VERIFICAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE NÍVEIS EM ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS EM RIOS TRANSFRONTEIRIÇOS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO URUGUAI (AR-BR-UR)

Vinicius Raphaelli Garcez dos Reis[1] *& Camila Dalla Porta Mattiuzi*[2]

Palavras-Chave – Monitoramento fluviométrico, Bacia do rio Uruguai, Rios transfronteiriços

INTRODUÇÃO

O monitoramento dos cursos d'água é uma atividade realizada em estações fluviométricas, por meio das quais se registra o nível dos rios ao longo do tempo em réguas linimétricas ou sensores automáticos. É comum que existam, em um determinado rio, mais de uma estação de monitoramento, principalmente em rios que fazem divisa entre estados ou países. Estações fluviométricas em um mesmo rio podem ter referências de níveis distintas, podendo ser arbitrárias ou referenciadas ao nível médio do mar, por exemplo. Assim, a comparação direta de cotas em estações diferentes no mesmo rio, sem levar em consideração a referência, pode gerar resultados inconsistentes.

Na Bacia do rio Uruguai, localizada no sul do Brasil, na fronteira com a Argentina (Rio Uruguai) e com o Uruguai (Rio Quaraí), o monitoramento fluviométrico é de grande importância, principalmente para subsidiar a tomada de decisão em eventos hidrológicos extremos. A medição dos níveis dos rios Uruguai e Quaraí é realizado por instituições dos três países, e é comum que a população e/ou os gestores de um país tenham acesso às informações das estações dos outros países, por meio da comunicação via rádio, internet, e grupos de mensagens; entretanto, o desconhecimento da localização da estação e da relação entre níveis pode gerar interpretação incorreta dessas informações.

Portanto, os objetivos deste trabalho foram: i. identificar estações fluviométricas telemétricas nos rios transfronteiriços Uruguai e Quaraí; ii. comparar as séries históricas entre pares de estações, e iii. verificar a diferença entre os níveis e estabelecer uma relação através de uma equação.

METODOLOGIA

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, localizada na fronteira entre Argentina, Brasil e Uruguai, tem a sua foz no Rio da Prata e possui uma área de 349 mil km², sendo aproximadamente 174 mil km² em território brasileiro (Mattiuzi e Matos, 2023; Marcuzzo, 2017).

Neste estudo foram selecionados 9 pares de estações fluviométricas no rio Uruguai e 2 pares de estações no rio Quaraí; no total são 18 estações fluviométricas (7 no Brasil, 9 na Argentina e 2 no Uruguai). A configuração de 11 pares a partir de 7 estações brasileiras ocorre porque 4 delas formam par com duas estações estrangeiras distintas na mesma região. As estações operam em regime automático e telemétrico, com exceção de Passo da Cruz (BR), que utiliza o monitoramento convencional, com dados de leitura das 7h e 17h.

As séries históricas das estações fluviométricas da Argentina, do Brasil e do Uruguai foram obtidas junto ao Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH) (Argentina, 2026), ao sistema

[1] Estagiário SGB/GEHITE – PA. Engenharia Hídrica – IPH/UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9090 - Agronomia, Porto Alegre/RS - CEP: 91540-000, Tel.: (51) 3308-6000. viniraphaelli@hotmail.com
[2] SGB - Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300. camila.mattiuzi@sgb.gov.br

Hidro-Telemetria da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (Brasil, 2026), e junto à Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, 2026). Foi desenvolvido um *script* em *python* para realizar a análise preliminar e comparação das séries históricas, o qual está disponibilizado em um repositório online. Utilizou-se o maior período histórico em comum entre os pares de estações, mantendo-se apenas os registros presentes em ambas simultaneamente.

As séries históricas foram analisadas para remoção de incoerências; destaca-se que os dados das estações fluviométricas brasileiras já haviam passado por análise preliminar conforme metodologia descrita em Mendes et al. (2025). Para remoção dos valores espúrios, foi selecionado manualmente o melhor método de remoção dentre três: mediana móvel (calcula a mediana dentre os valores antecedentes e posteriores), filtro recursivo (para detectar saltos muito elevados em um intervalo de tempo) ou decomposição STL (decomposição em tendência, sazonalidade e ruído para identificação de *outliers*), escolhido por comparação gráfica entre os três hidrogramas resultantes. Dados espúrios remanescentes foram tratados individualmente de forma manual.

Para comparar as séries fluviométricas dos pares de estações, realizou-se o cálculo da diferença entre os níveis a cada intervalo de tempo e o ajuste de um modelo de regressão linear simples, resultando em uma equação através da qual é possível estimar a cota da estação estrangeira para o referencial brasileiro correspondente. Para validar a análise, a equação de ajuste foi aplicada aos dados do país vizinho, a fim de estimar o nível do rio no lado brasileiro; o desempenho da regressão foi avaliado através da análise de resíduos (nível observado no Brasil menos o nível calculado pelo modelo), quantificado com métricas estatísticas de erro: média, desvio padrão, R^2 e raiz do erro quadrático médio. Foram gerados gráficos de evolução temporal, histograma de frequência e dispersão dos resíduos em função do nível observado no Brasil.

As métricas foram calculadas para a série completa, ou seja, com todos os dados disponíveis, e também para a série contendo os registros em níveis superiores ao da Cota de Alerta, para avaliação do uso da equação de ajuste nesse tipo de cenário extremo. As Cotas de Alerta são definidas como cotas, em relação à régua de monitoramento do nível do rio, em que existe a possibilidade elevada de ocorrência de inundação; esses valores são definidos pelas equipes do Serviço Geológico do Brasil junto com as prefeituras e defesas civis nos locais atendidos pela operação do Sistema de Alerta Hidrológico; as cotas podem ser visualizadas na página do Sistema de Alerta do rio Uruguai do SGB (2026). Ressalta-se que, para a estação de Passo da Cruz, esta análise não foi realizada devido à inexistência de uma Cota de Alerta definida para o local.

RESULTADOS

As relações entre as cotas dos pares de estações estão apresentadas na Tabela 1, através das equações de ajuste e dos respectivos coeficientes de determinação R^2, variação da cota, além de parâmetros estatísticos do erro do ajuste (média, máximo, mínimo, desvio padrão, R^2 e RMSE) para a série completa e para o cenário acima da Cota de Alerta. Também são apresentadas informações sobre os dados de entrada, tais como a disponibilidade de dados e o percentual de falhas.

Destaca-se que as estações telemétricas da rede SNIH (pares 2, 5, 7 e 9) possuem registros a cada 12 horas, e a estação convencional brasileira Passo da Cruz (par 11) possui leituras de níveis diárias, às 7h e às 17h. Essa menor frequência de leituras, quando comparada à das demais estações que operam em intervalos de 15 minutos, reduziu a quantidade total de dados analisados nesses casos.

Tabela 1 – Resultados da comparação de cotas entre os pares de estações analisados para a série completa e para a série de cotas acima da Cota de Alerta

Par [1]	D [2]	Período	Falha (%) [3]	Equação de Ajuste [4]	R^2	Δ Cota [5]	Série Completa				Série de cotas acima do Alerta [9]					
							Máx.[6]	Mín.[6]	σ [7]	RMSE[8]	Máx.[6]	Mín.[6]	Méd. [6]	σ [7]	R^2	RMSE[8]
1	1,38	04/16-01/26	9,66 (BR) 0,34 (UR)	N_{BR} = 1,2693*$N_{UR\text{-}SG}$ - 1,3396	0,992	0,72 ± 0,38	1,35	-3,01	0,15	0,14	0,74	-3,01	-0,31	0,22	0,879	0,38
2	2,89	01/17-10/25	1,01 (BR) 6,22 (AR)	N_{BR} = 1,0064*$N_{AR\text{-}SNIH}$ + 0.4874	0,994	-0,51 ± 0,19	2,28	-1,53	0,19	0,18	1,43	-0,43	-0,03	0,13	0,991	0,13
3	2,89	01/17-10/25	1,01 (BR) 0,05 (AR)	N_{BR} = 1.0267*$N_{AR\text{-}SG}$ + 0,4078	0,999	-0,51 ± 0,10	0,26	-1,14	0,08	0,08	0,06	-0,10	-0,01	0,03	1,000	0,03
4	0,51	01/17-01/26	9,47 (BR) 14,36 (AR)	N_{BR} = 1,0187*$N_{AR\text{-}SG}$ - 0,6207	0,994	0,55 ± 0,20	1,03	-1,40	0,19	0,19	0,08	-0,24	-0,03	0,05	0,999	0,06
5	11,03	05/16-12/25	12,86 (BR) 15,98 (AR)	N_{BR} = 0,9719*$N_{AR\text{-}SNIH}$ - 0,4246	0,998	0,55 ± 0,15	1,30	-0,94	0,13	0,13	0,60	-0,52	-0,03	0,22	0,988	0,22
6	11,03	05/16-12/25	12,86 (BR) 2,70 (AR)	N_{BR} = 0,9857*$N_{AR\text{-}SG}$ - 0,5025	0,998	0,56 ± 0,13	1,06	-0,69	0,13	0,13	0,56	-0,69	-0,01	0,25	0,984	0,25
7	0,48	07/18-12/25	29,28 (BR) 0,00 (AR)	N_{BR} = 0,9723*$N_{AR\text{-}SNIH}$ - 0,5528	0,996	0,67 ± 0,24	1,97	-1,70	0,22	0,22	0,57	-0,12	0,18	0,19	0,969	0,26
8	0,48	07/18-12/25	29,28 (BR) 10,65 (AR)	N_{BR} = 0,9913*$N_{AR\text{-}SG}$ - 0,3536	0,995	0,39 ± 0,27	0,52	-0,51	0,27	0,27	0,05	-0,38	-0,18	0,10	0,981	0,20
9	13,28	03/20-12/25	5,86 (BR) 3,65 (AR)	N_{BR} = 1,1567*$N_{AR\text{-}SNIH}$ - 0,0801	0,991	-0,32 ± 0,46	2,22	-1,67	0,26	0,26	0,15	-0,69	-0,30	0,28	0,844	0,40
10	13,28	03/20-12/25	5,86 (BR) 0,29 (AR)	N_{BR} = 1,1506*$N_{AR\text{-}SG}$ - 0,1028	0,992	-0,28 ± 0,44	1,02	-1,59	0,25	0,25	0,11	-0,55	-0,15	0,22	0,935	0,26
11	4,43	04/16-10/25	17,83 (BR) 0,12 (UR)	N_{BR} = 0,7656*$N_{UR\text{-}SG}$ - 0,5905	0,860	1,75 ± 0,83	4,42	-5,86	0,66	0,66	-	-	-	-	-	-

1. Identificação dos pares (SG = Salto Grande; SNIH = Sistema Nacional de Información Hídrica): 1: 77500000 (Quaraí, BR) – A50C65E2 (Artigas, UR-SG); 2: 77150000 (Uruguaiana, BR) – 3802 (Paso de los Libres, AR-SNIH); 3: 77150000 (Uruguaiana, BR) – A5004292 (Paso de los Libres, AR-SG); 4: 75900000 (Itaqui, BR) - A50029A6 (Alvear, AR-SG); 5: 75780000 (Passo São Borja, BR) – 3860 (Santo Tome, AR-SNIH); 6: 75780000 (Passo São Borja, BR) – A500F11C (Santo Tome, AR-SG); 7: 75550000 (Garruchos, BR) – 3857 (Garruchos, AR-SNIH); 8: 75550000 (Garruchos, BR) – A500E26A (Garruchos, AR-SG); 9: 74500000 (Alto Uruguai, BR) – 3442 (El Soberbio, AR-SNIH); 10: 74500000 (Alto Uruguai, BR) – A5011014 (El Soberbio, AR-SG); 11: 77585000 (Passo da Cruz, BR) – A5003402 (Paso de la Cruz, UR-SG).
2. D: distância entre as estações do par em km.
3. (BR): Estação em território brasileiro; (AR): Estação em território argentino; (UR): Estação em território uruguaio.
4. N_{BR}: nível previsto na estação brasileira do par; N_{AR}: nível medido na estação argentina do par; N_{UR}: nível medido na estação uruguaia do par.
5. Δ Cota: diferença média de nível (média ± desvio padrão) (em m).
6. Diferença máxima, mínima e média entre as cotas (em m).
7. σ: desvio padrão (em m).
8. RMSE em metros (m).
9. Cotas de alerta (SGB, 2026): 77500000: 750 cm; 77585000: sem informação; 77150000: 750 cm; 75900000: 730 cm; 75780000: 800 cm; 75550000: 1400 cm; 74500000: 1900 cm.

As estações dos pares analisados possuem distância entre si variando de 0,48 km a 13,28 km; o período analisado variou de 2016 a 2026, correspondendo a aproximadamente entre 6 e 10 anos.

A diferença média entre os níveis (Δ Cota) variou entre -0,51 m (pares 2 e 3) e +1,75 m (par 11), sendo que os menores e maiores desvios padrão foram observados no par 3 com 10 cm, e no par 11 com 83 cm. Esse resultado indica quais pares têm diferenças de níveis mais consistentes entre si na série histórica analisada. Os ajustes das equações de regressão linear resultaram em valores de R^2 variando entre 0,860 (par 11, no rio Quaraí) e 0,999 (par 3, no rio Uruguai). A aplicação das equações gerou raízes de erros médios quadráticos variando entre 0,08 m (par 3) e 0,66 m (par 11) para a série completa, e entre 0,03 m (par 3) e 0,40 m (par 9) para a série acima da Cota de Alerta; destaca-se que o par 11 não pôde ser analisado para eventos de cheia por estar em um trecho sem Cota de Alerta definida.

As diferenças entre os resultados podem estar associadas à estabilidade do regime de escoamento e à declividade da linha d'água nos trechos analisados, bem como influências morfológicas que controlam hidraulicamente os níveis em cotas baixas e altas, tais como corredeiras, meandros e planícies de inundação. Por fim, há incertezas dos sensores automáticos, podendo haver propagação de erros e viés no registro dos níveis.

CONCLUSÕES

A aplicação da regressão linear simples mostrou-se eficaz para correlacionar cotas transfronteiriças. O uso das equações de ajuste é recomendado para os pares 2, 3, 4, 5, 6 e 8; a aplicação para o par 7 requer cautela durante cheias, pois tende a subestimar os eventos. Para os pares 1 e 9, o ajuste se mostrou inadequado durante cheias. Não se recomenda o uso do ajuste no par 11. Os resultados mostraram que a diferença de nível entre as estações analisadas nem sempre é constante, evidenciando a necessidade de cautela quando se compara estações fluviométricas diferentes. Os possíveis motivos para essas diferenças vão desde a influência da morfologia local (controles hidráulicos e planícies de inundação); estruturas (pontes e barramentos), e a influência de tributários.

REFERÊNCIAS

ARGENTINA. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH). Disponível em: https://snih.hidricosargentina.gob.ar/. Acesso em: janeiro de 2026

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Hidro-Telemetria: dados hidrológicos em tempo real do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx. Acesso em: janeiro de 2026

COMISIÓN TÉCNICA MIXTA DE SALTO GRANDE. Red telemétrica: estaciones hidrometeorológicas. Disponível em: https://www.saltogrande.org/mapa_estacion.php. Acesso em: janeiro de 2026.

MARCUZZO, F. F. N. Bacia hidrográfica do rio Uruguai: altimetria e áreas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. Anais[...] Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18489. Acesso em: 05 nov. 2021

MATTIUZI, C.D.P.; MATOS, A.J.S. Relatório de operação do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do Rio Uruguai 2023. Porto Alegre, 2023. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24740. Acesso em: janeiro de 2026.

MENDES, D. V.; CAVEDON, T. X.; LEITE, A. P.; MARCUZZO, F. F. N.; MATTIUZI, C. D. P.; PICKBRENNER, K. Desenvolvimento de ferramenta para análise e pré-consistência de séries de nível de estações automática: aplicação na região sul do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 26., 2025, Vitória. Anais [...]. Vitória: ABRHidro, 2025. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/25767. Acesso em: janeiro de 2026.

SGB. SACE – Sistema de Alerta do rio Uruguai. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php?getbacia=buruguai . Acesso em: janeiro de 2026