

Alisson Santori

Mestre e doutorando em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas (CPTL/UFMS)
rodriguessantori@hotmail.com

José Cândido Stevaux

Pesquisador visitante da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas, junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia, bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq
josecstevaux@gmail.com

Isabel Terezinha Leli

Doutora em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista (UNESP - Rio Claro), Pesquisadora Visitante da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas, junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia
isabeltleli@gmail.com

Estatísticas descritivas de séries de vazão e cota fluviométrica: caracterização hidrológica do alto rio Paraná pós-barragem de Porto Primavera

Resumo

Este estudo apresenta uma análise estatística detalhada das séries históricas de vazão e cota fluviométrica do alto rio Paraná, obtidas na estação Porto São José (ANA), entre 1999 e 2019. O objetivo foi caracterizar a variabilidade hidrológica interanual e sazonal, destacando padrões e mudanças no regime fluvial após a implantação da Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) Porto Primavera. A vazão média geral foi de $8.240 \text{ m}^3/\text{s}$, com valores extremos variando entre $4.080 \text{ m}^3/\text{s}$ (julho/2015) e $21.539 \text{ m}^3/\text{s}$ (fevereiro/2010). As análises revelaram forte contraste entre anos úmidos (2006-2012) e secos (2001, 2014-2019), além de uma redução significativa de eventos de cheia a partir de 2012: 56% dos dias apresentaram vazões abaixo da média histórica. As análises estatísticas evidenciaram alta variabilidade temporal e mudanças significativas no comportamento hidrológico ao longo da série, com padrões que refletem tanto a influência de fatores climáticos quanto a operação regulada de reservatórios a montante. Observa-se uma tendência de redução na

frequência e magnitude das cheias, acompanhada por maior recorrência de fases hidrologicamente secas, configurando um regime fluvial mais controlado.

Palavras-chave: Estatística descritiva, regime hidrológico, rio Paraná, dados fluviométricos.

Abstract

DESCRIPTIVE STATISTICS OF STREAMFLOW AND WATER LEVEL SERIES: HYDROLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE UPPER PARANÁ RIVER AFTER THE PORTO PRIMAVERA DAM

This study presents a detailed statistical analysis of historical streamflow and water level series of the Upper Paraná River, obtained at the Porto São José gauging station (ANA) between 1999 and 2019. The objective was to characterize interannual and seasonal hydrological variability, highlighting patterns and changes in the fluvial regime following the implementation of the Porto Primavera Hydroelectric Plant. The mean discharge was 8,240 m³/s, with extreme values ranging from 4,080 m³/s (July 2015) to 21,539 m³/s (February 2010). The analyses revealed a marked contrast between wet years (2006–2012) and dry years (2001, 2014–2019), as well as a significant reduction in flood events after 2012: 56% of the days recorded flows below the historical mean. Statistical analyses indicated high temporal variability and significant changes in hydrological behavior throughout the series, reflecting both climatic influences and the regulated operation of upstream reservoirs. A clear trend of decreasing flood frequency and magnitude was observed, alongside an increased recurrence of hydrologically dry phases, characterizing a more controlled and irregular fluvial regime.

Key-words: Descriptive statistics; Hydrological regime; Paraná River; Fluviometric data

1. Introdução

Os grandes rios da América do Sul desempenham um papel central na dinâmica hidrológica e ecológica dos sistemas fluviais e de suas planícies de inundação, sustentando uma ampla gama de processos geomorfológicos, ecológicos e socioeconômicos. Entre esses sistemas, o rio Paraná destaca-se por sua extensão, sua vazão e sua relevância para os estudos sobre a estrutura e o funcionamento do sistema rio-planície (STEVAUX, 2000; STEVAUX; SOUZA, 2004). Ao longo das últimas décadas, no entanto, a intensificação de intervenções antrópicas, especialmente a construção de barragens e o uso regulado da água para fins hidroenergéticos, alterou substancialmente o regime

hidrológico natural do rio. A implantação e a operação da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera), concluída no final da década de 1990, representa um marco decisivo nesse processo de transformação.

A regulação artificial do fluxo fluvial impacta diretamente a frequência, a duração e a magnitude dos eventos de cheia e vazante, modificando os padrões hidrológicos que controlam a conectividade lateral e vertical entre o canal e os ambientes da planície (BRACKEN et al., 2013). Essas alterações têm consequências significativas para os processos sedimentares, para a morfodinâmica dos canais e para o funcionamento ecológico dos sistemas aquáticos, afetando, por exemplo, a recarga de lagoas marginais, a troca de nutrientes, a manutenção da biodiversidade e a sucessão de habitats (ROCHA; SANTOS; SOUZA FILHO, 2001; MARTINS; BRAVARD; STEVAUX, 2009; STEVAUX; MARTINS; MEURER, 2009).

A análise estatística de séries hidrológicas de longo prazo constitui uma ferramenta fundamental para compreender essas mudanças. O uso de estatísticas descritivas aplicadas a séries de vazão e cota fluviométrica permite quantificar variações temporais, identificar padrões de sazonalidade e extremos e diagnosticar mudanças estruturais no regime fluvial (CLARKE, 1994; TUCCI, 2012). Indicadores como médias, desvios padrão, coeficientes de variação e assimetria, aliados a técnicas como curvas de permanência e análise de frequência de eventos, fornecem subsídios sólidos para interpretar a dinâmica hidrológica e para estabelecer relações diretas com os processos geomorfológicos e ecológicos da planície (SILVEIRA, 1997).

No contexto do alto rio Paraná pós-barragem de Porto Primavera, a maior parte dos estudos hidrológicos anteriores concentrou-se em descrever os efeitos imediatos do fechamento desta barragem ou em análises focadas em eventos específicos de cheia (HAYAKAWA, 2007; STEVAUX; MARTINS; MEURER, 2009; MARTINS; BRAVARD; STEVAUX, 2009; GON, 2012; LELI, 2015; LELI et al., 2021). Há, contudo, uma lacuna significativa na caracterização estatística abrangente do regime hidrológico pós-barragem, abordando de maneira integrada variáveis de vazão, cota fluviométrica e permanência temporal ao longo de séries diárias extensas. Essa lacuna é particularmente relevante porque as mudanças no regime hidrológico não se manifestam apenas em grandes eventos, mas também na frequência e na duração de vazões médias e mínimas, que controlam

os níveis basais e os momentos de isolamento dos ambientes lênticos da planície (SCHUMM, 1981; POFF et al., 1997).

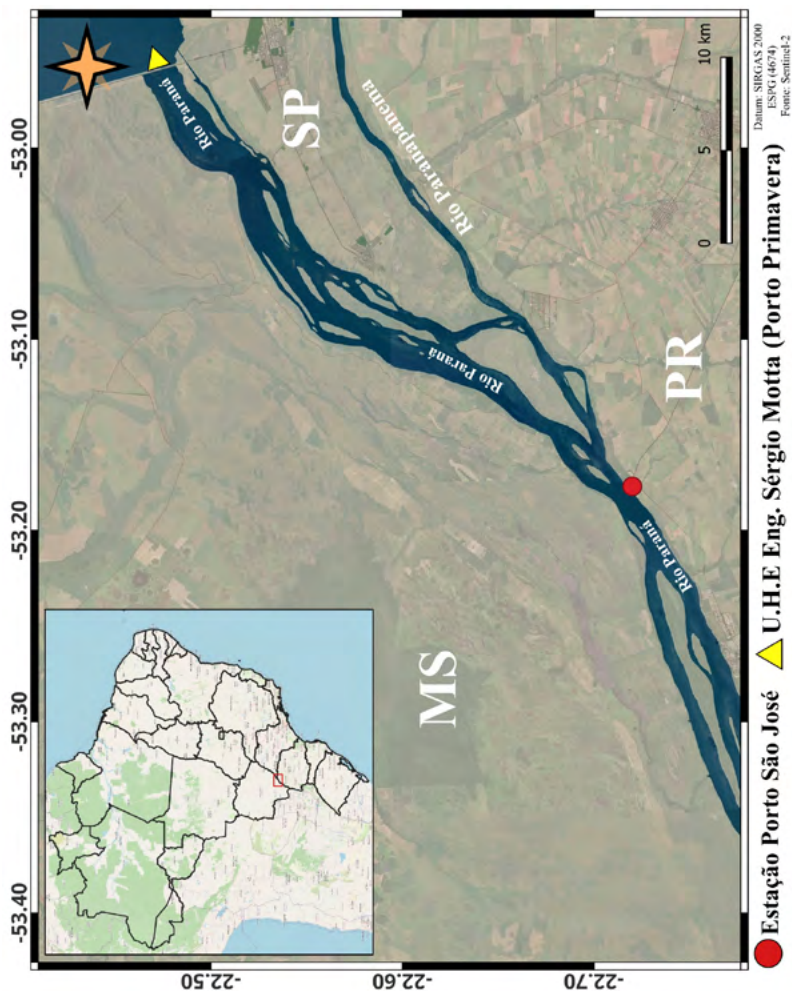
Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo caracterizar estatisticamente o regime hidrológico do alto rio Paraná no período de 1999 a 2019, a partir de dados diários de vazão e cota fluviométrica da estação Porto São José. A análise inclui parâmetros estatísticos clássicos da frequência de ocorrência de diferentes limiares hidrológicos, com ênfase na identificação de padrões e tendências associadas à regulação a montante. Ao apresentar uma síntese quantitativa desse período, busca-se contribuir para o entendimento da dinâmica fluvial recente do sistema rio-planície.

2. Caracterização da área estudada

O trecho estudado está inserido no alto curso do rio Paraná, localizado na região centro-sul do Brasil, na divisa entre os estados do Mato Grosso do Sul e do Paraná (figura 1). No setor a jusante da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (U.H.E. Porto Primavera), o rio Paraná apresenta um canal de grandes dimensões, com largura média superior a 2 km e declividade longitudinal muito baixa, o que favorece o desenvolvimento de uma extensa planície de inundação. A região está próxima à estação fluviométrica de Porto São José (PSJ), operada pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), que fornece séries históricas de vazão e nível da água fundamentais para a análise hidrológica deste trabalho. A estação está localizada na margem direita do rio, e constitui um dos principais pontos de monitoramento do regime hidrológico do alto Paraná.

Trata-se de uma área importante do ponto de vista geomorfológico, essa seção caracteriza-se por uma planície aluvial relativamente ampla, formada por um conjunto de feições como paleocanais, paleodiques, cordões fluviais e zonas de várzea úmida, resultantes da dinâmica fluvial holocênica e da atuação de processos hidrossedimentares de longa duração (STEVAUX, 1994; SOUZA FILHO; STEVAUX, 1997). O relevo apresenta baixos gradientes altimétricos transversais e declividades longitudinais reduzidas, o que favorece a persistência de áreas úmidas e a formação de ambientes lênticos (lagos, canais abandonados, depressões inundáveis).

Figura 1
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA



Fonte: Autores (2025).

A área está inserida em um contexto climático tropical úmido, com precipitação anual média entre 1.200 e 1.400 mm, concentrada principalmente entre outubro e março, período de cheias sazonais. A interação entre o regime pluviométrico, a baixa declividade e a morfologia da planície é fundamental para o entendimento do regime hidrológico neste trecho. Por estar localizada a jusante de um grande empreendimento hidrelétrico, essa região apresenta forte influência da regulação artificial do fluxo.

A barragem de Porto Primavera, administrada atualmente pela CTG Brasil (antiga CESP), começou a ser construída em 1980 e entrou em operação comercial em 1999, com a conclusão do enchimento do reservatório em 2001. Possui uma extensão de cerca de 10,2 km, caracterizando-se como uma estrutura de grande porte, com altura máxima aproximada de 17 m e nível máximo normal de operação de 257 m. O reservatório formado tem uma área inundada de aproximadamente 2.250 km². O empreendimento conta com 14 unidades geradoras, totalizando uma potência instalada de 1.540 MW.

3. Materiais e métodos

O uso de estatísticas descritivas constitui uma ferramenta fundamental para a interpretação e caracterização geral do regime hidrológico do alto rio Paraná no período posterior ao fechamento da barragem de Porto Primavera. Essa abordagem possibilita identificar tendências hidrológicas de longo prazo, contrastes entre anos úmidos e secos, bem como mudanças estruturais associadas à regulação a montante. Meurer, Martins e Souza Filho (2005), ao estudarem a dinâmica das vazões no contexto pós-barragem, utilizaram parâmetros descritivos como vazões mínima, média e máxima, vazão mediana e desvio padrão.

A base de dados utilizada neste estudo é composta por séries temporais diárias de vazão e cota fluviométrica da estação Porto São José. Os registros foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e correspondem ao período de 1º de janeiro de 1999 a 31 de dezembro de 2019, totalizando 7.670 dias de observações contínuas. Os dados refletem o comportamento hidrológico pós-fechamento do

reservatório de Porto Primavera, permitindo analisar de forma consistente as alterações do regime fluvial ao longo de duas décadas.

Os valores diários de descarga (m^3/s) e cota (m) foram organizados e tratados em ambiente de planilha eletrônica no software Excel®, com verificação de eventuais lacunas ou inconsistências. Em seguida, no mesmo programa foram calculadas as estatísticas descritivas anuais e interanuais: médias mensais, anuais e de todo o recorte de dados, além de valores mínimos e máximos, desvio padrão e curva de permanência. Esses parâmetros foram aplicados tanto às séries de vazão quanto às de cota fluviométrica, permitindo caracterizar a variabilidade temporal e identificar anos hidrológicamente extremos, bem como períodos de maior regularidade. Esta metodologia optou por definir três vazões de referência de longo período ($\bar{Q}_{\min}$, $\bar{Q}_m$ e $\bar{Q}_{\max}$), calculadas com base nas médias de 21 anos, permitindo a comparação direta entre diferentes anos hidrológicos e a classificação em anos úmidos, intermediários e secos, conforme o número de dias acima ou abaixo de cada limiar.

Inicialmente, os valores diários foram agrupados por mês e por ano, possibilitando o cálculo direto das médias mensais (média aritmética dos valores diários de cada mês) e das médias anuais (média das doze médias mensais ou diretamente de todos os valores diários do ano). A média geral do período corresponde à média de todos os registros diários da série (1999-2019), refletindo o comportamento hidrológico de longo prazo. A partir dessas médias mensais, foram também obtidas as médias-mínimas e médias-máximas anuais, que consistem, respectivamente, na menor e na maior média mensal de cada ano.

O uso do Microsoft Excel® facilita significativamente a execução desses cálculos por meio de funções simples como MÉDIA, MÍNIMO e MÁXIMO, além de permitir a aplicação de filtros, tabelas dinâmicas e fórmulas automáticas, garantindo agilidade, padronização e minimização de erros na análise estatística hidrológica (figura 2). A estrutura tabular do software possibilita organizar os dados diários em colunas associadas a datas, o que permite aplicar rapidamente filtros por mês e ano ou utilizar funções condicionais para automatizar o cálculo das médias mensais e anuais.

Figura 2
EXEMPLO DE SISTEMATIZAÇÃO E CÁLCULO DOS DADOS HIDROLÓGICOS

Q	R	S	T	U	V	W
Data	Cota Média	Vazão Média		Data	Cota Média	Vazão Média
jan/99	451	12447		jan/01	306	8684
fev/99	450	12344		fev/01	317	8943
mar/99	428	11757		mar/01	236	7101
abr/99	343	9538		abr/01	266	7759
mai/99	308	8712		mai/01	238	7129
jun/99	310	8720		jun/01	188	6051
jul/99	291	8327		jul/01	155	5377
ago/99	281	8086		ago/01	156	5398
set/99	283	8137		set/01	155	5379
out/99	301	8571		out/01	172	5716
nov/99	292	8363		nov/01	182	5923
dez/99	277	7995		dez/01	204	6389
Média	335	9416		Média	215	6654
Desvio Pad.	67,9	1723,3		Desvio Pad.	57,8	1268,1
jan/00	296	8447		jan/02	292	8396
fev/00	306	8700		fev/02	398	10997
mar/00	354	9892		mar/02	362	10104
abr/00	305	8649		abr/02	298	8501
mai/00	289	8281		mai/02	259	7596
jun/00	297	8470		jun/02	216	6637
jul/00	295	8417		jul/02	213	6564
ago/00	284	8177		ago/02	233	7004
set/00	286	8207		set/02	227	6870
out/00	279	8036		out/02	246	7299
nov/00	280	8058		nov/02	225	6830
dez/00	283	8153		dez/02	248	7338
Média	296	8457		Média	268	7845
Desvio Pad.	20,3	500,7		Desvio Pad.	59,3	1419,9

Fonte: Autores (2025).

O desvio padrão (DP) é uma medida de dispersão que expressa o grau de afastamento dos valores em relação à média aritmética. Assim como a variância, seu objetivo é indicar o quanto os dados se distanciam de um valor central (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Um DP baixo representa maior proximidade à média, indicando baixa variabilidade no conjunto. Em contraste, um DP elevado revela maior dispersão, geralmente associada à ampla diferença entre os valores mínimo e máximo observados. O desvio padrão é obtido pela raiz quadrada positiva da variância, sendo, portanto, diretamente dependente dessa medida. No Excel®, sua aplicação foi realizada por meio da função DESVPAD.A, que calcula o DP com base em uma amostra, sendo utilizada para os intervalos definidos na análise estatística deste estudo.

A fórmula do desvio padrão expressa a seguir indica o grau de variabilidade dos dados. No caso de uma amostra de dados, a forma mais comum é:

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Onde X_i = cada valor observado, $\bar{X}$ = média dos valores e n = número de valores.

Adicionalmente, foi construída a curva de permanência a partir das séries diárias completas, estabelecendo os valores de vazão correspondentes a diferentes percentis de ocorrência (5%, 25%, 50%, 75% e 95%). O cálculo foi realizado no Microsoft Excel, programa no qual os dados diários foram inicialmente organizados em ordem decrescente, atribuindo-se a cada valor uma posição na série. Em seguida, foi aplicada a fórmula da probabilidade de excedência, dada por $P = mn + 1 \times 100P$, em que P é a probabilidade de excedência (%), m é a posição do valor na série ordenada e n é o número total de observações.

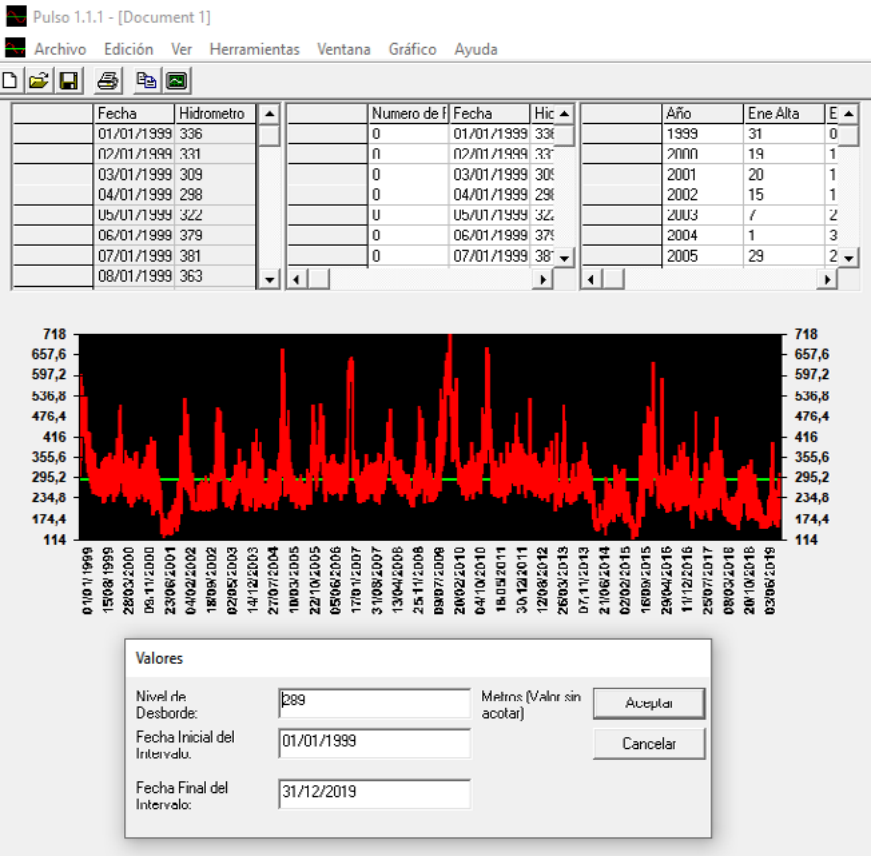
Essa operação permitiu associar cada vazão diária à sua frequência relativa de ocorrência, gerando uma distribuição cumulativa que representa, de forma contínua, a proporção do tempo em que diferentes níveis de descarga são iguais ou superados. A relevância hidrológica da curva de permanência é ampla: ela sintetiza, em um único gráfico, todo o comportamento estatístico da série temporal, permitindo identificar com precisão os limiares característicos do regime fluvial, comparar períodos distintos e subsidiar a definição de vazões de referência (TUCCI, 2012).

Foi elaborada uma interpretação dos dados hidrológicos por meio do software PULSO, desenvolvido por Neiff e Neiff (2000), amplamente utilizado em estudos hidrológicos e ecológicos de planícies de inundação (figura 3). O PULSO analisa o regime hidrológico considerando que os ecossistemas aquáticos são fortemente influenciados pelas flutuações de vazão. Ele identifica e caracteriza pulsos hidrológicos, períodos nos quais a vazão fica acima ou abaixo de um determinado limiar, geralmente a média ou um valor ecológico de referência.

O histograma de duração de pulsos gerado pelo software mostra quantas vezes e por quanto tempo o sistema ficou abaixo (ou acima) da vazão média geral, média das mínimas e média das máximas. No gráfico

gerado pelo PULSO, as colunas coloridas (geralmente vermelha e verde) representam dois tipos distintos de pulsos hidrológicos, coluna verde (pulsos negativos) e coluna vermelha (pulsos positivos).

Figura 3
INTERFACE DO SOFTWARE PULSO



Fonte: Autores (2025).

4. Resultados e discussão

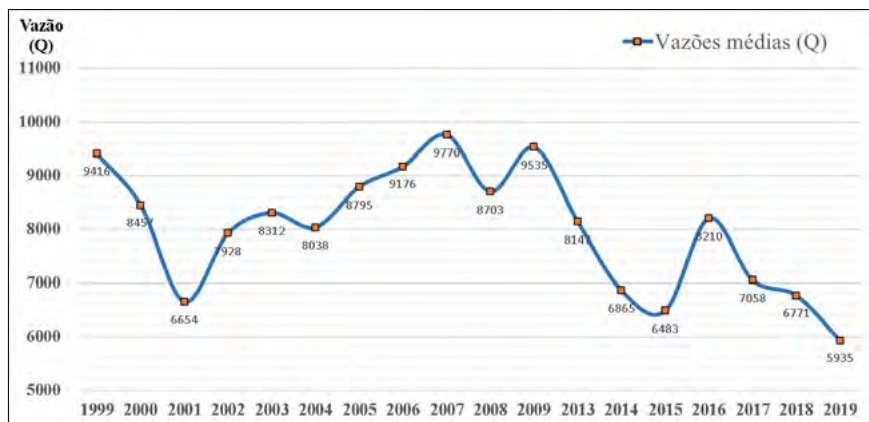
Os dados analisados neste estudo evidenciam que o ciclo hidrológico do alto rio Paraná apresenta uma alternância marcada entre os períodos de cheias e vazantes, diretamente vinculada ao regime sazonal de chuvas na bacia hidrográfica e pela atuação da barragem a montante. A partir da

análise fluviométrica, é possível identificar os períodos em que o regime do rio Paraná apresenta pulsos significativos de cheia com a tendência de aumento do nível do rio acima da média. Os meses da média de longa duração mais baixos coincidem com o período de vazante e demonstram que, nos dados, essa fase de descarga reduzida está alocada entre os meses exatamente localizados no meio do ano.

A sequência de figuras apresenta os hidrogramas com a variação temporal das vazões médias anuais (Q) e das cotas médias anuais (m) registradas na estação fluviométrica de Porto São José, entre 1999 e 2019. Os gráficos permitem visualizar de forma integrada as flutuações interanuais do regime hidrológico no trecho superior do rio Paraná ao longo de duas décadas pós-fechamento da barragem de Porto Primavera.

Na figura 4, observa-se que as vazões médias anuais apresentaram oscilações bem marcadas, com valores mais baixos concentrados nos anos iniciais da série (1999-2002), seguidos por um aumento progressivo entre 2003 e 2010. Os valores mais elevados ocorreram em 2007, 2009 e 2010, quando as médias anuais ultrapassaram 9.000 m³/s, refletindo um período claramente úmido, coerente com os resultados das curvas de permanência e do número de dias acima da $\bar{Q}_m$. A partir de 2011, observa-se um declínio contínuo das vazões médias, com destaque para 2014 em diante, quando os valores permaneceram persistentemente abaixo da média histórica, atingindo o mínimo da série em 2019 (5.935 m³/s).

Figura 4
EVOLUÇÃO DAS VAZÕES MÉDIAS ANUAIS NO ALTO RIO PARANÁ APÓS A UHE PORTO PRIMAVERA



Fonte: ANA (2025).

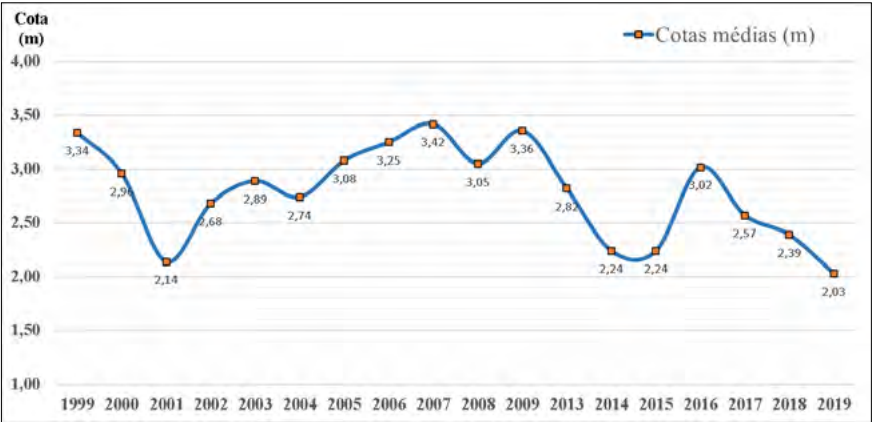
Além das oscilações gerais destacadas, o hidrograma também evidencia alguns padrões intermediários e transições hidrológicas relevantes ao longo da série. Nota-se, por exemplo, que, entre 2002 e 2005, há uma fase de recuperação gradual, marcada por um aumento progressivo das vazões médias após o mínimo de 2001 ($6.654 \text{ m}^3/\text{s}$). Essa tendência ascendente sugere a ocorrência de condições climáticas mais favoráveis e uma possível flexibilização inicial na operação do reservatório.

A figura 5 apresenta o comportamento das cotas médias anuais, que acompanha de forma bastante próxima as oscilações das vazões, demonstrando a forte correlação. Entre 2006 e 2012, observa-se a ocorrência dos maiores valores médios de cota, com picos próximos ou superiores a 3,5 m, coincidindo com os anos de maiores vazões e maior frequência de pulsos de cheia. Em contraste, os anos de 2014 a 2019 exibem níveis significativamente mais baixos, com valores inferiores a 2,5 m em diversos anos e atingindo o mínimo de 2,03 m em 2019.

A figura 6 apresenta a evolução das vazões médias-mínimas e médias-máximas anuais. Observa-se uma tendência geral de redução progressiva das vazões ao longo das duas décadas, tanto nos valores máximos quanto nos mínimos. Os dados evidenciam uma reorganização do regime hidrológico do alto rio Paraná após a regulação, com menor frequência de eventos extremos.

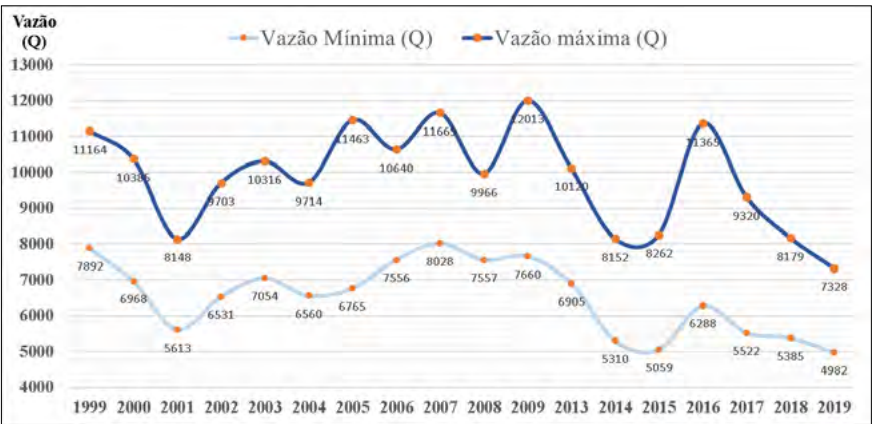
A figura 7 apresenta a evolução das cotas médias-mínimas e médias-máximas anuais. Esta apresenta o mesmo padrão de comportamento observado nas vazões.

Figura 5
EVOLUÇÃO DAS COTAS MÉDIAS ANUAIS NO ALTO RIO PARANÁ APÓS A UHE PORTO PRIMAVERA



Fonte: ANA (2025).

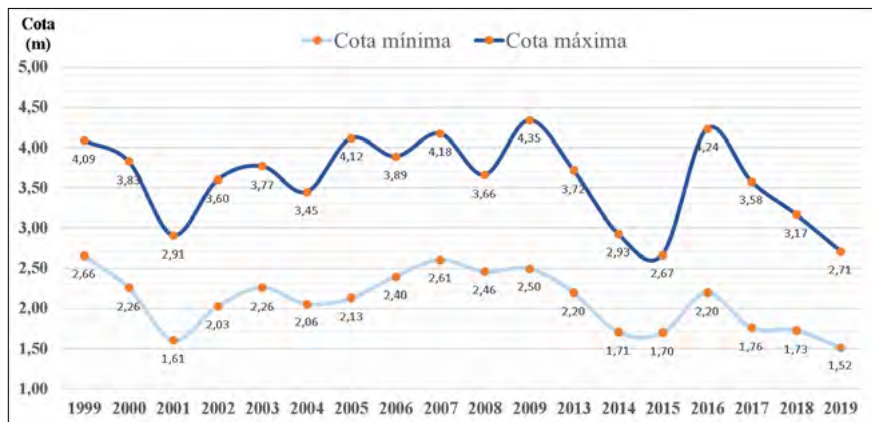
Figura 6
EVOLUÇÃO DAS VAZÕES MÉDIAS-MÍNIMAS/MÁXIMAS ANUAIS NO ALTO RIO PARANÁ APÓS A UHE PORTO PRIMAVERA



Fonte: ANA (2025).

Figura 7

EVOLUÇÃO DAS VAZÕES MÉDIAS-MÍNIMAS/MÁXIMAS ANUAIS NO ALTO RIO PARANÁ APÓS A UHE PORTO PRIMAVERA



Fonte: ANA (2025).

A média fluviométrica mensal calculada com base no período analisado (1999-2019) revela que a concentração sazonal das maiores médias nos três primeiros meses de cada ano é mais intensa. O mês de maior média é fevereiro, com $9.952 \text{ m}^3/\text{s}$, seguido de janeiro, com $9.772 \text{ m}^3/\text{s}$, e março, com $9.677 \text{ m}^3/\text{s}$. Os meses de menor média são julho ($7.173 \text{ m}^3/\text{s}$) e agosto ($7.209 \text{ m}^3/\text{s}$), precisamente no auge da fase seca (inverno) na região e na bacia hidrográfica como um todo. A distribuição dessas médias demonstra uma correlação direta entre o aumento da pluviosidade e os pulsos de inundação no alto rio Paraná (tabela 1).

A média geral do período ($\bar{Q}_m = 8.240 \text{ m}^3/\text{s}$ / Cota (m) = 2,88), calculada para o intervalo de 1999 a 2019, representa um indicador hidrológico de referência fundamental para a caracterização do regime do alto rio Paraná no contexto pós-barragem de Porto Primavera. Esse valor sintetiza o comportamento médio de duas décadas de observações contínuas, funcionando como parâmetro comparativo para avaliar os desvios interanuais, tanto em direção a condições de maior abundância hídrica quanto de estiagem. Além disso, esse parâmetro serve como base para a construção de curvas de permanência, funcionando como um marco estatístico central na interpretação dos padrões de cheia e vazante que estruturam a dinâmica rio-planície nesse trecho.

Tabela 1

VALORES MÉDIOS MENSIS DE VAZÃO E COTA FLUVIOMÉTRICA EM TODO O RECORTE (1999-2019)

Mês	Qtd. de Meses	Vazão Média (m³/s)	Cota Média (m)
Janeiro	21	9.772	3,53
Fevereiro	21	9.952	3,56
Março	21	9.677	3,50
Abril	21	8.732	3,09
Mai	21	7.558	2,61
Junho	21	7.652	2,66
Julho	21	7.173	2,44
Agosto	21	7.209	2,46
Setembro	21	7.410	2,56
Outubro	21	7.725	2,70
Novembro	21	7.669	2,64
Dezembro	21	8.349	2,94

Fonte: Autores (2025).

A média-mínima de todo o período estudado foi de 6.732 m³/s (cota média-mínima de 2,17 m) e a média-máxima atingiu 10.150 m³/s (cota média-máxima de 3,70 m), valores que representam de forma integrada os principais patamares hidrológicos do alto rio Paraná entre 1999 e 2019.

A cota média-mínima apresenta diferença de 2,34 m entre a menor cota mínima (1,61 m, registrada em 2001) e a maior (2,86 m, em 2010). A cota média-máxima registra a diferença de 1,85 m entre a menor cota das máximas (2,71 m, em 2019) e a maior (4,56 m, em 2010) no canal. As vazões mínimas e máximas anuais foram obtidas pela relação entre os dados de cada mês em cada um dos anos da série. A vazão média-mínima apresenta uma diferença de 3.503 m³/s entre a menor (4.982 m³/s) e a maior (8.485 m³/s) descarga calculada. A vazão média máxima registra a diferença de 4.942 m³/s entre a menor (7.328 m³/s) e a maior (12.710 m³/s) descarga (tabela 2).

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos pela análise do desvio padrão. Observando os dados, é perfeitamente possível associar os valores

obtidos das vazões e cotas a três períodos hidrológicos distintos identificados na série 1999-2019. Essa associação fornece uma camada analítica adicional, permitindo relacionar estatisticamente a variabilidade hidrológica com as fases úmida e seca do regime fluvial após o fechamento de Porto Primavera.

Tabela 2
VAZÕES E COTAS MÉDIAS-MÍNIMAS/MÁXIMAS DE CADA ANO DO RECORTE

Anos	Med-mín (Q - m³/s)	Med-min (Cota)	Med-máx (Q - m³/s)	Med-máx (Cota)
1999	7.892	2,66	11.164	4,09
2000	6.968	2,26	10.385	3,83
2001	5.613	1,61	8.148	2,91
2002	6.531	2,00	9.703	3,60
2003	7.054	2,26	10.316	3,77
2004	6.560	2,00	9.714	3,45
2005	6.765	2,13	11.463	4,12
2006	7.556	2,40	10.640	3,89
2007	8.028	2,61	11.669	4,18
2008	7.557	2,46	9.996	3,66
2009	7.660	2,50	12.013	4,35
2010	8.485	2,86	12.710	4,56
2011	7.837	2,61	11.672	4,27
2012	7.415	2,39	10.877	3,99
2013	6.905	2,20	10.120	3,72
2014	5.310	1,71	8.152	2,93
2015	5.059	1,70	8.262	2,94
2016	6.288	2,20	11.365	4,24
2017	5.522	1,76	9.320	3,58
2018	5.385	1,73	8.179	3,17
2019	4.982	1,52	7.328	2,71

Fonte: Autores (2025).

Tabela 3

DESVIOS PADRÃO ANUAIS DAS COTAS E VAZÕES FLUVIOMÉTRICAS (1999-2019)

Anos	Desvio Padrão (Cotas)	Desvio Padrão (Vazões)
1999	67,9	1.919,9
2000	20,3	1.001,7
2001	57,8	1.391,1
2002	59,3	1.686,4
2003	45,2	1408,8
2004	22,8	1.124,5
2005	72,6	2.656,7
2006	42,3	1.352,4
2007	115,7	3390,6
2008	52,9	1.413,6
2009	78,7	2.402,5
2010	113,5	3.343,6
2011	87,4	2.611,1
2012	28,8	1.179,9
2013	25,8	1.075,2
2014	56,7	1.341,6
2015	59	1.682,9
2016	62,6	2.217,6
2017	36,8	1.347,2
2018	52,2	1.447,8
2019	39,5	982,7

Fonte: Autores (2025).

Período inicial pós-barragem: Este intervalo é marcado por valores intermediários ou relativamente baixos, tanto para cotas quanto para vazões, com destaque para 2000, que apresenta os menores valores da série (20,3 cm e 1.001,7 m³/s). Essa baixa variabilidade reflete um período de ajuste inicial do regime regulado, no qual ainda se estabeleciam as rotinas operacionais da barragem e os pulsos de cheia eram menos expressivos.

Período úmido: Entre 2006 e 2012, observa-se um aumento expressivo do desvio padrão, com valores superiores a 3.000 m³/s em 2007, 2010 e 2012 para vazões (os maiores da série). Esses anos correspondem

a eventos de cheias mais frequentes e intensas. Essa elevação dos desvios indica maior variabilidade hidrológica, associada à combinação de eventos climáticos intensos (ex.: anos úmidos). É nesse intervalo que se concentra a maior amplitude interanual, destacando-se 2007 e 2010 como anos de comportamento hidrológico excepcional.

Período seco: A partir de 2013, há uma queda consistente nos desvios padrão, com valores majoritariamente inferiores a 1.500 m³/s nas vazões e abaixo de 60 cm nas cotas, alcançando os mínimos da série em 2019 (982,7 m³/s; 39,5 cm). Isso reflete um regime hidrológico progressivamente mais estável e seco, com menor ocorrência de picos e cheias expressivas. A baixa variabilidade indica que os pulsos de inundação se tornaram menos frequentes e mais previsíveis.

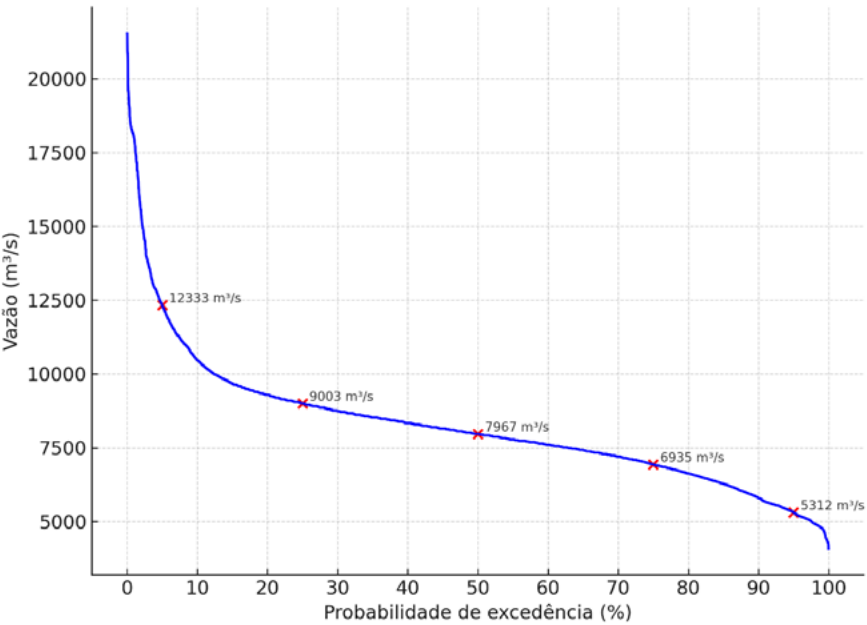
A curva mostra claramente a distribuição típica de um regime regulado, com um patamar intermediário bem definido próximo ao percentil 50 (≈ 8.000 m³/s), além de uma queda relativamente gradual em direção aos percentis mais baixos, refletindo a persistência de vazões de base elevadas ao longo do tempo. A análise dos principais percentis da curva de permanência permite identificar níveis característicos do regime hidrológico do alto rio Paraná no período de 1999 a 2019. Os pontos marcados com "X" vermelhos na curva de permanência correspondem às vazões associadas a percentis hidrológicos de referência, no caso, os percentis 5%, 25%, 50%, 75% e 95% (figura 8).

As vazões associadas ao percentil de 5% (12.333 m³/s) correspondem a eventos de cheia intensos, que ocorrem em apenas uma pequena fração do tempo, refletindo situações hidrológicas excepcionais. Já o percentil de 25% (9.003 m³/s) representa vazões elevadas, típicas de períodos úmidos recorrentes, com maior frequência de pulsos de inundação. A vazão mediana (50%), de 7.967 m³/s, expressa o comportamento hidrológico central da série, servindo como referência para distinguir fases mais úmidas ou mais secas. No percentil de 75% (6.935 m³/s) situam-se as vazões intermediárias, que correspondem a condições de transição ou de vazante moderada. Por fim, o percentil de 95% (5.312 m³/s) indica as vazões baixas que prevalecem na maior parte do tempo.

A figura 9 apresenta a distribuição anual do número de dias com vazões acima e abaixo da média geral do período ($\bar{Q}_m = 8.240$ m³/s), entre 1999 e

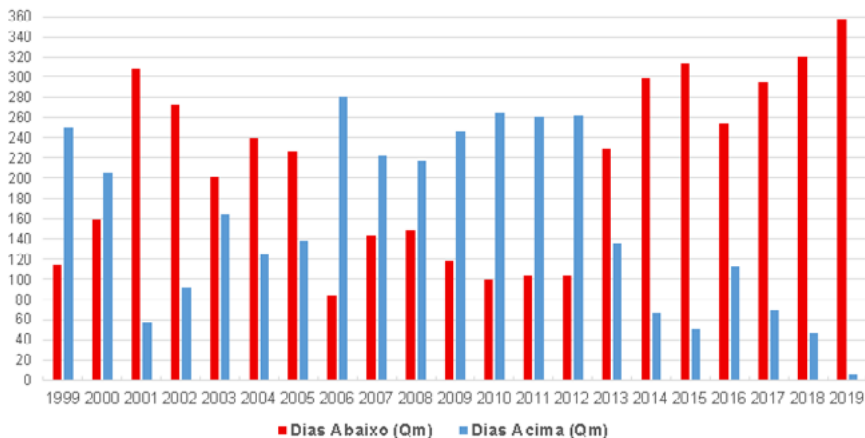
2019, evidenciando de forma clara a variabilidade interanual do regime hidrológico no alto rio Paraná. Observa-se que os anos localizados entre 2006 e 2012 se destacam pelo predomínio de dias com vazões acima da média, caracterizando um período hidrológicamente úmido, com destaque especial para 2007, 2009 e 2010, anos nos quais a maioria dos dias superou a $\bar{Q}_m$. Em contraste, a partir de 2013, verifica-se uma mudança significativa de padrão, marcada pela predominância consistente de dias com vazões abaixo da média, culminando em 2018 e 2019, anos nos quais praticamente todas as vazões diárias ficaram aquém desse limiar, refletindo um período prolongado de condições secas. Os primeiros anos da série (1999-2002) também apresentam forte predominância de vazões inferiores à média, sugerindo certa instabilidade hidrológica no início do período pós-barragem.

Figura 8
CURVA DE PERMANÊNCIA DOS DADOS DE VAZÃO PÓS-BARRAGEM (1999 A 2019)



Fonte: ANA (2025).

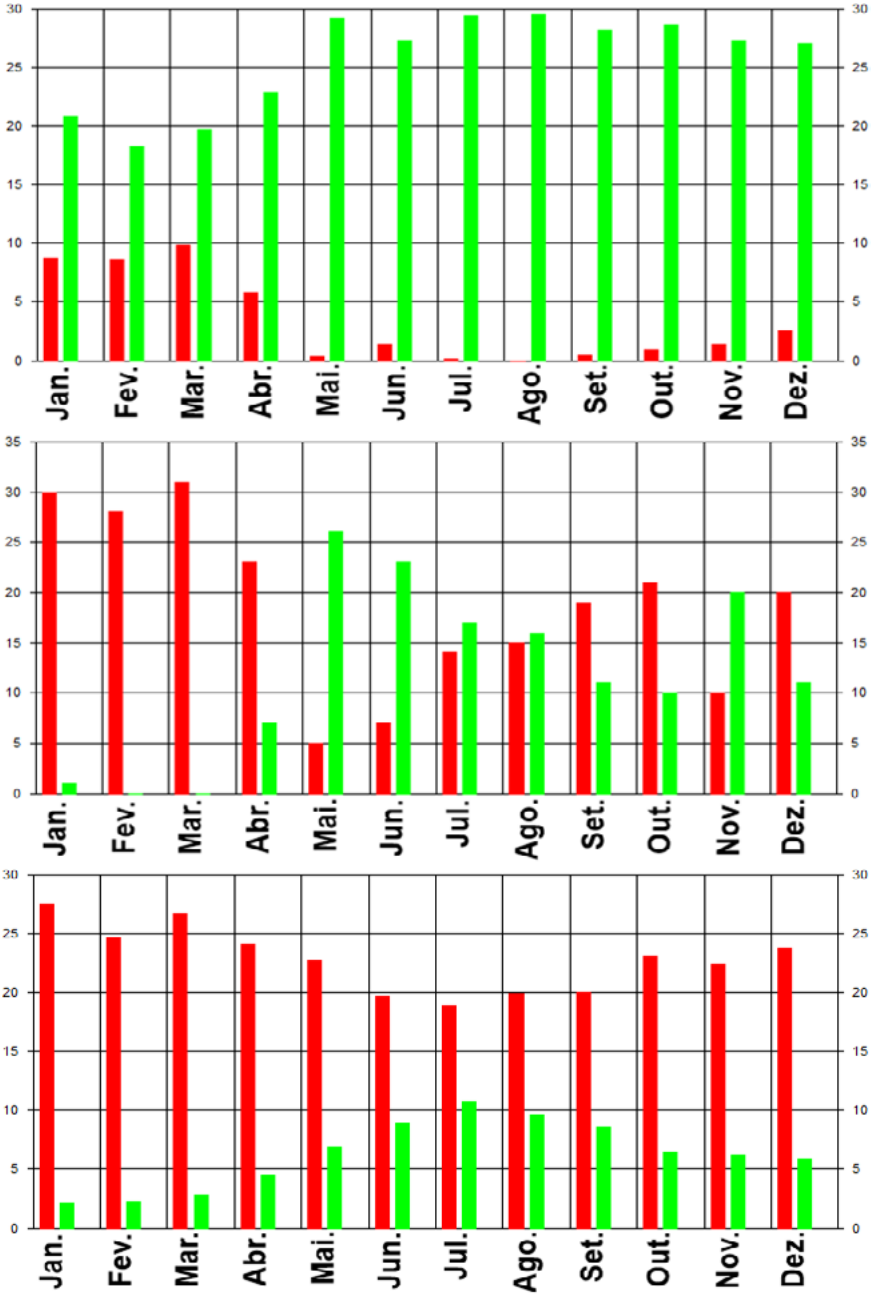
Figura 9
COMPORTAMENTO DOS ANOS DA SÉRIE EM RELAÇÃO A QM GERAL



Fonte: Autores (2025).

A figura 10 apresenta três histogramas que sintetizam a resposta do regime hidrológico do alto rio Paraná em relação a diferentes níveis de referência de vazão, permitindo uma avaliação comparativa do comportamento diário frente a limiares representativos de distintos estágios hidrológicos. O histograma superior utiliza como limiar a média das máximas anuais ($10.150 \text{ m}^3/\text{s}$), destacando os eventos de cheia de maior magnitude. O histograma central é baseado na média geral do período ($8.240 \text{ m}^3/\text{s}$), servindo como referência intermediária para identificar a frequência relativa de dias com vazões acima ou abaixo do padrão hidrológico médio. Já o histograma inferior adota a média das mínimas anuais ($6.732 \text{ m}^3/\text{s}$), representando o limiar das condições de base, ou seja, períodos de vazante mais prolongados.

Figura 10
COMPORTAMENTO DAS VAZÕES MENSAIS FRENTE A LIMIARES DE MÉDIA



Fonte: PULSO (Neiff; Neiff, 2000). Org. Autores (2025).

No histograma superior (média das máximas), verifica-se que apenas os meses de janeiro a março concentram um número expressivo de dias acima do limiar, refletindo a ocorrência dos principais eventos de cheia, geralmente associados ao auge da estação chuvosa. Nos demais meses, predominam claramente os dias abaixo desse patamar, indicando que vazões máximas ocorrem de forma concentrada no início do ano e episódica no final.

No histograma central (média geral), o padrão é mais equilibrado, com predomínio de dias acima do limiar entre dezembro e abril, e inversão da tendência a partir de maio, quando os dias abaixo passam a dominar até outubro. Isso evidencia uma alternância clara entre a estação úmida, caracterizada por níveis elevados e maior conectividade hidrológica, e a estação seca, marcada por recessão gradual e menor frequência de pulsos de cheia.

No histograma inferior (média das mínimas), observa-se que os dias acima do limiar são majoritários em praticamente todos os meses, exceto no trimestre junho-agosto, quando ocorre o ápice da seca e os períodos de vazante se prolongam. Esse comportamento mostra que, mesmo durante a estação seca, o rio frequentemente mantém vazões superiores ao nível de base, um reflexo direto da regulação fluvial exercida pelos reservatórios, que suaviza as variações extremas.

5. Considerações Finais

A análise integrada dos padrões apresentados na seção anterior mostra que a resposta diferenciada aos três limiares não decorre apenas da sazonalidade climática regional, mas também do controle hidráulico exercido pelos grandes reservatórios a montante, especialmente Porto Primavera. Esse controle contribui para regularizar as vazões mínimas, mantendo níveis de base mais estáveis mesmo em períodos secos, ao mesmo tempo em que amortece os picos de cheia, reduzindo a frequência e a intensidade dos eventos de inundação mais expressivos ao longo dos anos.

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que o regime hidrológico do alto rio Paraná, no período de 1999 a 2019, apresenta um

comportamento claramente sazonal, fortemente influenciado pela regulação a montante após o fechamento da UHE Porto Primavera.

A aplicação de estatísticas descritivas, curvas de permanência e análise de pulsos hidrológicos revelou uma reorganização estrutural do regime fluvial, caracterizada por redução progressiva na frequência e na magnitude de eventos de cheia, aumento da recorrência de fases secas e estabilização dos níveis de base.

De modo geral, os resultados confirmam a transição para um regime mais controlado e previsível, no qual a operação hidráulica dos reservatórios passou a exercer papel determinante na modulação dos pulsos de inundação e na conectividade hidrológica da planície.

Referências

BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J.; ALI, G. A.; TETZLAFF, D.; SMITH, M. W.; REANEY, S. M.; ROY, A. G. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. **Earth-Science Reviews**, v. 119, p. 17-34, 2013.

CLARKE, R. T. **Statistical modelling in hydrology**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. 412 p.

GON, P. P. **Morfologia e hidrodinâmica em rios multicanais (“anabranching”): exemplo do Alto Rio Paraná**. 2012. 69f.: il. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

HAYAKAWA, E. H. **Análise da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos suspensos do Alto rio Paraná via imagens orbitais: região de Porto São José - PR**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

LELI, I. T. **Gênese, evolução e geomorfologia das ilhas e planície de inundação do alto Rio Paraná, Brasil**. 2015. 129f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

LELI, I. T.; HAYAKAWA, E. H.; DOS SANTOS, V. C.; STEVAUX, J. C. Island and anabranching generation processes—a comparative review in the Upper Paraná River. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 1, p. 103-120, 2021.

MARTINS, D. P.; BRAVARD, J. P.; STEVAUX, J. C. Dynamics of water flow and sediments in the upper Paraná River between Porto Primavera and Itaipu Dams, Brazil. **Latin American journal of sedimentology and basin analysis**, v. 16, n. 2, p. 111-118, 2009.

MEURER, M.; MARTINS, D. P.; SOUZA FILHO, E. E. Dinâmica das vazões reguladas pelas usinas de Porto Primavera e Rosana, na região do Pontal do Paranapanema, no período 1999-2003. **Geosul**, v. 20, n. 40, p. 147-166, 2005.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NEIFF, J. J.; NEIFF, M. R. Aplicación del software PULSO a series hidrológicas del río Paraná. **Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral**, v. 31, p. 21-30, 2000.

POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPARKS, R. E.; STROMBERG, J. C. The natural flow regime. **BioScience**, v. 47, n. 11, p. 769-784, 1997.

ROCHA, P. C.; SANTOS, M. L.; SOUZA FILHO, E. E. Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a montante. ENCUESTRO DE GEÓGR. DE AMÉRICA LATINA, 8., Santiago-Chile, 2001. **Anais...** Santiago-Chile, 2001. p. 28-39.

SCHUMM, S. A. Evolution and response of the fluvial system: sedimentologic implications. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication**, v. 31, p. 19-29, 1981.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos**. 1997. 180 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinheima. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Ed.). **A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: EDUEM, 1997. p. 3-46.

STEVAUX, J. C. The upper Paraná River (Brazil): geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. **Quaternary International**, v. 21, p. 143-161, 1994.

STEVAUX, J. C. Climatic events during the late Pleistocene and Holocene in the upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**, v. 72, n. 1, p. 73-85, 2000.

STEVAUX, J. C.; SOUZA, I. A. Floodplain construction in an anastomosed river. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 55-65, 2004.

STEVAUX, J. C.; MARTINS, D. P.; MEURER, M. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. **Geomorphology**, v. 113, n. 3-4, p. 230-238, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2012. 943 p.

Recebido em 10/10/2025

Aceito em 04/11/2025

