

**COOPERAÇÃO EM TECNOLOGIAS PARA  
ANÁLISES HIDROLÓGICAS EM ESCALA  
NACIONAL**

**SUBPROJETO – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES VIA  
MODELAGEM HIDROLÓGICA**

**RELATÓRIO TÉCNICO: O EFEITO DO AJUSTE  
CLIMÁTICO EM SÉRIES CURTAS SOBRE A  
ESTIMATIVA DE VAZÕES DE REFERÊNCIA**

**IPH-ANA-HGE-SR-R5**

Porto Alegre - RS

Outubro 2021

# O efeito do ajuste climático em séries curtas sobre a estimativa de vazões de referência



**ESTE MATERIAL FAZ PARTE DE UM CONJUNTO DE RELATÓRIOS CRIADOS NO CONTEXTO DO PROJETO DE COOPERAÇÃO EM TECNOLOGIAS PARA ANÁLISES HIDROLÓGICAS EM ESCALA NACIONAL, ENTRE O INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS (IPH-UFRGS) E A AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA).**

**AUTORES: Mino Viana Sorribas, Walter Collischonn, Rodrigo Cauduro Dias de Paiva.**

**COMO CITAR: Sorribas, M. V., Collischonn, W., Paiva, R. C. D., 2021. Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional: Relatório técnico: O efeito do ajuste climático em séries curtas sobre a estimativa de vazões de referência: IPH-ANA-HGE-SR-R5. UFRGS: IPH, [Porto Alegre]. ANA, [Brasília].**

Porto Alegre - RS

Outubro 2021

## Sumário

1	Apresentação .....	4
2	Introdução .....	5
3	Métodos de séries curtas .....	6
4	Metodologia .....	7
4.1	Ajuste climático .....	7
4.2	Simulação do ajuste climático .....	8
4.3	Seleção de postos .....	8
4.4	Seleção dos postos doadores .....	9
4.5	Cálculo da vazão de referência de série longa .....	10
4.6	Cálculo da vazão de referência de série curta e ajuste climático .....	10
4.7	Métricas de erro .....	10
5	Resultados .....	12
5.1	Exemplo ilustrativo .....	12
5.2	Efeito do ajuste climático sobre a estimativa da vazão média e a relação com o tamanho da série curta .....	15
5.3	Efeito do ajuste climático sobre a estimativa da vazão Q95 e a relação com o tamanho da série curta .....	17
5.4	Efeito da localização geográfica das bacias .....	20
6	Conclusão .....	27
7	Referências .....	28

# 1 APRESENTAÇÃO

---

Este relatório refere-se ao produto “IPH-ANA-HGE-SR-R5”, do subprojeto “Regionalizações de vazões via modelagem hidrológica”, no contexto do projeto “Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional”, na forma de um Termo de Execução Descentralizada (TED) entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

O projeto está dividido em 4 subprojetos voltados para a (i) capacitação e transferência tecnológica do modelo hidrológico MGB para aplicações e desenvolvimento na ANA, (ii) desenvolvimento e avaliação de métodos para a regionalização de vazões naturais em escala nacional usando modelagem hidrológica (Modelo MGB América do Sul), e desenvolvimento de base de dados de estimativas de vazões e respectivas incertezas em nível nacional, (iii) avaliação de estimativas de áreas inundadas do modelo MGB e (iv) estimativas de fluxos e estoques hidrológicos em escala nacional com base no modelo MGB aplicadas às Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA) no Brasil. Os produtos esperados incluem novas bases de dados, relatórios, manuais técnicos, cursos de capacitação e publicações técnico científicas.

O objetivo proposto para o subprojeto “Regionalização de vazões via modelagem hidrológica” é o desenvolvimento e avaliação de métodos para a regionalização de vazões naturais em escala nacional usando o modelo hidrológico MGB, desenvolvido em escala continental para toda a América do Sul (MGB-AS), além do desenvolvimento de base de dados de estimativas de vazões e estimativa das incertezas em nível nacional em compatibilidade com a base de dados BHO da ANA.

Uma das etapas fundamentais da avaliação é a comparação com métodos clássicos de estimativa de vazões em locais sem dados. Estes métodos clássicos dependem da disponibilidade de séries de dados relativamente longas e simultâneas nos postos fluviométricos, o que nem sempre é possível obter, em muitas aplicações práticas.

Por outro lado, existem locais onde postos fluviométricos apresentam séries relativamente curtas de dados observados. Esta disponibilidade de séries curtas de dados pode ocorrer por diversas causas, como, por exemplo, pela instalação recente do posto fluviométrico, ou pelo desativamento de um posto fluviométrico (pela construção de uma barragem, pela extinção do órgão responsável pelo monitoramento, ou pela simples falta de recursos).

Vazões de referência estimadas com base em séries curtas de dados tem maior incerteza, devido, principalmente, à variabilidade climática regional. Ao mesmo tempo, porém, séries curtas de dados são extremamente valiosas em rios ou regiões com monitoramento carente.

Para aproveitar ao máximo a informação trazida pelas séries curtas, procurando minimizar os erros associados à variabilidade climática, podem ser aplicadas técnicas de ajuste climático, que são procedimentos de correção de viés introduzido pela variabilidade climática regional.

Neste sentido foi conduzida e está descrita aqui uma análise preliminar com o objetivo de determinar os efeitos da aplicação de ajuste climático – em relação ao tamanho da série disponível – na estimativa de vazões de referência (vazão média e vazão Q95).

## 2 INTRODUÇÃO

---

As estimativas de vazões de referência são utilizadas em diferentes aplicações na gestão de recursos hídricos, sendo de interesse típico a caracterização do comportamento de um corpo hídrico, compatível com o horizonte de tempo do planejamento de usos múltiplos da água em quantidade e qualidade adequadas. Devido à variabilidade climática e outras possíveis alterações, as estimativas de vazão obtidas a partir de poucos anos de dados apresentam desvios em relação ao valor de longo termo. Isso ocorre, pois o período de dados registrados numa série curta pode vir a ocorrer em anos mais úmidos (ou secos) do que o normal, acarretando um viés na estimativa.

Em geral, espera-se que os erros sejam menores para estimativas de vazões médias do que para vazões de extremos (máximas e mínimas). Nesse sentido, existem recomendações que indicam utilizar séries de dados “longas” com pelo menos 20 anos de dados para estimativa de vazões de estiagem (Tallaksen and van Lanen, 2004). Por outro lado, a dinâmica das redes de monitoramento hidrológico, com a instalação de novos postos fluviométricos e a extinção de outros mais antigos, configura um cenário em que muitos postos fluviométricos dispõem de séries mais curtas do que seria desejável.

Muitos postos fluviométricos não têm séries muito longas. Zhang (2017), por exemplo, afirma que 43% dos 394 postos fluviométricos do estado de Illinois, nos Estados Unidos, tem séries de menos de 20 anos de dados. Além disso, a maioria destes postos com séries relativamente curtas está localizada em pequenas bacias, nas cabeceiras dos rios principais, e, portanto, contém informação valiosa para os pequenos rios e córregos.

Mesmo em regiões em que há muitos postos fluviométricos com séries longas de dados existe a questão da não simultaneidade das séries. Isto ocorre porque séries de dados de vazão em diferentes postos fluviométricos em uma mesma região dificilmente começam e terminam ao mesmo tempo. A utilização da série completa de cada um dos postos provavelmente tende a inserir um erro em estudos de regionalização, que está associado à variabilidade climática. Isto acontece porque os dados de um posto com uma série mais antiga podem estar influenciados por um período seco (ou úmido) que não está representado em um outro posto fluviométrico, cuja série de dados se concentra em um período mais recente. Como resultado, a variabilidade temporal é confundida com a variabilidade espacial.

A solução que tem sido adotada, em estudos de regionalização, para evitar a influência da variabilidade amostral relacionada à variabilidade climática, é utilizar somente a porção simultânea das séries de dados, desprezando no posto A os dados de períodos em que não há dados correspondentes no posto B, e vice-versa. Este procedimento é importante, mas traz como resultado uma redução da quantidade de dados efetivamente utilizada em relação à quantidade de dados que está disponível.

Em um estudo de regionalização, dependendo dos critérios utilizados para seleção dos dados, como o número mínimo de anos de observação, ou a necessidade de simultaneidade das séries, muitas destas bacias com séries curtas de dados acabam sendo tratadas como não monitoradas, embora tenham sido monitoradas ao menos durante algum tempo. As séries curtas observadas podem não ser representativas de um longo período, mas é possível utilizar métodos que relacionam as estimativas de vazão de referência obtidas com séries curtas com estimativas

regionais baseadas em séries mais longas, buscando obter, ao mesmo tempo, os benefícios da representatividade local e da representatividade do período amostral (Laaha e Bloschl, 2005).

Vazões de referência obtidas das séries curtas têm maior incerteza, conforme a análise do capítulo anterior. Por outro lado, os postos fluviométricos com série curta podem estar localizados em regiões em que a rede de monitoramento possui baixa densidade de postos, e, portanto, contém valiosas informações sobre o comportamento hidrológico da região. Nesse sentido, compreender e avaliar como utilizar a séries de dados curtas parece ser mais razoável do que simplesmente ignorá-las. Por isso, o presente relatório procura responder à pergunta: Qual é a acurácia da estimativa da vazão de referência, utilizando séries curtas de dados, quando utilizamos um posto fluviométrico doador de série longa para o ajuste climático, e como essa acurácia varia em função do tamanho da série curta?

### 3 MÉTODOS DE SÉRIES CURTAS

---

A metodologia tipicamente utilizada para aproveitar a informação existente em postos fluviométricos com curtas séries observadas é a técnica de remoção, ou redução, do viés induzido pela variabilidade climática.

Há referências desde a década de 1950 sobre o uso de dados de postos fluviométricos com séries relativamente curtas, com base em um ajuste com dados de postos fluviométricos vizinhos com séries mais longas (Searcy, 1959). Stedinger e Thomas (1985) discutiram o uso e criaram o método que veio a ser chamado, posteriormente, de *baseflow correlation method*, que é um dos nomes associados ao método das séries curtas.

Além de *baseflow correlation method*, outros métodos que podem ser classificados como métodos de séries curtas são: Index gage Method (Zhang, 2017) e Climate Adjustment Method (Laaha e Bloschl, 2005).

O método de séries curtas também pode ter estimativas de vazão apoiadas por múltiplos postos fluviométricos de apoio (donor sites), conforme Zhang e Kroll (2007), e a influência destes postos de apoio sobre a estimativa de vazão corrigida pode ser ponderada por critérios de semelhança, correlação ou distância com o posto de interesse.

Laaha e Blöschl (2005) analisaram a aplicação de um método de séries curtas, que eles denominam *Climate Adjustment Method*, e concluíram que o erro da estimativa da vazão de referência Q95, quando são utilizadas séries curtas de vazões observadas, ajustadas com base em séries longas da vizinhança, é menor do que o erro da estimativa baseada em uma equação regional de regressão, mesmo quando a série curta tem apenas um ano de dados.

Zhang (2017) também mostra o benefício da utilização de séries curtas. Segundo este autor, que baseou sua análise em dados de postos fluviométricos do estado de Illinois, nos Estados Unidos, as estimativas de vazão mínima obtidas com o método de séries curtas, com apenas 1 ano de dados no local de interesse, corrigidas com base em séries de 20 anos em um posto fluviométrico de apoio (*index gage* ou *donor site*), tem erros equivalentes às estimativas de vazão mínima baseadas em até 5 anos de dados, porém utilizando somente os dados do local de interesse.

Eng et al. (2011) também apresentam resultados em rios nos Estados Unidos em que as estimativas de  $Q_{7,10}$  obtidas pelo método das séries curtas tem desempenho superior às estimativas obtidas por equações de regressão tipicamente utilizadas na regionalização.

Existem variantes do método de séries curtas até para o caso extremo, quando no local de interesse não há uma série de medições sistemáticas, mas apenas algumas medições esporádicas. Neste caso, os métodos são referidos como *spot gauging methods* ou *spot measurements* (Chopart e Sauquet, 2008; Laaha e Blöschl, 2005; Stagnitta et al. 2017; Sorribas et al., 2021). O método de séries curtas com apenas uma única medição chegou a ser proposto e adotado no estado da Bahia para estimativa da  $Q_{90}$  em locais sem dados (Santana et al., 2000).

Em um estudo realizado em 133 postos fluviométricos na França, Chopart e Sauquet (2008) mostram que, com apenas 5 medições de vazão esporádicas, porém realizadas na estação do ano adequada, o método de séries curtas *spot gauging* permite obter estimativas de vazão mínima de referência com erros menores do que os encontrados com diferentes equações de regressão regional.

No Brasil ainda não existe, no conhecimento dos autores do presente trabalho, uma avaliação em escala nacional das incertezas relacionadas a aplicação de métodos de séries curtas nas estimativas de vazão de referência.

## 4 METODOLOGIA

---

### 4.1 AJUSTE CLIMÁTICO

O método de ajuste climático adotado no presente trabalho está baseado no trabalho e tem como fundamento a utilização de dados de um ou mais postos fluviométricos que possuem série longa, denominado(s) posto(s) doador(es), para efetuar a correção no local de interesse que possui série curta. Enquanto o posto fluviométrico de série curta fornece informações locais, o posto doador fornece um suporte a respeito de como o local de interesse se comporta, na perspectiva de longo termo. Assim, o método de ajuste climático considera uma etapa de seleção de ao menos um posto doador (e.g. vizinho mais próximo, posto a jusante, correlação) seguido do cálculo e aplicação de um fator de correção.

No método de ajuste climático de Laaha e Blöschl (2005) considera-se a proporção entre as vazões de referência obtidas a partir da série longa e da série curta tem o mesmo valor tanto no posto doador como no ponto de interesse. Esta hipótese está expressa na equação 1.

$$\frac{Q_{DL}}{Q_{DC}} = \frac{Q_{RL}}{Q_{RC}} \quad (1)$$

onde:  $Q_{DL}$  é a vazão de referência de série longa no posto doador;  $Q_{DC}$  é a vazão de referência de série curta no posto doador;  $Q_{RL}$  é a vazão de referência de série longa ajustada no ponto de interesse (obtida com os dados do mesmo período utilizado para estimar  $Q_{DL}$ ); e  $Q_{RC}$  é a vazão de referência de série curta no ponto de interesse (obtida com os dados do mesmo período utilizado para estimar  $Q_{DC}$ ).

No ponto de interesse não há uma série longa de dados, então a vazão  $Q_{RL}$  da equação 1 não é conhecida. Mas a proporção entre vazões de referência de série curta e de série longa pode ser estimada a partir, exclusivamente, dos dados do posto doador, pela equação 2:

$$K_{CL} = \frac{QD_L}{QD_C} \quad (2)$$

onde:  $QD_L$  é a vazão de referência de série longa no posto doador;  $QD_C$  é a vazão de referência de série curta no posto doador; e  $K_{CL}$  é o fator de proporção entre as vazões de referência obtidas com a série longa e com a série curta.

Uma vez conhecido o valor de  $K_{CL}$ , pode ser obtida uma estimativa ( $QR_A$ ) da vazão de referência  $QR_L$ , pela equação 3:

$$QR_A = QR_C \cdot K_{CL} \quad (3)$$

onde  $QR_C$  é a vazão de referência de série curta no ponto de interesse;  $QR_A$  é uma estimativa da vazão de referência de série longa baseada no ajuste climático; e  $K_{CL}$  é o fator de ajuste obtido pela equação 2.

Assim, a estimativa de vazão de referência com ajuste climático é realizada pelo cálculo do fator (Equação 2) e pela aplicação do fator (Equação 3)

No caso em que a hipótese da equação 1 está correta, a estimativa  $QR_A$  é exatamente igual ao valor buscado  $QR_L$ . Em geral, entretanto, há um erro nesta estimativa. A magnitude desse erro, e a forma como varia em função do tamanho da série, foram examinadas no presente trabalho.

## 4.2 SIMULAÇÃO DO AJUSTE CLIMÁTICO

A avaliação do efeito do ajuste climático sobre os erros de estimativas das vazões de referência ( $Q95$  e  $QM$ ) foi realizada por meio de reamostragem dos dados de postos fluviométricos com disponibilidade de séries longas de observações. Nessa abordagem, simulações são realizadas de forma a replicar cenários onde cada posto fluviométrico (local de interesse) teria apenas uma fração da série longa de dados.

Para isso foram selecionados postos fluviométricos com séries de dados com mais de 30 anos, e com pouca influência de reservatórios. Em cada um destes postos fluviométricos foi calculada a vazão de referência de série longa, obtida com todos os dados disponíveis no período de referência. Posteriormente foram obtidas estimativas da mesma vazão de referência utilizando partes da série original e aplicado o ajuste climático com suporte do posto doador, com apenas  $N$  anos de dados, com  $N$  variando entre 1 e 30 anos. Para cada valor de  $N$ , este procedimento foi repetido 1000 (mil) vezes, com data de início aleatória. Cada uma das 1000 estimativas da vazão de referência para um dado tamanho de série ( $N$ ) foi comparada com o valor equivalente de série longa através das métricas de erro descritas adiante no texto.

## 4.3 SELEÇÃO DE POSTOS

O estudo foi realizado a partir de dados de séries diárias de vazão de postos fluviométricos com séries longas obtidos da base de dados Hidroweb da ANA. Foram considerados somente postos com séries com mais de 30 anos de dados, ao longo do período entre jan/1980 e dez/2014, sendo no máximo 35 anos de dados. Além disso, considerou-se somente postos sem efeito significativo de regularização artificial e/ou erros grosseiros nas séries de dados, ou de interesse especial para a ANA. Considerando esses critérios, as análises seguiram com uma base de 663 postos fluviométricos, em diferentes regiões do Brasil, ilustrados na Figura 1

#### 4.4 SELEÇÃO DOS POSTOS DOADORES

Para aplicação do ajuste climático o posto doador deve possuir séries longas de dados e, ao menos, um período comum de dados com o posto fluviométrico no local de interesse (de série curta). Uma vez que temos interesse em avaliar e quantificar as incertezas relacionadas ao processo, os seguintes critérios foram considerados:

- o posto fluviométrico (local de interesse) possui série longa, com mais de 30 anos de dados, para fornecer a aproximação adequada do valor “real” da vazão observada;
- o posto doador possui série longa, com mais de 30 anos de dados, para fornecer uma aproximação adequada do fator de ajuste
- o par de postos: posto fluviométrico (local de interesse) e o posto doador; possuem séries com período comum de dados, com mais de 30 anos de dados, para permitir a reamostragem pareada de séries curtas
- o posto doador foi escolhido dentre postos candidatos, considerando:
  - se há encadeamento rio acima (ou abaixo) entre os postos
  - a maior similaridade entre áreas de drenagem dos postos
  - a menor distância entre centroides de bacias de drenagem dos postos
  - a menor distância entre os locais dos postos (coordenadas)

Assim, para cada local, priorizou-se o posto doador mais próximo medido pela similaridade entre as áreas de drenagens localizado rio abaixo (ou acima) e, quando a distância entre os postos se torna grande (em relação à bacia do local de interesse) considera-se também os postos localizados em outros rios, também pela semelhança de áreas de drenagem. Esses critérios são compatíveis com os resultados obtidos por Laaha & Bloschl (2007) que indicaram, dentre outros métodos, que a escolha de postos doadores localizados à jusante fornece as melhores estimativas.



Figura 1: Localização de postos fluviométricos com série longa para análise do ajuste climático

#### 4.5 CÁLCULO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA DE SÉRIE LONGA

Em cada um dos postos fluviométricos selecionados e seu respectivo doador, a vazão de referência “de série longa” foi obtida com todos os dados disponíveis no período de jan/1980 e dez/2014. A vazão de referência “de série longa” foi obtida, portanto, com base em dados de 30 a 35 anos, dependendo da disponibilidade do par de postos. Em cerca de 35% dos postos utilizados na análise a vazão de referência foi obtida com 35 anos de dados, e em 80% dos postos a vazão foi obtida com 32 ou mais anos de dados.

#### 4.6 CÁLCULO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA DE SÉRIE CURTA E AJUSTE CLIMÁTICO

Conforme mencionado antes, o efeito do tamanho da série foi avaliado através da obtenção de estimativas da vazão de referência utilizando apenas partes da série de dados disponível em cada posto fluviométrico, pareados (mesmo período) com o posto doador. Estas estimativas foram obtidas com N anos de dados, com N = 1, 2, 3 ... até 30 anos. Para cada valor de N, este procedimento foi repetido 1000 (mil) vezes, com data de início aleatória. Testes realizados com um número ainda maior de réplicas aleatórias demonstraram que R=1000 era suficientemente grande. Para cada uma das réplicas, calculou-se o fator de ajuste climático e a realizou-se a estimativa da vazão de referência de série longa, dada pela série curta ajustada, obtidos pelas equações (1) e (2).

#### 4.7 MÉTRICAS DE ERRO

Existem diferentes métricas para calcular o erro entre os valores estimados e os valores “reais”. A diferença entre a vazão estimada por um modelo e o valor “real” é, tipicamente, denominado de resíduo:

$$RES = QR_{est} - QR_{real} \quad (4)$$

onde: RES é o resíduo;  $QR_{est}$  é a QR estimada por um modelo;  $QR_{real}$  é a QR observada, obtida dos dados do posto fluviométrico.

Neste estudo  $QR_{est}$  se refere a vazão de referência ajustada pela equação (3).

O resíduo também pode ser calculado em termos de vazão específica:

$$RES = \frac{QR_{est} - QR_{real}}{A} \quad (5)$$

onde A é a área de drenagem da bacia hidrográfica.

O erro relativo entre as estimativas de vazões de referência pode ser calculada por:

$$ER(\%) = 100 \left( \frac{QR_{est} - QR_{real}}{QR_{real}} \right) \quad (6)$$

onde: ER é o erro relativo (%);  $QR_{est}$  é a vazão de referência (pode ser a vazão média ou a Q95) estimada com base na série curta;  $QR_{real}$  é a vazão de referência estimada com base na série longa.

No contexto de disponibilidade hídrica é importante que a métrica de desempenho seja capaz de indicar a proporcionalidade de excesso/déficit hídrico da estimativa. A métrica denominada de Razão entre Vazões Médias (RQM), descrita a seguir, é proposta e utilizada para avaliar o desempenho entre valores observados e estimados das vazões de referência.

$$RQM = Sinal(QM_{est} - QM_{real}) \cdot Máximo\left(\frac{QM_{est}}{QM_{real}}, \frac{QM_{real}}{QM_{est}}\right) \quad (7)$$

onde: RQ é a métrica de razão de vazões;  $QM_{est}$  é a vazão média de série curta;  $QM_{real}$  é a vazão média de série longa. Essa métrica indica a proporção entre vazão estimada e a “real”, de tal maneira que um valor  $RQ=+2$  indica que a vazão estimada é o dobro da “real” e, um valor  $RQ=-2$  indica que a vazão estimada é a metade da “real”. Um ajuste perfeito fornece um valor de  $RQM=1$ .

Ao considerar que a magnitude dos erros de superestimativa e subestimativa (em proporção) são equivalentes e igualmente importantes, a métrica pode ser utilizada ignorando o sinal, critério esse adotado para as análises no presente estudo, ou seja, em valores absolutos, ABSRQM:

$$ABSRQM = Máximo\left(\frac{QM_{est}}{QM_{real}}, \frac{QM_{real}}{QM_{est}}\right) \quad (8)$$

onde: ABSRQM é a métrica de razão de vazões, em valor absoluto;  $QM_{est}$  é a vazão estimada;  $QM_{real}$  é a vazão média observada, obtida dos dados do posto fluviométrico.

Em geral, as métricas foram aplicadas para as vazões de referência Q95 e QM. A equação 7, adaptada para a vazão de referência Q95, resulta na métrica RQ95, e a equação 8, adaptada para a Q95, resulta na métrica ABSRQ95.

A aplicação da equação 5 para vazão específica, em mm/dia e L/s.km<sup>2</sup>, fornece uma informação diretamente comparável às medidas típicas de precipitação e evapotranspiração [L/T], o que pode ter utilidade em locais onde a aridez é maior e as vazões são mais baixas.

## 5 RESULTADOS

---

Nessa seção apresenta-se uma análise com o objetivo principal de identificar os efeitos do ajuste climático na estimativa das vazões de referência, sobretudo em relação ao tamanho da série de dados. O conjunto de amostras obtidas a partir da reamostragem de dados em diferentes postos fluviométricos permite aproximar a distribuição de frequência dos erros e, dessa maneira, medidas de incerteza. Dessa maneira, para cada tamanho da série de dados considerado é possível utilizar parâmetros como a mediana e outros percentis para descrever o erro esperado. Em geral, busca-se verificar a magnitude dos erros em estimativas obtidas a partir de séries mais curtas corrigido pelo ajuste climático, em relação ao valor “real” obtido de séries longas.

### 5.1 EXEMPLO ILUSTRATIVO

Para demonstrar a metodologia, considera-se, como exemplo, a série de dados do posto fluviométrico Lajeado (código 64442800, área de drenagem de 1340 km<sup>2</sup>), localizado no rio Imbituva, no Paraná. Utilizando os dados de 31 anos de dados neste posto, no período de jan/1980 e dez/2014, a vazão média estimada foi de 27,9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

Considerando séries curtas com apenas períodos de cinco anos (em sequência) para obter a mesma vazão de referência, os valores obtidos pela reamostragem sem ajuste climático variaram entre 19,2 e 34,6 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Ou seja, a partir da análise das 1000 estimativas de vazão realizadas com séries curtas de apenas 5 anos de dados, foi possível encontrar casos em que a vazão de referência nesse local foi subestimada em 31% e outros em que a vazão é superestimada em 24%, em relação ao valor que seria obtido com uma série longa (31 anos). Ao realizar essa mesma análise para séries maiores, agora com 20 anos de dados, as vazões médias obtidas ficaram entre 26,1 e 29,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, ou seja, com erros de subestimativa (e superestimativa) entre -7% e +4 (em relação a série longa). Esse exemplo demonstra como a estimativa da vazão média a partir de séries curtas (sem ajuste climático) tendem a ser menos acuradas do que aquelas obtidas a partir de séries maiores.

Para avaliar a aplicação do ajuste climático, utilizou-se como doador, o posto fluviométrico Engenheiro Rosaldo Leitão (código 64447000, área de drenagem de 5710 km<sup>2</sup>) localizado cerca de 50 km a jusante, no rio Tibaji. A partir das vazões estimadas com séries curtas com cinco anos pareadas (no tempo) nos dois locais e a vazão de série longa do posto doador, o ajuste climático foi realizado utilizando as equações 2 e 3. Ao realizar a análise sobre o conjunto de 1000 estimativas de vazão média obtidas das séries curtas de 5 anos após o ajuste climático, verificou-se que os valores ficaram entre 26,0 e 32,0 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Esses valores representam erros relativos entre -7% e +15%, o que sugere uma redução bastante significativa na incerteza da estimativa, em relação ao valor real (da série longa).

A Figura 2 apresenta os resultados na forma de um box-plot que evidencia o efeito do ajuste climático na estimativa da vazão, em comparação com as estimativas amostrais obtidas somente em função do tamanho da série (sem ajuste climático). Os limites inferiores e superiores das caixas de box-plot representam os percentis 25 e 75% e contemplam, portanto, 50% das estimativas realizadas. Utilizando 5 anos de dados (sem ajuste climático) a faixa de valores das estimativas vai de 23,0 até 30,0 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, mas após a aplicação do ajuste climático essa faixa se reduz para 26,8 a 27,8 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. É possível observar também que existem outliers no conjunto de dados obtidos com o ajuste climático. Isso indica que apesar da redução geral das incertezas, os

resultados apresentam certa sensibilidade que pode estar associada ao período de série curta utilizado no pareamento entre o posto de interesse e o posto doador.

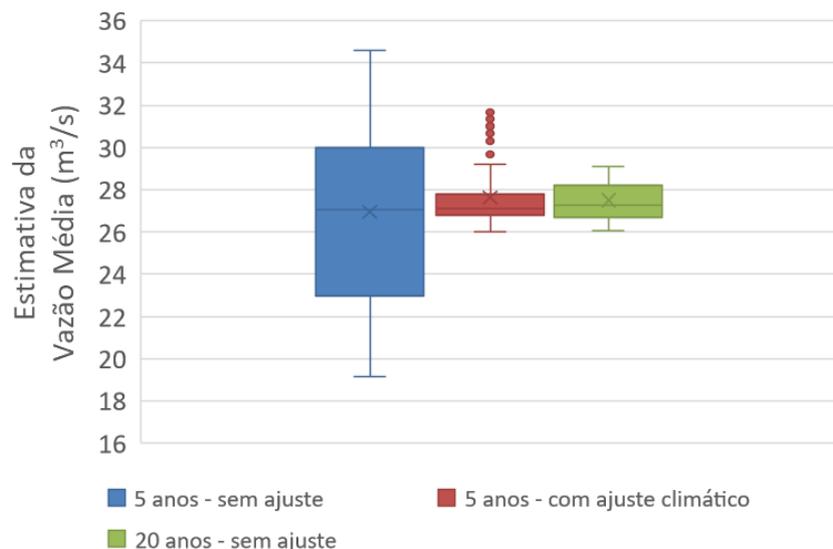


Figura 2: Box-plot das 1000 estimativas de vazão média estimada com base em séries de 5 anos sem ajuste climático, 5 anos com ajuste climático, e de 20 anos de dados (sem ajuste climático) no posto fluviométrico Lajeado (código 64442800), no rio Imbituva (PR).

Considerando correta a vazão média calculada com a série longa (31 anos), é possível também apresentar os resultados na forma de um box-plot do erro relativo, conforme ilustrado na Figura 3, tanto para 5 anos de dados (sem e com ajuste climático) como para 20 anos de dados (sem ajuste climático).

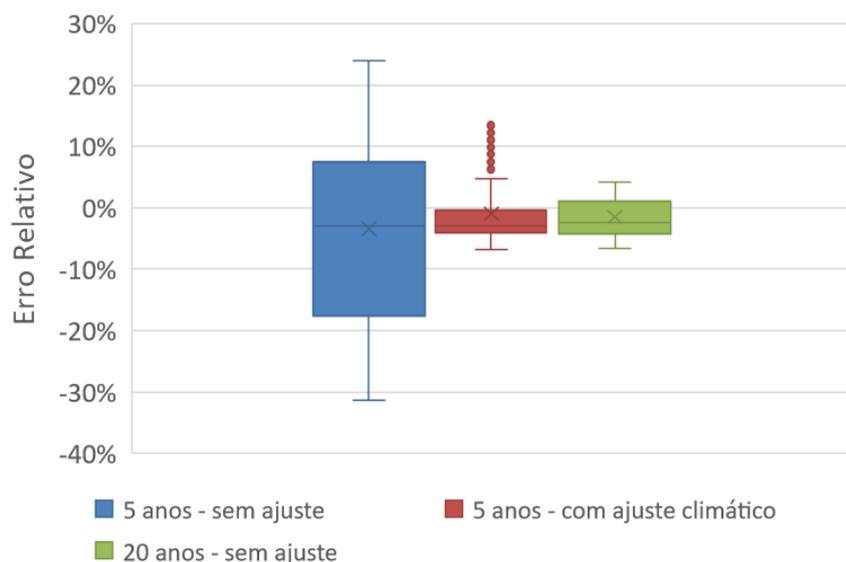


Figura 3: Box-plot do valor da métrica de erro relativo das 1000 estimativas de vazão média estimada com base em séries de 5 anos sem ajuste climático, 5 anos com ajuste climático, e de 20 anos de dados (sem ajuste climático) no posto fluviométrico Lajeado (código 64442800), no rio Imbituva (PR).

Também é possível analisar os resultados na forma de box-plot da métrica de relação entre vazões ABS(RQM), conforme mostra a Figura 4. Lembrando que o valor de ABS(RQM) é igual a

1 quando o valor estimado é exatamente igual ao valor considerado correto, e igual a 2 quando a vazão estimada é igual ao dobro ou a metade da vazão correta.

O valor da mediana de ABS(RQM) apresentado no box-plot mais à esquerda da Figura 4, relativo às estimativas baseadas em 5 anos de dados, sem ajuste climático, é de 1,12. Isto significa que em 50% das 1000 estimativas realizadas no posto fluviométrico 64442800 o valor de ABS(RQM) é inferior a 1,12. Em outras palavras, 50% das estimativas estão no intervalo entre 11% a menos e 12% a mais do que o valor real (estimado com a série longa). No caso das estimativas obtidas com 20 anos de dados, sem ajuste climático, o valor da mediana de ABS(RQM) cai para 1,03 (box-plot localizado mais à direita na figura), que significa que 50% das estimativas estão no intervalo entre 3% a menos e 3% a mais do que o valor real.

O box-plot na posição central na Figura 4 corresponde às estimativas baseadas em 5 anos de dados, porém com ajuste climático. Neste caso, o valor da mediana de ABS(RQM) é 1,04, o que indica erros similares àqueles obtidos com a série de 20 anos (sem ajuste climático). Assim, pode-se dizer que neste local do rio Ibituva (PR), é possível obter uma estimativa de vazão média com apenas 5 anos de dados que é praticamente tão boa quanto uma estimativa baseada em 20 anos de dados, desde que seja corrigido o viés através da técnica do ajuste climático.

Os box-plot da Figura 4 também mostram os valores máximos, mínimos e os percentis de 25 e 75% da métrica ABS(RQM) das estimativas. O percentil 75% é particularmente interessante porque pode ser utilizado como um indicador que inclui a maioria (3 em cada 4) estimativas, e que, portanto, pode ser utilizado como um indicador da incerteza da estimativa da vazão de referência baseada em uma série relativamente curta de dados. Os valores do percentil 75% de ABS(RQM) com séries de 5 e 20 anos (sem ajuste climático) são, respectivamente, 1,22 e 1,05. O valor para a série curta de 5 anos ajustada foi de 1,05. Isto significa que, no posto fluviométrico 64442800, no rio Ibituva, as estimativas de vazão média com apenas 5 anos de dados têm uma incerteza tal que, em 75% dos casos, os erros estão em um intervalo definido por 18% a menos e 22% a mais do que a vazão média de série longa. Já no caso das estimativas obtidas com 20 anos de dados, esta incerteza, estimada pelo percentil 75%, é dada por um intervalo definido por 5% a menos e 5% a mais do que a vazão média de série longa. E, por fim, a aplicação do ajuste climático indica ser possível realizar estimativas a partir de séries de 5 anos de dados corrigidas (com suporte do posto fluviométrico doador) que possui a incerteza (em 75% dos casos) num intervalo também na faixa aproximada de 5% a menos, e 5% a mais do que a vazão média de série longa.

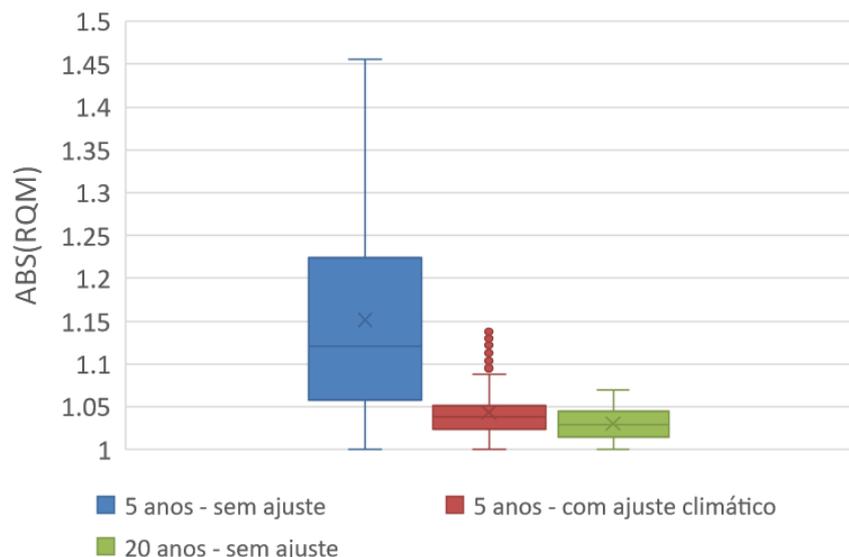


Figura 4: Box-plot do valor da métrica ABS(RQM) das 1000 estimativas de vazão média estimada com base em séries de 5 anos sem ajuste climático, 5 anos com ajuste climático, e de 20 anos de dados (sem ajuste climático) no posto fluviométrico Lajeado (código 64442800), no rio Imituva (PR).

## 5.2 EFEITO DO AJUSTE CLIMÁTICO SOBRE A ESTIMATIVA DA VAZÃO MÉDIA E A RELAÇÃO COM O TAMANHO DA SÉRIE CURTA

O exemplo ilustrativo anterior trata da análise da vazão média um único posto fluviométrico. Análises semelhantes a esta foram repetidas para os demais postos fluviométricos com série longa considerados neste trabalho. Em cada um dos postos fluviométricos o comportamento pode ser diferente. Para sintetizar os resultados, foram geradas curvas que relacionam os valores das métricas com o número de anos de dados utilizados na estimativa da vazão de referência. Estas curvas, no entanto, foram elaboradas agregando os resultados de todos os postos fluviométricos analisados.

A Figura 5 apresenta os percentis 12,5%, 50% (mediana) e 87,5% da métrica de erro relativo da estimativa das vazões médias, considerando tamanhos de série entre 1 e 30 anos. Para comparação, o gráfico apresenta os erros obtidos para estimativas sem ajuste climático (i.e., somente variabilidade amostral do posto fluviométrico) e, também, aqueles resultantes da aplicação do ajuste climático.

Os erros relativos apresentam a mediana próximas a zero, indicando que em, aproximadamente, 50% dos casos ocorrem superestimativa ou subestimativas. Ao considerar o intervalo entre os percentis 12,5 e 87,5% (ou seja, 75% dos casos em torno da tendência central) observa-se que estimativa da QM baseada em apenas 1 ano de dados sem ajuste climático teve valores de ERQM entre, aproximadamente, -30% e +30%. Por outro lado, ao utilizar o ajuste climático esse intervalo é reduzido para -13% e +14%, aproximadamente.

À medida que o número de dados utilizados para realizar a estimativa aumenta, o erro tende a diminuir. Utilizando 10 anos de dados para estimar a vazão média, 75% dos casos apresentam ERQM entre -6 e +6% com ajuste climático (-12% e +10%, sem ajuste) e, utilizando 20 anos de dados, os erros relativos ficam entre -3% e +3% com ajuste climático (-8% e +5%, sem ajuste). Os valores não chegam exatamente a zero porque o número de anos de dados utilizados para

estimar a vazão real (“série longa”) foi superior a 30 anos na maioria dos postos fluviométricos, conforme mencionado na metodologia.

A Figura 5 sugere que uma estimativa de vazão média baseada em apenas 3 anos de dados, corrigida pelo ajuste climático, permite uma estimativa da vazão média com o mesmo grau de incerteza que uma estimativa de vazão média baseada em 10 a 15 anos de dados, sem ajuste climático. Além disso, quando o ajuste climático é aplicado sobre uma série de 10 anos, a incerteza é tão baixa como a que seria encontrada com séries de cerca de 30 anos de dados sem ajuste climático.

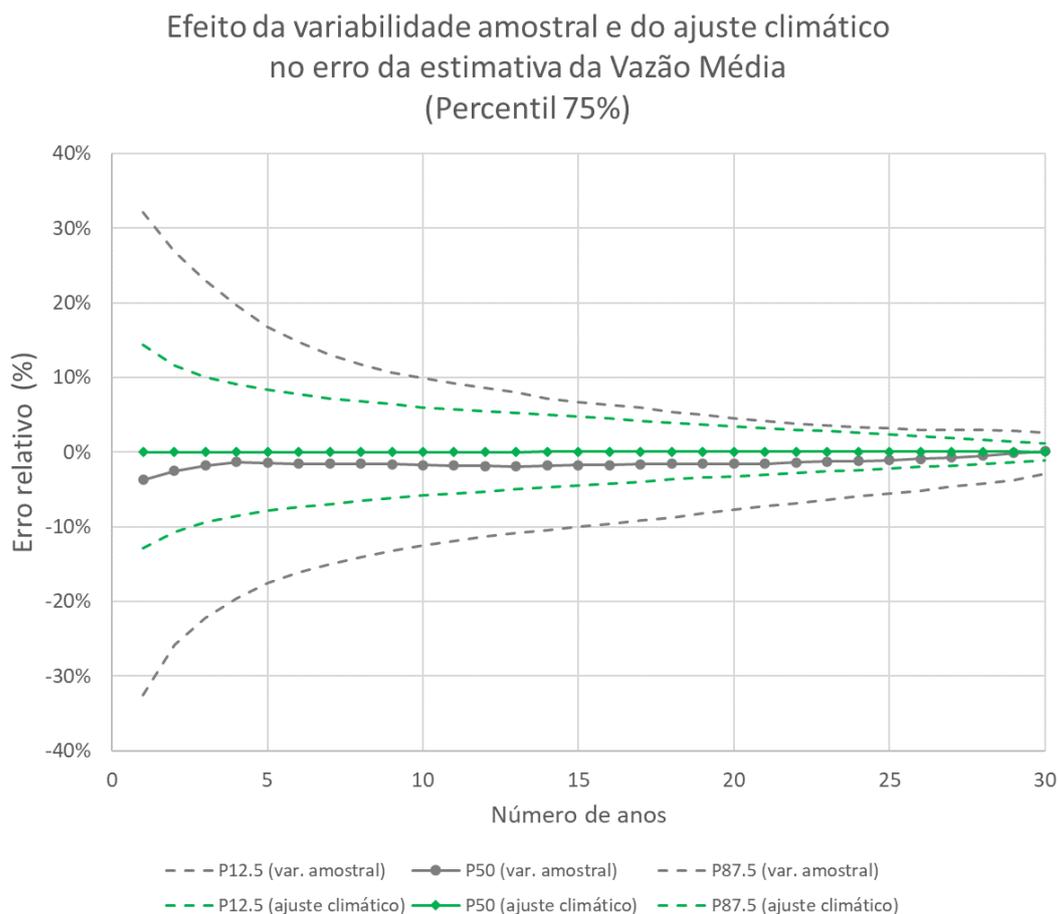


Figura 5: Erro relativo na estimativa da vazão média. As linhas sólidas representam as medianas, e as linhas tracejadas definem os percentis 12,5% e 87,5% (contendo 75% dos casos), para os casos da variabilidade amostral (sem ajuste climático, em cinza) e com o ajuste climático (em verde)

A Figura 6 apresenta o percentil 75% da métrica ABSRQM – razão entre vazões médias, em valor absoluto – para cada tamanho de série curta, obtido pela reamostragem dos dados, considerando a aplicação do ajuste climático e, para comparação, o caso sem ajustes climáticos. Dessa maneira, a figura define o limiar de erro que inclui 75% dos casos, quando se considera os erros de superestimativa e subestimativa equivalentes entre si (e.g. metade = dobro). A diferença no ABSRQM destaca como o ajuste climático pode combinar os dados de postos com série longa e curta para reduzir as incertezas na estimativa a partir de séries curtas.

Observa-se que estimativa da vazão média baseada em apenas 1 ano de dados resultou em ABSRQM igual a 1,15 para os casos com ajuste climático. Isto significa que em 75% dos casos analisados com ajuste climático, o valor de RQM ficou entre -1,15 e 1,15. Em outras palavras,

em 75% dos casos analisados o valor real da vazão média (estimado com 30 a 35 anos de dados) situou-se na faixa definida entre o valor da vazão média estimada MENOS 13% e o valor da vazão média estimada MAIS 15%. Esse resultado indica que o ajuste climático quando aplicado a séries curtas de 1 ano de dados podem fornecer estimativas de vazão média com erros similares aqueles obtidos pela variabilidade amostral de séries de dados de 8 anos.

A forma da curva da Figura 6 mostra que à medida que o número de dados utilizados para estimativa aumenta, o valor de ABSRQM diminui. Com 10 anos de dados observados, o valor de ABSRQM é próximo a 1,06 (no percentil 75%) quando se considera o ajuste climático. Isto significa que, em 75% dos casos analisados, o valor real da vazão média (estimado com 30 a 35 anos de dados) situou-se na faixa definida entre 5% a MENOS e 6% a MAIS do que o valor estimado. É interessante destacar que esses valores são equivalentes aos obtidos com 21 anos de dados sem o ajuste climático. Por fim, a aplicação do ajuste climático em séries curtas de 15 anos de dados resultou no valor de ABSRQM igual a 1,05, o que significa erros da ordem de 5% a mais ou a menos e, similar aos erros amostrais esperados (no percentil 75%) de uma série longa de 25 anos.

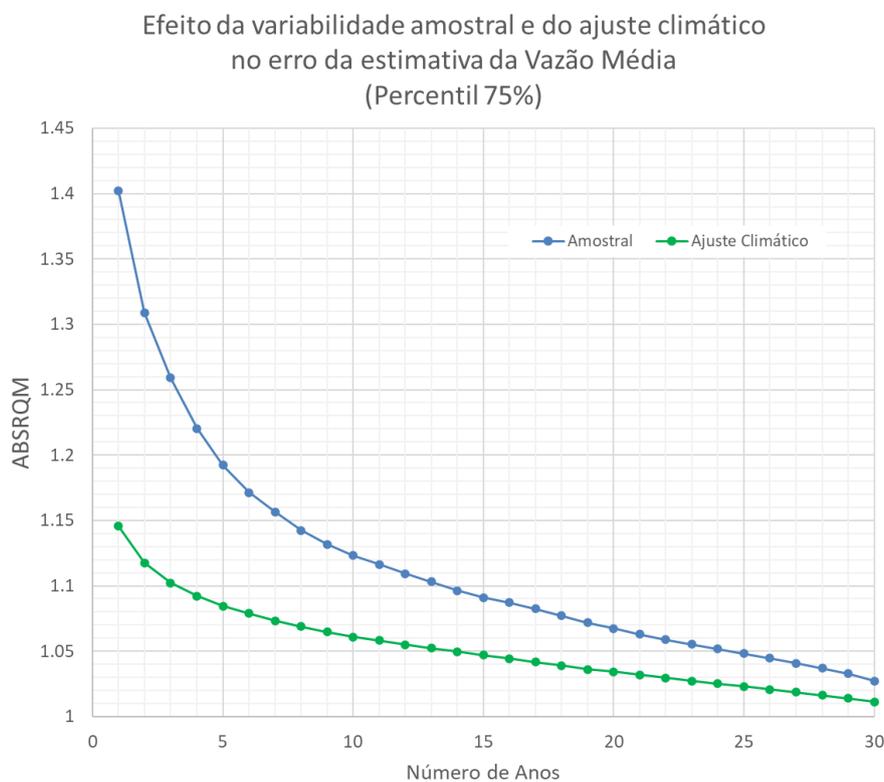


Figura 6: Métrica ABSRQM (75% dos casos) da estimativa da vazão média em função do número de anos de dados (no eixo horizontal) quando comparada à estimativa da vazão média com base em 30 a 35 anos de dados, considerando o ajuste climático (em verde) e sem ajuste climático (azul).

### 5.3 EFEITO DO AJUSTE CLIMÁTICO SOBRE A ESTIMATIVA DA VAZÃO Q95 E A RELAÇÃO COM O TAMANHO DA SÉRIE CURTA

As análises realizadas para a vazão média foram repetidas para a vazão de referência Q95, que é a vazão igualada ou superada em 95% do tempo.

A Figura 7 apresenta os percentis 12,5%, 50% (mediana) e 87,5% da métrica de erro relativo para as vazões Q95. Para comparação, o gráfico apresenta os erros obtidos para estimativas sem ajuste climático (i.e., somente variabilidade amostral do posto fluviométrico) e, também, aqueles resultantes da aplicação do ajuste climático.

A mediana dos erros relativos indica uma tendência de superestimativas nessa métrica. Ao considerar o intervalo entre os percentis 12,5 e 87,5% (ou seja, 75% dos casos em torno da tendência central) observa-se que estimativa da Q95 baseada em apenas 1 ano de dados teve valores de ERQ95 entre -20% e +28% para os casos com ajuste climático. Em comparação com a variabilidade amostral (sem ajuste climático), observa-se uma redução acentuada nos casos de superestimativa que teve o valor +91%, também para 1 ano de dados.

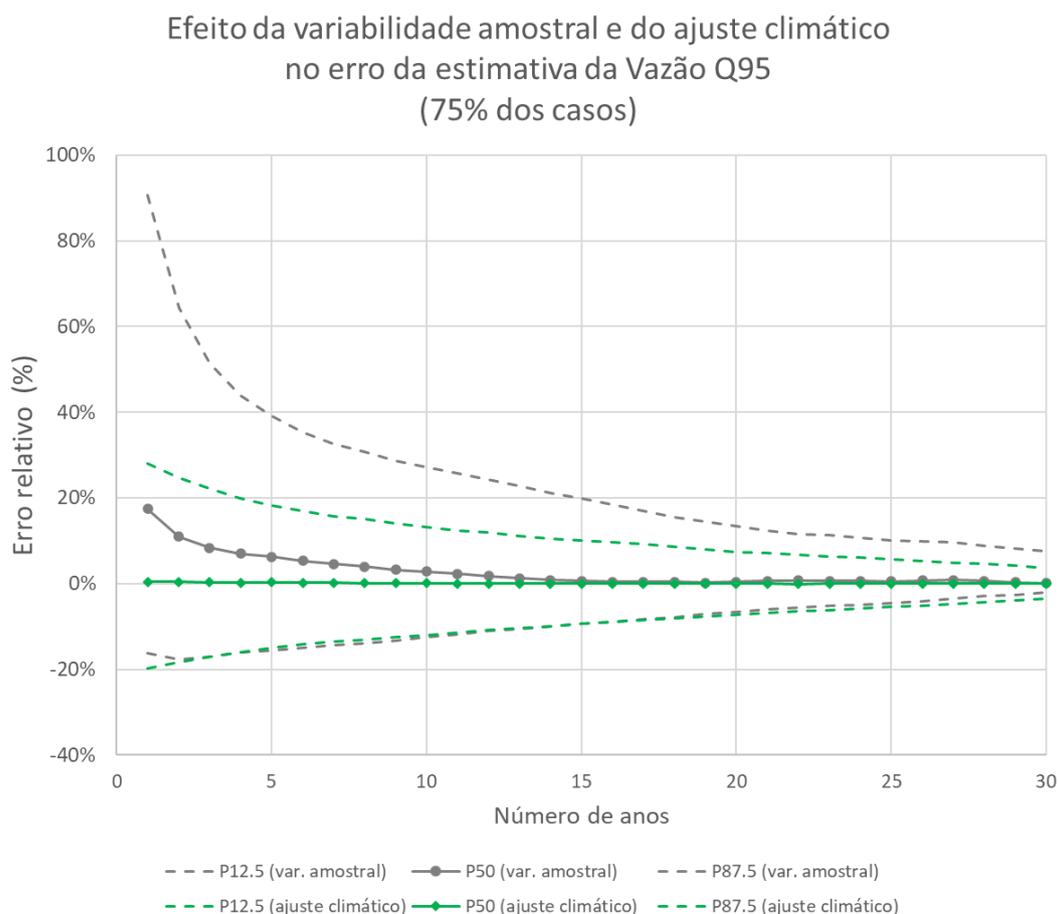


Figura 7: Erro relativo na estimativa da vazão Q95. As linhas sólidas representam as medianas, e as linhas tracejadas definem os percentis 12,5% e 87,5% (contendo 75% dos casos), para os casos da variabilidade amostral (sem ajuste climático, em cinza) e com o ajuste climático (em verde)

À medida que o número de dados utilizados para realizar a estimativa aumenta, o erro tende a diminuir. Com 10 anos de dados observados, 75% dos casos apresentam ERQ95 entre -12% e +13% com ajuste climático (e +27% sem ajuste). Com 20 anos de dados observados, os erros relativos ficam entre -6% e +7% após o ajuste climático (e +13% sem ajuste). Os valores não chegam exatamente a zero porque o número de anos de dados utilizados para estimar a Q95 real (“série longa”) foi superior a 30 anos na maior parte dos postos fluviométricos analisados, conforme mencionado na metodologia.

A métrica de razão entre vazões foi aplicada também para a Q95. Neste caso foi calculado o valor de RQ95, conforme a equação 8 (adaptada para a vazão Q95), e o seu valor absoluto (ABSRQ95). A Figura 8 apresenta o percentil 75% da métrica de ABSRQ95, obtido pela reamostragem, para cada tamanho de série curta. Dessa maneira, a curva ilustrada define o limiar de erro que inclui 75% dos 1000 casos simuladas, quando se considera os erros de superestimativa e subestimativa equivalentes entre si (e.g. metade = dobro). A diferença no ABSRQ95 destaca como o ajuste climático pode combinar os dados de postos com série longa e curta para reduzir as incertezas na estimativa a partir de séries curtas.

De maneira similar ao apresentado para as vazões médias, à medida que o número de dados utilizados para realizar a estimativa aumenta, o erro tende a diminuir. Além disso, o efeito do ajuste climático é bastante acentuado para as séries de dados mais curtas.

Observa-se que estimativa da Q95 baseada em apenas 1 ano de dados resultou em ABSRQ95 igual a 1,26. Isto significa que em 75% dos casos analisados, o valor de RQ95 ficou entre -1,26 e +1,26. Em outras palavras, em 75% dos casos analisados o valor real da Q95 (estimado com 30 a 35 anos de dados) situou-se na faixa definida entre o valor da Q95 estimada MENOS 20% e o valor da Q95 estimada MAIS 26%. Esse resultado indica que o ajuste climático quando aplicado a séries curtas de 1 ano de dados podem fornecer estimativas de vazões Q95 com erros similares aqueles obtidos pela variabilidade amostral de séries de dados de 7 anos. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Zhang (2017), com dados do estado de Illinois, nos Estados Unidos. Zhang (2017) mostrou que vazões mínimas estimadas com apenas 1 ano de dados, com remoção de viés baseada em um posto fluviométrico de apoio, tem erros equivalentes às estimativas de vazão mínima obtidas com séries de até 5 anos de dados, porém sem ajuste climático.

Com 10 anos de dados observados, o valor de ABSRQ95 é próximo a 1,14 (no percentil 75%) quando se considera o ajuste climático. Isto significa que, em 75% dos casos analisados, o valor real da vazão média (estimado com 30 a 35 anos de dados) situou-se na faixa definida entre 12% a MENOS e 14% a MAIS do que o valor estimado. É interessante destacar que esses valores são equivalentes aos obtidos com 16 anos de dados sem o ajuste climático. Por fim, a aplicação do ajuste climático em séries curtas de 15 anos de dados resultou no valor de ABSRQM igual a 1,1, o que significa erros da ordem de 10% a mais ou a menos e, similar aos erros amostrais esperados (no percentil 75%) de uma série de 20 anos.

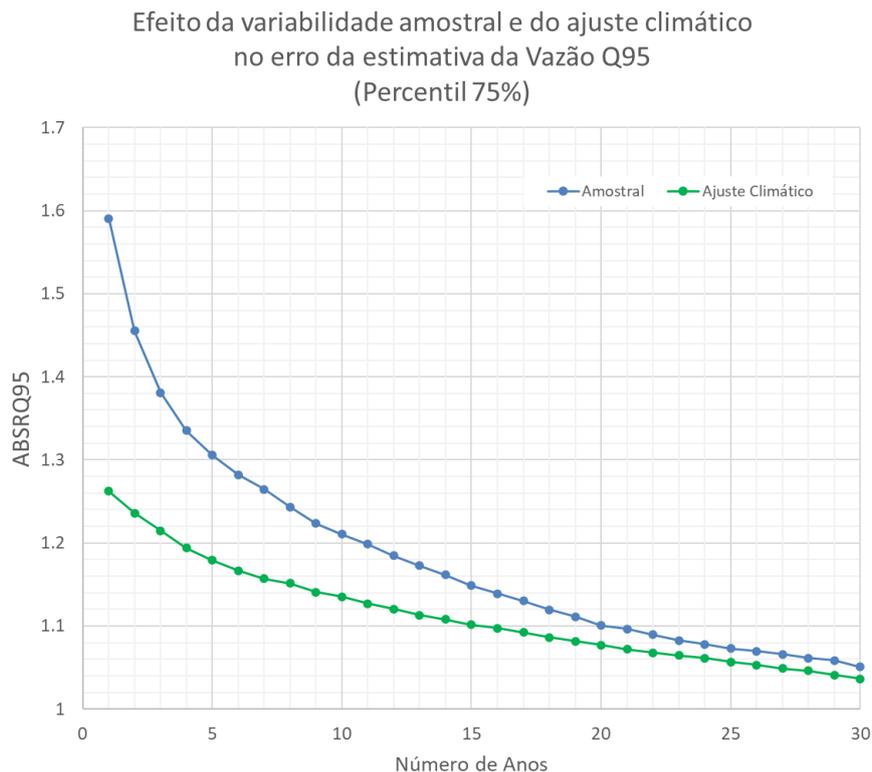


Figura 8: Métrica ABSRQ95 (75% dos casos) da estimativa da vazão Q95 em função do número de anos de dados (no eixo horizontal) quando comparada à estimativa da vazão Q95 com base em 30 a 35 anos de dados, considerando o ajuste climático (em verde) e sem ajuste climático (azul).

#### 5.4 EFEITO DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS BACIAS

Devido à escala nacional da distribuição de postos fluviométricos utilizados nesse estudo e a variedade de relações climáticas no país, consideramos uma avaliação similar dos erros, mas considerando agrupamentos por regiões hidrográficas. A Tabela 1 apresenta a relação entre regiões e o código do posto fluviométrico utilizado.

Tabela 1: Regiões hidrográficas do Brasil e algarismo inicial do código dos postos fluviométricos.

Algarismo inicial do Código	Região
1	Amazônica
2	Tocantins-Araguaia
3	Atlântico Nordeste, Parnaíba
4	São Francisco
5	Atlântico Leste, Atlântico Sudeste
6	Paraná-Paraguai
7	Uruguai
8	Atlântico Sul

A Figura 9 demonstra que as maiores incertezas na estimativa da vazão média, com a aplicação do ajuste climático, ocorrem na região R3 que corresponde às regiões do Atlântico Nordeste e do rio Parnaíba e possui alta variabilidade climática, incluindo áreas do semiárido. As bacias do Atlântico Leste e Atlântico Sudeste (R5) também apresentaram incertezas superiores ao que o conjunto geral de dados. Por outro lado, as bacias do rio Tocantins-Araguaia (R2), rio Paraná (R6)

e São Francisco (R4) apresentaram incertezas inferiores ao conjunto de dados, sendo a menor incerteza obtida para postos fluviométricos na bacia Amazônica (R1).

A Figura 10 ilustra os erros absolutos da estimativa da vazão média específica (percentil 75%) com séries de 1 a 30 anos de dados, para as quais foram aplicadas a correção climática, considerando os postos fluviométricos agrupados pelas regiões hidrográficas já descritas. Neste caso, as regiões R3 e R4 apresentaram as menores incertezas, enquanto as regiões R7 e R8 apresentaram as maiores incertezas. A comparação em termos de erros absolutos reflete, de certa maneira, as diferenças de disponibilidade hídrica e variabilidade do regime hídrico natural entre as regiões.

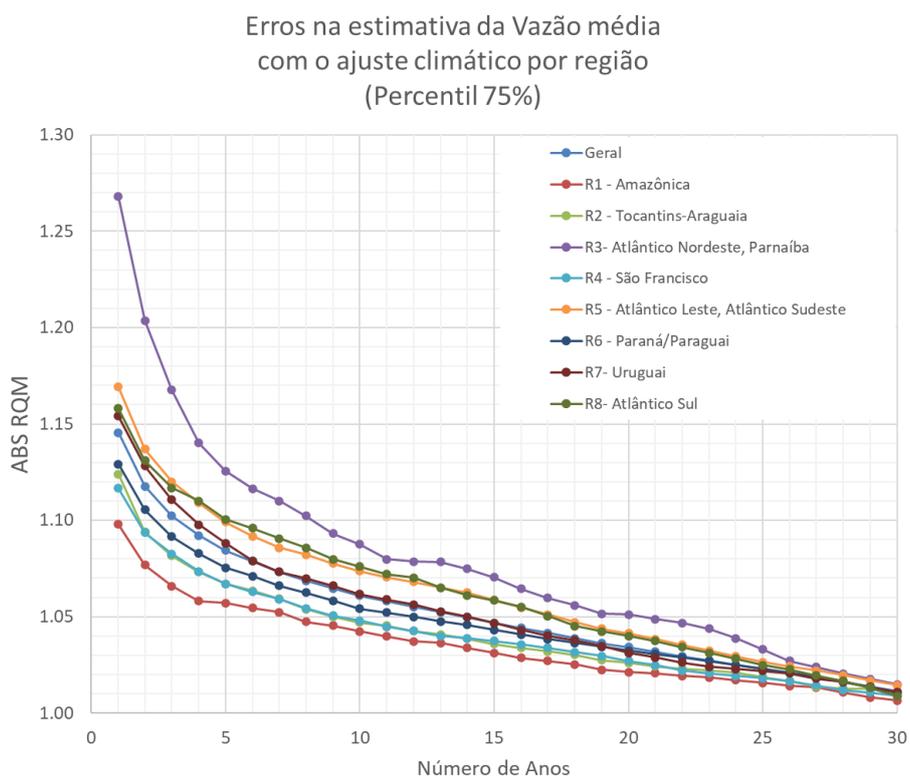


Figura 9: Métrica ABSRQM (75% dos casos) da estimativa da vazão média com ajuste climático, em função do número de anos de dados (no eixo horizontal) quando comparada à estimativa baseada em 30 a 35 anos de dados, para diferentes regiões hidrográficas.

Erro da estimativa da Vazão Média Específica  
com ajuste climático por região  
(Percentil 75%)

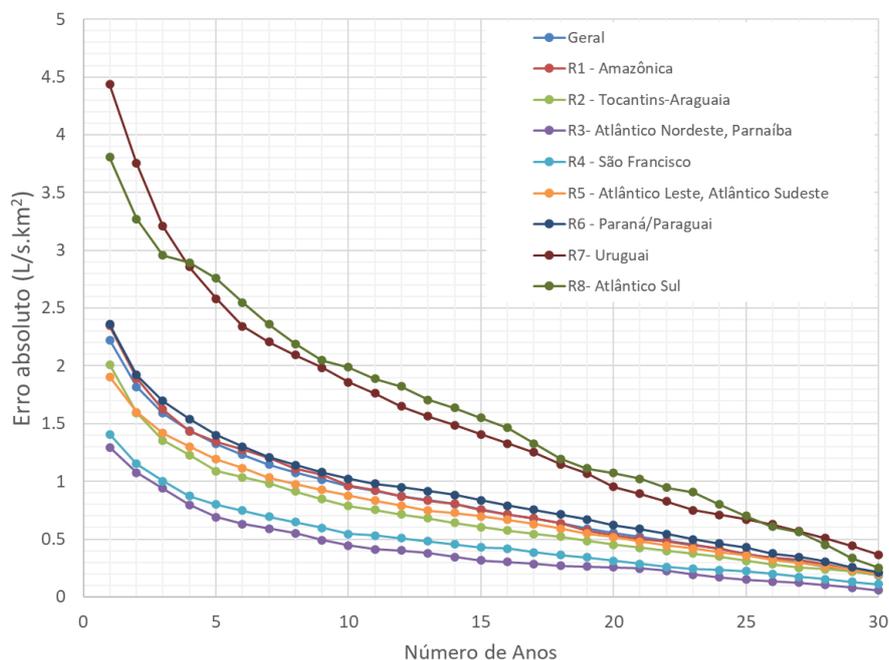


Figura 10: Erro absoluto da vazão média específica estimado com séries curtas de dados (1 a 30 anos) sujeitas a ajuste climático, em relação à estimada com série longa (30 a 35 anos) na avaliação geral e por região hidrográfica. A linha representa o percentil 75%.

A Figura 11, por sua vez, apresenta para cada região, a diferença ( $\Delta$ ) entre ABSRQM obtidos com ajuste climático e a variabilidade amostral<sup>1</sup> (sem ajuste climático). Fica evidente que o ajuste climático acarreta redução mais acentuada para séries curtas de 1 a 5 anos, embora seja possível observar a contribuição (na diminuição do erro) mesmo para séries maiores. Em geral, se entende que o ajuste climático aplicado a séries de 5 anos de dados acarretou diferenças de até 0,15 em ABSRQM (percentil 75%), ou seja, reduções da ordem de 15 a 20% nas incertezas, quando comparada à estimativa alternativa (sem correção). É possível verificar que as diferenças foram menos expressivas nas regiões Amazônica (R1) e Tocantins-Araguaia (R2) do que nas demais regiões, talvez por influência da regularização natural, e maior previsibilidade das vazões médias em grandes rios monitorados.

<sup>1</sup> Ver Collischonn et al. (2021) IPH-ANA-HGE-SR-R4 Relatório Técnico: O efeito da variabilidade amostral sobre a estimativa de vazões de referência. Porto Alegre, 2021..

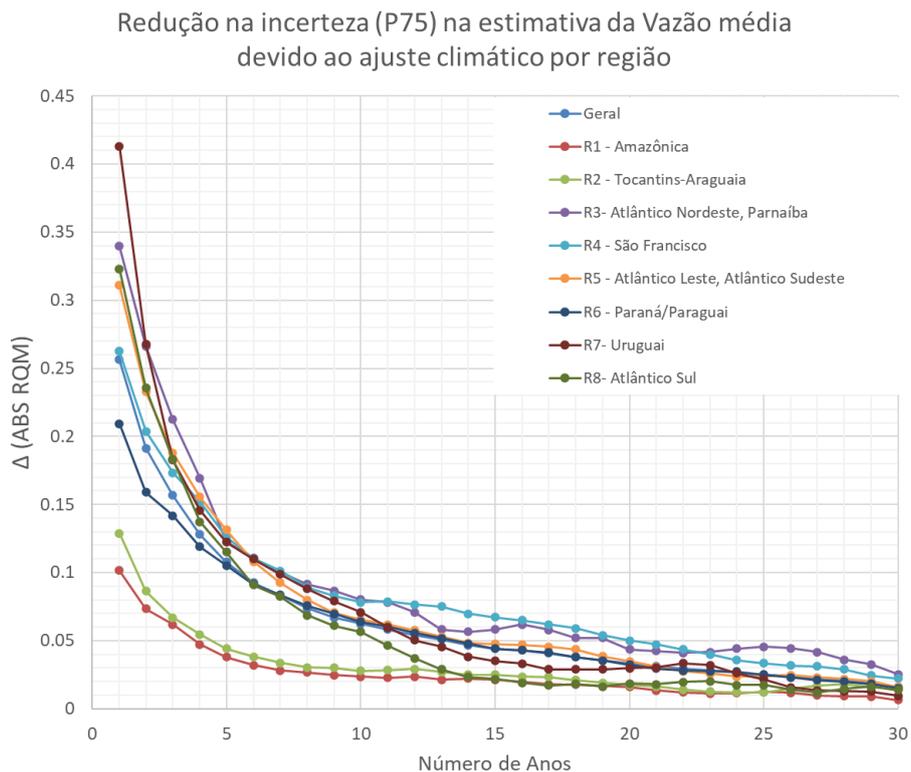


Figura 11: Redução na incerteza devido ao ajuste climático no erro absoluto da vazão específica média na avaliação geral e por região hidrográfica. A linha representa a diferença entre o percentil 75% com ajuste climático e o percentil 75% sem ajuste climático.

No caso da influência da região geográfica sobre a incerteza da estimativa da vazão Q95 com ajuste climático (estimada pelo valor de ABSRQ95 - Figura 12), os resultados também indicam que a maior incerteza ocorre na região R3, que inclui grande parte do semiárido. As regiões do rio Uruguai (R7) e Atlântico Sul (R8) também apresentaram incertezas elevadas, se comparadas as demais regiões. As menores incertezas nas estimativas de vazão Q95, com correção climática, ocorreram nas regiões do Tocantins-Araguaia (R2) e São Francisco (R4).

Erro na estimativa da Vazão Q95  
com ajuste climático por região  
(Percentil 75%)

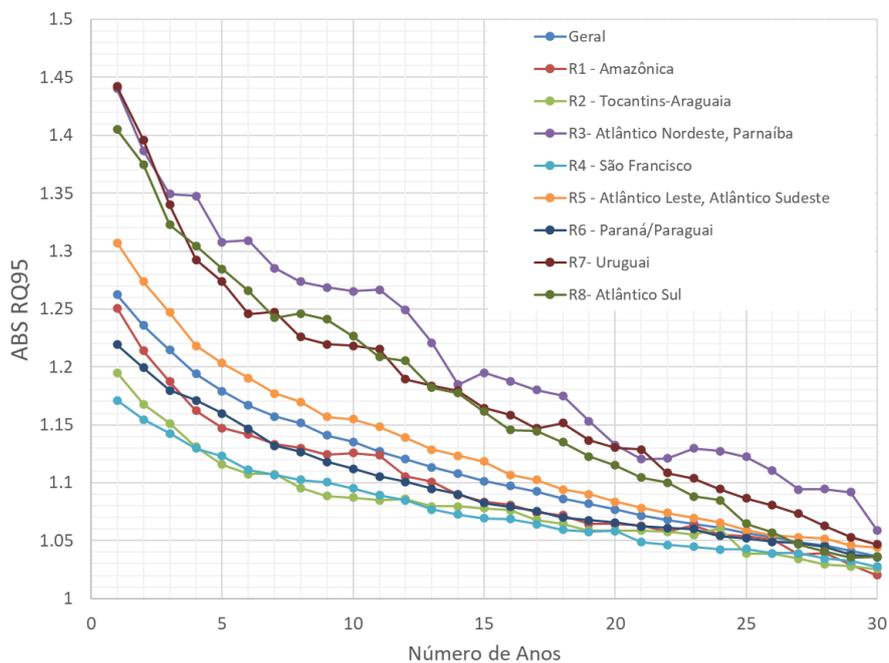


Figura 12: Métrica ABSRQ95 (75% dos casos) da estimativa da vazão Q95 com ajuste climático, em função do número de anos de dados (no eixo horizontal) quando comparada à estimativa baseada em 30 a 35 anos de dados, para diferentes regiões hidrográficas.

A Figura 13 mostra os erros absolutos da estimativa da vazão Q95 específica (percentil 75%) com séries de 1 a 30 anos de dados, para as quais foram aplicadas a correção climática, considerando os postos fluviométricos agrupados pelas regiões hidrográficas já descritas. As análises demonstram que, de maneira similar ao obtido para a vazões média específica, as regiões R3 e R4 apresentaram as menores incertezas para a vazão Q95 específica. Em geral, as incertezas para as regiões R5, R6, R7 e R8 ficaram acima da curva geral.

Erro na estimativa da Vazão Q95 Específica  
com ajuste climático por região  
(Percentil 75%)

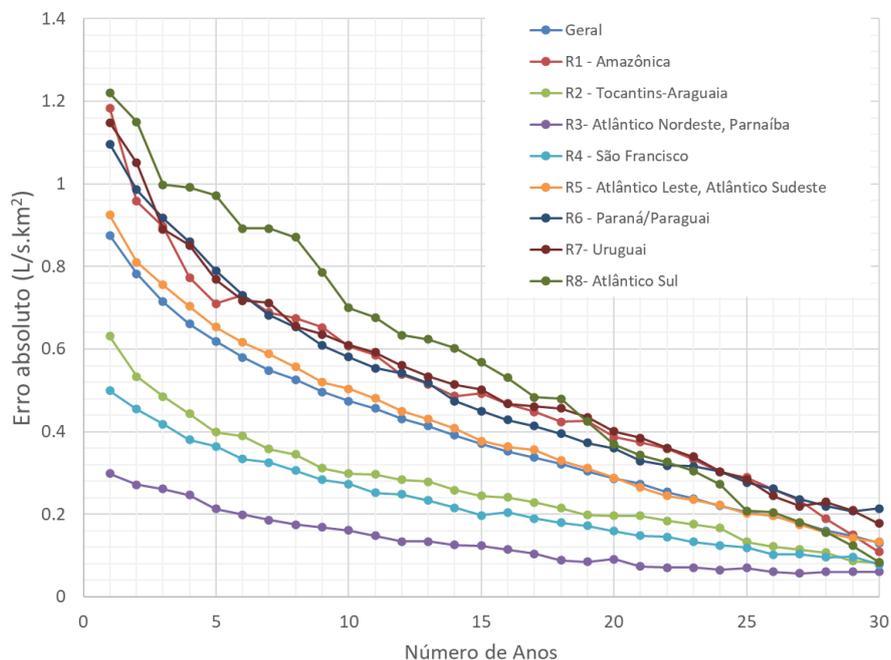


Figura 13: Erro absoluto da vazão Q95 específica estimado com séries curtas de dados (1 a 30 anos) sujeitas a ajuste climático, em relação à estimada com série longa (30 a 35 anos) na avaliação geral e por região hidrográfica. A linha representa o percentil 75%.

A Figura 14, por sua vez, apresenta para cada região, a diferença ( $\Delta$ ) entre ABSRQ95 obtidos com ajuste climático e a variabilidade amostral<sup>2</sup> (sem ajuste climático). Fica evidente que o ajuste climático acarreta redução mais acentuada já para séries curtas de 1 a 5 anos, embora seja possível verificar a contribuição (para reduzir os erros) mesmo em séries compostas por 5 a 15 anos de dados. Nota-se que os benefícios variam nas diferentes regiões. Por exemplo, o ajuste climático aplicado a séries com 5 anos de dados acarretou diferenças de 0,1 e 0,23 em ABSRQ95 (percentil 75%), para as regiões R2 e R3, respectivamente. Esses valores indicam reduções em cerca de 10% (R2) e 23% (R3) nas incertezas após a correção climática, quando comparada à estimativa alternativa (sem correção) para uma série de mesmo tamanho.

<sup>2</sup> Ver capítulo 1: Collischonn, W.; Sorribas, M.V.; Paiva, R.C.D. (2021) “O efeito da variabilidade amostral sobre a estimativa de vazões de referência”, 12p.

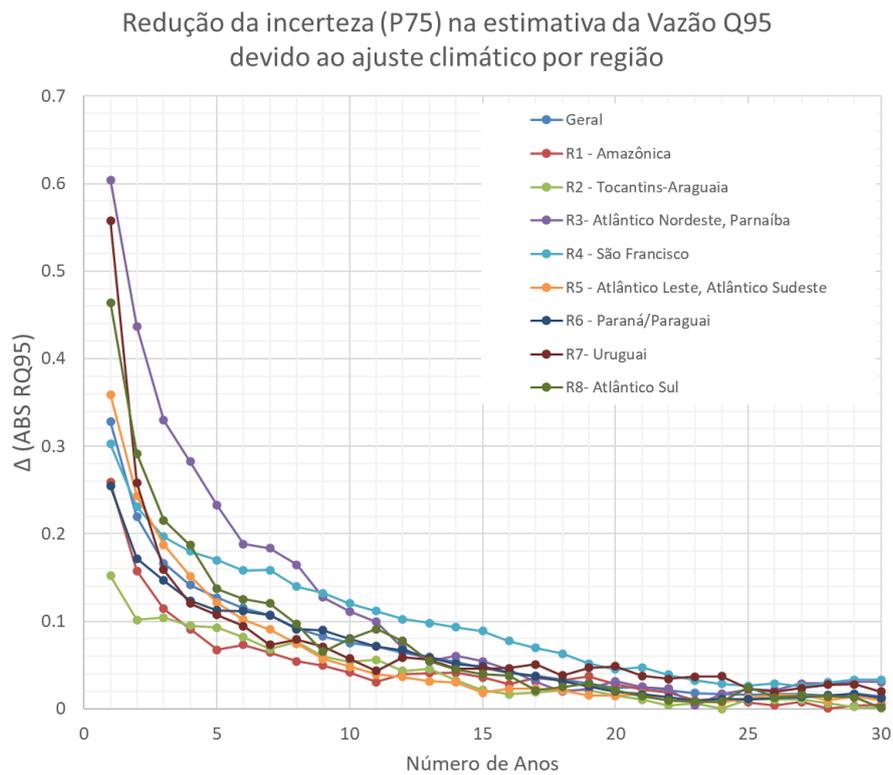


Figura 14: Redução na incerteza devido ao ajuste climático no erro absoluto da vazão Q95 específica na avaliação geral e por região hidrográfica. A linha representa a diferença entre o percentil 75% com ajuste climático e o percentil 75% sem ajuste climático.

## 6 CONCLUSÃO

---

Neste capítulo apresentamos a análise do efeito do ajuste climático sobre as estimativas de duas vazões de referência (vazão média e Q95) a partir de dados de 663 postos fluviométricos do Brasil, com o objetivo de avaliar a acurácia da estimativa ao utilizar o método de correção em séries curtas de diferentes tamanhos. Para tanto, um posto fluviométrico doador com séries longas foi adotado para fornecer a relação de ajuste climático em cada local, priorizando àqueles localizados rios abaixo (ou acima) e com maior similaridade de área de drenagens.

O percentil 75% das métricas ABSRQM e ABSRQ95 foi utilizado para sintetizar a análise de resultados do conjunto de dados, representando uma medida de incerteza que contabiliza três em cada quatro casos avaliados. Além disso, essas métricas agregam as informações de superestimativas ou subestimativas (proporcionais ao valor real) em uma medida única.

De maneira geral, os resultados indicam que a acurácia da estimativa aumenta consideravelmente com a aplicação do ajuste climático. O estudo reforça que as séries de dados curtas podem fornecer estimativas de vazões médias e Q95 com erros reduzidos, após a correção climática que traz a informação de longo prazo de um posto fluviométrico de apoio (“doador”).

Considerando o conjunto dos postos fluviométricos analisados em todo o Brasil, e considerando aceitável uma incerteza igual ou menor do que 10% na maioria (75%) dos casos, os resultados mostram que são necessários 3 anos de dados para uma boa estimativa da vazão média e 15 anos de dados para uma boa estimativa da Q95, se aplicada a correção climática. Entretanto, há de se destacar que foram observadas variações acima e abaixo desses valores, regionalmente.

As regiões hidrográficas R3, R5 e R8 apresentaram, em geral, erros relativos (percentil 75%) superiores àqueles obtidos para o conjunto geral, mas inferiores aos obtidos sem correção. Essas regiões incluem áreas de clima semiárido ou com grande variabilidade amostral. O ajuste climático fornece uma redução de cerca de 13% (para vazão média) e de 24% (para Q95) nas estimativas realizadas a partir de séries curtas de 5 anos.

Em termos absolutos de vazão específica, os maiores erros na vazão média ocorreram para as regiões hidrográficas do sul do Brasil (Uruguai, Atlântico Sul). No caso das vazões Q95, os maiores erros também ocorreram para a região sul, incluindo a bacia do Paraná, mas também a bacia Amazônica.

De uma forma geral, os resultados encontrados no presente trabalho são convergentes com os resultados encontrados por outros autores, utilizando dados de outras regiões do mundo.

## 7 REFERÊNCIAS

---

- Collischonn, W.; Sorribas, M. V.; Paiva, R.C.D. 2021. IPH-ANA-HGE-SR-R4 Relatório Técnico: O efeito da variabilidade amostral sobre a estimativa de vazões de referência. Porto Alegre, 2021.
- Chopart S. & Saquet E. (2008) Usage des jaugeages volants en regionalisation des débits 'étiage (Using spot gauging data to interpolate low flow characteristics), *Revue des sciences de léau (Journal of Water Science)*, 21 (3), 267-281
- Eng, K., Kiang, J. E., Chen, Y. Y., Carlisle, D. M., & Granato, G. E. (2011). Causes of systematic over- or underestimation of low streamflows by use of index-streamgauge approaches in the United States. *Hydrological Processes*, 25(14), 2211-2220.
- Laaha, G. & Blöschl, G. (2005) Low flow estimates from short stream flow records—a comparison of methods. *Journal of Hydrology*, 306(1-4), 264-286.
- Laaha, G. & Blöschl, G. (2007) A national low flow estimation procedure for Austria, *Hydrol. Sci. J.*, 52, 625–644, doi:10.1623/hysj.52.4.625, 2007.
- Santana, A. G.; Cardoso E.R.; Silva, F.F. et al. (2000) Estimativa da Vazão de Referência, com Carência de Dados, Para Outorga na Bahia. In: Anais. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal/RN, 2000
- Searcy, J. K. (1959). Flow-duration curves (No. 1542). US Government Printing Office.
- Sorribas, M. V.; Collischonn, W.; Paiva, R. C. D. (2021) Erros na estimativa de vazões Q95 com medições esporádicas “spot gauging”: uma análise de coletas simultâneas por meio de simulação. Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH.
- Stagnitta, TJ, Kroll, CN, Zhang, Z. (2017) A comparison of methods for low streamflow estimation from spot measurements. *Hydrological Processes*. 2018; 32: 480–492.
- Stedinger, J. R., & Thomas Jr, W. O. (1985). Low-flow frequency estimation using base-flow measurements (No. 85-95). US Geological Survey.
- Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. (Eds.). (2004) *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*.
- Zhang Z, Kroll CN (2007) A closer look at base flow correlation, *Journal of Hydrology*, 347(3-4), 371.
- Zhang, Z. (2017). The index gage method to develop a flow duration curve from short-term streamflow records. *Journal of Hydrology*, 553, 119-129.
- Zhang, Z., & Kroll, C. (2007). The baseflow correlation method with multiple gauged sites. *Journal of hydrology*, 347(3-4), 371-380.