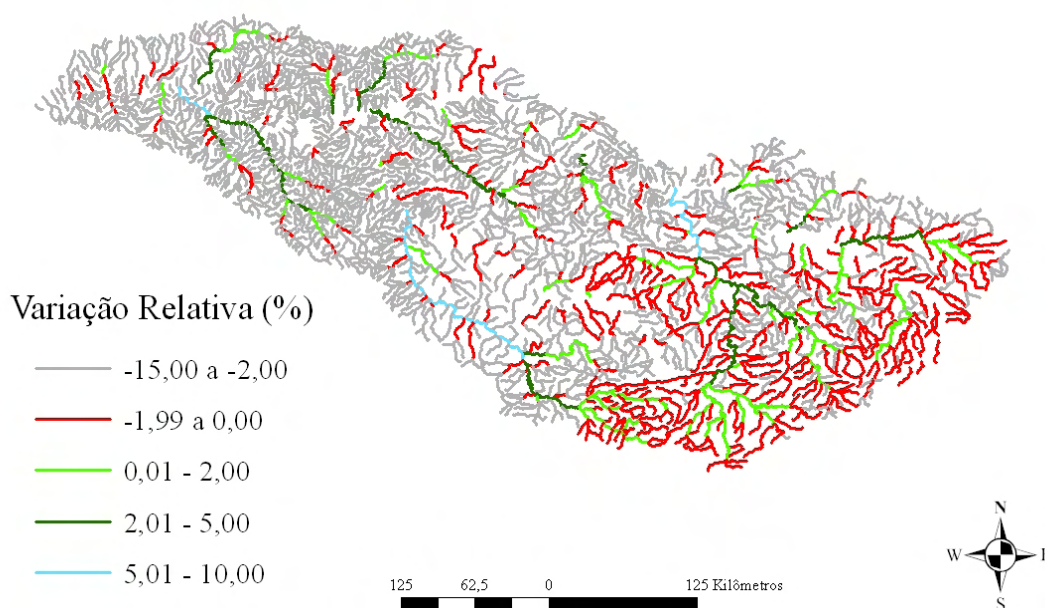


Figura 47. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{IC}(%) para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão mínima.

O histograma apresentado na Figura 48 mostra que dos 642 trechos presentes na região 1 e 3, apenas um apresentou variação acima dos 5%, e já na região 2

metade dos trechos apresentou variações superiores aos 5%. Portanto, as diferenças encontradas entre as estimativas das vazões mínimas para as regiões 1 e 3 foram pouco expressivas. Além do que, variações de até 5% podem ser atribuídas ao efeito da alteração na base de dados, de acordo com os resultados encontrados na análise da Q_{mld} . Sendo assim, pode-se constatar que não houve efeito expressivo dos reservatórios nas estimativas das vazões mínimas nas regiões homogêneas 1 e 3.

As variações evidenciadas na região 2 apresentaram valores de até 15%, porém individualizando o efeito da alteração da base de dados, pode-se dizer que, de maneira geral, o efeito dos reservatórios estariam comprometendo as estimativas das vazões mínimas em, aproximadamente, 10%, um valor de pouca repercussão para a condução de estudos de regionalização de vazão.

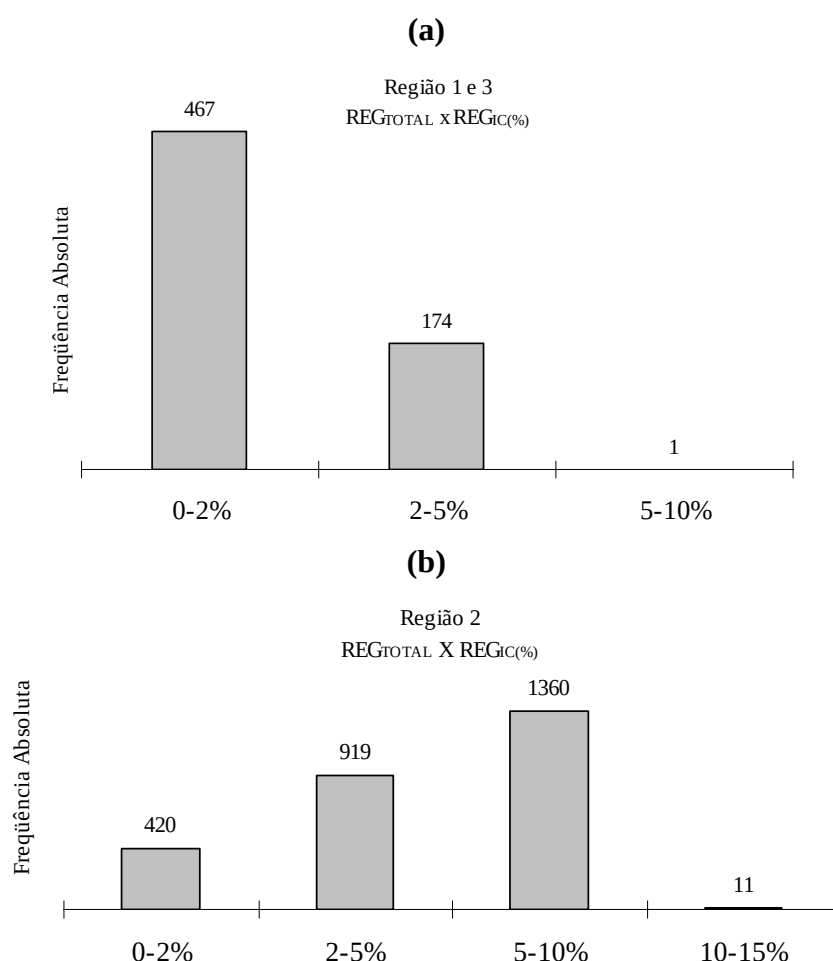


Figura 48. Histograma com as frequências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IC}(\%)$ das regiões 1 e 3 (a) e 2 (b) para cada trecho da hidrografia para o estudo da vazão mínima.

4.2.2.3.3. Vazão máxima

A Figura 49 apresenta a distribuição espacial das variações relativas entre as estimativas das vazões máximas, em que foram observadas variações de -13,5% a 22,7%, em que as maiores variações corresponderam aos trechos da região homogênea 4, representada pelas cores azuis do mapa. As regiões 1, 2 e 3 apresentaram variações, em módulo, inferiores a 5%, 14% e 10%, respectivamente.

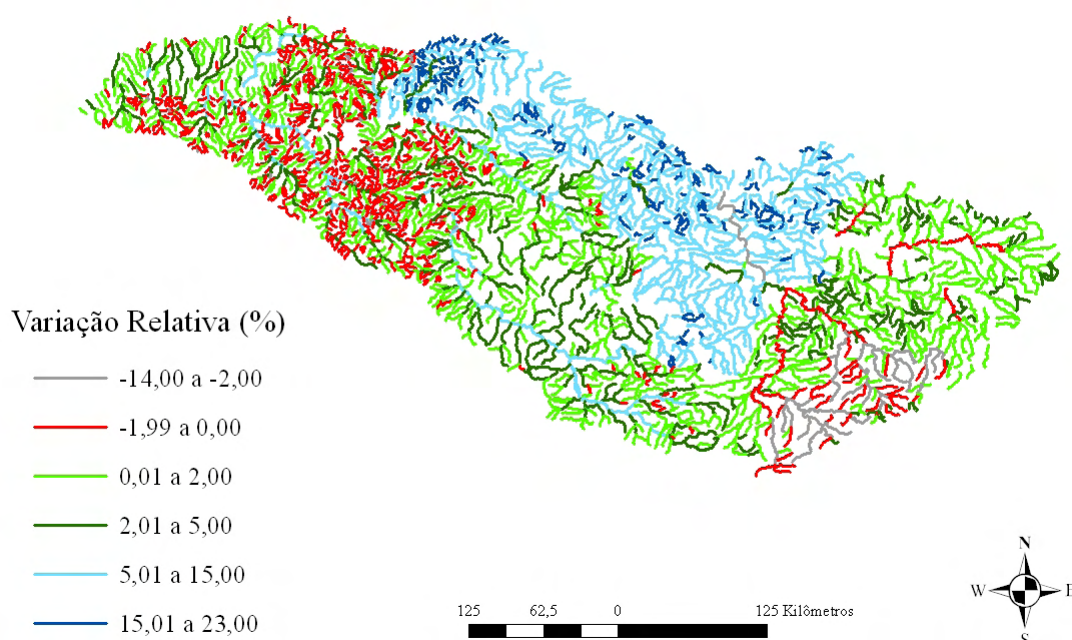


Figura 49. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IC}(\%)$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão máxima.

Individualizando o efeito da alteração na base de dados, pode-se considerar que a propagação do efeito dos reservatórios na região 1 foi inexpressiva, e nas demais regiões, a ação dos reservatórios produziu alterações de, aproximadamente, 5%, 10% e 20% nas estimativas das vazões máximas, nas regiões 3, 2 e 4, respectivamente.

Analizando a bacia como um todo, 70% dos trechos da bacia apresentaram variações relativas inferiores aos 5% e em apenas cinco trechos as variações foram superiores a 20%. Portanto, os trechos com as maiores variações tiveram pouca

representatividade, mostrando que o efeito dos reservatórios ficou aquém do esperado, e que a presença de reservatórios, mesmo os de maior índice de contribuição, não apresentaram um bom potencial para alterar expressivamente as estimativas das vazões máximas (Figura 50).

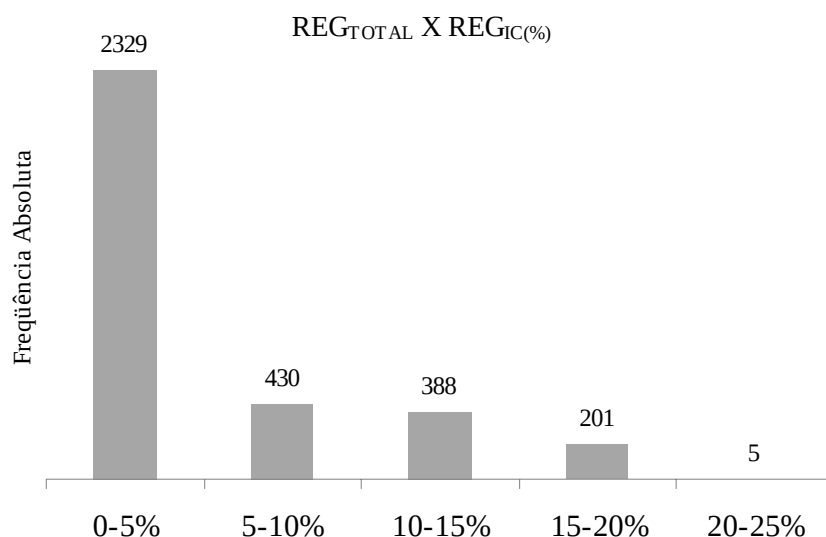


Figura 50. Histograma com as frequências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{IC}(%) para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão máxima.

4.2.3. Regionalização utilizando como critério a exclusão de todas as estações influenciadas por reservatórios

4.2.3.1. Estações fluviométricas excluídas

Esta regionalização excluiu todas as estações fluviométricas que apresentaram reservatórios em suas áreas de drenagem, sendo excluídas as 22 estações apresentadas na Tabela 48.

4.2.3.2. Equações obtidas e efeito da alteração na base de dados

As equações de regressão obtidas para a Q_{mld} , Q_{95} e Q_{max} estão apresentadas na Tabela 51, sendo que as regiões homogêneas 3 e 4 da REG_{TOTAL} compuseram uma mesma região homogênea na REG_{SER}. O número de estações utilizadas na REG_{SER} foi de 52 estações para o estudo da vazão máxima e 47 para as vazões média e mínimas.