



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Alterações no baixo curso do rio Jequitinhonha e seus impactos geomorfológicos no delta: o caso da Usina Hidrelétrica de Itapebi, Bahia, Brasil

Vinicius de Amorim Silva<sup>1</sup>, Luca Lämmle<sup>2</sup>, Archimedes Perez Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professor Associado da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Centro de Formação em Tecnociências e Inovação, Campus Jorge Amado (CJA), Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Cep: 45.604-811, Ilhéus/Ba. E-mail: [vinicius@ufsb.edu.br](mailto:vinicius@ufsb.edu.br). <sup>2</sup> Doutorando da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências, Departamento de Geografia – Laboratório de Geomorfologia e Análise Ambiental. Rua Carlos Gomes, 250 – Cidade Universitária. Cep: 13.083-250 – Campinas/SP. E-mail: [lucalammle@ige.unicamp.br](mailto:lucalammle@ige.unicamp.br). <sup>3</sup> Professor Titular da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências, Departamento de Geografia – Laboratório de Geomorfologia e Análise Ambiental. Rua Carlos Gomes, 250 – Cidade Universitária. Cep: 13.083-250 - Campinas/SP. E-mail: [archi@ige.unicamp.br](mailto:archi@ige.unicamp.br).

Artigo recebido em 22/01/2021 e aceito em 23/05/2021

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é demonstrar as alterações na morfologia deltaica e no baixo curso do rio Jequitinhonha a partir da implementação barragem da Usina Hidrelétrica de Itapebi (UHI), analisando a evolução da dinâmica fluvial no baixo curso e morfologia deltaica antes e após a construção da barragem. As alterações antropogênicas na morfologia destes subsistemas permitiram interpretar dinâmicas que o rio Jequitinhonha está submetido em seu baixo curso. A caracterização, identificação e análise no delta, além do padrão de drenagem no canal principal, permitiram a investigação dos seguintes parâmetros: morfologia do canal, migração de meandros no canal fluvial, médias de vazão/precipitação e morfologia deltaica. Os resultados demonstraram o aumento da complexidade sistêmica pela intervenção antropogênica no sistema hidrográfico. Dessa forma, sugere-se que a ação antrópica promove alterações na dinâmica fluvial e consequentemente na desembocadura, estabelecendo novo equilíbrio dinâmico em resposta à construção da barragem e retificação do canal. Sugere-se que a morfologia deltaica está se alterando em curto espaço temporal, abandonando sua configuração bifurcada e transformando-se em canal fluvial único em direção à margem esquerda da desembocadura fluvial. Palavras-chave: Morfologia Fluviomarinha; Geomorfologia Antropogênica; Mapeamento Geomorfológico.

## Changes in the low course of the Jequitinhonha river and their geomorphological impacts in the delta: the case of the Itapebi Hydroelectric Plant, Bahia, Brazil

### ABSTRACT

The objective of this work is to demonstrate the changes in deltaic morphology and the low course of the Jequitinhonha River from the implementation of the Itapebi Hydroelectric Plant dam, analyzing the evolution of fluvial dynamics in the low course and deltaic morphology before and after the construction of the dam. The anthropogenic changes in the morphology of these subsystems allowed to interpret dynamics that the Jequitinhonha River is subjected to in its low course. The delta characterization, identification, and analysis, in addition to the drainage pattern in the main channel, allowed the investigation of the following parameters: channel morphology, migration of meanders in the fluvial channel, flow/precipitation averages and deltaic morphology. The results showed an increase in systemic complexity due to anthropogenic intervention in the hydrographic system. Thus, it is suggested that the anthropic action promotes changes in the river dynamics and consequently in the outlet, establishing a new dynamic balance in response to the construction of the dam and rectification of the channel. It is suggested that the deltaic morphology is changing in a short time, abandoning its bifurcated configuration, and becoming a single river channel towards the left bank of the river mouth.

Keywords: Fluvial-marine Morphology; Anthropogenic Geomorphology; Geomorphological Mapping.

### Introdução

O sistema complexo bacia hidrográfica dispõe de elementos fundamentais para o desenvolvimento das atividades humanas e a consequente

organização espacial (Christofoletti, 1999; Mattos e Perez Filho, 2004; Perez Filho e Rubira, 2019; Moreira e Perez Filho, 2020; Souza et al., 2020,

Lämmle et al., 2020; Donadio et al., 2021). No Brasil e no Mundo, estes sistemas sofreram alterações ao longo do tempo, e após o período de industrialização mais intenso, uma série de demandas foram geradas em torno dos sistemas fluviais, seja pela captação, transposição, ou construções de barragens. Nesse contexto, merecem destaque os recursos hídricos, a qualidade do solo, a matéria-prima vegetal e, mais especificamente, o potencial energético e hidráulico. As ações antropogênicas têm efeitos capazes de produzir alterações relevantes nos sistemas naturais, no sistema fluvial, sistema costeiro e nas organizações espaciais que compõem a bacia hidrográfica, suscitando a necessidade de estudos para oferecer subsídios ao planejamento e gestão ambiental.

A erosão acelerada das coberturas superficiais é o resultado mais perceptível na paisagem, sobretudo em áreas nas quais ocorre assoreamento no canal fluvial e margens dos rios, onde, naturalmente, incidem processos naturais independente da presença do homem. Tais processos passam a ser um problema quando o homem ocupa de modo inadequado áreas susceptíveis a processos erosivos, que, por efeito, desencadeia, acelera, ou barra ações erosivas. No âmbito das Hidrelétricas, de acordo com *International Commission on Large Dams* (ICOLD, 2011), as mesmas ocupam o percentual de 18% na geração de energia, a nível mundial, e 93,5 %, a nível nacional, o que torna relevante a produção do conhecimento nesse sentido, visto que são amplamente encontradas no território brasileiro.

Alguns autores (Christofoletti, 1980; Schumm, 1993; Tan et al., 2016; Cheng et al., 2018 Porritt et al., 2020; Monteiro e Corrêa, 2020; Leli et al., 2021), afirmam que a mudança do tipo de carga dependerá da razão inclinação vs. sinuosidade, do tipo de canal e da quantidade e taxa de deformação relacionados ao canal do rio e ao sistema controlado considerado. No caso de uma Hidrelétrica, a depender do tempo de instalação e operacionalização dessas obras de engenharia, as mudanças podem variar no tempo e no espaço. A natureza, neste caso, é vista como suporte para a sobrevivência humana (Ross, 1998)

Conforme Zancopé e Perez Filho (2006), a alteração do nível de base que geralmente ocorre devido a esse tipo de obra, causa modificações na dinâmica do escoamento superficial dos fluxos, provocando o “truncamento” da dinâmica fluvial e modificando a disponibilidade de energia e eficácia no transporte sedimentar, resultando na transformação do padrão morfológico no canal do rio. A reestruturação de toda a rede de drenagem tem consequência direta e indireta no baixo curso, inclusive, afetando a morfologia deltaica.

Suguio (2003) e Tsanakas et al. (2019) afirmam que o sistema deltaico é o conjunto de elementos e subsistemas que constituem o complexo deltaico, com litologia e gênese semelhante, porém, com temporalidade e espacialidade diferenciada e independente. A condição ideal para se formar um Delta é a de um sistema deposicional de sedimentos, alimentado por um rio que causa uma progradação irregular da linha de costa (Scott e Fisher, 1969; Reshma e Murali, 2018). Rossetti (2008) e Peng et al. (2018) definem deltas como ambientes deposicionais, localizados na desembocadura de um rio, onde o aporte de sedimentos é mais rápido, do que seu retrabalhamento por processos atuantes na bacia de deposição.

De acordo com a classificação de Scott e Fisher (1969), os deltas podem ser classificados como construtivos e destrutivos, demonstrando tais características em fases cíclicas da evolução da feição deltaica. A fase construtiva é formada por um período ativo e de intensa progradação de sedimentos fluviais circunscritos aos canais distributários da foz, caracterizado pelo abandono dos mesmos. Após esse período, inicia-se a fase destrutiva, caracterizada pela fase de retrabalhamento dos depósitos por processos ativos na bacia receptora. Nesse sentido, o complexo deltaico é abandonado e causa a produção de fácies marinhas, como verificado por vários trabalhos realizados - Golfo do México, rio Mississippi, rio Amarelo - (Scruton, 1960; Coleman e Gagliano, 1965; Suguio, 2003; Xing et al. 2016), como exemplo de fases destrutivas ativas.

As feições deltaicas são constituídas, principalmente, por depósitos associados a formação dos terraços marinhos, terraços fluviomarinhos, pântanos, mangues e lagunas. No caso do rio Jequitinhonha, podem ser encontrados também depósitos do tipo leques aluviais (formado no sopé dos planaltos costeiros, onde o talvegue dos vales encontra uma área plana), além da presença de campos de dunas. Diante disso, estudos sobre efeitos da construção de barragens é relevante, dada à quantidade de reservatórios existentes no âmbito nacional e global. Chamorro (2011) afirma que a vazão do canal fluvial no baixo curso do rio Jequitinhonha passa a ser regulada pela Usina Hidrelétrica de Itapebi (UHI), enquanto Cunha (1995) e Nascimento (2011) sublinham que em obras de represamento e retificação de canal revelam alguns impactos hidrológicos como: redução da carga sólida; salinização da água; alteração nas taxas de infiltração; menor disponibilidade de água subterrânea, ao passo que, os impactos geomorfológicos são destacados como: processos de erosão nas margens; modificações na dinâmica da foz e reajustamento na morfologia do canal fluvial pela migração dos setores de erosão e sedimentação.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar as alterações na morfologia deltaica e no baixo curso do rio Jequitinhonha a partir da construção e barramento da UHI, demonstrando a evolução da dinâmica fluvial no baixo curso e morfologia deltaica antes e após a construção da barragem. Para alcançar os resultados, dados estatísticos e imagens de satélite de diferentes anos foram analisados, além de mapeamento geomorfológico e realização de trabalho de campo para validações de dados. Parte-se da hipótese de que houve rompimento do equilíbrio dinâmico no baixo curso do rio Jequitinhonha devido à retificação do canal fluvial e mudança na dinâmica deltaica, decorrentes da regulação hídrica e déficit sedimentar potencializados pela construção da barragem, que vem causando alterações geomorfológicas significativas, seja na escala da natureza ou antrópica.

## Material e métodos

### Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (BHRJ), tem o seu perfil longitudinal mais a Oeste na Serra do Espinhaço, ao Sul da cidade de Diamantina, estado de Minas Gerais, a uma altitude aproximada de 1.260m, com seu exutório no Oceano Atlântico, no município de Belmonte, região econômica do Extremo Sul do Estado da Bahia, compreende uma área total de aproximadamente 70.315 km<sup>2</sup>, sendo que a porção baiana, área de estudo desse trabalho no baixo curso do rio Jequitinhonha, abrange aproximadamente 3.996 km<sup>2</sup> (IBGE, 2005). A maior parcela da BHRJ situa-se no nordeste do estado de Minas Gerais, totalizando 66.319 km<sup>2</sup>, compreende 93,6% da sua área total, ao passo que a menor área que ocupa a região econômica do Extremo Sul do estado da Bahia, compreende 6,4% da sua área total Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, (SEI, 2020), (Figura 1).

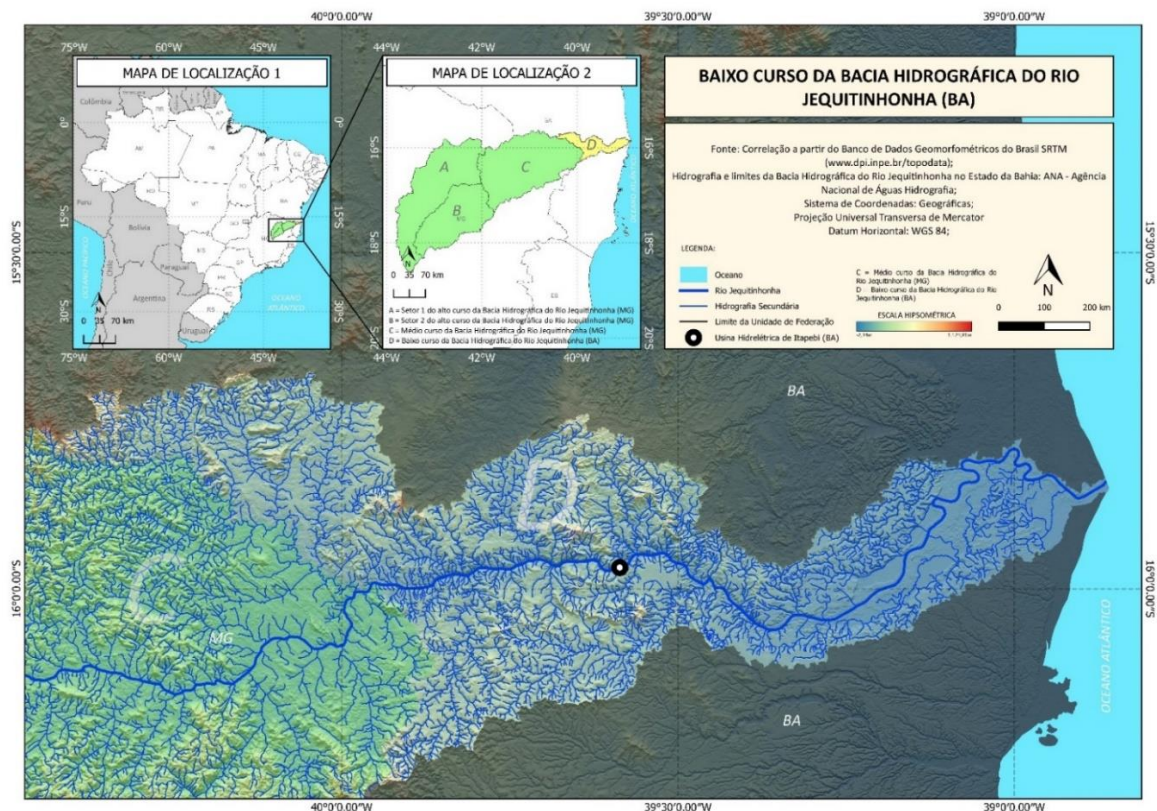


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e barragem de Itapebi Bahia, com destaque para o baixo curso e seus aspectos hipsométricos. Fonte: Autores.

A UHI está localizada no baixo curso do rio Jequitinhonha, região sul da Bahia, 8 km à montante da cidade de Itapebi, no estado da Bahia e a 118 km da foz. Segundo Gavião (2006), possui o limite do reservatório na divisa dos Estados da Bahia e de Minas Gerais, inundou terras dos municípios de Itapebi, Itagimirim e Itarantim (Bahia); e Salto da Divisa (Minas Gerais), num total de 62,48

Silva, V. A.; Lämmle, L.; Perez Filho, A.

km<sup>2</sup>, e acumula um volume d'água de 1,6 bilhão de metros cúbicos. Embora importantes para a geração de energia, essas obras de engenharia produzem uma série de interferências no padrão da rede de drenagem nas bacias hidrográficas.

A área de estudo é predominantemente plana, com altitudes mais elevadas apenas em direção à montante e em locais de limites topográficos

no baixo curso da BHRJ, apresentando valores que podem chegar a 880 m de altitude e está compreendida em três tipos de estrutura do relevo: 1) Unidade das formações do quaternário ou planície costeira: caracterizada por gênese de acumulação fluvio-marinha, marinha e fluvial, com ausência quase que total de elevações em sua forma, a não ser pela presença de algumas suaves elevações devido à presença de dunas ativas. Apresenta planície resultante da combinação das ações marinhas e fluviais nas embocaduras de rios sujeitos às penetrações das marés, podendo alternar a presença de mangues e terraços. A região de acumulação marinha resulta das ações de gênese marinha, contendo restingas, cordões e flechas arenosas, canais de maré, terraços e dunas fossilizadas recobertas pela vegetação associada a manguezais e mata Atlântica. 2) Unidade de bacia sedimentar do terciário, denominada também de planalto costeiro, com morfologia de tabuleiros e mergulho suave em direção ao litoral. Relacionado ao Grupo Barreiras, o relevo apresenta topos tabulares, capeados por sedimentos inconsolidados. 3) Unidade do embasamento cristalino ou planalto pré-litorâneo, do tipo colinoso a serrano. É também esculpido pelas rochas pré-cambrianas com embasamento cristalino, apresenta relevos de topos planos e encostas predominantemente convexas e convexa-côncavas, serras e maciços montanhosos, refletindo os alinhamentos estruturais das rochas intensamente metamorfoseadas, cortadas por gargantas do tipo apalacheano (CBPM, 2000; BAHIA, 2004; Souza et al., 2016).

#### *Elaboração Cartográfica e Trabalho de Campo*

O processo de produção Cartográfica foi dividido em duas etapas de realização. A primeira, realizada a partir dos mapas com bases obtidas junto à SEI (2004). A segunda etapa consistiu na produção de mapas (período anterior e posterior à construção da barragem), com o objetivo de subsidiar a interpretação das informações sobre a formação da paisagem na área de estudo, permitindo, assim, sua caracterização física. As Imagens de Satélites da Agência Espacial Norte Americana (NASA), composta por sete satélites, foram obtidas por meio do site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br>). As imagens adquiridas são referentes às décadas de 1970, 1990 e anos 2000 e teve como critério de seleção, o imageamento com menor quantidade de nuvens. Foram utilizadas as seguintes imagens: Landsat 1 MSS 14/08/1973 órbita: 232/071 e 231/071 Landsat 5 TM 12/04/1999 órbita: 215/071 e 216/71 Landsat 7 ETM+ 09/06/2007 órbita: 215/071 e 216/071.

Após a obtenção das imagens em meio digital foi realizado um pré-processamento destas, por meio do método de pixel escuro, com intuito de

atenuar os efeitos atmosféricos. Após o pré-processamento, foi realizado um tratamento das imagens utilizando o *software* Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), processo no qual foi usado o filtro linear, buscando o realce das feições topográficas e de rugosidade do terreno. Posteriormente, foi realizado o georreferenciamento das imagens através da plotagem de pontos conhecidos e de outros pontos validados em trabalho campo.

Os *shapes* digitalizados foram sobrepostos, formando, assim, a evolução dos meandros do canal fluvial, no baixo curso do rio Jequitinhonha. Devido ao Sensor Landsat 1 MSS possuir uma resolução espacial de 80 m, na digitalização multitemporal do canal fluvial do Jequitinhonha, utilizou-se o modelo digital de variáveis morfométricas Valeriano (2005). A aplicação do modelo digital de variáveis morfométricas, serviu de base para a representação do limite das margens plenas e dos canais fluviais, na área de estudo. Para o tratamento estatístico, inerente aos valores de média total e desvio padrão dos dados de precipitação e vazão, foi utilizado o programa *Excel*. A técnica de frequência simples acumulada serviu para a análise dos dados hidrológicos (HIDROWEB, 2020). Essa técnica foi aplicada para períodos distintos, antes e após o barramento do canal fluvial do Jequitinhonha, em seu baixo curso.

O trabalho de campo foi realizado ao longo de quatro dias na região, onde foi possível verificar e calibrar o mapeamento dos resultados. Por vias aquáticas ocorreu por meio de embarcação motorizada de alumínio, em trecho compreendido entre as proximidades da barragem até o delta, verificando indicativos de alterações ao longo das duas margens e identificando-se diversos setores de erosão e acumulação. Por vias terrestres, o mesmo ocorreu nas proximidades da foz, ao longo do município de Belmonte/BA e com relatos importantes da população local, no sentido de compreender a dinâmica fluvial a partir de informações da área de estudo relatadas por diferentes gerações.

#### *Estatística descritiva dos dados*

Os dados hidrometeorológicos utilizados estão disponíveis em formato digital e são de domínio público, oriundos da Agência Nacional das Águas (ANA). As vazões médias anuais para o baixo curso do rio Jequitinhonha, à jusante do barramento, foram definidas para cada ano hidrológico. As informações são acessíveis por meio da plataforma Hidroweb, intitulado, Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SINRH), e via Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio do Operador Nacional de Energia Elétrica (ONS).



A base de dados do ONS oferece séries históricas detalhadas sobre vazão e precipitação que possibilita, via tratamento estatístico, resultados em forma de tabelas e gráficos e servem potencialmente, para fins de pesquisa e estratégias de intervenção no baixo curso da BHRJ. As alterações nos valores médios de vazão são inerentes ao barramento, construção e operacionalização da UHI de Itapebi/BA. Nesse sentido, foi possível correlacionar a evolução geomorfológica no setor à jusante da barragem, com as alterações nas médias e valores de desvio padrão, no período anterior e posterior à implantação da UHI.

Tucci (2005) e Ayer (2020) apontam a relevância do uso das técnicas estatísticas na manipulação de dados meteorológicos e hidrodinâmicos, revelando, ainda, características relevantes para o fornecimento de resultados como: impactos relacionados à bacia hidrográfica atendendo critérios correlatos às suas características físicas; representação de processos envolvendo precipitação e escoamento superficial, entre outros.

Tal abordagem tem sido amplamente aplicada em diversos trabalhos de pesquisa e intervenção em diversas escalas de análise. A utilização de *softwares* de domínio público para aperfeiçoar o tratamento de dados numéricos por meio das técnicas de estatísticas de vazão e sedimentos serviram de ferramentas para a seleção e análise dos dados coletados e tratados previamente.

### Resultados e discussão

Para compreender a dinâmica do sistema hidrográfico no seu escoamento superficial, constituiu-se uma relação precipitação vs. vazão, identificando o comportamento desses dois componentes do sistema fluvial no baixo curso da BHRJ, à jusante da barragem. O período de 10 anos antes do processo de barramento do rio, e de 09 anos após o seu processo de barramento (Figura 02). Segundo o ONS (2008), a instalação de estruturas para desvio de água na BHRJ, modifica a distribuição temporal e espacial da vazão e conduz às alterações no regime fluvial e riscos associados à sua gestão.

Os dados apontam uma correlação direta entre os picos de vazão e precipitação na estação meteorológica de Itapebi, localizada imediatamente à jusante da barragem. A vazão de longo período, ou seja, a média dos valores anuais, no rio Jequitinhonha (Itapebi) é de 330,8 m<sup>3</sup>/s (1988 a 2008), com desvio padrão de 229,4 m<sup>3</sup>/s. A vazão média anual máxima foi de 993 m<sup>3</sup>/s (1992), com desvio padrão de 113 m<sup>3</sup>/s, e a mínima de 158 m<sup>3</sup>/s, com desvio padrão de 215 m<sup>3</sup>/s (2003). Analisou-se a vazão do período anterior (1988 – 1998) e posterior (1998 – 2008) à construção da barragem. A

redução da vazão no período posterior foi significativa, tendo como média 49.071m<sup>3</sup>/s no primeiro intervalo e 34.344m<sup>3</sup>/s no segundo (Tabela 1).

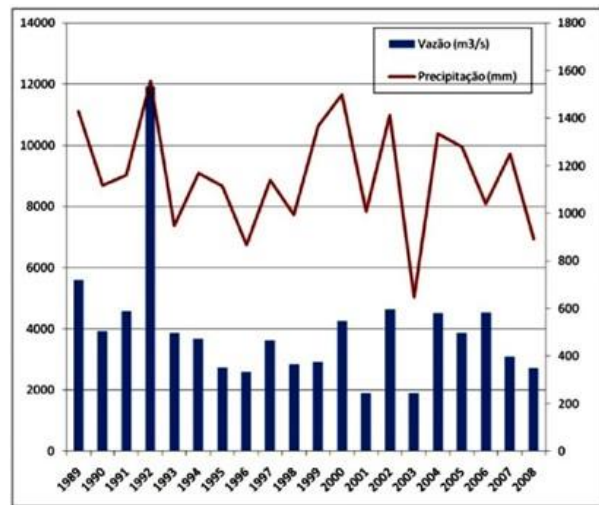


Figura 2. Relação Precipitação vs. Vazão no período de 1989 e 2008 à jusante da barragem.

Tabela 1 – Média de vazão do rio Jequitinhonha entre os anos de 1988 e 2008.

	Média m <sup>3</sup> /s	Desvio Padrão m <sup>3</sup> /s		Média m <sup>3</sup> /s	Desvio Padrão m <sup>3</sup> /s
<b>1988</b>	312	235	<b>1999</b>	243	246
<b>1989</b>	467	821	<b>2000</b>	354	318
<b>1990</b>	327	225	<b>2001</b>	159	113
<b>1991</b>	381	226	<b>2002</b>	387	471
<b>1992</b>	993	1136	<b>2003</b>	158	215
<b>1993</b>	321	316	<b>2004</b>	375	293
<b>1994</b>	307	266	<b>2005</b>	322	327
<b>1995</b>	227	224	<b>2006</b>	377	414
<b>1996</b>	216	231	<b>2007</b>	258	252
<b>1997</b>	300	305	<b>2008</b>	226	255
<b>1998</b>	236	309			

As bacias hidrográficas drenam a água e detritos que são fornecidos para a sua área de recepção, a foz. Nesse sentido, o represamento da água, à montante da UHI, também sugere alteração na finalidade da BHRJ de drenar água e sedimentos, com reflexos no nível de base, no canal fluvial do rio Jequitinhonha, e no padrão de drenagem no baixo curso da BHRJ, em direção à sua foz.

Ao contrário de rios com dinâmica natural, descargas líquidas e carga sedimentar constante, descritos por Morgan (1970), atualmente, sugere-se que o Jequitinhonha é um rio com grande variação de descarga líquida e, portanto, com reflexo na diminuição do seu aporte sedimentar na carga de fundo do rio, ocasionada pela operacionalização da barragem da UHI. Sugere-se que a construção da barragem regularizou a vazão no baixo curso da BHRJ, gerando efeitos ambientais negativos, na planície costeira e no sistema deposicional adjacente à foz, na linha de costa.

A migração de meandros relativamente acentuada, sugere que houve muitos processos erosivos em suas margens planas, entre os anos de 1973 a 1999 e, mormente entre 1999 a 2007, período de barramento e início de operacionalização da UHI, sugerindo que a retificação do canal, associada a essa obra de engenharia, acelerou os processos erosivos nessa área. No produto cartográfico de

migração dos meandros é possível analisar as alternâncias sinuosas, por trecho, que ocorreram no canal fluvial do baixo curso em diferentes momentos (figura 03).

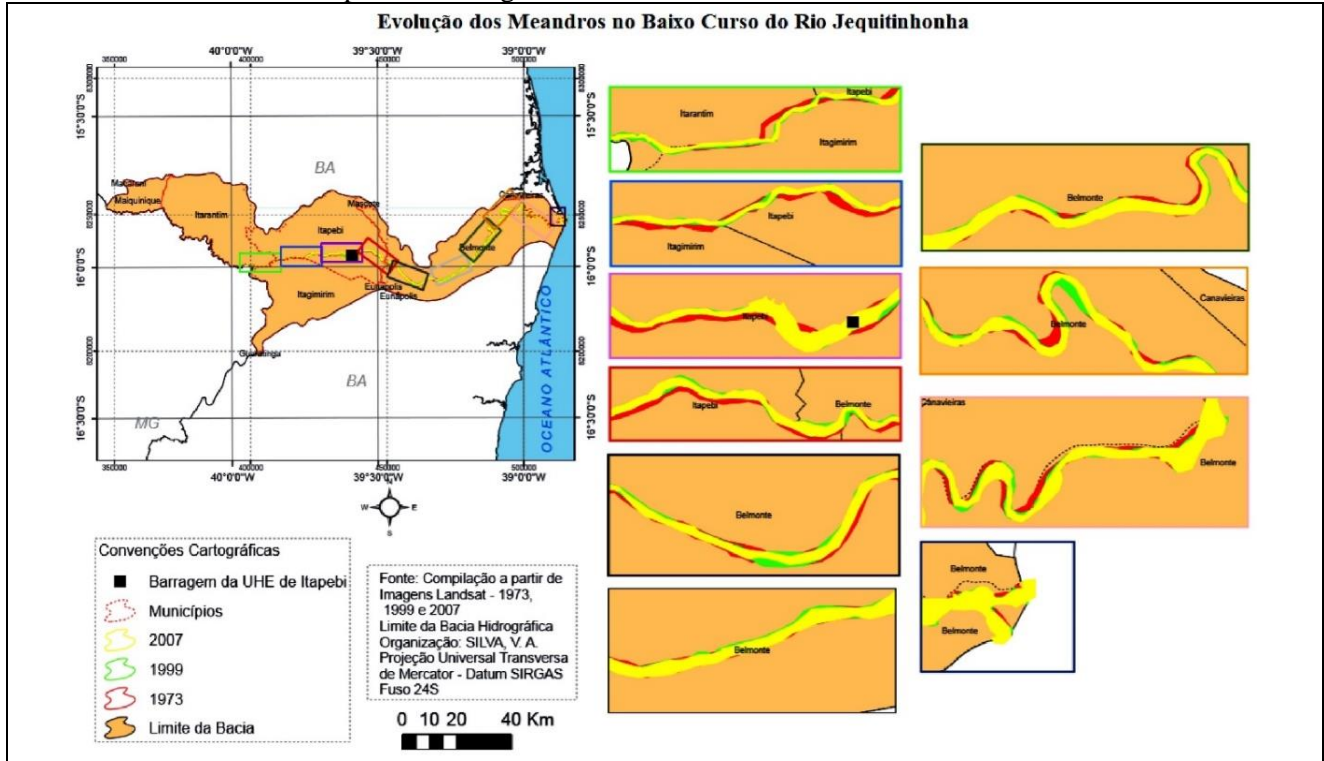


Figura 3. Migração dos meandros no baixo curso do rio Jequitinhonha em 1973, 1999, e 2007. Fonte: Autores.

As alternâncias no canal fluvial do Jequitinhonha, modificam o padrão de transporte de sedimentos e por consequência geram modificações na morfologia deltaica. Identificou-se o processo de erosão nas margens planas, próximo a foz, na

margem direita do canal fluvial da BHRJ. À esquerda, imagem no sentido montante-jusante, e à direita no sentido contrário (figura 04).



Figura 4. Erosão das margens evidenciada pela queda de vegetação no leito do rio, próximo a foz, na Margem Direita no Canal fluvial da BHRJ. Foto: Vinicius A. Silva, (2010).

As modificações no transporte de sedimentos foram identificadas também em áreas de mangue, onde existe considerável acúmulo de sedimentos marinhos devido ao processo de erosão costeira, processo recorrente em desembocaduras fluviais

ocasionado pelo déficit sedimentar oriundo do canal fluvial. O fenômeno de avanço dos sedimentos marinhos em ambiente originalmente fluviomarinho, pode ser identificado em registro de campo (figura 5).



Figura 5. Margem direita e Delta, na foz do rio Jequitinhonha, acreção de sedimentos marinhos no manguezal- Foto: Vinicius A. Silva (2010).

A carga sedimentar carreada para foz tem, na energia do meio receptor, força insuficiente para dispersá-lo ao longo da costa. Assim, para que haja o surgimento do delta, é necessário que exista um déficit de energia no meio receptor. Neste trabalho, o meio receptor com baixa energia que originalmente formou o delta do rio Jequitinhonha é a plataforma continental de depósito sedimentar subaquosa ou bacia marinha, na foz da BHRJ, onde se localiza o município de Belmonte, no estado da Bahia.

A foz da BHRJ, assim como a maioria dos grandes rios brasileiros, promove uma zona de progradação típica de deltas dominados por ondas, considerados altamente destrutivos (Bacocoli, 1971). De acordo com Dominguez et. al. (1981) e Dominguez (1982), a feição deltaica da BHRJ é considerada como um delta dominado por ondas,

adotando a classificação de Scott e Fisher (1969), que determina delta como sendo um sistema deposicional, alimentado pelos sedimentos de um rio. Por outro lado, Coleman e Wriqth (1971; 1975) consideram outros processos como relevantes para formação de deltas, relacionados a flutuação da carga de vazão e sedimentos, o que corrobora com os resultados do presente trabalho.

Desta forma, os processos associados à desembocadura fluvial (energia das ondas, regimes de marés, ventos, correntes litorâneas, declividade da plataforma, tectônica e geometria da bacia receptora) a partir da análise sistêmica do ambiente deltaico, sugerem que o delta da BHRJ se encontra em fase destrutiva e mantém relação direta com a morfologia do canal fluvial, que, originalmente, fornece aporte de sedimentos fluviais e de fluxo de vazão, com as suas devidas variações (Figura 06).



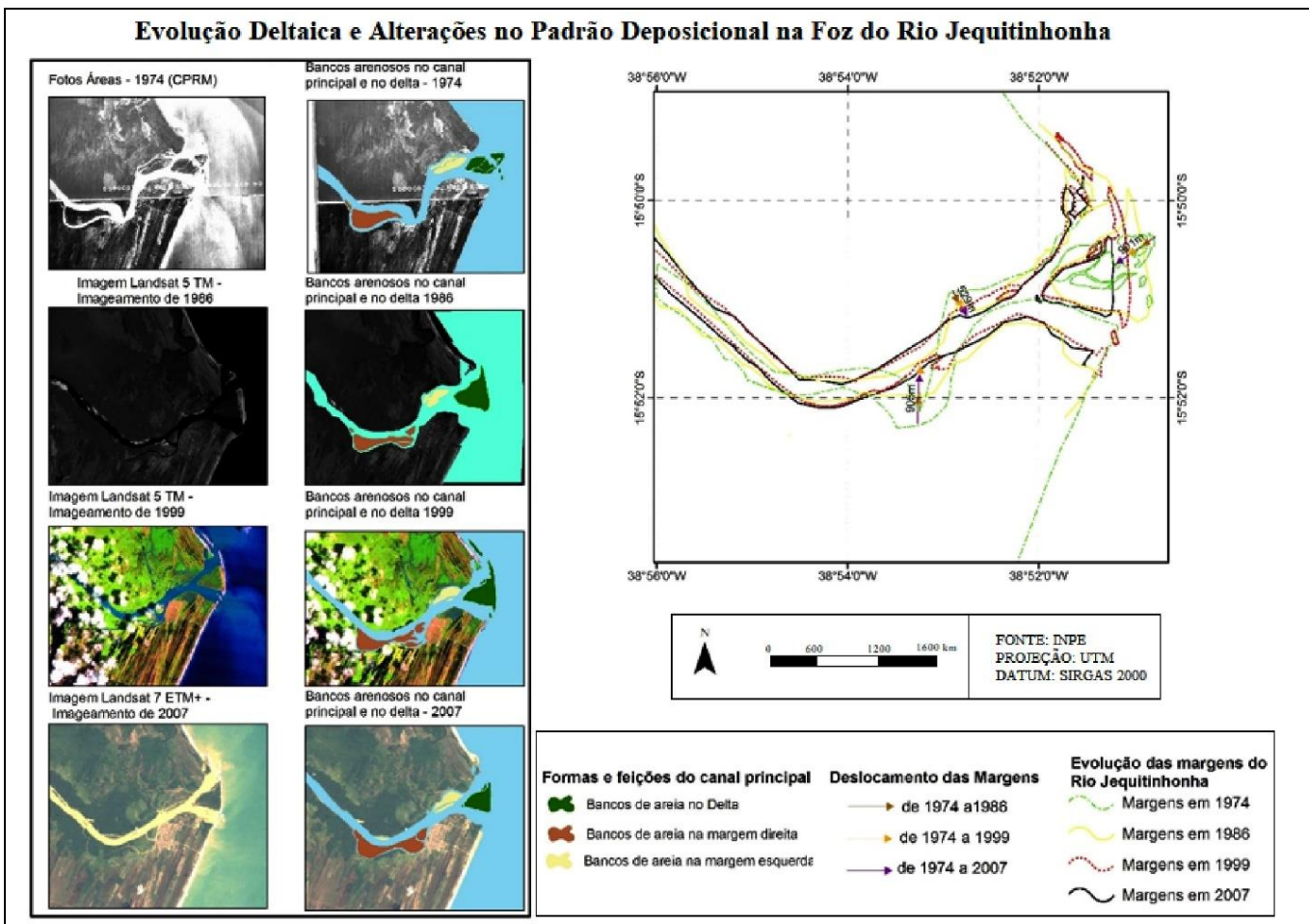


Figura 6. Evolução deltaica e do canal fluvial no período anterior e posterior a construção da barragem em trecho à jusante do barramento. Fonte: Autores.

Com relação à mudança no padrão de drenagem no canal fluvial, que está diretamente relacionado com a morfologia deltaica, Dominguez (1982) afirma que a progradação natural da linha de costa foi interrompida por uma pequena oscilação positiva do nível do mar entre 3.800 e 3.500 anos A.P., inerente a um deslocamento no curso do rio; entre 3.500-2.700 anos A.P. - associada à desembocadura. Recentemente, foi construída a segunda zona de progradação holocênica do rio Jequitinhonha, no evento regressivo marinho que caracteriza esse período.

Conforme Dominguez et. al., (1983), entre 2.700 e 2.500 anos A.P, houve novamente elevação do nível do mar. Esse evento condicionou um novo deslocamento no baixo curso do rio Jequitinhonha, quando este rio ocupou então seu canal atual. Após 2.500 anos A.P., associada ao evento regressivo que se seguiu a essa data, foi construída a terceira zona de progradação holocênica do rio Jequitinhonha. Destarte, a morfologia deltaica que já tinha sido alterada naturalmente, passou a ter um novo equilíbrio dinâmico a partir da construção do barramento da UHI.

A falta de aporte sedimentar fluvial, considerado nesse trabalho pelo incremento e controle

da barragem da UHI, gerou um novo papel no nível de base do sistema controlado baixo curso do rio Jequitinhonha. Sugere-se ainda, que o barramento dos sedimentos de fundo do rio Jequitinhonha à montante da barragem e a alteração da energia potencial e cinética do fluxo fluvial podem estar contribuindo para a aceleração do processo de erosão costeira no litoral do município de Belmonte/BA.

Tal processo se apresenta de maneira relativamente intensa e pôde ser verificado durante visita de campo em diferentes anos. A figura 7 apresenta exemplo de erosão costeira na praia do mar moreno, área turística da cidade de Belmonte, onde as infraestruturas urbanas se encontram comprometidas, gerando consequências negativas às atividades turísticas.

Nesse sentido, alguns trabalhos (Besset et. al. 2017; Lämmle e Bulhões, 2019) destacam que as pressões antropogênicas são, portanto, altas na zona costeira e em áreas deltaicas. Destaca-se que ambientes deltaicos comumente possuem solos altamente produtivos, ecossistemas ricos e biodiversos, e oferecem uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, como defesa costeira, abastecimento de água potável, recreação, turismo ecológico e conservação da natureza (Besset et al., 2017).





Figura 7. Erosão costeira na praia do mar moreno, Belmonte/BA. Foto: Luca Lämmle, 2021.

### Conclusões

O trabalho demonstrou que as alterações relativas às obras de engenharia no canal fluvial e conseqüentemente na foz do rio Jequitinhonha, com barramento e operacionalização da UHI, romperam com o equilíbrio dinâmico do delta e canal fluvial na foz da BHRJ. As análises hidrológicas indicaram que o barramento do canal fluvial do rio Jequitinhonha e a regularização do seu sistema fluvial tiveram reflexo na diminuição do seu aporte sedimentar, na carga de fundo do rio, ocasionada pela operacionalização da barragem em questão. Sugere-se que a regularização da vazão resultou na erosão das margens em alguns trechos do canal fluvial e na alteração no padrão de drenagem à jusante da barragem, passando de sinuoso a retilíneo.

O canal fluvial do baixo curso da BHRJ está relacionado ao desvio do mesmo próximo a foz (retificação do canal) na margem esquerda, por meio de obra para tal, realizada pela gestão pública do município de Belmonte em 1989. Foram identificadas alterações no comprimento do canal fluvial, tais como a diminuição da projeção ortogonal, distância vetorial e alterações em trechos e dos pontos extremos do canal fluvial na área de estudo. A migração de meandros relativamente acentuada sugere que houve erosão das suas margens plenas, sobretudo entre 1999 e 2007, período de barramento e início da operacionalização da UHI, indicando que o barramento associado à retificação do canal, acelerou os processos erosivos e deposicionais.

Sugere-se que ao longo do tempo, a forma da foz vai se alterar, como já está acontecendo, abandonando a sua configuração deltaica clássica bifurcada e transformando-se em canal único, em direção ao Norte. O canal fluvial, localizado ao Sul

da foz, tende a ser colmatado. A falta de aporte sedimentar fluvial, considerado nesse trabalho, pelo incremento e controle da barragem da UHI, gerou um novo papel no nível de base do sistema controlado baixo curso do rio Jequitinhonha. Considera-se que o atual nível de base no baixo curso da BHRJ é o local de barramento da própria usina.

O barramento dos sedimentos de fundo do rio Jequitinhonha e a alteração da energia potencial e cinética do fluxo fluvial contribuem para a aceleração do processo de erosão costeira na frente do delta. Destarte, a partir da análise e correlação dos dados de vazão, morfometria do canal, e evolução deltaica na área de estudo, foi possível analisar que a construção da barragem da UHI está diretamente relacionada com as alterações na morfologia deltaica, ocorridas nas últimas décadas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, CNPq e FAPESP pelo suporte financeiro; ao Instituto de Geociências da Unicamp e Prefeitura municipal de Belmonte/BA pelo apoio operacional para a execução.

### Referências

- ANA – Agência Nacional das Águas. 2019. Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste. Bahia, BH7 – bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha. Série: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. CD nº 4. Disponível em: [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br). Acessado em julho, 2019.
- Ayer, B. E. J., Mincato, L. R., Lammle, L., Silva, M. P. F. L., Garofalo, T. F. D., Servidoni, E. L., Spalevic, V., Pereira, Y. S. 2020. Hydrosedimentological dynamics in the Guarani Aquifer System, Ribeirão Preto, State of São Paulo, Brazil. *Agriculture and Forestry*, 66, 215-232.
- Bacocoli, G. 1971. Os deltas marinhos holocênicos brasileiros: Uma tentativa de classificação. *Bol. Técn. Petrobrás*, Rio de Janeiro: cap. 14, p. 5-36.
- Besset, M. Anthony, E. J., Sabatier, F. 2017. River delta shoreline reworking and erosion in the Mediterranean and Black Seas: the potential roles of fluvial sediment starvation and other factors. *Elem. Sci. Anth.* 5, 2–20.
- Chamorro, P. 2018. Jequitinhonha, ascensão e morte da cultura às suas margens. Disponível em [http://www.marsemfim.com.br/pub/viagens/reportagem\\_det.php?id\\_reportagem=52&id\\_no=51](http://www.marsemfim.com.br/pub/viagens/reportagem_det.php?id_reportagem=52&id_no=51). Acesso em: 25. set. 2018.
- Cheng, H.Q; Chen, J.Y; Chen, Z.J; Ruan, R.L; Xu, G.Q; Zeng, G; Zhu, J.R; Dai, Z.J; Chen, X.Y; Gu, S.H; Zhang, G.X.L; Wang, H.M. 2018.

- Mapping Sea Level Rise Behavior in an Estuarine Delta System: A Case Study along the Shanghai Coast Engineering. (*Online*), Shanghai 4, 156–163.
- Christofolletti, A. 1999. Modelagem de Sistemas Ambientais São Paulo; Edgar Blucher.
- Christofolletti, A. 1980. Geomorfologia. São Paulo 7 ed. Edgar Blucher, 187p.
- Coleman, J. M.; Gagliano, S. M. 1965. Sedimentary structures: Mississippi River deltaic plain. In: MIDDLETON, G. V., ed., Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Spec. Publ. 12, 133-148.
- Coleman, J.M.; Wright, L.D. 1971. Analysis of major river systems and their deltas: procedures and rationale, with two examples. Louisiana State Univ., Coastal Studies Inst. Tech. Rept, 95, 125.
- Coleman, J.M.; Wright, L.D. 1975. Modern river deltas: variability of processes and sandstone bodies. In: BROUSSARD, M.L. ed. Deltas, Models for Exploration. Houston, Geol. Soc. 99-150.
- Cunha, S.B. 1995. Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil), Tese de Doutorado 415 p. 1995 435f. Tese (Doutorado em Geografia Física) Universidade de Lisboa, Lisboa Ed: Instituto de Geociências, UFRJ.
- Dominguez, J.M.L. 1982. Evolução quaternária da planície costeira associada à foz do rio Jequitinhonha (BA): influência das variações do nível do mar e da deriva litorânea de sedimentos. Dissertação de Mestrado, 73 p. 1982 135f. Dissertação (Mestrado em geologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Dominguez, J. M. L; Bittencourt, A.C.S.P; Martin, L. 1981. Esquema Evolutivo da Sedimentação Quaternária nas Feições Deltaicas dos Rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). Revista Brasileira de Geociências, 11(4): 227-237.
- Dominguez, J. M. L; Bittencourt, A.C.S.P; Martin, L. 1983. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies litorâneas associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (Al-Se), Jequitinhonha (Ba), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ), Revista Brasileira de Geociências. 13, 98-105.
- Donadio, C.; Brescia, M.; Riccardo, A.; Angora, G.; Veneri, M. D.; Riccio, G. 2021. A novel approach to the classification of terrestrial drainage networks based on deep learning and preliminary results on solar system bodies. Scientific Reports, 11, 5875.
- 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.
- IBGE – 2005. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jequitinhonha: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Departamento de Recursos Naturais,
- ICOLD. 2011. 80 Years – Dams for Human Sustainable Development. Paris: International Commission on Large Dams.
- Lämmle, L.; Bulhões, E. M. R. 2019. Impactos de obras costeiras na linha de costa: O Caso do Porto do Açú, Município de São João da Barra, RJ. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, 13, 131-152.
- Lämmle, L.; Santos, C. J.; Ayer, J. E. B.; Barbosa, A. I. G. 2020. Interações socioambientais nas margens do rio Paraíba do Sul em Campos dos Goytacazes/RJ: considerações sobre o caso da indústria Corbion. Revista Contexto Geográfico, 5, 133-144.
- Leli, I. T.; Stevaux, J. C.; Assine, M. L. 2021. Architecture, sedimentary facies and chronology of a composite island: A model from the Upper Paraná River, Brazil. Geomorphology, 372, 107457.
- Mattos, S. H. V. L. Perez Filho, A. 2004. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: Uma Introdução ao Tema. Revista brasileira de geomorfologia, Goiânia, 5, 11-18.
- Monteiro, K. A.; Corrêa, A. C. B. 2020. Application of morphometric techniques for the delimitation of Borborema Highlands, northeast of Brazil, eastern escarpment from drainage knick-points. Journal of South American Earth Science, 103, 102729.
- Moreira, V. B.; Perez Filho, A. 2020. Das superfícies de aplainamento aos pulsos climáticos holocênicos: a evolução da paisagem em relevos de chapada. Sociedade e Natureza, 32, 176-195.
- Morgan, J. P. 2013. Depositional processes and products in the deltaic environment. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 15, 31-47, 1970.
- 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.
- ONS – 2008. Operador Nacional do Sistema Elétrico, Estudos de consistência e reconstituição de séries de Vazões naturais nas bacias dos rios

- Parnaíba, Jequitinhonha e doce, Relatório, 1 out.
- Peng, Y; Steel, R. J; Rossi, V. M; Olariu, C. 2018. Mixed-energy Process Interactions Read from a Compound-clinoform Delta (paleo-orinoco Delta, Trinidad): Preservation of River and Tide Signals by Mud-induced Wave Damping. *Journal of Sedimentary Research* 88, 75-90.
- Perez Filho, A.; Rubira, F. G. 2018. Evolutionary interpretation of Holocene landscapes in eastern Brazil by optimally stimulated luminescence: Surface coverings and climatic pulsations. *Catena*, 172, 866-876.
- Phillips, J. D. 2011. Emergence and pseudo-equilibrium in geomorphology. *Geomorphology*, 132(3-4), 319-326.
- Porritt, E. L; Jones, B. G; Price, D. M; Carvalho, R. C. 2020. Holocene delta progradation into an epeiric sea in northeastern Australia. *Marine Geology*, 419.
- Reshma, K.N; Murali, R.M. 2018. Current Status and Decadal Growth Analysis of Krishna - Godavari Regions using Remote Sensing. In: Shim, J.-S.; Chun, I., and Lim, H.S. (eds.), *Proceedings from the International Coastal Symposium (ICS) 2018 (Busan, Republic of Korea)*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 85, 1416–1420. Coconut Creek Florida,
- Ross, J.L.S. 1998. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. São Paulo, Contexto.
- Rossetti, D.F. 2008. *Ambientes Costeiros*. Cap. 9. In: Florenzano, Teresa Gallotti (org.). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- Schumm, S. A. 1993. River response to baselevel change: implications for sequence stratigraphy. *The Journal of Geology*, Chicago, 101, 279-294.
- Scott, A.J.; Fisher, W.L. 1969. Delta system and deltaic deposition. Discussion notes. Austin, Department of Geological Sciences, Bureau of Economic Geology, University of Texas.
- Scruton, P.C. Delta building and the deltaic sequence. In: Shepard, F.P., Phleger, F.B. e van Andel, T.H. (Eds.). 1960. *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. American Association of Petroleum Geologists, p. 82-102.
- SEI - 2004. *Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (Salvador/BA). Mapas digitalizados do Estado da Bahia: base de dados*. Salvador: SEI, (CD-ROM).
- SEI - 2019. *Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Informações Geoambientais*.
- Souza, A.O.; Perez Filho, A.; Lämmle, L.; Souza, D.H. 2020. Holocene climate pulses and structural controls on the geomorphological estuarine evolution of the Iguape River, São Paulo, Brazil. *Continental Shelf Research*, 205, 104168.
- Souza, C. M. P., Costa, L. M., Moreau, A. M. S. S., Gomes, R. L. 2016. Sedimentological parameters and dating of post-barreiras sediments from region the coastline. *Mercator*, 15, 127-139.
- Suguió, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. 2 ed. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 400p.
- Tan, C.; Huang, B.; Liu, F.; Yang, Q.; Jiang, C.; Zhang, S. 2016. Transformation of the Three Largest Chinese River Deltas in Response to the Reduction of Sediment Discharges. *Journal of Coastal Research*: 32, Issue 6: 1402 – 1416.
- Tsanakas, K; Karymbalis, E; Gaki-Papanastassiou, K; Maroukian, H. 2019. Geomorphology of the Pieria Mtns, Northern Greece, *Journal of Maps*, 15:2, 499-508.
- Tucci, C. E. M. 2005. *Modelos Hidrológicos*. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 678,
- Valeriano, M. M. 2005. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto Topodata. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 12, 2005, Goiânia. *Anais...* São José dos Campos: INPE, p. 3595-3602.
- Xing, G. P.; Wang, H. J.; Yang, Z. S.; Bi, N. S. 2016. Spatial and Temporal Variation in Erosion and Accumulation of the Subaqueous Yellow River Delta (1976–2004). *Journal of Coastal Research: Special Issue v. 74 - Environmental Processes and the Natural and Anthropogenic Forcing in the Bohai Sea, Eastern Asia*: p. 32 – 47.
- Zancopé, M. H. C; Perez Filho, A. 2006. Considerações a respeito da distribuição das planícies fluviais do Rio Mogi Guaçu. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7, 65-71.