

---

## HOTSPOTS DE EROSÃO MARGINAL NO MÉDIO-BAIXO RIO DOCE: IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE

André Luiz Nascentes **COELHO**

Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo.

E-mail: [alnc.ufes@gmail.com](mailto:alnc.ufes@gmail.com).

**RESUMO:** O presente estudo teve como objetivo realizar um diagnóstico das mudanças na morfologia fluvial do médio/baixo rio Doce entre os anos de 1977 e 2017, apresentando um panorama das áreas de erosão marginal e da intensidade desses processos na calha do canal principal, analisada através da Estimativa de Densidade Kernel (EDK). Para isso, o trecho desse rio a jusante da usina hidrelétrica de Aimorés, até a foz, foi analisado com base em imagens temporais da série Landsat, no período de vazante, delimitando elementos fluviais de ilhas, erosão marginal, bancos arenosos e corpo d'água; realização de campanhas de campo; divisão do baixo curso em quatro segmentos. Essa análise revelou, neste período de 40 anos, a erosão de 241,9 hectares da calha no trecho de 141,6 km, com uma taxa média de erosão de 1,51 hectares/ano. Constatou-se, também, que as taxas de erosão anuais do rio cresceram do setor montante para jusante durante o período analisado. O emprego dessa técnica com o uso de produtos de sensoriamento remoto contribuiu para o melhor entendimento da dinâmica dos sistemas fluviais de médio/grande porte servindo de apoio em ações de controle e monitoramento dos processos de erosão marginal, especialmente, daqueles rios desprovidos de análises/levantamentos dessa natureza.

**Palavras-chave:** Geomorfologia Fluvial. Geotecnologias (SIG). Sensoriamento Remoto. Taxas de erosão. Diagnóstico de Canais Fluviais.

## HOTSPOTS OF MARGINAL EROSION IN THE MIDDLE-LOW DOCE RIVER - BRAZIL: IDENTIFICATION AND ANALYSIS

**ABSTRACT:** The present study aimed to provide a diagnosis of changes in morphology of the middle-low Doce river - Brazil between the years 1977 and 2017, presenting an overview of the marginal erosion areas and the intensity of these processes in the main channel analyzed through Estimation Density Kernel (EDK). For this, the stretch of this river downstream from the Aimorés hydroelectric power plant to the mouth of the ocean was analyzed based on temporal images of the Landsat series delimiting fluvial elements such as polygons of marginal erosion, islands, sandy banks and bodies of water; field campaigns; the river channel division into four analysis segments and with some calculations it was possible to show, in this period of 40 years, an erosion of 241.9 ha of

the gutter in a stretch of 141.6 km, with an average erosion rate of 1.51 ha / year. It was also verified, that the annual erosion rates of the river grew the amount for down during the period analyzed. The use of this technique with the use of remote sensing products provides an overview of the erosion processes of medium and large river systems, through a temporal study, especially of those devoid of analyzes / surveys of this nature.

**Key-words:** Fluvial geomorphology. Geotechnologies (GIS). Remote Sensing. Erosion rates. Drainage Basin Diagnosis.

## **HOTSPOTS DE EROSIÓN MARGINAL DEL MEDIO-BAJO RÍO DOCE - BRASIL: IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS**

**RESUMEN:** El presente estudio tuvo como objetivo proporcionar un diagnóstico de los cambios en la morfología del medio / bajo río Doce entre 1977 y 2017, presentando una visión general de las áreas de erosión marginal y la intensidad de estos procesos en el canal principal, analizado a través de Estimación de Densidad de Kernel (EDK). Para esto, se analizó el tramo de este río desde la central hidroeléctrica de Aimorés hasta la desembocadura en base a imágenes temporales de la serie Landsat, delimitando elementos del río como polígonos de erosión marginal, islas, bancos de arena y cuerpos de agua; campañas de campo. Al dividir el curso bajo en cuatro segmentos de análisis y varios cálculos, fue posible mostrar, en 40 años, la erosión de 241.9 hectáreas de la canaleta en el tramo de 141.6 km, con una tasa de erosión promedio de 1.51 hectáreas / año. También se descubrió que las tasas anuales de erosión fluvial aumentaron desde el sector aguas arriba hasta el sector aguas abajo durante el período del informe. El uso de esta técnica con el uso de productos de teledetección contribuye a una mejor comprensión de la dinámica de los sistemas fluviales medianos y grandes y a promover acciones de control y monitoreo de los procesos de erosión marginal, especialmente aquellos sin tales análisis.

**Palabras clave:** Geomorfología fluvial. Geotecnologías (SIG/DR). Detección Remota. Tasas de erosión. Diagnóstico de Cuencas.

## **INTRODUÇÃO**

As águas constituem os agentes mais importantes no transporte de materiais intemperizados das áreas mais elevadas para as baixas a partir de uma rede interconectada de fluxos de energia e matéria (líquida, sólida e solúvel) que se processam ao nível da superfície terrestre, convergindo para uma saída comum do canal fluvial de um determinado sistema de drenagem (CHARLTON, 2008; HESS, 2014).

Assim, as condições climáticas, a cobertura vegetal, litologia, o homem, entre outros elementos, controlam a dinâmica das vertentes/encostas e, por sua vez, o tipo de carga detrítica (sedimentos) a ser fornecida aos canais fluviais. Já a capacidade de erosão das margens de um rio, bem como o transporte e deposição de sedimentos dependem, entre outros fatores, da vazão e da natureza das correntes fluviais, refletindo em uma condição

estável (equilibrada) da calha fluvial. Desse modo, qualquer intervenção promovida por fenômenos naturais (tectônica, neotectônica, entre outros) ou pela ação antrópica rompe com esta estabilidade, repercutindo de imediato nas condições de erosão transporte e deposição até chegar a uma nova condição de equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1981; SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003; SOUZA, 2004; CUNHA, 2012; SOUZA; CUNHA, 2015).

Cunha (2012) e Coelho (2019), entre outros pesquisadores, após uma série de investigações destacaram dois principais grupos de mudanças fluviais induzidas pela ação do homem. O primeiro deles são as modificações ocorridas diretamente no canal fluvial, para controle de vazões ou para alterar a forma do canal. São exemplos, os reservatórios para armazenamento de águas para geração de energia; redimensionamento de margens com o objetivo de atenuar os efeitos das enchentes (canalização e dragagem), extração mineral, erosão ou deposição de materiais. Os pesquisadores argumentam que esse tipo de interferência, normalmente, altera a seção transversal, o perfil longitudinal do rio, o padrão de canal, entre outros efeitos.

O segundo grupo são as interferências indiretas realizadas fora da área dos canais, ou seja, no interior da bacia e que repercutem nessas calhas fluviais (CUNHA, op. Cit). Um exemplo são as mudanças da descarga sólida do rio e, conseqüentemente, a extensão para o restante da bacia a jusante. Tais atividades, sobretudo, estão ligadas ao uso da terra, com o destaque, para remoção da cobertura vegetal, monocultura de floresta plantada (eucalipto e pinus), práticas degradantes que descumprem leis/resoluções relacionadas à irrigação (ausência de outorgas), agriculturas (excesso de agrotóxicos), mineradoras (ausência de licenciamento) e indústrias (lançamento de águas servidas e/ou outorgas), além do processo de urbanização (deficiência/ausência do tratamento das águas residuais domésticas).

Em função destas interferências, o ajustamento morfológico do canal pode ocorrer com intervalos de tempos que variam entre longo, médio e curto prazo. A rapidez destas transformações vai depender da dinâmica de operação do canal. Por exemplo, uma das formas que o rio encontra para retornar ao seu equilíbrio fluvial é através da intensa erosão de suas margens, alteração na topografia do fundo do leito. Assim, as mudanças morfológicas do rio podem levar desde alguns dias a várias décadas para serem ajustadas e, dependendo do grau e quantidade e interferências (diretas e/ou indiretas), resultar em um período de ajustamento indeterminado (COELHO, 2019).

A bacia hidrográfica do rio Doce é um desses recortes fluviais que registram diversas interferências diretas e indiretas. Possui uma área de drenagem de 83.465 km<sup>2</sup>, dos quais 86% pertencem ao estado de Minas Gerais e o restante (14%) ao estado do Espírito Santo, sendo, portanto, uma bacia de domínio federal (COELHO, 2007; 2019).

Análises das séries históricas de vazões demonstram que o rio Doce foi um dos canais fluviais que apresentou reduções expressivas de suas águas no estado do Espírito Santo, em função de várias ações antrópicas, principalmente ligadas à exploração madeireira, construção de ferrovia, mineração, silvicultura (sobretudo de eucalipto), irrigação agrícola para cultivo de café, atividades pecuárias, urbanização, entre outros usos (COELHO, 2007). Destacam-se, ainda, os efeitos diretos decorrentes da transposição de águas, construção de barragens, que juntos interferem substancialmente na dinâmica fluvial, particularmente as UHEs, induzindo processos erosivos das margens do canal através da variação diária das vazões artificiais, durante a demanda por energia, nos horários de pico (COELHO, 2019).

Ressalta-se que a documentação de mudanças quantitativas da morfologia do canal principal do médio-baixo rio Doce por processos de erosão marginal são escassas e pontuais como os trabalhos de ALMEIDA e CARVALHO (1993), CUNHA (2001) e LIMA, LOPES e CARVALHO (2005), que não abordam temas como intensidade e distribuição dos processos de erosão ao longo do canal analisado.

Neste contexto, o objetivo geral do trabalho foi realizar, a partir de produtos de Sensoriamento Remoto, um diagnóstico das mudanças na morfologia fluvial do médio/baixo rio Doce entre os anos de 1977 e 2017, apresentando um diagnóstico das áreas de erosão marginal e da intensidade destes processos na calha do rio principal analisada, através da Estimativa de Densidade Kernel (EDK). Ao passo que os objetivos específicos foram: avaliar as taxas de erosão nos diferentes trechos do rio; identificar e analisar quais os setores do rio em que as taxas de erosão foram expressivas; contribuir no aprimoramento de técnicas de investigação em ambientes fluviais, a partir de ações de monitoramento e gestão fluvial.

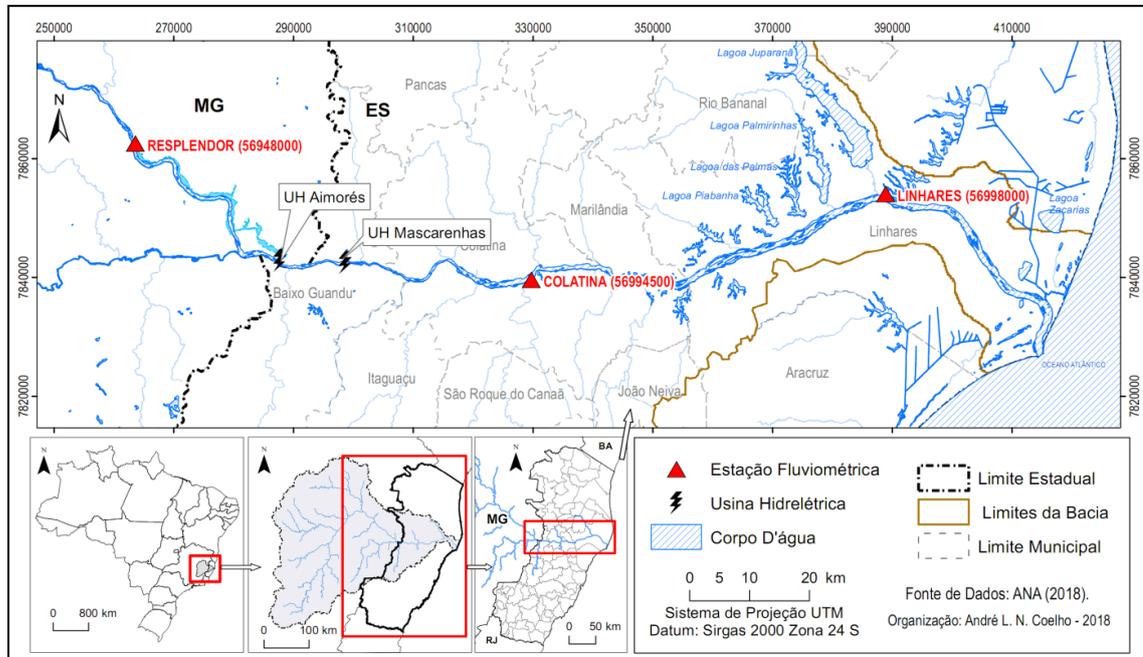
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **A área em estudo**

A área em estudo está localizada no médio-baixo curso do rio Doce, na região sudeste do Brasil entre os paralelos 17°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste (Figura 1). A área possui duas usinas hidrelétricas (UHEs),

ambas operando a fio de água, a saber: a UHE de Aimorés, que entrou em operação em 2005, situada na divisa dos estados de MG e ES e tem reservatório de 33,88 km<sup>2</sup>; localizada 22 km a jusante encontra-se a UHE de Mascarenhas, em atividade desde 1974, e com um reservatório de 5,31 km<sup>2</sup>.

Figura 1 - Localização da área em estudo no baixo curso do rio Doce



.Fonte: André Luiz Nascentes Coelho (2018)

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O encaminhamento metodológico da pesquisa abrangeu o referencial bibliográfico sobre o assunto, incluindo a caracterização da bacia abordada por Coelho (2007; 2019). Em seguida, a análise do trecho a jusante da UHE de Aimorés até a foz no período de 40 anos, utilizando os planos de informações, sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Planos de Informações utilizados / Base de Dados Geográficos.

DADO	TEMA	FONTE	ANO	ESCALA/ RESOLUÇÃO
Carta Topográfica	Topografia	IBGE	1975	1:50.000
Limite Estadual	UF	IBGE	2017	1:100.000
Limite Municipal	Município	IBGE	2017	1:1.000
Corpo d'água	Massa d'água	IBGE	2017	1:100.000
Usinas Hidrelétricas	Categoria de usinas	COELHO	2019	1:10.000
Landsat-2 MSS	Imagens bandas 3B, 4G e 5R	USGS	1977	80 metros
Landsat-8 OLI	Imagens bandas 3B, 4G e 5R	USGS	2017	30 metros
Landsat-8 OLI – Pan	Imagem banda 8	USGS	2017	15 metros
Ortofotomosaico	Imagem	IEMA	2008	1 metro
Aster/GDEM	Modelo digital de elevação	USGS	2011	30 metros

Fonte: André Luiz Nascentes Coelho (2018)

Os dados vetoriais e matriciais (Tabela 1), assim como o seu processamento foram realizados através do aplicativo computacional Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS 10.5 licenciado junto ao Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias/UFES, empregando o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS 2000, Fuso 24 Sul, com o mapeamento produzido seguindo a padronização cartográfica segundo proposta de Fitz (2008) e Menezes e Fernandes (2013).

A base utilizada para a análise foi o traçado das linhas das margens da calha do canal principal dos anos de 1977 e 2017, vetorizadas a partir das imagens de satélite dos respectivos períodos, além de entrevistas com barqueiros e ribeirinhos (campanhas de campo). De posse dessas linhas geraram-se os polígonos de erosão marginal que foram transformados em nuvens de pontos de igual tamanho e distanciamento, seguidos da aplicação da Estimativa de Densidade Kernel (EDK), que destacou os Pontos Quentes (*hotspots*), representando os principais setores do médio-baixo rio Doce em que os processos foram desencadeados.

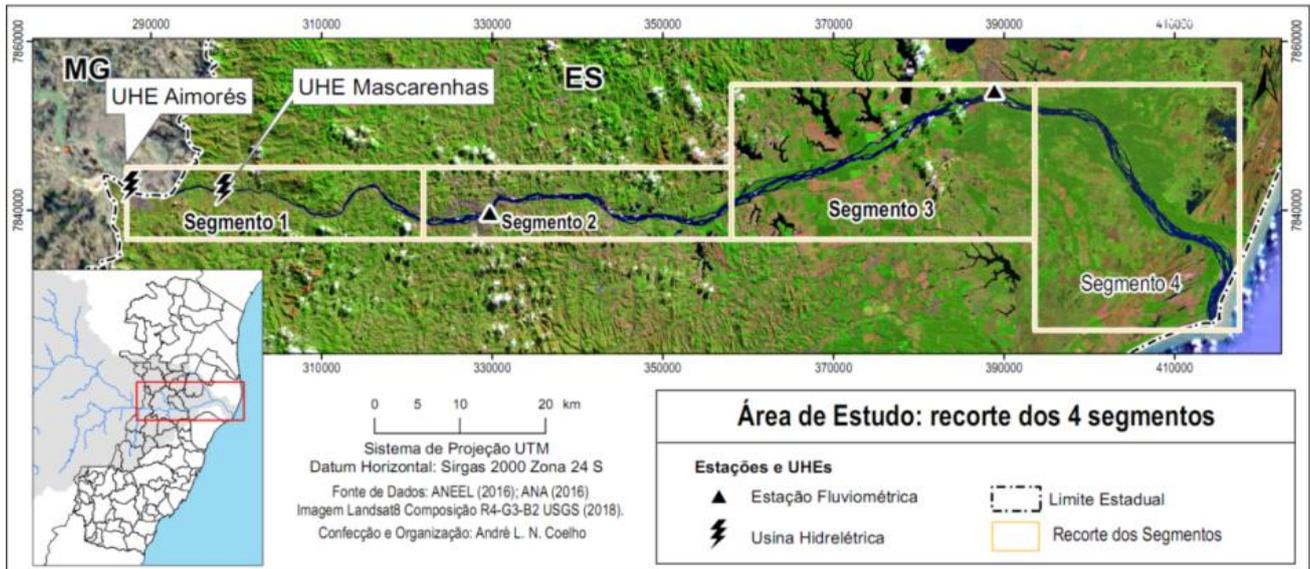
Na cartografia, em cada área que esse processo de erosão foi deflagrado e evidenciado pela Densidade Kernel, recebeu um código iniciado por um número seguidos das letras “e” para a margem esquerda ou “d” para a margem direita do canal principal analisado. A numeração seguiu a ordem natural, partindo do segmento S1 de montante para jusante do canal principal.

O produto cartográfico evidencia, nas tonalidades do vermelho, a intensidade dos processos erosivos, em que as cores mais escuras são os setores em que esses processos foram mais expressivos. Para cada segmento foram avaliados os números totais dos pontos/áreas de erosão, os totais de erosão por margens (esquerda e direita), o código do local em que esse processo foi mais intenso, e também, o código do local em que o ponto quente foi mais extenso.

Em relação as imagens de satélites de 1977 e 2017 foram selecionadas com base em uma sequência de critérios lógicos e possíveis para a execução do presente trabalho: a) disponibilização e acesso a datas de passagens mais antigas sobre a área objeto de estudo; b) imagens obtidas e validadas no período de vazante (julho) do rio (USGS, 2017), com base nos dados da estação de Colatina (56994500); c) baixo índice de cobertura de nuvens; e d) qualidade das imagens (isenta de ranhuras/erro de bandas e disponibilidade dos canais do satélite). O procedimento de delimitação dos elementos fluviais (ilhas, corpo d'água; depósito arenoso / sedimentação e erosão marginal) contou com o apoio de outras imagens de maior resolução espacial como as ortofotos (IEMA, 2008), que destacam essas características morfométricas e morfológicas.

Abaixo são descritos outros procedimentos utilizados nesse estudo, que incluíram: a) divisão do canal principal em 4 segmentos de análise de igual extensão (35,4 km) permitindo evidenciar e, sobretudo, comparar os setores de erosão (Figura 2).

Figura 2-Área de estudos, médio-baixo rio Doce, dividida em 4 segmentos.



Fonte: André Luiz Nascentes Coelho (2018).

b) vetorização em escala máxima de 1:2.000, partindo das imagens do ano 2017 da série *Landsat-8/OLI*, composta na falsa cor vermelha, bandas (5R, 4G, 3B) mais a banda 8 (PAN) com resolução final de 15 metros, evidenciando melhor a morfologia atual; c) delimitação das feições fluviais do ano de 1977, tomando como referência as imagens *Landsat-2/MSS* compostas na falsa cor vermelha (bandas 6R, 5G, 4B), seguida das correções topológicas dos planos de informações vetorizados dos anos 2017 e 1977 de ilhas, sedimentos, erosão marginal e corpos d'água; d) validação dos polígonos da calha em campo; e) aplicação da equação:

$$Te = \frac{Ae}{T} \quad (1)$$

Sendo:  $Te$  = Taxa de erosão marginal anual;  $Ae$  = Área de erosão (em hectares)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta as características morfométricas e morfológicas de cada segmento a partir da aquisição e tratamento dos produtos de sensoriamento remoto com uso de SIG, quantificando os processos de erosão marginal entre 1977 e 2017.

Tabela 2- Características Morfológicas e Morfométricas

Variável/Valor Areal		Segmento 1		Segmento 2		Segmento 3		Segmento 4	
		jul/77	jul/17	jul/77	jul/17	jul/77	jul/17	jul/77	jul/17
Corpo D'água Superficial (ha)		1.179,1	1.042,8	2.586,4	1.826,9	3.481,7	2.497,9	3.866,1	3.090,2
Ilhas (ha)		119,3	134,0	424,5	497,8	1.215,3	1.524,3	450,5	828,7
Sedimentação na Calha (ha)		39,2	167,0	71,8	741,9	137,4	626,2	125,8	522,9
Largura do Canal	Mínima (m)	36,9	85,5	311,3	346,5	541,2	528,4	786,4	716,4
	Máxima (m)	1182,4	1126,2	1328,09	1257	2000,8	1745,9	1727,3	1724
	Média (m)	609,65	605,85	819,695	801,75	1271	1137,15	1256,85	1220,2
Extensão do Segmento (km)		35,4		35,4		35,4		35,4	
Direção (do comprimento do eixo)		Oeste-Leste		Oeste-Leste		Se-Ne		Noroeste-Sul	
Erosão Lateral (ambas às margens)		42,0		40,6		78,2		81,1	
Erosão Margem Esquerda (ha)		19,8		18,7		68,4		39,6	
Erosão Margem Direita (ha)		22,2		21,9		9,8		41,5	
Taxa de Erosão (ha/ano)		1,05		1,02		1,96		2,03	
Sinuosidade (Lc/Le)		1,04		1,02		1,01		1,08	
Cota Montante (Hm)		60,4		28,3		22,7		12,7	
Cota Jusante (Hj)		28,3		22,7		12,7		0	
Gradiente % - (Hm - Hj)/Lc		0,91		0,16		0,28		0,36	

Fonte: os autores

A aplicação desta metodologia revelou 46 áreas/pontos registrados nos quatro segmentos do médio-baixo curso do rio Doce, com 25 na margem esquerda e 21 na margem direita, revelando uma distribuição equilibrada entre as margens e um total de área erodida de 241,9 ha (Tabela 2). A análise conjunta evidenciou que essas áreas de erosão ocorreram de maneira distinta de montante para jusante, com um número maior nos segmentos S1 e S2, totalizando 30 registros, enquanto nos segmentos S3 e S4 notou-se uma diminuição gradual dessas áreas, com apenas 16 registros, porém com maior extensão de margem erodida. Em

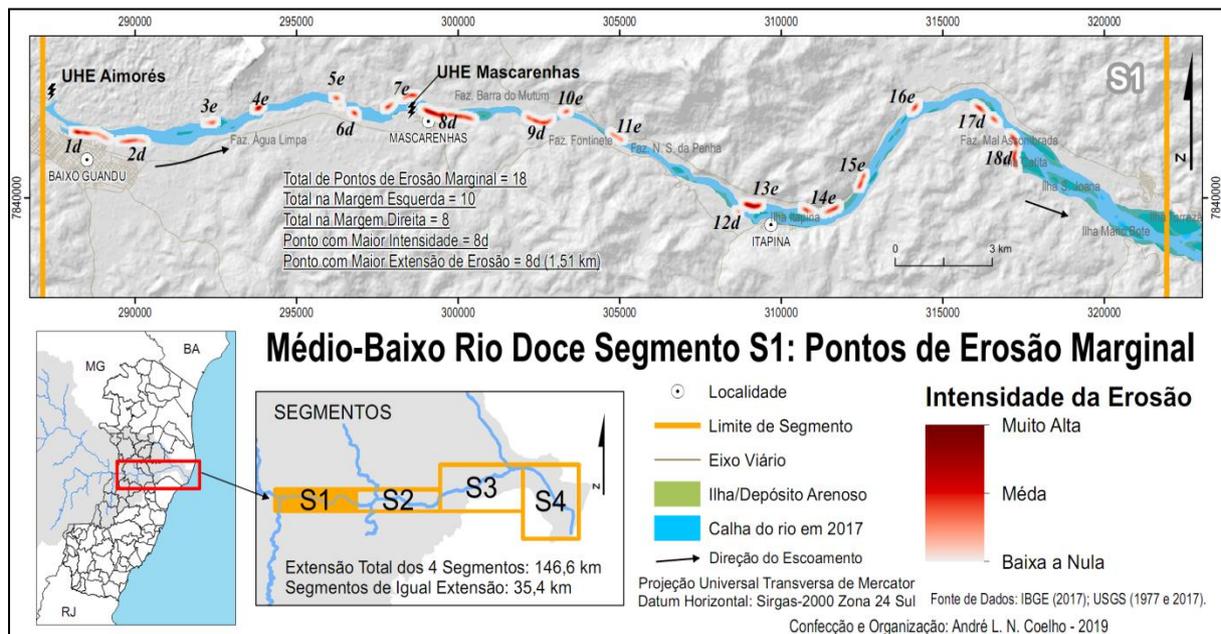
sequência estão cartografados os 4 segmentos, destacando as áreas e intensidades de erosão e explorando a Tabela 2.

### Análise do segmento 1

O Segmento 1 de direção oeste-leste constitui-se, entre os quatro de mesma extensão, como o trecho da calha do rio em que este se encontra mais encaixado, apresentando a menor largura média do canal (605 m), sobretudo no trecho a montante, adjacente à sede municipal de Baixo Guandu (ES) até a UHE de Mascarenhas.

É também, o segmento que possui o maior gradiente do canal, apesar de baixo (0,91%), reflexo do relevo regional, marcado pela ocorrência de cristas simétricas, ressaltos e pontões. Nota-se uma boa distribuição dos dezoito pontos/áreas de erosão entre as margens, com 10 na margem esquerda e 8 na margem direita. A área identificada com maior intensidade foi a “8d” situada imediatamente após a barragem da UHE de Mascarenhas. Esse processo erosivo teve início a partir da construção e entrada em operação da UHE na década de 70 que removeu, praticamente, todo o sedimento de fundo nos primeiros 700 metros a jusante da barragem (Figuras 3 e 4).

Figura 3 - Segmento S1 destacando as 18 áreas de erosão marginal na tonalidade vermelha escura.



Fonte: André Luiz Nascentes Coelho (2018).

Figura 4 - Vista do barco, em primeiro plano, a área/ponto “8d” a extensa margem erodida e ao fundo da imagem a casa de forçada UHE de Mascarenhas.



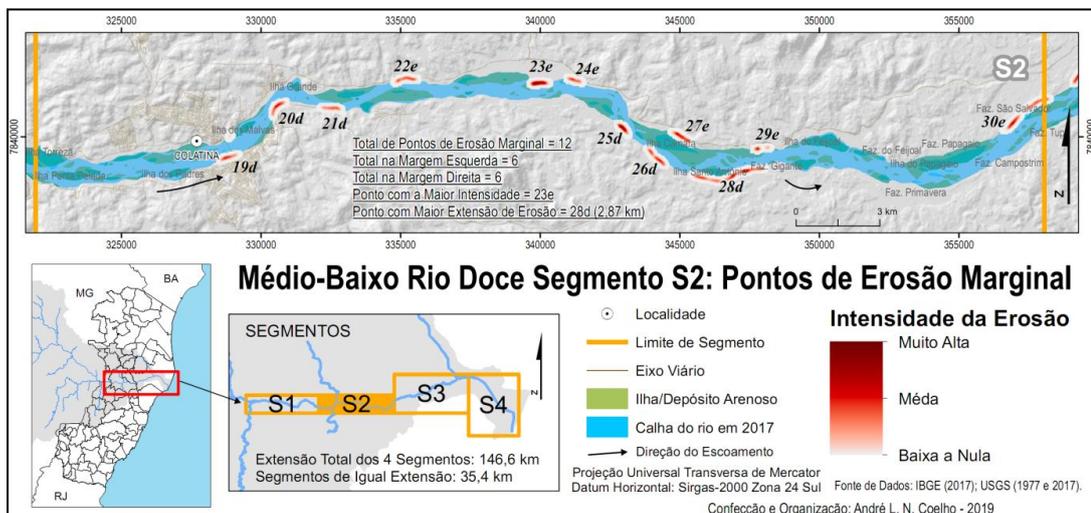
Fonte: André Luiz N. Coelho (08/2018).

Este processo é desencadeado pela alteração no fluxo das águas após a barragem que passa a ser concentrado e controlado, pelas vazões diárias artificiais nos horários de pico, associada a uma menor carga de sedimentos (retidos no reservatório), resultando na mudança substancial dos padrões de drenagem e morfologia do canal, com a erosão das margens (Figura 4) e com relativo entalhamento do rio após o barramento (COELHO, 2006). Enfim, o que se observa é, praticamente, uma nova dinâmica fluvial a jusante da UHE, com vazões controladas, influenciando nos processos de erosão, transporte, deposição e formas fluviais.

## Análise do segmento 2

O Segmento 2 apresenta um total de 12 pontos/áreas de intensidade de erosão marginal com a ocorrência equilibrada de seis na margem esquerda e seis na margem direita (Figura 5). Em relação à distribuição, observa-se uma concentração maior, a partir, da metade desse segmento em direção à jusante, havendo a mais elevada intensidade para a área “23e”, no trecho do rio em que o gradiente é maior.

Figura 5 - Segmento S2 com os 12 pontos de erosão marginal e o destaque para as áreas “23e” e “28d”.



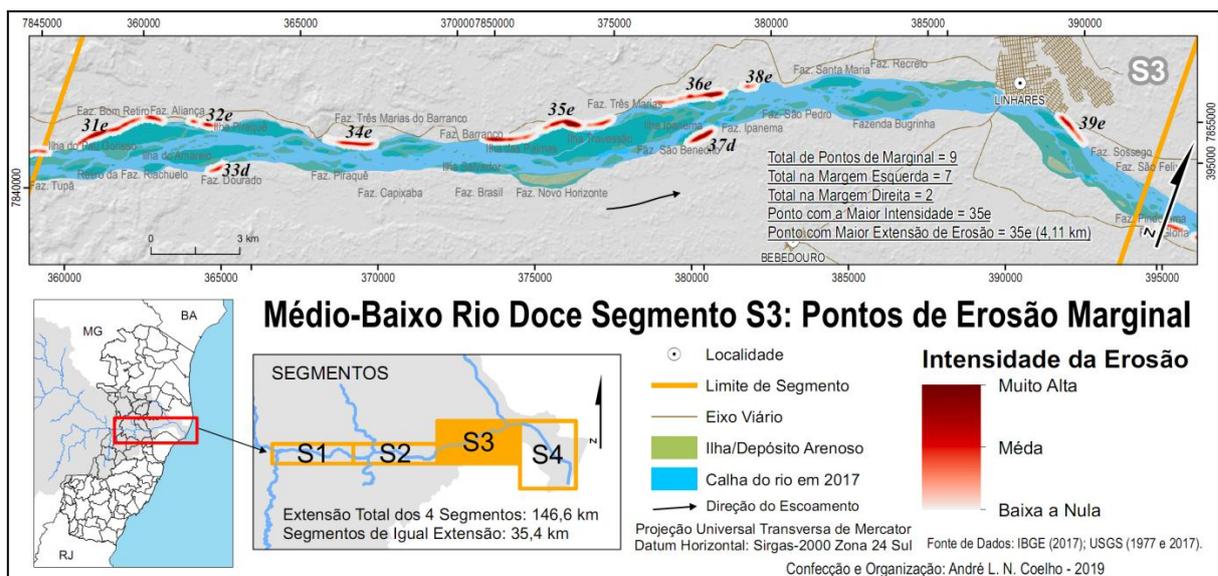
Fonte: André Luiz Nascentes Coelho (2018).

Neste setor, constatou-se em suas margens nas campanhas de campo, que há a maior ocorrência de sedimentos da Formação Barreiras (arenitos friáveis), associado à baixa concentração e mesmo à ausência de vegetação em vários trechos que favorecem o desencadeamento da erosão pelas correntes fluviais, sobretudo no trecho “28d” marcado pela maior extensão da erosão com 2,87km.

### Análise do segmento 3

O Segmento 3 de direção sudeste-nordeste apresenta 9 áreas intensas de erosão marginal, marcadas pela maior ocorrência na margem esquerda do canal principal com 7 áreas e apenas 2 na margem direita. Chama a atenção, também, a extensão maior desses processos na maioria das áreas, sobressaindo a ponto/área “35e” com 4,11 km (Figura 6).

Figura 6 - Segmento S3 totalizando 9 pontos e o destaque para os 7 pontos na margem esquerda.



Fonte: André Luiz Nascentes Coelho (2018).

Este processo é explicado em parte pelo material sedimentar misto (areia e silte) presente nas margens, associado aos usos da terra/ações antrópicas praticadas, sobretudo na margem esquerda, materializada por pastagens, culturas, presença de uma via pavimentada (ES-248) que, em certa medida, potencializa estes usos pela logística existente e acesso ligando os dois municípios de maior população no médio-baixo rio Doce, Linhares (170.364 habitantes) a Colatina (121.580 habitantes) segundo estimativas do IBGE em 2018. Na margem direita sobressai a área “37d”, próxima da Fazenda Ipanema (Figura 7).

Figura 7- Área/ponto “37d” margem direita com estratificação tipo mista com areias finas, siltsas intercaladas com níveis argilosos, próximo da Fazenda Ipanema em Linhares (ES).

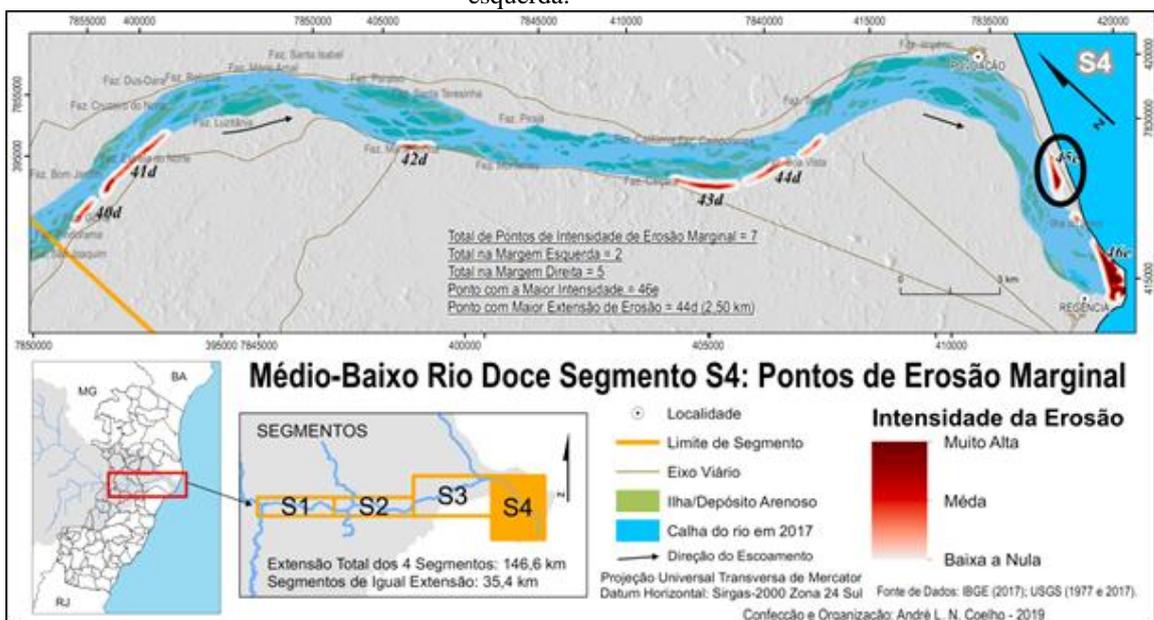


Fonte: André Luiz N. Coelho (08/2018).

#### Análise do segmento 4

O Segmento 4 de direção noroeste-sudoeste e norte-sul, no setor terminal, apresenta, entre os quatro, o segundo maior índice de sinuosidade e gradiente do canal com 1,8 e 0,36%, respectivamente, elementos estes que associados ao material não coesivo presente nas margens favorecem o desencadeamento das erosões, com o registro de sete áreas de intensidade erosiva, marcados também, pela maior extensão e concentrados na margem direita (Figuras 8 e 9).

Figura 8 - Pontos de intensidade de erosão marginal do Segmento S4, destacando o ponto “45e” na margem esquerda.



Fonte: André Luiz N. Coelho (2018).

A área de maior intensidade foi registrada junto à foz do rio (“45e”), marcada por uma extensão considerável de erosão ativa da margem esquerda próxima à localidade de Povoação, e explicada, em parte, pelo tipo de constituição do material, predominantemente areno-argiloso e adjacências da foz do rio em que predomina a instabilidade da linha de costa pelas correntes marítimas e as correntes do rio (Figuras 8 e 9).

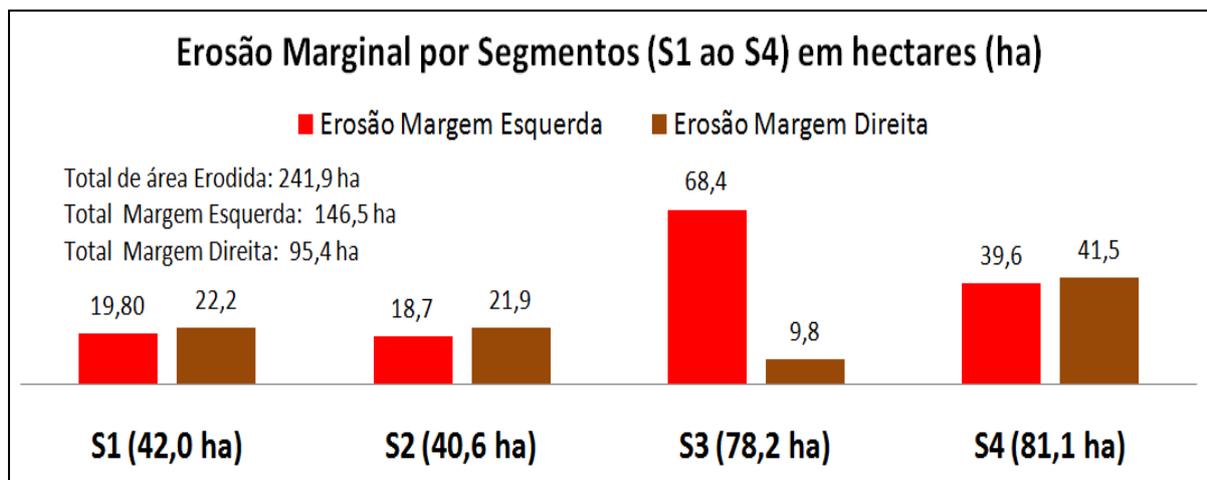
Figura 9 -Área/ponto “45e” com a erosão intensa da margem esquerda na localidade de Povoação, próximo à desembocadura.



Fonte: André Luiz N. Coelho (07/2007).

O uso desta técnica evidenciou, neste período de 40 anos, a erosão de 241,9 hectares das margens em um trecho de 141,6 km de calha fluvial, com uma taxa de erosão média de 1,51 hectares/ano. Constatou-se, também, que as taxas de erosão anuais do rio foram maiores nos segmentos (S3 e S4), com 1,96 e 2,03 hectares/ano respectivamente (Tabela 2), refletindo na maior extensão e na maior área em hectares erodida com 78,2 ha para o segmento S3 e 81,1 ha no segmento 4. A Figura 10 revela que os processos erosivos nas margens, em termos de área erodida, foi equilibrado, exceto para o segmento 3 que concentrou 87,5% (68,4 ha) da erosão na margem esquerda.

Figura 10 - Valores em hectares de erosão marginal dos quatro segmentos



Fonte: André Luiz Nascentes Coelho (2018).

Constatou-se que as erosões são desencadeadas por uma série de processos, entre eles: Construção das barragens de UHEs em série; interferência das UHEs com as vazões diárias artificiais nos horários de pico; ações de supressão de matas ciliares; obras de engenharia com a construção de margem concretada - sede de Colatina (ES) - promovendo a erosão de margens a jusante.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área em estudo é parte de um sistema maior e, extremamente, complexo, que envolve não apenas os agentes e processos de ordem natural, a exemplo da planície, rio e mar/estuário. Esse sistema compreende, também, outras escalas espaciais, outros agentes e processos sócio-econômicos (decisões) que, por sua vez, influenciam no todo.

É preciso reconhecer que este modelo/ritmo de desenvolvimento de “modernização e progresso”, expresso pelo sistema econômico atual e hegemônico, é totalmente incompatível com a dinâmica natural do ambiente, gerando uma série de efeitos negativos, muitas vezes, irreparáveis como nos sistemas fluviais. Atualmente, a área em estudo existe conservando, ainda, algumas características morfológicas e fluviais que lhe são peculiares, bem como, sensíveis mostruários de vegetação e fauna, além, das tradições e costumes das comunidades locais. O que se busca não é só preservar os recursos hídricos, importantes ecossistemas e modo de vida das comunidades que vivem na região, mas, sim, pensar e propor um modelo de desenvolvimento menos degradante e que vá além da ampliação das ações de conservação.

Em suma, destaca-se que o emprego desta metodologia possibilitou a apresentação de um panorama dos processos erosivos de médios e grandes sistemas fluviais, através de um estudo temporal, contribuindo para ações de controle e monitoramento, sobretudo, dos rios destituídos de análises/levantamentos dessa natureza.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Sérgio B.; CARVALHO, Newton de O. Efeitos do assoreamento de reservatórios na geração de energia elétrica: análise da UHE de Mascarenhas, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, X, SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL, I, 1993, Gramado. **Anais...** Gramado: 1993, p. 1-8.

CHARLTON, Ro. **Fundamentals of fluvial geomorphology**, New York: Routledge, 2008. 280p.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981. 313 p.

COELHO, A. L. N. **Alterações hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES**. 237 f. Tese (Doutorado em ) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2007.

COELHO, A. L.N. Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. **Caminhos de Geografia** Uberlândia, v. 9, n.26, 2006.

COELHO, A. L.N. **Mudanças históricas na morfologia fluvial no médio-baixo Rio Doce por processos de erosão e sedimentação** 1. ed. - Vitória, ES, UFES/Proex, 2019.

CUNHA, S. B. Rios Desnaturalizados. In: BARBOSA, J. L. (Org.). **Ordenamento Territorial e Ambiental**. 1. ed. Niterói: EDUFF, 2012, p.171-191.

CUNHA, S. B. Bacias Hidrográficas. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.) **Geomorfologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 229-271.

CUNHA, S. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.) **Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. pp. 211-252.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. Oficina de Textos, 2008.

HESS, Darrel. Fluvial Processes, in \_\_\_\_\_. McKnight's Physical **Geography: a landscape appreciation**, 11th ed. Pearson, 2014. Chapter 16, 466 – 497.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas Topográficas**: Aracruz SE-24-Y-D-IV, Linhares - SE-24-Y-D-I, Rio Doce - SE-24-Y-D-II e Regência - SE-24-Y-D-V, 1975.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Planos de Informações Vetoriais**, 2017.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente: **Ortofotomosaico do Espírito Santo**, 2008.

LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A.; CARVALHO, N. O.; Vieira, M. R.; Silva, E. M. **Suspended Sediment Fluxes in the Large River Basins of Brazil**. IAHS-AISH Publication, pp. 355-363, 2005.

MENEZES, P. L.; FERNANDES, M. C. **Roteiro de Cartografia**. Oficina de Textos, São Paulo/SP, 288p. 2013.

SILVA, Alexandre M.; SCHULZ, Harry E.; CAMARGO, Plínio B. **Erosão e Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**, São Carlos - São Paulo: RiMa. 2003. 37 p.

SOUZA, C. A. de. **Dinâmica do Corredor Fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da Ilha de Taiamã - MT.** Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, Brasil. Tese de Doutorado em Geografia. 2004.

SOUZA, C. A. de.;CUNHA, Sandra B. Pantanal de Cáceres - MT: Dinâmica das margens do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da Ilha de Taiamã -MT. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas Três Lagoas - MS, V 1 – n.º 5 - ano 4, Maio de 2007.**

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE. Geological Survey. **Dados Satélite Aster/Gdem.** 2011. Disponível em:<<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em:3nov. 2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE.Geological Survey. **Produtos orbitais digitais:** satélite Landsat-2 1977, Landsat-8, 2017. Disponível em:<<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em:3nov. 2018.