

AVALIAÇÃO NA FOZ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS COM BARRAGENS: O RISCO DA OCUPAÇÃO DE REGIÕES COSTEIRAS EM FUNÇÃO DOS EFEITOS ANTRÓPICOS.

Msc. Kelvin Sojo Villalba ¹

Dr. Antonio Puentes Torres ²

Dr. PhD Mário Jorge de Souza Gonçalves ³

RESUMO

Este estudo aborda o impacto da construção de barragens em bacias hidrográficas nas áreas costeiras e estuarinas, destacando os efeitos antrópicos associados a essas estruturas. A pesquisa utiliza dados de estações fluviométricas disponíveis no portal HidroWeb da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico do Brasil para analisar as mudanças nas vazões de rios em bacias hidrográficas afetadas pela construção de barragens. A metodologia empregada é a Hidrologia Avançada Experimental (HAE), que se baseia na análise de séries temporais de dados hidrológicos. Os resultados revelam que a construção de barragens tem causado mudanças significativas nas vazões máxima e mínima das bacias hidrográficas estudadas. Essas alterações afetam a lâmina d'água, levando a processos de erosão e assoreamento. Além disso, as barragens podem aumentar o risco de desastres naturais, como enchentes e inundações, quando mal operadas. O estudo destaca a importância de considerar os impactos das barragens nas áreas costeiras, que são ecossistemas sensíveis e abrigam diversas atividades econômicas. As barragens afetam a conectividade hidrológica entre rios e o mar, alteram a dinâmica sedimentar e influenciam os regimes de cheia. Portanto, é fundamental avaliar os impactos naturais e sociais antes de iniciar a construção de uma barragem. A análise das séries hidrométricas das estações do Rio Vaza-Barris, Rio Jequitinhonha e Rio Mucuri revela alterações significativas no regime de vazões após a construção das barragens de Gasparino, Itapebi e Santa Clara, respectivamente.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, Conectividade hidrológica, Barragem, Hidrologia avançada experimental-HAE.

¹ Msc. Kelvin Sojo Villalba - Pós-Graduando Doutorado em Geografia - UFBA, kelvillalba@gmail.com;

² Dr. Antonio Puentes Torres - Professor do Curso em Geografia - UFBA, puentes@ufba.br;

³ Dr. Mário PhD Mário Jorge de Souza Gonçalves - INEMA, mariotaboca@gmail.com.

EVALUACIÓN EN LAS DESEMBOCADURAS DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON REPRESAS: EL RIESGO DE OCUPACIÓN EN REGIONES COSTERAS POR EFECTOS ANTRÓPICOS.

Msc. Kelvin Sojo Villalba ¹

Dr. Antonio Puentes Torres ²

Dr. PhD Mário Jorge de Souza Gonçalves ³

RESUMEN

Este estudio aborda el impacto de la construcción de represas en cuencas hidrográficas en áreas costeras y estuarinas, destacando los efectos antrópicos asociados a estas estructuras. La investigación utiliza datos de estaciones pluviométricas disponibles en el portal HidroWeb de la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento Básico de Brasil para analizar los cambios en los caudales de ríos en cuencas hidrográficas afectadas por la construcción de represas. La metodología empleada es la Hidrología Avanzada Experimental (HAE), que se basa en el análisis de series temporales de datos hidrológicos. Los resultados revelan que la construcción de represas ha causado cambios significativos en los caudales máximo y mínimo de las cuencas hidrográficas estudiadas. Estas alteraciones afectan la lámina de agua, llevando a procesos de erosión y sedimentación. Además, las represas pueden aumentar el riesgo de desastres naturales, como inundaciones, cuando no se operan adecuadamente. El estudio destaca la importancia de considerar los impactos de las represas en las áreas costeras, que son ecosistemas sensibles y albergan diversas actividades económicas. Las represas afectan la conectividad hidrológica entre ríos y el mar, alteran la dinámica sedimentaria e influyen en los regímenes de crecida. Por lo tanto, es fundamental evaluar cuidadosamente los posibles impactos ambientales y sociales antes de iniciar la construcción de una represa. El análisis de las series hidrométricas de las estaciones de los ríos Vaza-Barris, Jequitinhonha y Mucuri revela cambios significativos en el régimen de caudales después de la construcción de las represas Gasparino, Itapebi y Santa Clara, respectivamente.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, Conectividad hidrológica, Represa, Hidrología avanzada experimental-HAE.

¹ Msc. Kelvin Sojo Villalba - Pós-Graduando Doutorado em Geografia - UFBA, kelvillalba@gmail.com;

² Dr. Antonio Puentes Torres - Professor do Curso em Geografia - UFBA, puentes@ufba.br;

³ Dr. Mário PhD Mário Jorge de Souza Gonçalves - INEMA, mariotaboca@gmail.com.

INTRODUÇÃO

A construção de barragens é uma questão globalmente debatida, caracterizada por uma dualidade entre benefícios, como geração de energia hidrelétrica e controle de enchentes, e impactos negativos no ambiente natural e nas comunidades locais (BARTABURU, 2022). Este cenário complexo exige um exame aprofundado das intervenções humanas no espaço geográfico.

Dentro desse contexto, as barragens alteram significativamente a dinâmica hidrológica e sedimentar, afetando a conectividade hidrológica essencial das bacias hidrográficas. Esta conectividade, que inclui a transferência de água, matéria, energia e organismos, é frequentemente comprometida pela implementação de barragens (LEXARTZA-ARTZA & WAINWRIGHT, 2009). Rosenberg et al. (2000) destacam que tais alterações hidrológicas produzem efeitos globais, interrompendo o fluxo natural dos rios e modificando padrões de vazão, temperatura, transporte de água e distribuição de sedimentos.

Os estudos realizados nos rios Vaza-Barris e Jequitinhonha ilustram as consequências ambientais das barragens. No Vaza-Barris, a degradação dos estuários foi evidenciada por imagens de satélite, mostrando a vulnerabilidade da região à erosão costeira e a outros impactos ambientais (VIEIRA, 2023). No Jequitinhonha, a vazão fluvial regulada pela Usina Hidrelétrica de Itapebi tem provocado mudanças significativas na dinâmica fluvial e geomorfológica (CHAMORRO, 2011; CUNHA, 1995; NASCIMENTO, 2011; MACÊDO, 2020).

Além dos impactos ambientais diretos, as barragens afetam os ecossistemas aquáticos, com implicações físicas, químicas e biológicas consideráveis. Pringle et al. (2000) e Poff & Zimmerman (2010) ressaltam a complexidade em prever esses impactos. Tais mudanças podem levar a alterações na morfologia costeira, distribuição de habitats e erosão costeira, aumentando o risco de desastres naturais. As áreas costeiras, essenciais para atividades econômicas como pesca e turismo, são particularmente vulneráveis a essas alterações (WEISS, 2016).

A relevância das barragens no contexto global e nacional, especialmente em função de sua contribuição significativa para a geração de energia, evidencia a importância de estudos para orientar o planejamento e a gestão ambiental. A erosão acelerada e o assoreamento dos

canais fluviais são exemplos notáveis dos impactos antropogênicos nos sistemas naturais (INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS, 2011).

Portanto, ao considerar o cenário atual ou ao projetar um cenário possível, torna-se evidente que a construção de barragens desatende as relações e variáveis dos elementos que interagem na conectividade hidrológica dos fluxos fluvial-marinho costeiros nas bacias dos rios Mucuri, Vaza-Barris e Jequitinhonha. Esta situação poderia afetar os atributos físico-naturais dessas bacias hidrográficas, resultando em um esgotamento desse recurso, além de impactar significativamente as comunidades locais. Contrastando com esse cenário, atendendo-se essas relações de conectividade hidrológica, seria possível minimizar ou mesmo conter os impactos na zona costeira. Desse modo, poderíamos atender e preservar as necessidades hídricas das comunidades locais de maneira mais efetiva.

O objetivo deste estudo é analisar a influência da construção de barragens nas áreas da foz dos rios Mucuri, Vaza-Barris e Jequitinhonha, com enfoque nas consequências para as zonas costeiras. Esta análise comparativa entre as duas bacias hidrográficas oferece uma perspectiva compreensiva sobre os efeitos ambientais e socioeconômicos dessas estruturas.

Ao realizar uma análise comparativa das bacias hidrográficas dos rios Mucuri, Vaza-Barris e Jequitinhonha, pretende-se obter uma compreensão mais detalhada dos impactos específicos das barragens nesses ambientes. Espera-se que os resultados do estudo forneçam informações valiosas, aplicáveis em diferentes contextos geográficos, auxiliando na tomada de decisões e na implementação de práticas sustentáveis em regiões similares.

METODOLOGIA

Os dados utilizados neste estudo foram coletados a partir de estações fluviométricas disponíveis no portal HidroWeb do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico do Brasil. Esses dados incluem séries históricas de cotas, vazão e a curva de descarga, que foram utilizados na análise.

A análise foi conduzida utilizando a metodologia Hidrologia Avançada Experimental (HAE) proposta por Gonçalves. Essa técnica se baseia em modelos matemáticos para descrever



o comportamento da vazão de um rio em função de variáveis hidrológicas, como cota e vazão. Esses modelos foram calibrados com dados observados de vazão e outras variáveis, permitindo a análise do comportamento hidrológico.

A dimensão espacial deste estudo abrangeu as barragens Santa Clara, Gasparino e Itapebi, respectivamente, nas bacias hidrográficas dos rios Mucuri, Vaza-Barris e Jequitinhonha, onde foram utilizados dados de monitoramento periódico provenientes das estações fluviométricas situadas a jusante das barragens.

REFERENCIAL TEÓRICO

A paisagem, como categoria de análise geográfica, desempenha um papel fundamental na compreensão do espaço geográfico. Segundo Bertrand (1968), ela é um conjunto complexo de elementos físicos, biológicos e culturais que se manifestam no ambiente. Milton Santos (1996) amplia essa visão ao enfatizar a dimensão temporal da paisagem, destacando-a como um registro das transformações culturais e das relações sociais ao longo do tempo. Portanto, a paisagem é mais do que apenas uma representação estática do espaço; é uma construção social dinâmica que reflete a interação entre sociedade e natureza.

Ao aplicar esse entendimento, à análise das bacias hidrográficas, é evidente que as paisagens fluviais são moldadas não apenas pela geologia e topografia da região, mas também pelas interações humanas. Os rios e seus afluentes, que constituem uma bacia hidrográfica, representam elementos físicos da paisagem que refletem a dinâmica da água e as interações entre a sociedade e a natureza. A topografia da área desempenha um papel fundamental na definição dos limites da bacia, conforme conceituado por Strahler (1957). Strahler descreve uma bacia como uma área geográfica delimitada pela topografia, na qual todas as águas de precipitação convergem para um único ponto de saída, geralmente um rio principal.

Além disso, Strahler introduziu o conceito de ordem dos rios, que classifica os cursos d'água hierarquicamente com base na convergência de afluentes. Essa hierarquia permite entender a organização dos sistemas fluviais em diferentes escalas. Essa definição clara e hierarquizada das bacias hidrográficas é fundamental para a compreensão da dinâmica fluvial e da coleta de água em uma determinada área geográfica. A abordagem de Strahler fornece uma

base sólida para estudos hidrológicos e a gestão dos recursos hídricos, permitindo uma análise estruturada das redes fluviais e a compreensão das interações entre os cursos d'água em diferentes escalas geográficas.

Essa interação entre paisagem e bacias hidrográficas é especialmente relevante quando consideramos a construção de barragens. As barragens, como estruturas humanas, representam uma interferência significativa na paisagem das bacias hidrográficas. Elas são projetadas para reter água em reservatórios, controlar enchentes, gerar energia hidrelétrica e fornecer água para irrigação (Chandler, 1988). No entanto, essa construção altera drasticamente a paisagem fluvial, interrompendo o fluxo natural dos rios.

A conectividade hidrológica, um aspecto crítico das bacias hidrográficas, é afetada pela construção de barragens. Conforme Lexartza-Artza e Wainwright (2009), a conectividade hidrológica envolve a interligação e a interação dos componentes hidrológicos, permitindo a troca de água doce e salgada em estuários e áreas costeiras. A construção de barragens pode interromper essa conectividade, afetando a troca de água entre rios e oceanos.

Essa interrupção na conectividade hidrológica tem diversos impactos ambientais. Os impactos ambientais resultantes da construção de barragens podem ser diversos, como destacado por Rossetti, (2008). Além da interrupção da conectividade hidrológica, as barragens podem provocar mudanças na dinâmica sedimentar, na qualidade da água e na distribuição de matéria orgânica. Isso pode levar a processos erosivos, assoreamento, salinização das águas e afetar a fauna aquática.

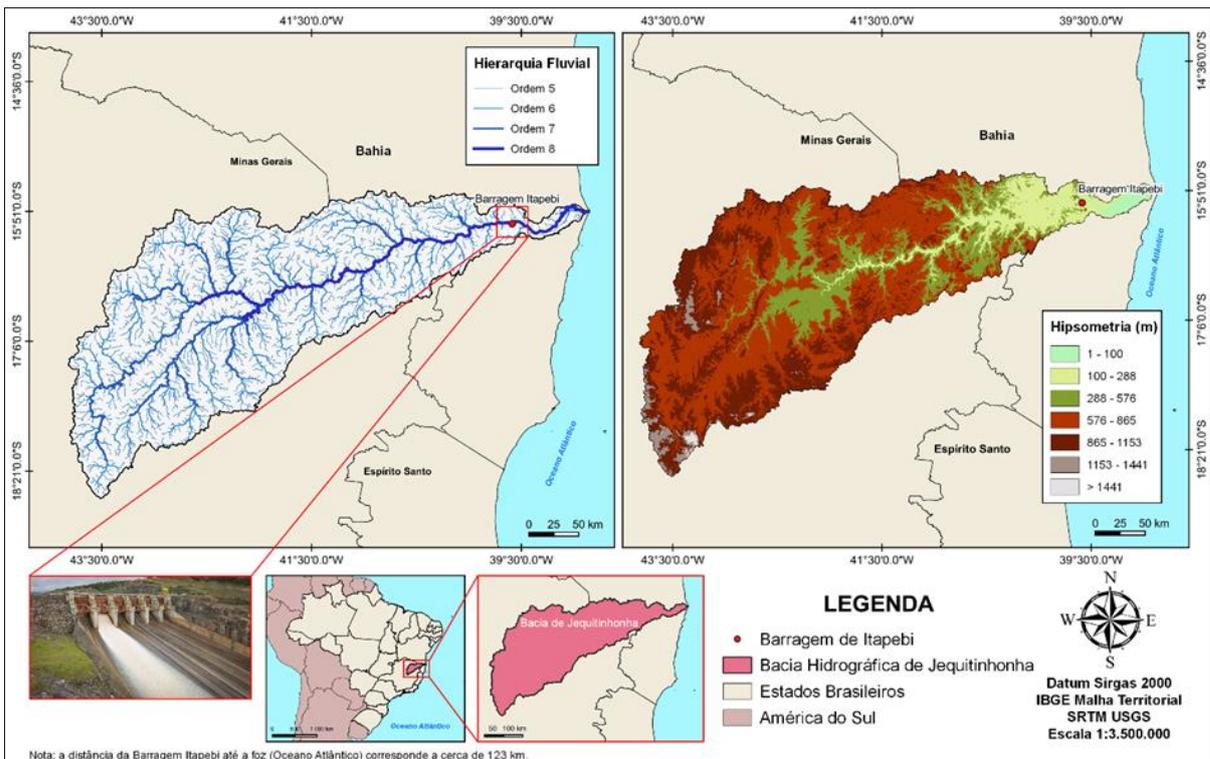
Portanto, a compreensão da paisagem, das bacias hidrográficas, da construção de barragens e dos impactos ambientais está intrinsecamente interligada. As barragens representam uma intervenção humana, na paisagem das bacias hidrográficas, afetando a conectividade hidrológica e gerando impactos ambientais significativos. Essa relação complexa entre esses elementos é essencial para uma análise completa dos desafios associados à gestão dos recursos hídricos e à preservação dos ecossistemas aquáticos.



CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha localiza-se a oeste da Serra do Espinhaço, ao sul de Diamantina, no estado de Minas Gerais, a uma altitude aproximada de 1.260 metros. O rio Jequitinhonha deságua no Oceano Atlântico, no município de Belmonte, situado na região econômica do Extremo Sul do estado da Bahia. A área total da BHRJ é de cerca de 70.315 km². Desta área, aproximadamente, 3.996 km², correspondendo ao baixo curso do rio Jequitinhonha, estão localizados na Bahia, conforme estudo do IBGE de 2005. A maior parte da BHRJ, que soma 66.319 km², encontra-se no nordeste de Minas Gerais, representando 93,6% de sua área total. A menor porção, situada na região econômica do Extremo Sul da Bahia, compreende 6,4% do total da área da bacia, de acordo com dados da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI) de 2020 (Figura 1).

Figura 1: Localização Bacia Hidrográfica Rio Jequitinhonha - Usina Hidrelétrica Itapebi.



Fonte: IBGE, 2020. Produzido pelos autores.

A Bacia Hidrográfica do Jequitinhonha abrange municípios nos estados de Minas Gerais e Bahia. No estado de Minas Gerais, alguns dos municípios incluídos são: Almenara, Araçuaí, Bandeira, Cachoeira de Pajeú, Carai, Comercinho, Coronel Murta, Divisópolis, Felisburgo, Fruta de Leite, Itaobim, Itinga, Jacinto, Jequitinhonha, Joáima, Jordânia, Mata Verde, Medina,



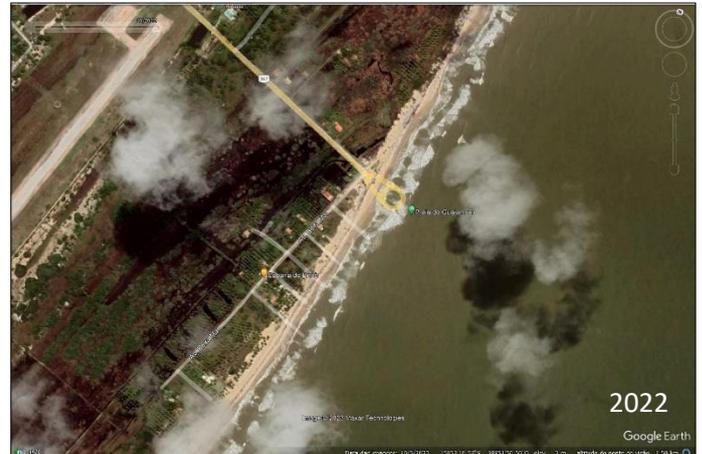
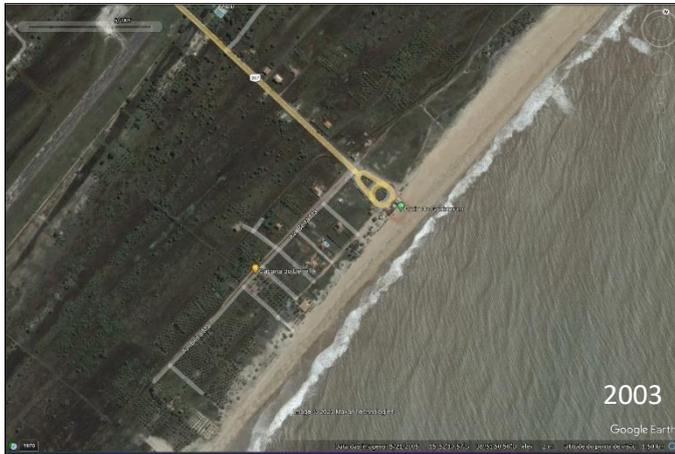
Monte Formoso, Novo Cruzeiro, Novorizonte, Padre Paraíso, Pedra Azul, Ponto dos Volantes, Rio do Prado, Rubelita, Rubim, Salinas, Salto da Divisa, Santa Cruz de Salinas, Santa Maria do Salto, Santo Antônio-do Jacinto, Taiobeiras e Virgem da Lapa. Na Bahia os municípios são: Belmonte, Canaveiras, Encruzilhada, Eunápolis, Guaratinga, Itagimirim, Itapebi, Itarantim, Macarani, Maiquinique, Mascote, Potiraguá, Santa Cruz Cabralia de acordo com dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), de 2021.

A Usina Hidrelétrica Itapebi (UHI) como mostra a Figura 1, encontra-se no segmento inferior do Rio Jequitinhonha, situada na região sul da Bahia, a aproximadamente 8 km a montante da cidade de Itapebi, Bahia, e dista 123 km da sua foz. Conforme descrito por Gavião em 2006, o limite do reservatório da usina se estende até a fronteira entre os estados da Bahia e de Minas Gerais. A área inundada pela construção da represa abrange territórios dos municípios de Itapebi, Itagimirim e Itarantim, na Bahia, além de Salto da Divisa, em Minas Gerais, totalizando uma área de 62,48 km². O reservatório da usina é capaz de armazenar um volume de água de 1,6 bilhão de metros cúbicos segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, (SNISB) de 2023. Embora importantes para a geração de energia, essas obras de engenharia produzem uma série de interferências no padrão da rede de drenagem.

As consequências das intervenções hidráulicas, tais como a Usina Hidrelétrica de Itapebi, estendem-se além das alterações no regime fluvial, impactando também a dinâmica costeira. Como ilustrado na Figura 2, Belmonte tem sofrido com a erosão costeira, um processo agravado desde 2017, quando o avanço marítimo provocou a destruição de infraestruturas na linha de costa. Nesse período, a cidade foi declarada em estado de emergência devido aos danos significativos causados pela erosão, afetando negativamente o turismo e o comércio local, pilares econômicos da região.



Figura 2: Representação da erosão costeira em Belmonte, demonstrando a destruição progressiva de ruas, avenidas e estabelecimentos à beira-mar. À esquerda, a imagem do ano de 2003; à direita, a situação em 2022, evidenciando as mudanças significativas na linha de costa devido ao avanço do mar.



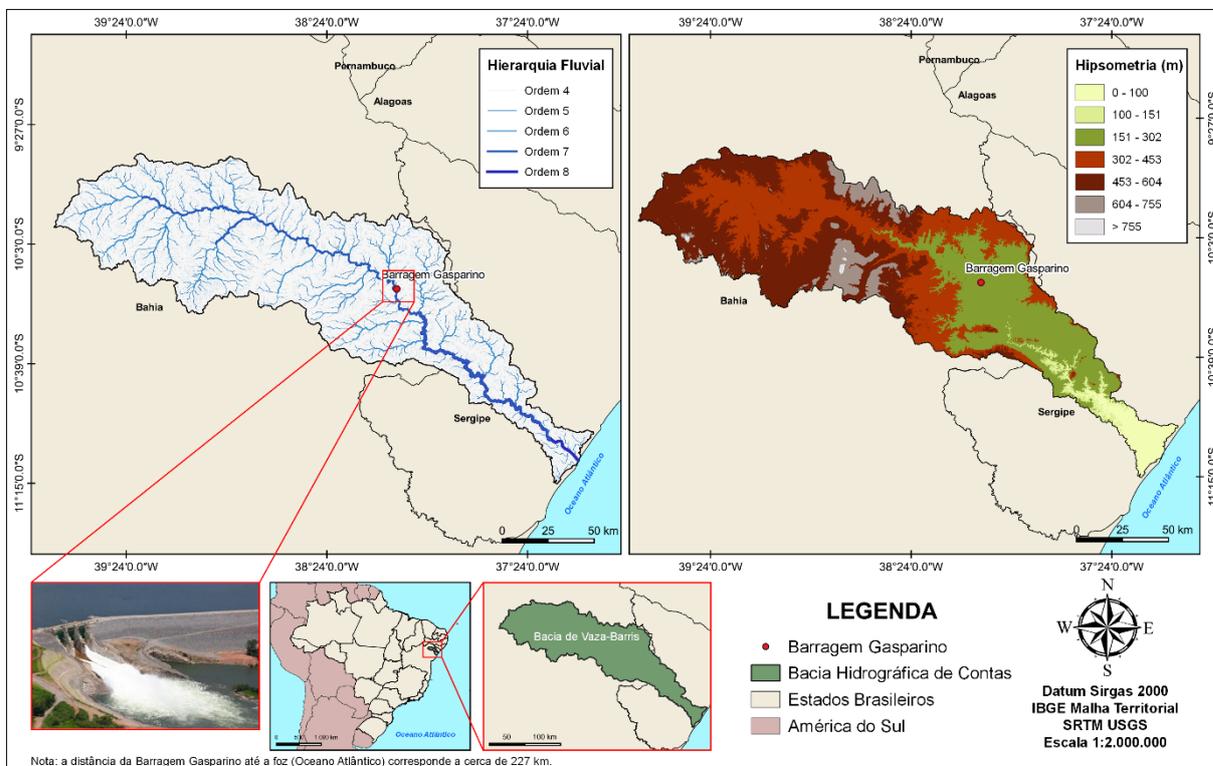
Fonte: Google Earth, Imagem Landast.

A diminuição do aporte sedimentar no rio Jequitinhonha, atribuída ao manejo da barragem da Usina Hidrelétrica de Itapebi (UHI), tem alterado significativamente o nível de base no sistema fluvial, especialmente no trecho controlado a jusante. Atualmente, o nível de base é efetivamente estabelecido pelo local do barramento da usina. O aprisionamento de sedimentos pelo barramento e as mudanças na conectividade hidrológica do rio intensificam a erosão costeira na área do delta, como evidenciado na Figura 2.

O rio Vaza-Barris nasce na região nordeste da Bahia na Serra da Canabrava, no município de Uauá, fazendo limite com o rio São Francisco (norte e oeste) e o rio Itapicuru (sul). Sua extensão total é de 16.787,47 km² dos quais apenas 3.100 km² estão presente em território sergipano. O baixo curso do rio abriga uma área de 115 km² e abrange os municípios de Aracaju, Itaporanga D'Ajuda e São Cristóvão. O território da bacia no estado da Bahia compreende os segmentos superior e médio do rio, totalizando 14.503 km², o que representa cerca de 84% da área total da bacia. Esta área inclui os municípios de Uauá, Canudos, Jeremoabo, Antas, Adustina, Pedro Alexandre, Euclides da Cunha, Monte Santo, Novo Triunfo, Sítio do Quinto, Paripiranga e Coronel João Sá (Figura 3).



Figura 3: Localização Bacia Hidrográfica Vaza-Barris – Barragem Gasparino.



Fonte: IBGE, 2020. Produzido pelos autores.

A Barragem do Gasparino, situada a 18 km de Coronel João Sá e a 227 km da foz do rio Vaza-Barris, teve sua construção iniciada em 2008 e foi inaugurada em 2012. Projetada para ser uma estrutura significativa na região, a barragem possui uma capacidade de armazenamento de 48,62 hm³ de água.

Conforme o estudo de Vieira (2023), a foz do Rio Vaza-Barris e, em particular, a ilha da Praia do Viral, notável ponto turístico no litoral sul de Sergipe, apresenta marcantes alterações. Localizada na junção entre Aracaju e Itaporanga D'Ajuda, a ilha, que possui uma estreita faixa de areia com aproximadamente 100 metros, enfrenta uma erosão significativa de até dez metros por ano. As Figuras 4 e 5 representam as principais influências deste fenômeno: a elevação do nível do mar e o impacto humano. Vieira ressalta a complexa dinâmica entre aspectos oceânicos e continentais, como variações pluviométricas, infraestrutura hidráulica e a preservação de zonas ripárias, como fatores críticos que redelinearam a paisagem da ilha, contrastando drasticamente com o cenário dos anos 90. A recente fragmentação de uma barra arenosa indica uma possível divisão do Viral em duas partes, intensificando a vulnerabilidade às forças erosivas marinhas.

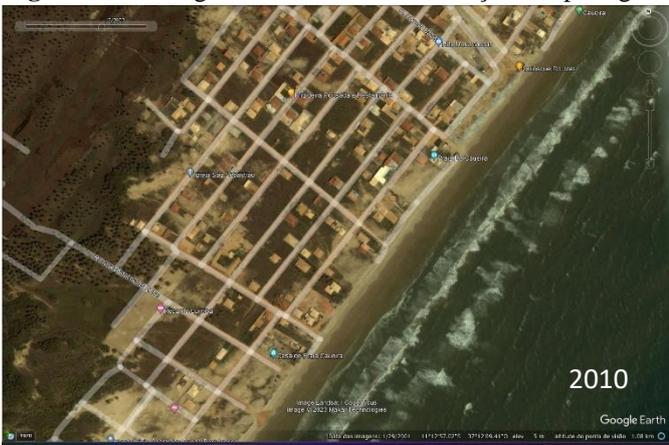
Figura 4: As imagens revela notáveis alterações na paisagem ao longo de uma década (2010 a 2023).



Fonte: Google Earth, Landsat.

De acordo ao ilustrado nas imagens da Figura 5, o litoral testemunhou a cisão de uma barra arenosa, não apenas no ponto de ruptura já existente, que continua a se agravar, mas também em uma nova localização a leste, onde há iminência de separação. Esse processo pode resultar na formação de duas ilhotas isoladas, ampliando sua vulnerabilidade a uma dinâmica marítima cada vez mais agressiva. Essa dinâmica ressalta a influência das estruturas hidráulicas no equilíbrio geomorfológico costeiro.

Figura 5: As imagens revela notáveis alterações na paisagem urbana na beira da praia ao longo de uma década (2010 a 2023).

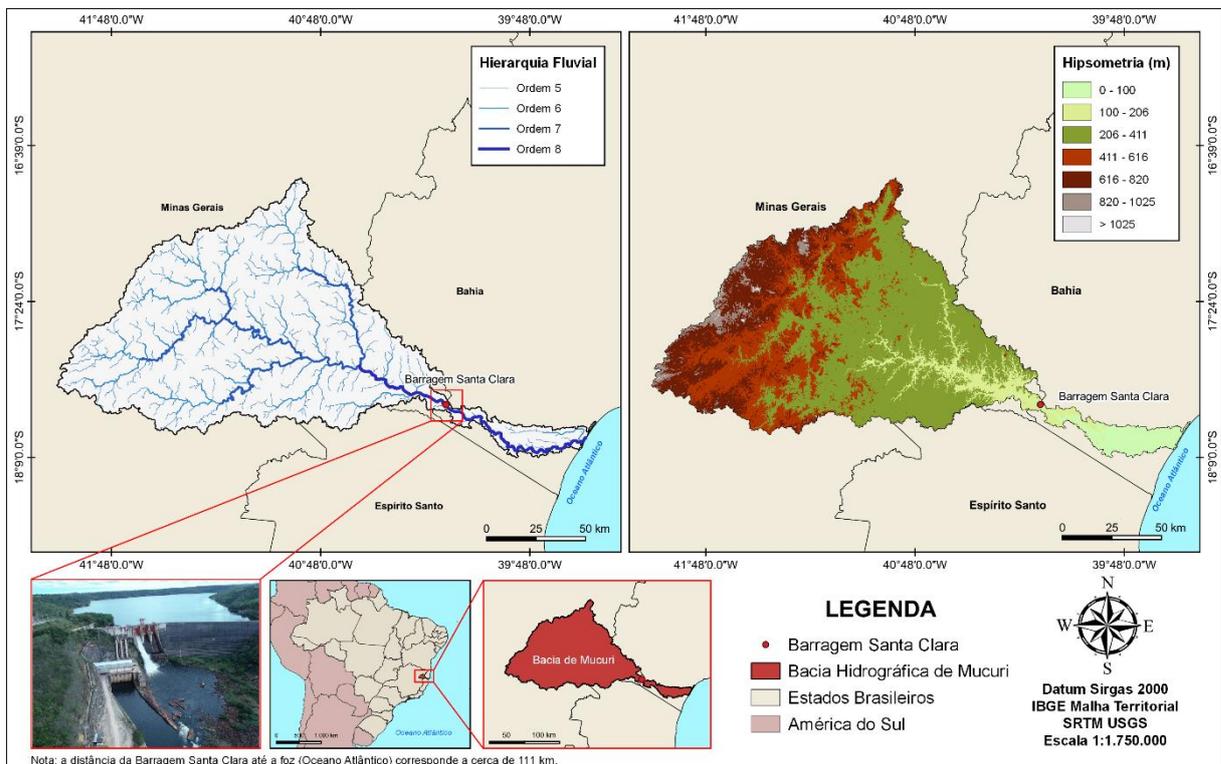


Fonte: Google Earth, Landsat.

A gestão da Barragem Gasparino resultou na significativa redução do transporte de sedimentos no Rio Vaza-Barris, ocasionando profundas alterações no nível de base, sobretudo na parte a jusante do rio. Este fenômeno, juntamente com as mudanças na conectividade hidrológica, intensifica a erosão na região da foz, como evidenciado na Figura 5. Tal dinâmica destaca o impacto das estruturas hidráulicas na alteração dos ecossistemas costeiros.

Ademais, a bacia hidrográfica do Rio Mucuri, ilustrada na Figura 6, situa-se no nordeste de Minas Gerais e no sul da Bahia. Abrange uma área de 14.569,16 km², o que representa 61,64% das Bacias do Leste. Esta bacia, que engloba 16 municípios, como Águas Formosas, Carai e Carlos Chagas, também é o local da Usina Hidrelétrica de Santa Clara. Localizada no rio Mucuri, a usina marca a divisão entre os municípios de Mucuri, na Bahia, e Nanuque e Serra dos Aimorés, em Minas Gerais. Posicionada na área de transição entre os cursos baixo e médio do rio, a usina está situada aproximadamente 80 km antes da foz do rio na cidade de Mucuri, Bahia.

Figura 6: Localização Bacia Hidrografica Mucuri – Barragem Santa Clara.



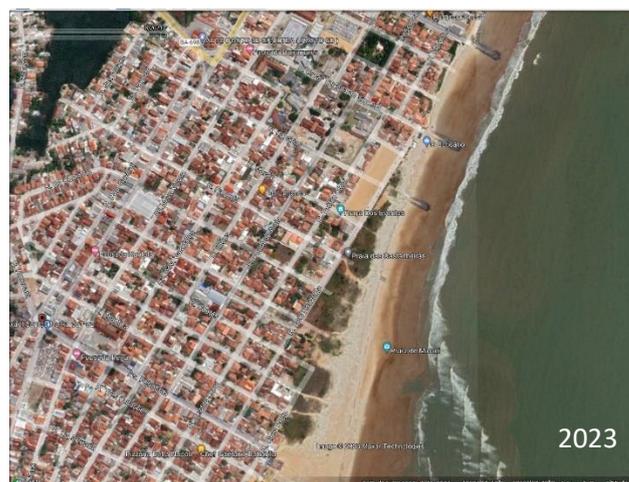
Fonte: IBGE, 2020. Produzido pelos autores.

Desde 2017, a cidade de Mucuri, localizada no sul da Bahia, tem lidado com um estado de emergência decorrente da erosão costeira, que compromete severamente sua orla marítima. Conforme demonstrado nas imagens da Figura 7, o avanço do oceano representa uma ameaça



direta a pousadas, residências e barracas de praia, além de causar a perda de importantes vias urbanas, exacerbando os danos econômicos na região. Este fenômeno é especialmente pronunciado no inverno e resulta na destruição de infraestruturas essenciais em Mucuri.

Figura 7: As imagens ilustram transformações significativas na paisagem urbana da orla marítima.



Fonte: Google Earth, Landsat.

As principais características das bacias e suas barragens podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro1: Principais características e informações das barragens

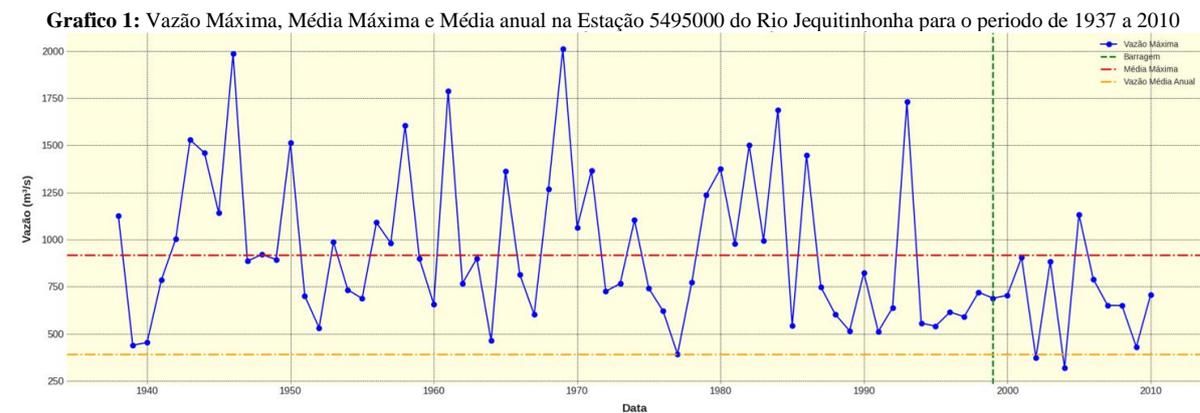
Bacia Hidrográfica	Rio Mucuri		Rio Jequitinhonha		Rio Vaza-Barris	
Área da bacia (km ²)	14.569,16		16.787,47		70.315,00	
Nome da Barragem	Santa Clara		Itapebi		Gasparino	
Distância da barragem para a foz (km)	80		123		227	
Volume acumulada (hm ³)	1600		1600		48,62	
Área inundada (km ²)	7,51		62,48		41,98	
Cidade atingida na foz	Mucuri		Belmonte		Aracaju	
Principal uso	Geração de energia		Geração de energia		Abastecimento humano	
Ano de Inauguração	2002		1999		2012	
Maior vazão antes e depois da barragem (m ³ /s)	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
	4000	5	2000	1100	410	5
Menor vazão antes e depois da barragem (m ³ /s)	1000	5	460	150	145	180

Fonte: Produção própria dos autores



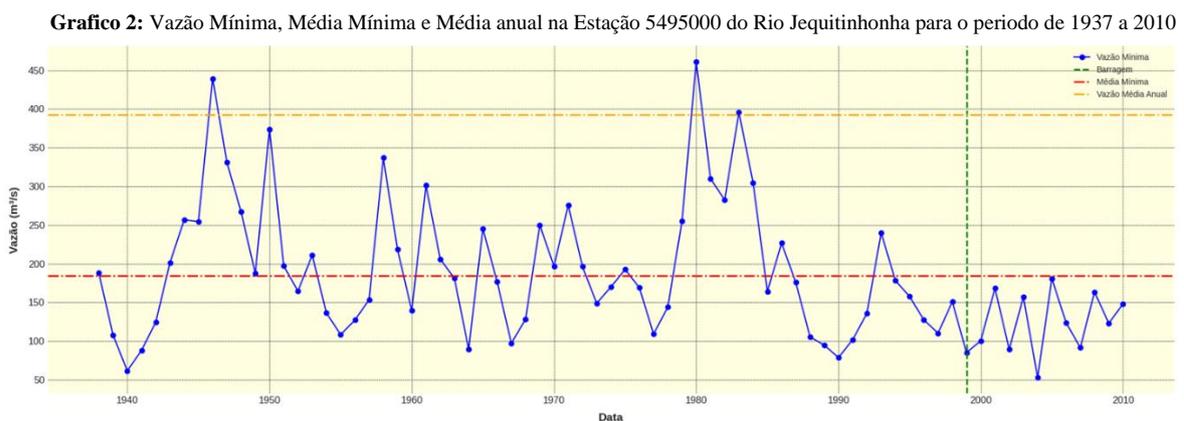
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das séries hidrométricas da Estação 5495000 do Rio Jequitinhonha de 1937 a 2010, no gráfico 1, identifica-se que a vazão máxima e média máxima exibem picos irregulares ao longo do tempo, enquanto a vazão média anual mostra uma leve diminuição subsequente à construção da barragem de Itapebi.



Fonte: ANA, 2023. Produção própria dos autores.

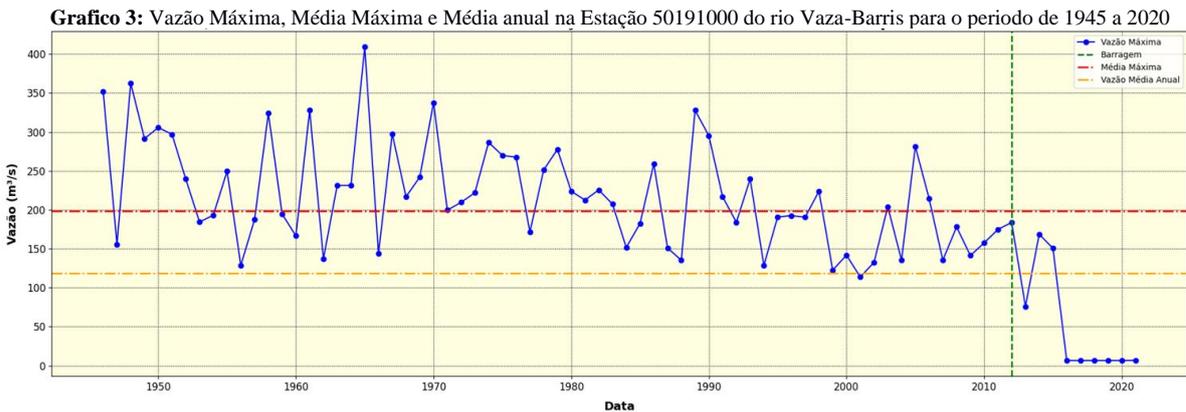
A vazão mínima no Gráfico 2, mostra-se relativamente estável, com variações ocasionais. A variabilidade na vazão mínima após a construção da barragem pode indicar mudanças no manejo das descargas da barragem, retendo água e reduzindo as vazões e sedimentos.



Fonte: ANA, 2023. Produção própria dos autores.

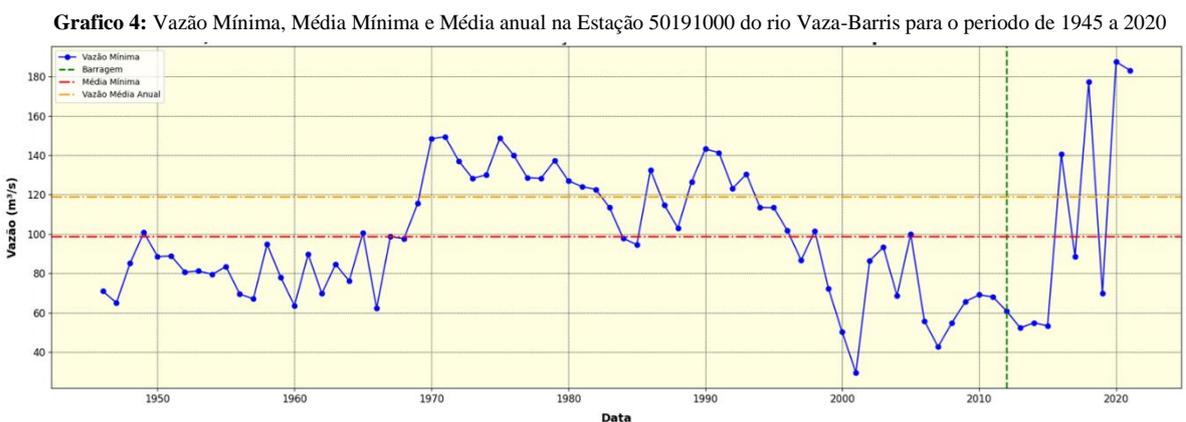
Através da análise conjunta dos dados de vazão, identifica-se uma relação direta entre a construção da Usina Hidrolétrica de Itapebi e as alterações morfológicas do delta observadas nas últimas décadas.

Analisando a Estação 50191000 do Rio Vaza-Barris, entre 1945 e 2020, revela alterações no regime de vazões que coincidem temporalmente com a edificação da barragem Gasparino. Observa-se no Gráfico 3, uma tendência de atenuação na vazão média anual de 200 m³/s subsequente à construção da infraestrutura hídrica, conforme ilustrado pela demarcação verde no gráfico.



Fonte: ANA, 2023. Produção própria dos autores

Paralelamente, no gráfico 4 a vazão mínima exhibe uma variação menos expressiva, com um incremento notório na última década documentada, pelas próprias características climáticas da bacia hidrográfica, que tem um comportamento sazonal, quer dizer as chuvas não são distribuídas ao longo do ano, por isso a barragem libera maior vazão no período seco do rio, com vazões médias mínimas de 100 m³/s.



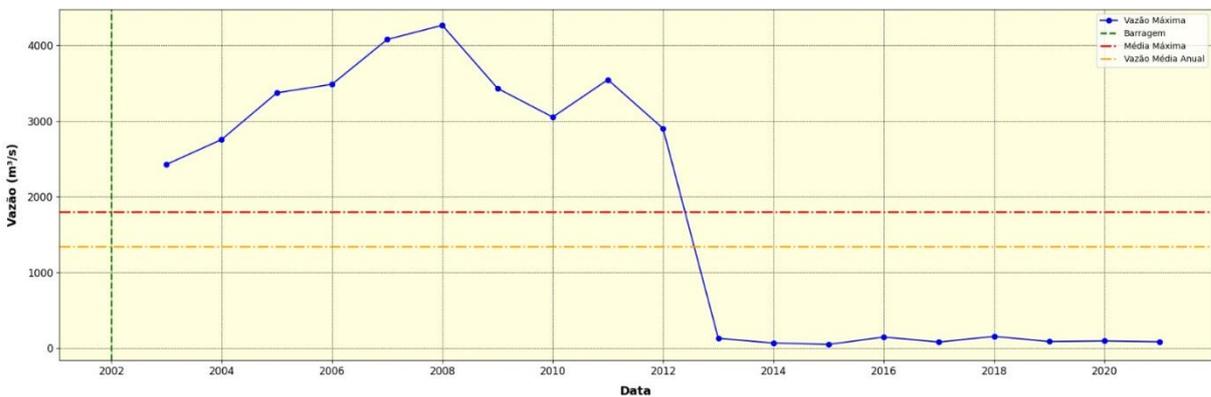
Fonte: ANA, 2023. Produção própria dos autores.

Os dados sugerem que, no caso do Rio Vaza-Barris, as alterações podem ter contribuído para uma diminuição da disponibilidade hídrica ao longo do tempo. No entanto, é possível

perceber o aumento na vazão mínima após a construção a barragem, isso ressalta a observação de Gonçalves (1997) sobre como as alterações no regime de fluxo de sedimentos afetam a ecologia dos rios e os serviços ecossistêmicos fornecidos.

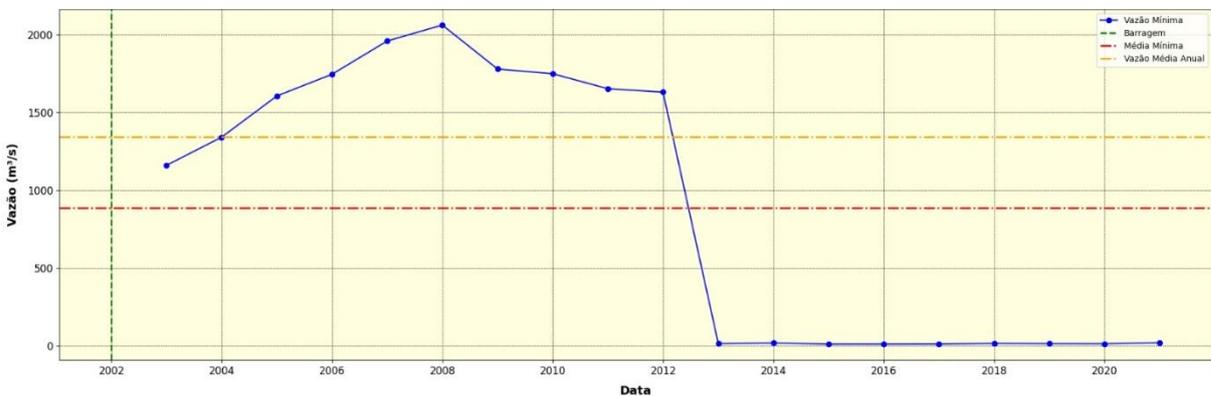
A Estação 55720000 do Rio Mucuri também revelou mudanças nas vazões, coincidindo com a instalação da Usina Hidroelétrica Santa Clara, como mostram os Gráficos 5 e 6.

Gráfico 5: Vazão Máxima, Média Máxima e Média anual na Estação 55720000 do Rio Mucuri para o período de 2002 a 2020



Fonte: ANA, 2023. Produção própria dos autores.

Gráfico 6: Vazão Mínima, Média Mínima e Média anual na Estação 55720000 do Rio Mucuri para o período de 2002 a 2020



Fonte: ANA, 2023. Produção própria dos autores.

Todos os casos sublinham a necessidade de monitoramento contínuo dos impactos hidrológicos das barragens, uma perspectiva reforçada por Mongabay (2021), que advoga por uma gestão adaptativa dos recursos hídricos para atenuar os efeitos adversos. Os resultados obtidos fornecem uma base para a formulação de estratégias de gestão hídrica futuras, as quais devem prover o suporte necessário às comunidades locais para adaptarem-se às novas condições hídricas e para a conservação dos ecossistemas fluviais.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das séries hidrométricas das estações do Rio Vaza-Barris, Rio Jequitinhonha e Rio Mucuri evidencia alterações significativas nos regimes de vazões após a construção das barragens de Gasparino, Itapebi e Santa Clara. Estas mudanças manifestam-se principalmente na atenuação da vazão média anual e nas variações da vazão mínima, afetando diretamente a disponibilidade hídrica, o transporte de sedimentos e a morfologia fluvial. Os resultados sublinham a importância de um monitoramento contínuo dos impactos hidrológicos das barragens, ressaltando a necessidade de uma gestão adaptativa dos recursos hídricos. Esta abordagem é fundamental para mitigar efeitos adversos, auxiliando na adaptação das comunidades locais e na conservação dos ecossistemas fluviais.

Foi constatado que as alterações nas vazões podem reduzir a profundidade da coluna de água, indicando uma possível erosão na foz dos rios devido às construções das barragens. Outra preocupação é a alteração da lâmina d'água crítica, que pode facilitar a incursão de águas salinas nos rios, levando à salinização das águas na região estuarina. Estas observações destacam a influência potencial das barragens na alteração dos padrões hidrológicos das bacias, com impactos significativos no manejo dos recursos hídricos e nas consequências socioambientais.

Estas conclusões oferecem parâmetros valiosos para a gestão relacionada à construção e operação de barragens, tendo implicações práticas para a sustentabilidade hídrica e a preservação dos ecossistemas aquáticos. A compreensão dessas dinâmicas é essencial para desenvolver estratégias que equilibrem as necessidades humanas e a conservação ambiental.

Este estudo também enfatiza a necessidade de pesquisa contínua em hidrologia e engenharia ambiental. Destaca-se a importância de estudos longitudinais para acompanhar os efeitos de longo prazo das barragens sobre os rios. Recomenda-se a realização de futuras investigações que explorem as interações entre as práticas de gestão de barragens e a resiliência dos ecossistemas fluviais, contribuindo assim para um diálogo mais abrangente sobre a gestão sustentável dos recursos hídricos.



REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional das Águas (2021). **Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste. Bahia, BH7 – bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, Vaza-Barris e Mucuri. Série: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.** CD nº 4. Disponível em: www.hidroweb.ana.gov.br. Acesso em: 20 de jul. 2022.

BARTABURU, X. (2022). **Barragens: é Possível Reduzir Seus Impactos No Meio Ambiente?** Notícias Ambientais - brasil.mongabay.com/2022/10/as-barragens-do-mundo-causa-de-grandes-danos-mas-e-um-problema-gerenciavel/. Acesso em: 16 de nov. 2023.

BERTRAND, (1968). **Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique.** Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, 39 (3), pp. 249-272.

CHAMORRO, P. (2011). **Jequitinhonha, ascensão e morte da cultura às suas margens.** Disponível em <http://www.marsemfim.com.br/pub/via-gens/reportagem_det.php?id_reportagem=52&id_no=51>. Acesso em: 25. set. 2023.

CUNHA, S.B. (1995). **Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil).** Tese Doutorado em Geografia Física Universidade de Lisboa, Lisboa, pp. 345-355.

GAVIAO, A. B. (2006). **Gestão de conflitos ambientais frente à implantação de hidrelétricas: estudo de caso do aproveitamento hidrelétrico de Itapebi/BA.** Dissertação de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia. Universidade Salvador – UNIFACS.

GONÇALVES, M. J. S. (2019 a). **Metodologia de avaliação quantitativa das águas superficiais em bacias hidrográficas.**

GRAF, W. L. (1999). **Dam nation: A geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts.** Water Resources Research, 35(4), pp. 1305-1311.

GOOGLE EARTH, Imagem Landast. Acesso em: 20 de out. 2023.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (2021). Disponível em: <https://www.mg.gov.br/instituicao_unidade/instituto-mineiro-de-gestao-das-aguas-igam>. Acesso em: 27 nov. 2023.

ROSSETTI, D. (2008). **Ambientes Costeiros. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** Cap. 9. Oficina de Textos, São Paulo, SP.

LEXARTZA, IRANTZU & WAINWRIGHT, JOHN. (2009). **Hydrological connectivity: Linking concepts with practical implications.** CATENA, Volume 79, Issue 2, p. 146-152.

MACÊDO, L. (2020). **Análise hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, Brasil.** TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

NASCIMENTO, D. M. C. (2011). **O reordenamento da calha do rio Jequitinhonha no controle de inundação na cidade de Belmonte na Bahia, Brasil.** Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica. pp. 1-13.

POFF, N. L. (1997). **The natural flow regime.** BioScience, p. 769-784.

PRINGLE, M. (2000). **Regional Effects of Hydrologic Alterations on Riverine Macrobiota in the New World: Tropical-Temperate Comparisons.** The massive scope of large dams and other hydrologic modifications in the temperate New World has. Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, Georgia 30602 USA