

Variabilidade hidroquímica e sua relação com a vazão regulada em um estuário tropical: Baía do Iguape (BA, Brasil)

Variabilidad hidroquímica y su relación con el caudal regulado en un estuario tropical: Bahía de Iguape (BA, Brasil)

Variabilidad hidroquímica y su relación con el caudal regulado en un estuario tropical: Bahía de Iguape (BA, Brasil)

Recebido: 23/04/2026 | Aceito: 28/04/2026 | Publicado: 01/05/2026

Marta Maria Barros de Jesus Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6613-7964>
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil
E-mail: martabarro91@gmail.com

Carla Fernandes Macedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6939-8449>
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil
E-mail: cfmacedo@ufrb.edu.br

Mara Rojane Barros de Matos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5986-7560>
Universidade Estadual da Bahia, Brasil
E-mail: mmatos@uneb.br

Resumo

A regulação da vazão fluvial por barragens representa um importante fator antrópico com potencial de alterar padrões hidroquímicos em sistemas estuarinos. Este estudo tem como objetivo analisar a variabilidade espaço-temporal de parâmetros físico-químicos da água no estuário da Baía do Iguape e avaliar sua relação com a vazão regulada, considerando a influência da sazonalidade hidrológica. O período de estudo foi entre setembro de 2023 a outubro de 2024. Foram medidos salinidade, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais, sendo aplicadas análises estatísticas descritivas e multivariadas, incluindo Análise de Componentes Principais (PCA). Os resultados indicaram associações consistentes entre as condições de vazão e a variabilidade hidroquímica. Períodos de menor descarga apresentaram, de forma geral, maiores valores de salinidade e concentração iônica, sugerindo maior influência marinha, enquanto períodos de maior vazão estiveram associados à diluição dos sais e melhores condições de oxigenação. A PCA explicou 68,4% da variabilidade total e evidenciou padrões sazonais coerentes com o regime hidrológico da região. Os resultados devem ser interpretados considerando as limitações associadas à frequência amostral e à ausência de detalhamento hidrodinâmico. Assim, o estudo não estabelece relações causais, mas identifica padrões e associações que contribuem para a compreensão da variabilidade hidroquímica em estuários tropicais sob influência de vazão regulada.

Palavras-chave: Dinâmica estuarina; Salinidade; Qualidade da água; Vazão regulada; Hidroquímica.

Abstract

The regulation of river discharge by dams represents an important anthropogenic factor with the potential to alter hydrochemical patterns in estuarine systems. The objective of this study was to analyze the spatiotemporal variability of water quality parameters and its relationship with regulated discharge in the Iguape Bay estuary (BA, Brazil), based on monthly sampling conducted at nine sites between September 2023 and October 2024. Salinity, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, and total dissolved solids were measured, and descriptive and multivariate statistical analyses were applied, including Principal Component Analysis (PCA). The results indicated consistent associations between discharge conditions and hydrochemical variability. Periods of lower discharge generally showed higher salinity and ionic concentration values, suggesting greater marine influence, while periods of higher discharge were associated with dilution of salts and improved oxygen conditions. PCA explained 68.4% of the total variability and revealed seasonal patterns consistent with the regional hydrological regime. The results should be interpreted considering limitations related to sampling frequency and the lack of detailed hydrodynamic characterization. Thus, the study does not establish causal relationships, but identifies patterns and associations that contribute to the understanding of hydrochemical variability in tropical estuaries under regulated discharge.

Keywords: Estuarine dynamics; Salinity; Water quality; Regulated discharge; Hydrochemistry.

Resumen

La regulación del caudal fluvial por represas representa un importante factor antrópico con potencial de alterar los patrones hidroquímicos en sistemas estuarinos. El objetivo de este estudio fue analizar la variabilidad espacio-temporal de los parámetros de calidad del agua y su relación con el caudal regulado en el estuario de la Bahía de Iguape (BA, Brasil), a partir de muestreos mensuales realizados en nueve puntos entre septiembre de 2023 y octubre de 2024. Se midieron salinidad, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, aplicándose análisis estadísticos descriptivos y multivariados, incluyendo Análisis de Componentes Principales (PCA). Los resultados indicaron asociaciones consistentes entre las condiciones de caudal y la variabilidad hidroquímica. Los períodos de menor descarga presentaron, en general, mayores valores de salinidad y concentración iónica, sugiriendo mayor influencia marina, mientras que los períodos de mayor caudal estuvieron asociados a la dilución de sales y mejores condiciones de oxigenación. La PCA explicó el 68,4% de la variabilidad total y evidenció patrones estacionales coherentes con el régimen hidrológico regional. Los resultados deben interpretarse considerando las limitaciones asociadas a la frecuencia de muestreo y a la ausencia de caracterización hidrodinámica detallada. Así, el estudio no establece relaciones causales, sino que identifica patrones y asociaciones que contribuyen a la comprensión de la variabilidad hidroquímica en estuarios tropicales bajo influencia de caudal regulado.

Palabras clave: Dinámica estuarina; Salinidad; Calidad del agua; Caudal regulado; Hidroquímica.

1. Introdução

Estuários são sistemas de transição caracterizados como ecótonos, cuja variabilidade físico-química é fortemente controlada pela interação entre forçantes fluviais e marinhas. Esses ambientes apresentam fortes gradientes espaciais e temporais, especialmente em parâmetros como salinidade, oxigênio dissolvido e composição iônica, que são diretamente influenciados pela variabilidade da descarga fluvial, pela dinâmica de marés e por condições climáticas sazonais (Pritchard, 1952; Miranda et al., 2002). A descarga fluvial exerce papel importante na organização desses sistemas, influenciando a distribuição de salinidade, o tempo de residência da água e processos de mistura (Bianchi et al., 2020). Em condições naturais, essa variabilidade é regulada principalmente por padrões de precipitação e sazonalidade climática. No entanto, a presença de barragens altera esse regime, modificando a magnitude e a variabilidade das vazões, o que pode influenciar padrões físico-químicos ao longo do estuário (Medeiros et al., 2014; Yang et al., 2024).

Estudos anteriores têm apontado que a redução da descarga fluvial pode estar associada ao avanço da intrusão salina e ao aumento da concentração de íons dissolvidos, enquanto períodos de maior vazão tendem a favorecer a diluição e a renovação da água (Bianchi et al., 2020; Xia et al., 2023). Entretanto, a resposta desses sistemas pode variar em função das condições locais e da escala de análise, especialmente em estuários tropicais sujeitos à regulação hidrológica (Proste, 2007).

A Baía do Iguape, localizada no Recôncavo Baiano, representa um exemplo de sistema estuarino influenciado por controle de vazão, devido à operação da Barragem de Pedra do Cavalo, que regula o fluxo do rio Paraguaçu. Estudos na região indicam alterações nos padrões de salinidade e na dinâmica ambiental associadas à variação da descarga (Genz et al., 2008; Silva et al., 2015), embora ainda existam lacunas na compreensão da variabilidade hidroquímica em escala integrada, especialmente sob influência de vazão regulada.

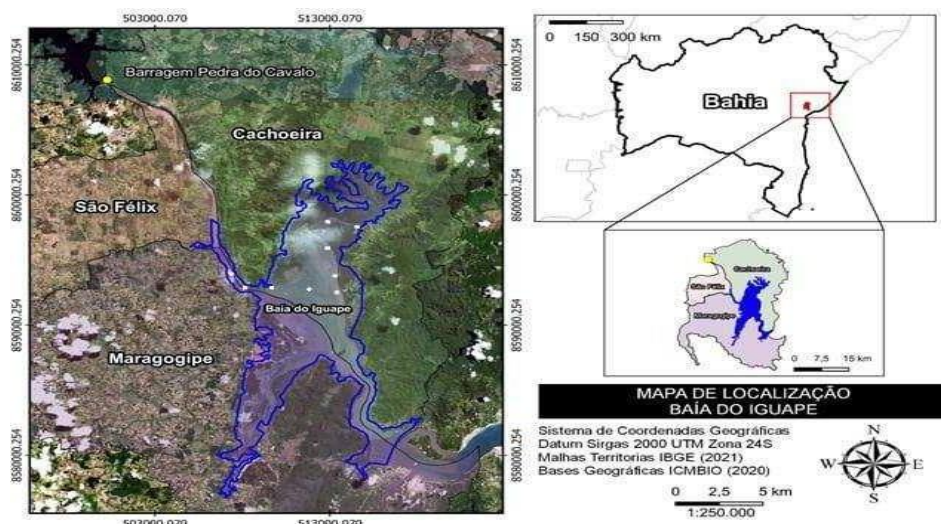
Nesse contexto, e diante dessas lacunas, este estudo teve como objetivo analisar a variabilidade espaço-temporal de parâmetros físico-químicos da água no estuário da Baía do Iguape e avaliar sua relação com a vazão regulada, considerando a influência da sazonalidade hidrológica.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa de campo, com abordagem quali-quantitativa, envolvendo a coleta de dados em ambiente estuarino e análise de parâmetros físico-químicos da água. O estudo utilizou estatística descritiva, incluindo média, valores mínimos e máximos, variância e desvio padrão, bem como análise estatística para avaliação das relações entre variáveis (Pereira et al., 2018; Shitsuka et al., 2014; Costa Neto & Bekman, 2009; Risemberg et al., 2026).

O estudo foi conduzido no estuário da Baía do Iguape, localizado na foz do rio Paraguaçu, no Recôncavo Baiano (12°50'S; 38°45'W), inserido na Baía de Todos os Santos. A área situa-se aproximadamente 30 km a jusante da Barragem Pedra do Cavalo, cuja operação regula a vazão do rio Paraguaçu, principal fonte de água doce do sistema. O clima regional é tropical úmido, com estação chuvosa no inverno e período de estiagem no verão. A localização da área de estudo, bem como a distribuição espacial dos pontos amostrais, está apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Localização do estuário da Baía do Iguape com os municípios e a Barragem Pedra do Cavalo.



Fonte: Autoria própria (2024).

A Figura 1 destaca o estuário da Baía do Iguape e a disposição dos nove pontos de amostragem ao longo do eixo longitudinal. Observa-se a distribuição dos pontos ao longo do gradiente estuarino, desde regiões com maior influência fluvial até áreas sob maior influência marinha, com espaçamento aproximado de 200 metros entre os pontos.

As campanhas de amostragem foram realizadas mensalmente, entre setembro de 2023 e outubro de 2024, em nove pontos distribuídos ao longo do eixo longitudinal do estuário, com espaçamento aproximado de 200 metros entre os pontos, abrangendo áreas sob diferentes níveis de influência fluvial e marinha. Esse arranjo amostral buscou representar o gradiente espacial do sistema, considerando a transição entre zonas mais continentais e regiões com maior influência oceânica.

As coletas foram realizadas na camada subsuperficial (aproximadamente 0,3 m de profundidade), utilizando sonda multiparamétrica previamente calibrada, conforme procedimentos recomendados para monitoramento de qualidade da água em ambientes estuarinos (Hatje & Andrade, 2009). Foram medidos com uma sonda multiparâmetros, *in situ*, os seguintes parâmetros físico-químicos: salinidade, oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) e sólidos dissolvidos totais (TDS).

As amostragens foram realizadas em condições intermediárias de maré, com o objetivo de reduzir a influência de extremos hidrodinâmicos associados aos períodos de enchente e vazante. No entanto, não foi realizado controle detalhado da fase da maré ou do tempo decorrido em relação aos picos de maré no momento das coletas, o que deve ser considerado na interpretação dos resultados, dado a importância da dinâmica de marés na variabilidade de sistemas estuarinos. Os dados de vazão mensal liberada pela Barragem de Pedra do Cavalo foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), sendo utilizados como indicador da variabilidade hidrológica ao longo do período de estudo.

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise estatística descritiva, incluindo média, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação, com o objetivo de caracterizar a variabilidade dos parâmetros analisados. A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro–Wilk e as relações entre variáveis foram analisadas utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$), conforme procedimentos clássicos de análise estatística (Costa Neto & Bekman, 2009; Shitsuka et al., 2014). Para a identificação de padrões multivariados foi aplicada a Análise de Componentes Principais (Principal Component Analysis – PCA), utilizando dados padronizados (transformação z-score), de forma a reduzir efeitos de escala entre variáveis e facilitar a interpretação dos principais gradientes de variabilidade do sistema (Brito et al., 2022).

Considerando a frequência mensal de amostragem e a ausência de controle detalhado das condições hidrodinâmicas no momento das coletas, os resultados obtidos devem ser interpretados como representativos de padrões gerais de variabilidade, não sendo suficientes para inferências detalhadas sobre processos hidrodinâmicos de curta escala.

3. Resultados e Discussão

Os parâmetros físico-químicos da água no estuário da Baía do Iguape apresentaram variações expressivas ao longo do período de estudo, refletindo a influência combinada da sazonalidade climática e da regulação hidrológica exercida pela Barragem Pedra do Cavalo. As estatísticas descritivas das variáveis analisadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Médias, valores mínimos e máximos dos dados coletados em 9 pontos no período de 12 meses.

Variáveis	Médias	Mínimo	Máximo	Resolução Conama
pH	7,7518	6,19	8,49	6,5 até 8,5
OD	5,4243	3,9	8,8	5
TDS	13,537	3,3	29,5	
CE	28,4234	9,6	56,6	
Salinidade	17,9888	3,22	32,5	5 até 30

Fonte: Autoria própria (2025).

O pH apresentou baixa variabilidade ao longo do período analisado, com valores entre 6,19 e 8,49, mantendo-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salobras. Esse comportamento é comumente observado em sistemas estuarinos, devido à capacidade tampão resultante da mistura entre água doce e água marinha (Brito et al., 2022).

O oxigênio dissolvido apresentou maior amplitude de variação, com valores entre 3,9 e 8,8 mg L⁻¹, incluindo registros abaixo de 5 mg L⁻¹ em determinados momentos. Esses valores indicam a ocorrência de condições menos favoráveis à oxigenação em parte do período analisado, o que pode estar associado a variações na renovação da água e ao tempo de residência no sistema, conforme descrito para ambientes estuarinos tropicais (Gopal et al., 2023).

Os parâmetros relacionados à salinidade, como condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e salinidade, apresentaram maior variabilidade, com valores máximos elevados ao longo do período. Esse padrão é consistente com o observado em estuários sob influência de variações na descarga fluvial, nos quais mudanças na proporção entre água doce e marinha resultam em alterações significativas nas concentrações iônicas (Yang et al., 2024).

De forma geral, os resultados apresentados na Tabela 1 evidenciam um sistema com baixa variabilidade em pH e maior amplitude de variação nos parâmetros associados à salinidade e ao oxigênio dissolvido, refletindo padrões frequentemente reportados para estuários tropicais sujeitos à variabilidade hidrológica (Bianchi et al., 2020). A análise detalhada desses padrões ao longo dos períodos secos e chuvosos é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios temporais dos parâmetros físico-químicos no estuário da Baía de Iguape ao longo de um período de 12 meses.

Meses de coleta	Período	Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Salinidade (mg.L^{-1})	TDS (mg.L^{-1})	OD (mg.L^{-1})	pH
Setembro/23	Estiagem	36,55a	20,36abc	23,41a	5,89ab	7,71ab
Outubro/23	Estiagem	38,15a	21,01ab	22,71ab	4,80bc	7,75ab
Novembro/23	Estiagem	29,25abc	16,52abcde	18,95abc	3,88c	7,90a
Dezembro/23	Estiagem	29,29abc	18,40abcd	18,94abc	5,55bc	7,95a
Janeiro/24	Chuvoso	22,95c	11,13de	13,40c	5,47bc	7,75ab
Março/24	Estiagem	25,23bc	12,61cde	15,38bc	5,56bc	7,69ab
Mai/24	Chuvoso	21,65c	10,37e	11,49b	5,38bc	7,70ab
Junho/24	Chuvoso	28,68abc	14,66abcde	16,87abc	4,55bc	7,84a
Julho/24	Chuvoso	28,91abc	9,23e	11,12c	4,76bc	7,84a
Agosto/24	Chuvoso	28,66abc	13,61bcde	16,92abc	5,97ab	7,91a
Setembro/24	Estiagem	34,96ab	19,47abc	23,31ab	7,46a	7,67ab
Outubro/24	Estiagem	39,57a	21,81a	23,46a	5,58bc	7,39b

Fonte: Autoria própria (2025).

A Tabela 2 apresenta a variação temporal dos parâmetros físico-químicos no estuário da Baía do Iguape, evidenciando diferenças entre períodos secos e chuvosos ao longo do ciclo anual. Durante os meses classificados como períodos secos (setembro a dezembro de 2023 e março, setembro e outubro de 2024), foram observados valores mais elevados de salinidade, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais. Destacam-se os meses de setembro e outubro de 2024, que apresentaram os maiores valores registrados para essas variáveis. Esse padrão é consistente com o observado em estuários sob influência de variações na descarga fluvial, nos quais a redução do aporte de água doce está associada ao aumento da influência marinha (Silva et al, 2015).

Meses de transição, como dezembro de 2023 e janeiro de 2024, apresentaram valores intermediários, refletindo a mudança gradual entre os regimes hidrológicos. Esse comportamento indica uma resposta contínua do sistema às variações de descarga e precipitação, sem mudanças abruptas, o que também tem sido reportado para estuários tropicais (Rakib et al., 2021). Durante o período chuvoso (maio a agosto de 2024), observou-se redução nos valores de salinidade e nos parâmetros associados, com menores registros em maio e julho. Esse comportamento é compatível com o aumento da contribuição de água doce no sistema, o que tende a favorecer a diluição dos sais e a redução da influência marinha ao longo do estuário (Xia et al., 2023).

O oxigênio dissolvido também apresentou variação sazonal, com valores mais baixos registrados no final do período seco, especialmente em novembro de 2023, quando foi observado o menor valor. Esse padrão pode estar relacionado a condições de menor renovação da água, favorecendo processos de consumo de oxigênio, conforme descrito para sistemas estuarinos tropicais (Gopal et al., 2023). Em contraste, valores mais elevados foram observados em períodos associados a maior disponibilidade hídrica.

De forma geral, a Tabela 2 evidencia que a sazonalidade modula os valores médios dos parâmetros, definindo períodos de maior influência marinha e continental ao longo do estuário. Esse comportamento é consistente com estudos realizados em estuários sob influência de variações na descarga fluvial (Bianchi et al., 2020;), nos quais a redução do aporte de água doce está associada ao aumento da influência marinha. No entanto, no estuário da Baía do Iguape observa-se que essa resposta ocorre de forma mais gradual, especialmente nos períodos de transição, indicando que o sistema não responde de forma imediata às variações de vazão. A variabilidade dos parâmetros físico-químicos ao longo do período de estudo é apresentada na Tabela 3, por meio do coeficiente de variação (CV), variância e desvio padrão.

Tabela 3 – Coeficiente de variação (CV), variância e desvio padrão (DP) de dados coletados em 9 pontos no período de 12 meses.

Variáveis	CV	Variância	DP
pH	3,6267	0,079	0,2811
DO	23,3955	1,6104	1,269
TDS	38,3346	26,9295	5,1894
CE	34,7811	97,7325	9,886
Salinidade	40,6831	53,5589	7,3184

Fonte: Autoria própria (2025).

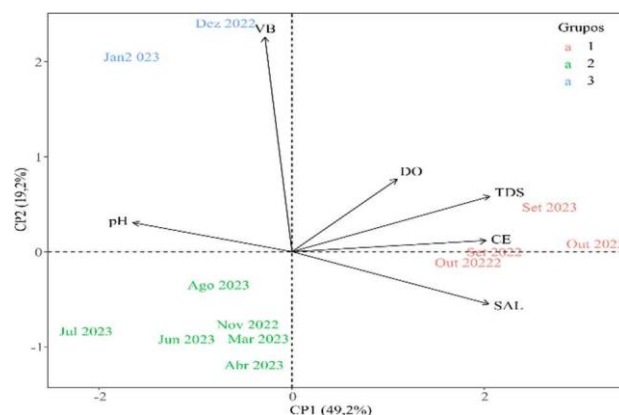
O pH apresentou a menor variabilidade entre os parâmetros analisados (CV = 3,63%), indicando maior estabilidade ao longo do período. Esse comportamento é característico de sistemas estuarinos, nos quais a interação entre água doce e água marinha tende a conferir maior capacidade tampão ao sistema (Bianchi et al., 2020).

O oxigênio dissolvido apresentou variabilidade intermediária (CV = 23,40%), refletindo variações nas condições ambientais ao longo do período analisado. Esse padrão é frequentemente observado em estuários tropicais, onde a disponibilidade de oxigênio pode variar em função de fatores como renovação da água e processos biogeoquímicos (Gopal et al., 2023).

Os parâmetros associados à salinidade, como sólidos dissolvidos totais e condutividade elétrica, apresentaram os maiores coeficientes de variação (acima de 30%), indicando maior heterogeneidade ao longo do período de estudo. Esse comportamento é consistente com a literatura, que aponta elevada variabilidade desses parâmetros em ambientes estuarinos sob influência de variações na descarga fluvial (Bianchi et al., 2020; Xia et al., 2023).

De forma geral, os resultados da Tabela 3 evidenciam diferenças na magnitude de variabilidade entre os parâmetros analisados, com maior estabilidade para pH e maior dispersão para variáveis relacionadas à salinidade, refletindo a dinâmica típica de sistemas estuarinos sob influência de variações hidrológicas. A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para identificar padrões multivariados e avaliar a organização dos parâmetros físico-químicos no sistema estuarino.

Figura 2 - Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros físico-químicos da água no estuário da Baía do Iguape (setembro/2023 a outubro/2024).



Fonte: Autoria própria (2025).

O primeiro componente principal (PC1) apresentou maior associação com as variáveis relacionadas à salinidade, como condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais, representando um gradiente associado à variação na proporção entre água doce e água marinha ao longo do sistema. Esse padrão é consistente com o observado em estudos de estuários tropicais (Bianchi et al., 2020; Xia et al., 2023).

Esse comportamento indica que, embora o gradiente de salinidade seja um dos principais eixos de variabilidade em estuários tropicais, a forma como esse gradiente se manifesta pode variar entre sistemas. No presente estudo, a organização observada na PCA sugere uma resposta mais integrada ao longo do tempo, possivelmente influenciada pela frequência mensal de amostragem e pela regulação da vazão.

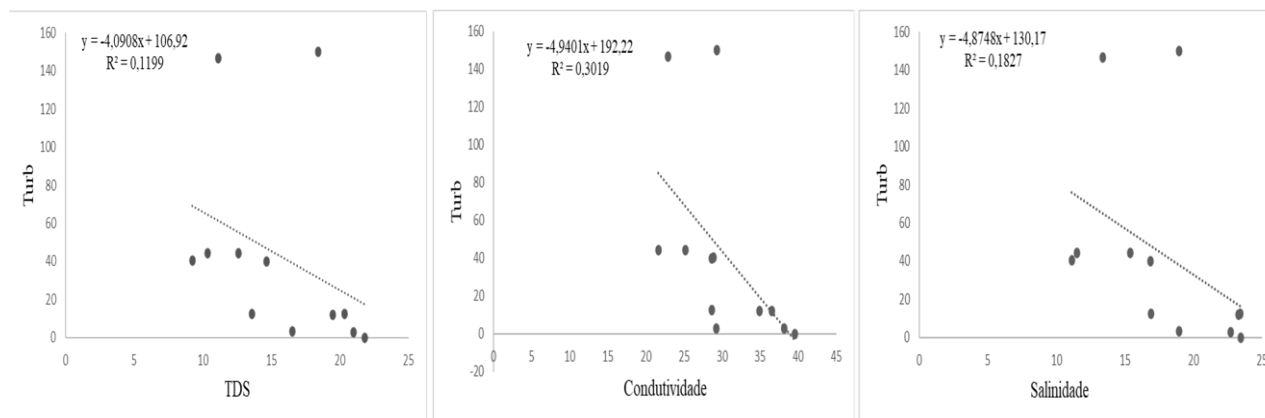
O segundo componente principal (PC2) apresentou maior associação com o oxigênio dissolvido e o pH, indicando um gradiente relacionado a variações nas condições ambientais da coluna d'água e em processos biogeoquímicos. Esse comportamento tem sido descrito na literatura como resultado da atuação de fatores como mistura vertical, atividade biológica e decomposição de matéria orgânica (Gopal et al., 2023; Brito et al., 2022).

A distribuição das amostras no espaço da PCA evidenciou uma separação entre períodos secos e chuvosos ao longo do eixo do PC1, com amostras do período seco associadas a maiores valores de salinidade e condutividade, enquanto amostras do período chuvoso apresentaram maior proximidade com condições de menor salinidade. Meses de transição apresentaram posições intermediárias, indicando uma resposta gradual do sistema às variações sazonais.

De modo geral, a PCA evidenciou padrões consistentes de variabilidade associados à sazonalidade hidrológica, indicando que as variações observadas nos parâmetros físico-químicos acompanham mudanças nas condições de aporte de água doce ao sistema. Esses resultados estão em concordância com estudos que apontam importância da variabilidade hidrológica na organização de gradientes ambientais em estuários tropicais (Rakib et al., 2021).

A relação entre a vazão liberada pela Barragem Pedra do Cavalo e os parâmetros físico-químicos da água está apresentada na Figura 3, evidenciando a associação entre a variabilidade da vazão e a dinâmica dos parâmetros físico-químicos no estuário.

Figura 3 - Correlação da condutividade, salinidade, sólidos dissolvidos totais e a vazão das turbinas da barragem Pedra do Cavalo.



Fonte: Autoria própria (2025).

Observou-se correlação negativa entre a vazão e os parâmetros relacionados à salinidade, incluindo condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais. Esse padrão indica que períodos de maior descarga estão associados à redução das concentrações iônicas, enquanto períodos de menor vazão coincidem com valores mais elevados dessas variáveis. Esse comportamento é consistente com estudos realizados em estuários sob influência de variações na descarga fluvial, nos quais a contribuição de água doce está relacionada à diluição dos sais e à redução da influência marinha (Bianchi et al., 2020; Xia et al., 2023).

A salinidade apresentou associação mais evidente com a vazão, destacando-se como um dos principais parâmetros na resposta do sistema à variabilidade hidrológica. Esse resultado reforça observações descritas na literatura, que indicam a sensibilidade da salinidade às mudanças na descarga fluvial em sistemas estuarinos (Silva et al., 2015; Xia et al., 2023).

O oxigênio dissolvido apresentou correlação positiva com a vazão, com valores mais elevados associados a períodos de maior descarga. Esse padrão pode estar relacionado a condições de maior renovação da água e menor tempo de residência, fatores que influenciam na disponibilidade de oxigênio na coluna d'água (Silva et al., 2015).

Diante do exposto, os resultados da análise de correlação indicam que a variabilidade da vazão está associada às mudanças observadas nos parâmetros físico-químicos, evidenciando a relação entre condições hidrológicas e padrões ambientais no estuário. No entanto, essas associações devem ser interpretadas com cautela, considerando as limitações da escala temporal dos dados e a ausência de controle detalhado das condições hidrodinâmicas no momento das coletas.

4. Conclusão

A variabilidade dos parâmetros salinidade, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e oxigênio dissolvido no estuário da Baía do Iguape está associada à combinação entre a sazonalidade climática e a vazão regulada do rio Paraguaçu, refletindo mudanças na proporção entre águas doce e marinha no sistema.

Padrões com menor disponibilidade hídrica associados a maiores valores de salinidade e concentração iônica e períodos com maior aporte de água doce, diluição dos sais e melhores condições de oxigenação evidenciam separação sazonal associada à variabilidade hidrológica.

Considerando as limitações associadas à frequência mensal de amostragem e à ausência de controle detalhado das condições de maré no momento das coletas, o estudo contribui para a caracterização da variabilidade hidroquímica em um

estuário tropical sob influência de vazão regulada, destacando-se padrões ambientais que podem subsidiar discussões sobre gestão de recursos hídricos e a necessidade de considerar a dinâmica estuarina em sistemas influenciados por barragens.

Agradecimentos

Este estudo foi fruto de intenso trabalho e dedicação, não sendo possível sua concretização sem o apoio de pessoas e instituições. Nesse sentido, agradeço à Colônia de Pescadores Z-52 pelo suporte e colaboração durante as atividades de campo e à N. B. pelo apoio e dedicação ao longo das coletas.

Referências

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2025). *Série histórica de vazão da Barragem Pedra do Cavalo, rio Paraguaçu, Bahia*. ANA.
- Aguiar, A. O., & Cançado, C. C. (2021). Governança hídrica e conflitos na reserva extrativista marinha Baía de Iguape. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 14(3).
- Bianchi, T. S., Allison, M. A., & Cai, W.-J. (2020). The impact of dam operations on river–estuary–shelf processes in the Mekong Delta: A review. *Earth-Science Reviews*, 210, 103319. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103319>
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2005). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.
- Brito, T. S., et al. (2022). Assessment of seasonal and spatial variations in surface water quality of a tropical estuary using multivariate statistical techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 8450–8466. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16393-0>
- Chen, Z., Xu, H., & Wang, Y. (2021). Ecological degradation of the Yangtze and Nile delta estuaries in response to dam construction. *Water*, 13, 1145. <https://doi.org/10.3390/w13091145>
- Corrêa, L. J. H. (2016). Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Mearim (MA). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(3), 210–225.
- Costa Neto, P. L. O., & Bekman, O. R. (2009). *Análise estatística da decisão* (2ª ed.). Editora Blucher.
- Darby, S. E., et al. (2023). Impacts of riverine sand mining on freshwater and estuarine systems: A review and future directions. *Earth-Science Reviews*.
- Ezcurra, E., Barrios, E., Ezcurra, P., Ezcurra, A., Vanderplank, S., Vidal, O., & Aburto-Oropeza, O. (2019). A natural experiment reveals the impact of hydroelectric dams on the estuaries of tropical rivers. *Science Advances*, 5(3), eaau9875. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau9875>
- Fernandes, C. M. (2018). Dinâmica de sólidos dissolvidos em estuários tropicais: estudo no Rio Cocó (CE). *Revista Brasileira de Geoquímica*, 36(1), 45–58.
- Figueroa, S., & Son, M. (2024). Estuarine dams and spillways: Global analysis and synthesis. *Marine Geology*. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2024.107388>
- Figueroa, S., Lee, G., Chang, J., & Jung, N. (2022). Impact of estuarine dams on sediment flux decomposition: An idealized numerical modeling study. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2021JC017829>
- Genz, F., Lessa, G. C., & Cirano, M. (2008). Vazão mínima para estuários: Um estudo de caso no rio Paraguaçu/BA. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 13(3), 73–82.
- Gopal, V., et al. (2023). Seasonal variations in water quality and its impacts on benthic fauna in a tropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 191, 114925.
- Hatje, V., & Andrade, J. B. (2009). *Baía de Todos os Santos: Aspectos oceanográficos*. EDUFBA.
- Maia, L. P., Santos, D. M., Almeida, T. S., & Costa, R. N. (2019). Variação sazonal do oxigênio dissolvido no estuário do Rio Cocó (CE). *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, 24(3), 112–120.
- Medeiros, P. R. P., et al. (2014). Effects of damming on sediment and nutrient fluxes in tropical estuaries. *Journal of Hydrology*.
- Miranda, L. B., Castro, B. M., & Kjerfve, B. (2002). *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo: EDUSP.
- Palinkas, C. M., Testa, J. M., Cornwell, J. C., Li, M., & Sanford, L. P. (2019). Influences of a river dam on delivery and fate of sediments and nutrients to an estuary. *Estuaries and Coasts*, 42, 2072–2095. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00634-x>
- Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Editora da UFSM.
- Pinto, L. H. S., et al. (2022). Spatial-temporal analysis of water quality in a tropical estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 55, 102546.
- Pritchard, D. W. (1952). Estuarine hydrography. *Advances in Geophysics*, 1, 243–280.
- Prost, C. Efeitos da barragem Pedra do Cavalo sobre a pesca artesanal na baía do Iguape. Encontro Brasileiro de Ciências Sociais sobre Barragens, 2, 2007. https://www.researchgate.net/publication/317318661_Efeitos_da_barragem_da_Pedra_do_Cavalo_sobre_a_pesca_artesanal_na_baia_do_Iguape.

- Rakib, M. R. J., et al. (2021). Salinity intrusion in the Bengal Delta: Challenges and solutions. *Ocean & Coastal Management*, 202, 105493.
- Reis, S. A., & Bellini, L. M. (2016). Impactos de represas em sistemas hidrográficos. *Ambiente e Educação*, 21(1), 155–176.
- Risemberg, R. I. C., et al. (2026). A importância da metodologia científica no desenvolvimento de artigos científicos. *E-Acadêmica*, 7(1), e0171675. <https://eacademica.org/eacademica/article/view/675>
- Shitsuka, R., et al. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia* (2ª ed.). Editora Érica.
- Silva, T. R., Couto, G. A., Campos, V. P., & Medeiros, Y. D. P. (2015). Influência do regime de vazão da usina hidrelétrica de Pedra do Cavalo no comportamento espacial e temporal da salinidade no trecho fluvioestuarino do baixo curso do rio Paraguaçu à Baía do Iguape. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(2), 310–319.
- Xia, Y., et al. (2023). Response of salinity intrusion to river discharge and wind forcing in a mesotidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Yang, F., et al. (2024). Impacts of artificial regulation on nutrient transport in large river systems. *Journal of Oceanology and Limnology*.
- Yi, Y., Gao, Y., Wu, X., Jia, W., & Liu, Q. (2023). Modeling the effect of artificial flow and sediment flux on estuarine ecosystems. *International Journal of Sediment Research*.