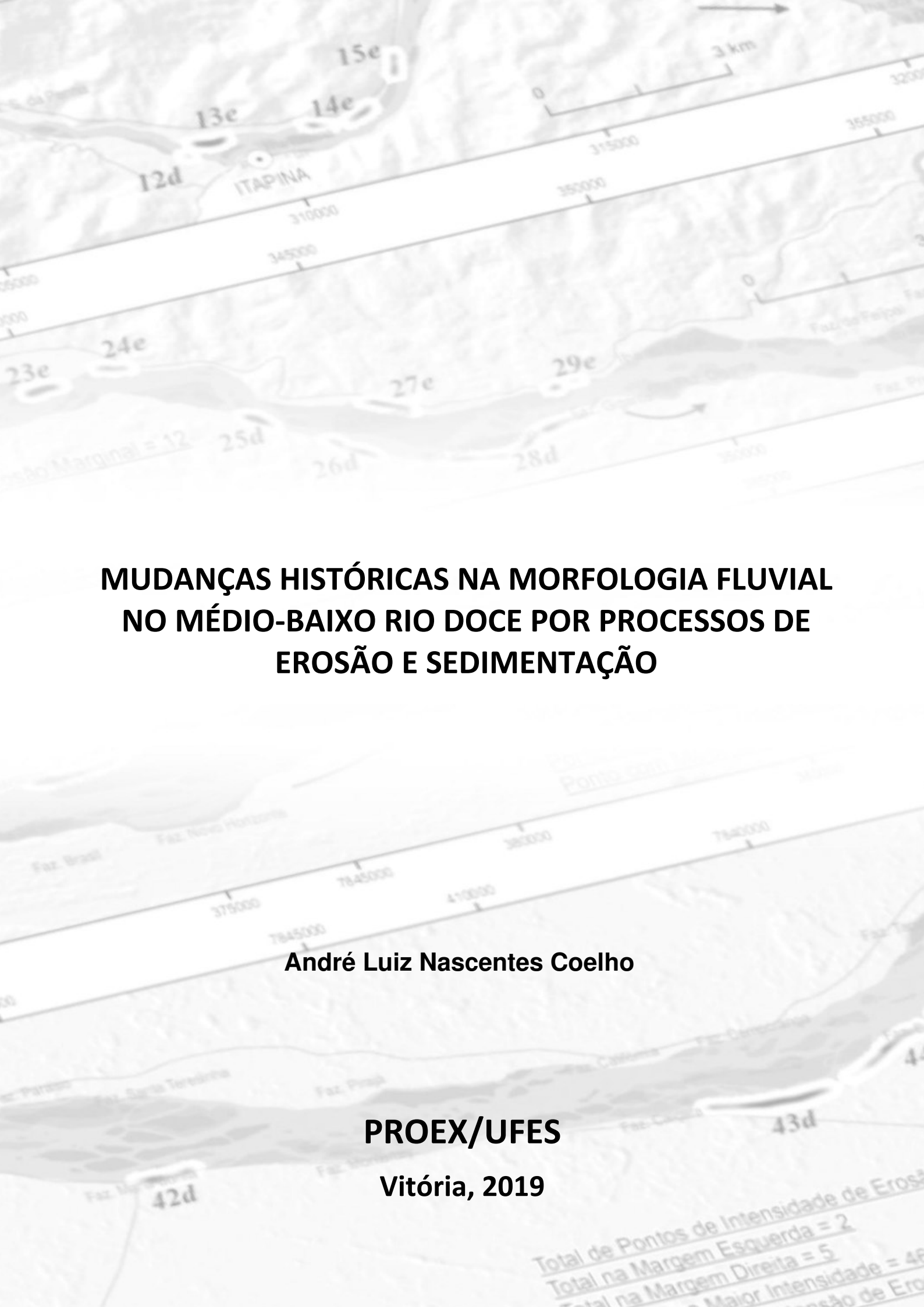


MUDANÇAS HISTÓRICAS NA MORFOLOGIA FLUVIAL NO MÉDIO-BAIXO RIO DOCE POR PROCESSOS DE EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO

**André Luiz
Nascentes Coelho**

PROEX/UFES

The background of the cover is a topographic map of the middle-lower Rio Doce basin. The map shows the river's course with various points labeled with codes like 12d, 13e, 14e, 15e, 23e, 24e, 25d, 26d, 27e, 28d, 29e, 42d, and 43d. These points likely represent specific locations of erosion or sedimentation. The map also includes contour lines, elevation markers (e.g., 310000, 345000, 350000, 355000, 360000, 375000, 380000, 3845000, 4100000, 7845000, 7840000), and place names such as ITAPINA, Faz. Novo Horizonte, Faz. Brasil, Faz. Santa Teresinha, Faz. Pinha, Faz. Capim, Faz. Carapá, and Faz. Margarida. A scale bar in the top right corner indicates a distance of 3 km. At the bottom right, there is a summary table of erosion points.

MUDANÇAS HISTÓRICAS NA MORFOLOGIA FLUVIAL NO MÉDIO-BAIXO RIO DOCE POR PROCESSOS DE EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO

André Luiz Nascentes Coelho

PROEX/UFES

Vitória, 2019

Total de Pontos de Intensidade de Erosão
Total na Margem Esquerda = 2
Total na Margem Direita = 5
Total na Maior Intensidade de Erosão = 46



Universidade Federal do Espírito Santo
Centro de Ciências Humanas e Naturais
Pró-Reitoria de Extensão
Departamento de Geografia
Laboratório de Geografia Física
Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias
Laboratório de Gestão em Redução de Risco de Desastres
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Esta obra foi desenvolvida no âmbito do Projeto de Extensão

“Laboratório de Gestão em Redução de Risco de Desastres - LabGR2D/CEPEDES-UFES”

com apoio da Pró-Reitoria de Extensão da Universidade Federal do Espírito Santo

em parceria com

“Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território – CEGOT/Coimbra-PT”



Capa: Hellen Rangel

Foto da capa: Leito do rio Doce próximo a fazenda Gloria – Linhares (ES) registrada pelo autor em agosto de 2018

Diagramação: André L. N. Coelho

O autor autoriza a reprodução e/ou extração de qualquer parte desta obra desde que seja expressamente citada.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

C672m Coelho, André Luiz Nascentes, 1971-
Mudanças históricas na morfologia fluvial no médio-baixo Rio Doce
por processos de erosão e sedimentação / André Luiz Nascentes
Coelho. - 1. ed. - Vitória, ES : UFES, Proex, 2019.
114 p. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-65276-58-0

1. Geomorfologia. 2. Recursos hídricos. 3. Doce, Rio, Bacia (MG e ES). I. Título.

CDU: 551.4

Elaborado por Adriana Traspadini Caetano – CRB-6 ES-827/O

*Dedico este e-book aos Professores e aqueles
que verdadeiramente zelam pelos rios
e outros ambientes fluviais.*

Ao apresentar este e-book *“Mudanças Históricas na Morfologia Fluvial no Médio-Baixo rio Doce por Processos de Erosão e Sedimentação”* enfatizo a importância regional da bacia hidrográfica do rio Doce para as populações que vivem nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O estudo priorizou analisar as mudanças históricas, entre 1977 e 2017, na morfologia do canal, relacionadas aos processos de erosão e sedimentação no médio-baixo curso, evidenciando o grau de degradação do corredor fluvial do rio Doce.

Os resultados da pesquisa merecem destaque por apresentar o esforço realizado por cientistas da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e do Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Coimbra-Portugal na análise das alterações no sistema fluvial em decorrência da intervenção antrópica (uso da terra, barramento, transposição, canalização, retificação, mineração, assoreamento, impermeabilização, etc..) e degradação no canal fluvial.

Vale ressaltar a relevância da metodologia empregada para geração dos resultados. As informações disponibilizadas na base de dados das estações fluviométricas, o uso de produtos gratuitos e acessíveis de sensoriamento remoto (imagens Landsat) integrado com o sistema de informações geográficas, complementadas com campanhas de campo para verificação dos setores de erosão e sedimentação, evidencia técnicas importantes para diagnosticar impactos nos canais fluviais em decorrência dos diversos tipos de uso.

O livro possui vasta contribuição científica ao apresentar as alterações morfológicas no corredor fluvial do rio Doce, após o rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco. As questões tratadas no estudo são de fundamental importância nas ações e desafios futuros, do ponto de vista socioambiental, econômico e político. As informações produzidas poderão auxiliar os administradores na implementação/revisão de plano de gestão da bacia, ressaltando assim integração entre os resultados da pesquisa e as políticas públicas.

Celia Alves de Souza

*Pesquisadora dos Programas de Pós-Graduação em Geografia UNEMAT,
Ciências Ambientais – UNEMAT e Mestrado Profissional em Recursos Hídricos.
Fundadora do Laboratório de Pesquisa e Estudos em Geomorfologia Fluvial
“Professora Sandra Baptista Cunha” – (LAPEGEOF /UNEMAT), Cidade Universitária de Cáceres-MT
Conselheira do Conselho Estadual de Recursos Hídricos
Bolsista de Produtividade do CNPq.*

O trabalho que ora se apresenta resgata uma das tradições mais emblemáticas dos estudos geomorfológicos: a dinâmica fluvial e seus aspectos. Resgata uma perspectiva que, pela sua excepcional importância possui destaque expressivo no seio das ciências da engenharia hidrológica e civil, ao mesmo tempo em que na geografia se associam com a revitalização desses estudos aplicados ao diagnóstico ambiental e ordenamento territorial.

Organizada em quatro capítulos e contando com um conjunto de anexos de leitura que mescla cultura, técnica e informação, essa obra mostra uma perspectiva sintético-histórica dos padrões (sim, no plural mesmo porque não se pode dizer que se trate de um único) associáveis à calha do médio-baixo curso do rio Doce (ES, BR) como a expressão adaptativa da natureza às demandas que lhe são efetuadas pelas atividades socioeconômicas, e os resultados decorrentes das novas funções que lhe são atribuídas.

Se é possível claramente afirmar que a função fluvial se agrega ao território a ela associado como um importante ativo para a execução/manutenção das diferentes atividades produtivas e reprodutivas locais (agricultura; pecuária; saneamento; abastecimento hídrico urbano, rural e industrial; lazer; meio ambiente; etc.), é fato também que essas atividades contribuem em grande medida, na maioria dos casos, com a formação de passivos ambientais que consistem em um preocupante impacto negativo à essa função: a alteração da produção de sedimentos e suas derivações.

O balanço dessa dinâmica, envolvendo processos de erosão e de sedimentação especialmente relacionado ao canal fluvial é o objeto desse trabalho que, baseado nas alterações morfológicas promovidas pelo uso do solo e pela ocupação da bacia hidrográfica, e nos principais fatos decorrente dos episódios climático-meteorológicos das últimas quatro décadas se converte em uma importante variável que não pode ser negligenciada no intuito de se reconhecer a capacidade de resiliência presente no sistema ambiental.

Os efeitos cumulativos das atividades humanas contribuem definitivamente com a função geomorfológica fluvial alterando-a e, sendo por isso, alvo das análises espaciais perpetradas aqui por meio do emprego do sensoriamento remoto e integração de dados com o uso de Sistema de Informações Geográficas, aporte tecnológico que o autor demonstra ser fundamental para estudos similares, resultando em uma objetiva relação de causa e efeito que compõe a face analítico-dinâmica desse trabalho, resultando em um diagnóstico útil às futuras revisões dos estudos de planejamento urbano e territorial.

A indicação dos atuais aspectos hidrológicos associáveis ao canal do rio Doce em seu médio-baixo curso, a sua evolução histórica ao longo de quatro décadas e a avaliação dos principais aspectos de alteração dinâmica verificado no canal, incluindo os locais de maior aceleração do ritmo erosivo em suas margens atribuem a esse trabalho a condição de instrumento de aplicação para a gestão da redução de risco de desastres, considerando todas as etapas que demandam o seu ciclo operacional, de caráter geodinâmico e hidrofluvial.

A redação direta e clara, associada à riqueza de ilustração sem prescindir do rigor técnico e científico servem de estímulo a leitura por uma ampla gama de usuários (legisladores, técnicos ambientais, estudantes, gestores públicos, urbanistas, consultores, etc.) que têm nessa obra uma contribuição relevante, especialmente (mas não exclusivamente) àqueles integrados às resoluções das questões associadas ao corpo desse importante recurso hídrico brasileiro.

Para finalizar, parabênizo ao Prof. André Luiz Nascentes Coelho pela condução desse trabalho que reflete o cuidado e a seriedade com que ele, representando a sua instituição de origem, a Universidade Federal do Espírito Santo, e seu colaborador/tutor Prof. Lucio José Sobral da Cunha, catedrático da internacionalmente respeitável Universidade de Coimbra, dedicaram para que pudéssemos contar com mais essa importante contribuição aos estudos geocientíficos.

Antonio Celso de Oliveira Goulart

*Professor Associado do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo
Coordenador do Laboratório de Gestão de Redução de Risco de Desastres (LabGR2D-UFES)
Coordenador do Núcleo de Extensão e Pesquisas Sobre Desastres (CEPEDES-UFES)
Membro do Laboratório de Geografia Física (LGF-UFES).*

AGRADECIMENTO

Agradeço aos professores/colegas do Departamento de Geografia, a todos aqueles que de alguma forma influenciaram no desenvolvimento até conclusão deste relatório. No entanto, gostaria de ressaltar os que contribuíram de forma especial:

Ao CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, fomentando e contribuindo, SEMPRE com o elevado nível de qualidade, pesquisas/estudos geográficos em diversos países;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro à participação em eventos científicos no exterior, possibilitando a troca de conhecimentos e reuniões com o Orientador;

Aos Órgãos/Institutos ANA, ANEEL, IJSN, IBGE, IEMA-ES, INPE, EMBRAPA, ONS, USGS e outros pela disponibilização das informações de forma diligente e acessível;

Aos pescadores, barqueiros, ribeirinhos e funcionários das fazendas que margeiam o canal principal do rio Doce, pela atenção prestada durante as campanhas de campo/entrevistas, viabilizando a navegação em diversos setores do rio e acesso as propriedades para avaliação dos trechos fluviais;

Ao apoio da ProEx/UFES - Pró-reitoria de Extensão da Universidade Federal do Espírito Santo no projeto “Laboratório de Gestão em Redução de Risco de Desastres - LabGR2D/CEPEDES-UFES” e ao Coordenador desse projeto Antonio Celso de Oliveira Goulart em incentivarem esta publicação;

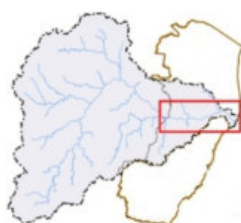
À minha querida filha Cecília e esposa Ana Lucy, pelo carinho, apoio e compreensão no decorrer dessa jornada;

Meu agradecimento especial ao colaborador/tutor, Professor Catedrático de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Doutor Lúcio José Sobral da Cunha, pela atenção e paciência depositada durante as reuniões, contribuiu para a construção e conclusão deste relatório de pós-doutorado, além de ter me proporcionado maior amadurecimento no processo de construção do conhecimento geográfico.

André Luiz Nascentes Coelho

*Professor Associado do Departamento e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo
Membro do Laboratório de Gestão em Redução de Risco de Desastres (LabGR2D-UFES) e do
Núcleo de Extensão e Pesquisas Sobre Desastres (CEPEDES-UFES)
Líder do grupo de pesquisa Geotecnologias, Ação das Águas e as Repercussões Sobre Território (GEOARSTE-UFES)
Coordenador do Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias (LCGGEO-UFES)*

INTRODUÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO.....	8
1 - SISTEMA FLUVIAL: Caracterização e Dinâmica.....	12
1.1 - Dinâmica do Sistema Fluvial.....	13
1.2 - Desequilíbrio do Sistema Fluvial a Partir da Interferência do Homem.....	16
2 – MÉTODOS E TÉCNICAS.....	18
2.1 - Detalhamento das Principais Etapas.....	20
2.2 - Algoritmos para Quantificação das Taxas de Sedimentação e Erosão Fluvial.....	23
3 – A BACIA DO RIO DOCE: (RE)CARACTERIZAÇÃO.....	25
3.1 - Produção de Sedimentos.....	28
3.2 - Síntese do Processo de Ocupação e Transformação da Paisagem da Bacia do Rio Doce	31
3.3 - População e Cidades em 2017.....	34
3.4 - Morfologia do Médio-Baixo Rio Doce no Estado do Espírito Santo.....	37
4 – O SISTEMA FLUVIAL DO MÉDIO-BAIXO RIO DOCE.....	41
4.1 - Aspectos Hidrológicos.....	41
4.2 - Morfologia Fluvial entre 1977 e 2017.....	50
4.3 - Quantificação e Avaliação das Taxas de Erosão e Sedimentação.....	67
4.3.1 - Hotspots de Erosão.....	77
CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS.....	94
ANEXOS.....	98
ANEXO 1 - CAPTURA DE TELA DO SISTEMA HIDRO: média de vazões.....	99
ANEXO 2 - VAZÕES ANUAIS 1977 e 2017: Destaque para data de aquisição das Imagens.....	103
ANEXO 3 - VAZÃO EM TEMPO REAL A JUSANTE DA UHE DE MASCARENHAS.....	105
ANEXO 4 - INVENTÁRIO DE RESTRIÇÕES OPERATIVAS: UHEs Aimorés e Mascarenhas	107
ANEXO 5 - EVAPORAÇÕES LÍQUIDAS: UHEs Aimorés e Mascarenhas	111
ANEXO 6 - MORFOLOGIA E MORFOMETRIA DOS 4 SEGMENTOS	113
ANEXO 7 - PROCESSOS DE EROÇÃO E SEDIMENTAÇÃO DOS 4 SEGMENTOS	114





INTRODUÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO

O estudo de parte de um canal fluvial de uma grande bacia mostra-se extremamente complexo, pois requer um conhecimento prévio do funcionamento natural do ambiente como clima, geologia, relevo, a dinâmica e formas fluviais, a exemplo dos processos de erosão, transporte, deposição no canal principal (BAPTISTA e LARA, 2016; HESS, 2014; CUNHA, 2015 e 2003; BIGARELLA, 2003; COELHO, 2008; SUGUIO e BIGARELLA, 1990; CHRISTOFOLETTI, 1980 e 1981), análises hidrodinâmicas como vazão média, perfil transversal (ARAUJO e ROCHA; 2010; GENZ e LUZ, 2007; RODRIGUES e ADADI, 2005; CUNHA, 2002), integrado à análise de questões sócio-econômicas de decisões políticas, legislações, questões territoriais, aspectos culturais, etc. (SARTÓRIO, 2018; ASHMORE, 2015; DEINA, 2013; RAMOS, 2012; CHARLTON, 2008; GREGORY, 2006; BOTELHO e SILVA 2004; SENRA, 2001), posto que a conjugação desses elementos, sobretudo das tomadas de decisões resulta, muitas vezes, na transformação da paisagem.

Lamentavelmente, parte dessas decisões são efetuadas sem haver um conhecimento prévio adequado das condicionantes naturais do ambiente transformado. Um exemplo são as águas do rio que, dependendo da intensidade das transformações pelas quais passam (supressão de matas inclusive ciliar, construção de barragens, transposições, entre outros), podem apresentar resultados não esperados, tais como a aceleração de processos de erosão e sedimentação/assoreamentos, enchentes, diminuição da vazão e alterações no regime hidrológico, hidrodinâmico e ecológico, além de acidentes como o rompimento de diques e barragens.

Exemplos concretos dessa realidade podem ser notados em questões que envolvem a transposição de bacias, como no caso do rio São Francisco, no Brasil. Outra situação emblemática é o rio Paraíba do Sul (Brasil), na sua planície costeira atual, palco de conflitos de usos resultantes de um modelo de gestão não sustentável dos recursos hídricos, materializado em um desequilíbrio ambiental praticamente irreparável que comprometeu não só o escoamento natural das águas, formas fluviais e, em parte, linha de costa adjacente (com a intensificação da erosão praial pelo baixo aporte de sedimentos do rio para o mar), como também, o solo, a vegetação, a fauna existente e comunidades. Esse processo de degradação foi iniciado pela construção de canais e diques, que tinha por objetivo drenar as águas das regiões alagadas. Atualmente, boa parte desses



canais, servem para atender a demanda cada vez mais crescente das usinas de açúcar na região, gerando conflitos entre usineiros, fazendeiros e pescadores (CARNEIRO, 2004).

Nessa descrição de ações inconsequentes e impactos socioambientais, sobressaem os diversos registros de rompimento das barragens de alteamento a montante, na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, com escoamento de milhões de metros cúbicos de lama de rejeitos de minério em vales fluviais. Um desses registros foi o da mineradora Samarco, em 5 de novembro de 2015 no município de Mariana (MG), provocando o maior desastre ambiental do Brasil, atingindo mais de 663 km de córregos e rios da Bacia Hidrográfica do Rio Doce além da contaminação marinha de parte do litoral do ES e BA. Outro registro recente foi o rompimento da barragem da mineradora Vale no dia 25 de janeiro de 2019 em Brumadinho (MG). Em ambos os casos, caracterizados como crime ambiental segundo o IBAMA, foram marcados diversas perdas humanas e degradações com a destruição de vários imóveis, deixando centenas de desabrigados; comprometimento do abastecimento de água de dezenas de cidades/localidades; alterações fluviais (formas/processos); supressão da fauna, como a morte de milhares de peixes; extinção de mata ciliar; perdas econômicas (turismo, pesca, agricultura, pecuária, indústria); entre outros.

O estado do Espírito Santo – no sudeste do Brasil - com tamanho aproximadamente de 46.077 km², pouco maior que o estado do Rio de Janeiro, possui um formato territorial alongado. Uma simples análise das características de relevo/topografia capixaba revela que as maiores altitudes estão situadas no interior do estado paralela à linha de costa, mas não de forma contínua, decrescendo em direção ao litoral. Esta característica de relevo, “escalonado”, tem influência decisiva na rede de drenagem e oferta hídrica, fazendo com que os rios principais, representados por 12 bacias administrativas – com exceção do rio Doce - (IEMA, 2004), vertam praticamente no sentido oeste-leste, apresentando área de drenagem em média de 2.811km² e volumes reduzidos de vazão se comparados a outros estados do sudeste do Brasil (COELHO, 2007).

A Bacia do Rio Doce (sudeste do Brasil) destoa desse padrão, possuindo uma área de drenagem de 83.465 km² com 14% pertencente ao estado do Espírito Santo e 86% ao estado de Minas Gerais, com uma extensão de 853 km, sendo a maior em volume de vazão (média anual de 880 m³/s) e área de drenagem no território capixaba (COELHO, op. cit.).

Análises das séries históricas de vazões, disponibilizadas pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017), apontam que o rio Doce foi uma das bacias que mais sofreu queda de vazão de suas águas



no Espírito Santo, em função de vários aspectos, entre eles, a ação do homem no processo de ocupação e exploração ao longo das décadas com o ciclo madeireiro, desmatamento, construção de ferrovia, mineração, silviculturas (sobretudo de eucalipto), irrigação, café, pecuária, urbanização, entre outros usos (RAMOS, 2012). No conjunto desses processos, destacam-se ainda os efeitos diretos no canal fluvial como a construção de barragens e transposição que, juntos, interferem substancialmente na dinâmica fluvial.

Pesquisas nacionais que tratam dos efeitos geomorfológicos em canais fluviais a jusante de barragens de grande porte¹ são escassos, enquanto, em outros países, esses estudos são mais numerosos e aprofundados. Praticamente todos eles apontam um comportamento “típico” do segmento imediatamente após a barragem e/ou casa de força das – Usinas Hidrelétricas (UHEs) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), como o desencadeamento da erosão do fundo (entalhamento do leito), erosão marginal, migração de formas fluviais a jusante, em função do rompimento do equilíbrio do sistema fluvial. Relacionado ao aspecto hídrico, todos os estudos apontam oscilações consideráveis nas vazões pela política de operação das UHEs (HECHT, 2019; LU, 2018; ROCHA, 2010; COELHO, 2008 e 2007; MCCULLY, 2001; BRANDT, 2000).

No Brasil, alguns desses efeitos são mais intensificados pelas características climáticas, apresentando elevados índices de temperatura e precipitações, resultando no acelerado processo de dissecação do relevo na maior parte do território nacional. A Bacia do Rio Doce destaca-se nesse processo por ser uma das mais prolíficas na produção de sedimentos no país, segundo Cunha (2001) e Almeida e Carvalho (1993). Essa alta capacidade de produção é explicada pelo relevo da bacia, apresentando grandes declividades no alto e médio rio Doce juntamente com o material de origem, associadas às elevadas concentrações de chuvas como um dos fatores que desencadeiam a erosão e, conseqüentemente, maior produção de sedimentos (COELHO, 2007).

Pesquisas que evidenciam as mudanças quantitativas na morfologia do canal principal do médio-baixo rio Doce não existem, conduzindo a uma série de questionamentos como: Qual é a intensidade dos processos de erosão e sedimentação? Qual ou quais os setores do rio em que os processos de erosão e sedimentação são mais expressivos? Qual é o balanço entre a erosão e sedimentação?

¹ Segundo a Comissão Internacional Sobre Grandes Barragens - ICOLD (2019), é considerada uma grande barragem quando a sua altura é superior a 15 m (contados do alicerce) e/ou seu reservatório possuir: capacidade superior a 3 milhões de m³, mínimo 500 m de comprimento de crista e/ou vazão acima de 2000 (m³/s).



Hipóteses: O rio assume comportamento diferente em cada trecho, diante da dinâmica hidrossedimentológica ao longo do tempo. Há mudanças no canal de forma abrupta em qualidade e intensidade em diferentes setores/trechos do rio.

De forma a responder estas perguntas, o presente projeto tem como **objetivo geral** realizar, a partir de produtos de sensoriamento remoto e campo, uma análise quali-quantitativa do ritmo de mudanças na morfologia fluvial por processos de erosão e sedimentação no médio-baixo rio Doce, trecho a jusante da UHE de Aimorés até a foz (Figura 1), no período entre 1977 a 2017.

Como objetivos específicos, encontram-se listados:

- Analisar o regime hidrológico do rio com os dados da série histórica de vazões médias;
- Avaliar as taxas de erosão e sedimentação em diferentes trechos do rio;
- Identificar e analisar os setores do rio em que as taxas de erosão foram expressivas.

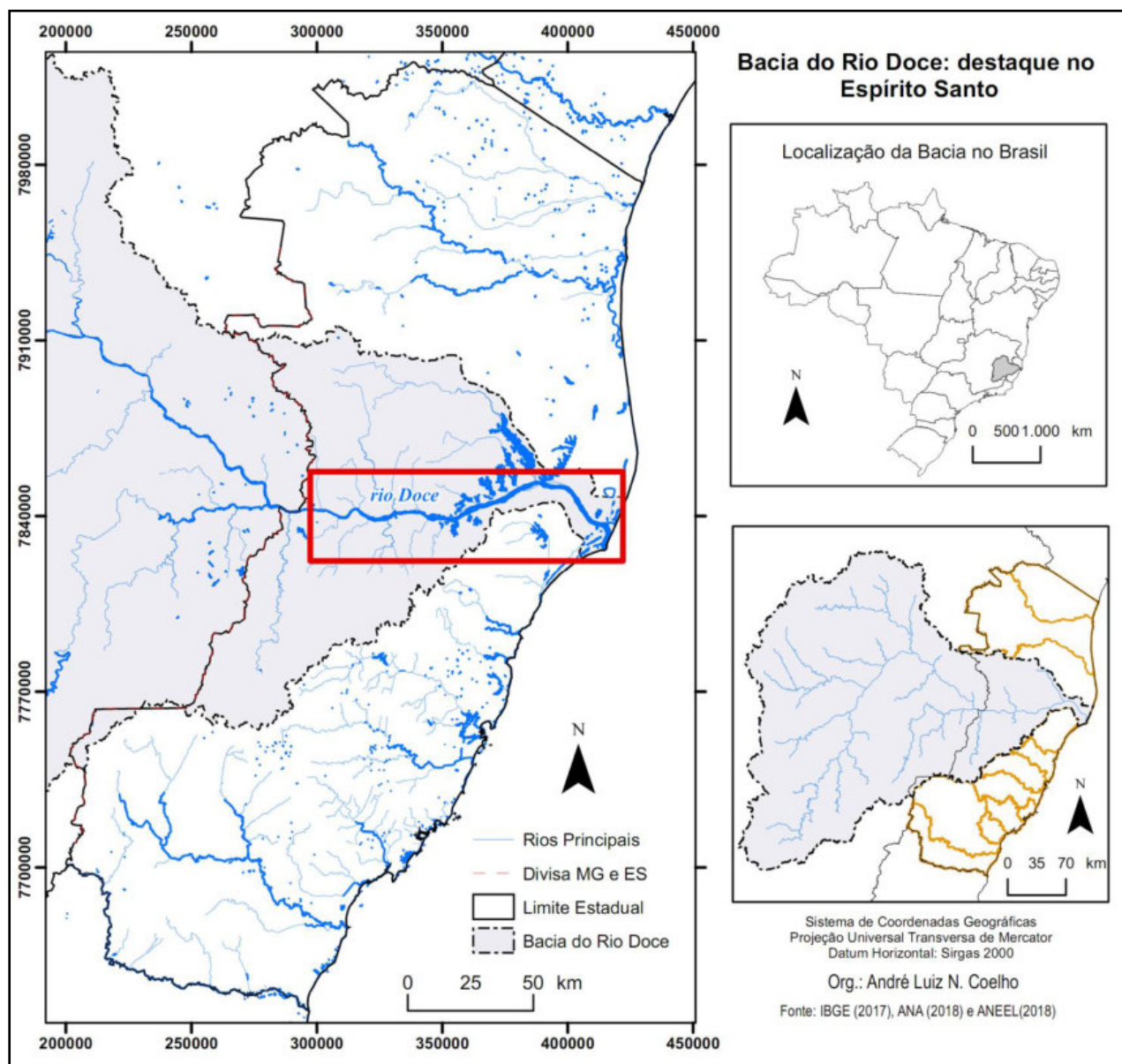


Figura 1 - Localização da Bacia do Rio Doce com o destaque para o estado do Espírito Santo e área de estudo no interior da linha vermelha. Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.



I – SISTEMA FLUVIAL: Caracterização e Dinâmica

As águas constituem-se 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. Encostas, topos ou cristas e fundos de vales, canais, corpos de água subterrânea, sistemas de drenagem urbano e áreas irrigadas, dentre outras unidades espaciais, estão interligados como componentes dos sistemas ou bacias de drenagem e toda e qualquer interferência que ocorre no interior da bacia repercute, direta ou indiretamente, nos tributários e canais principais (CHARLTON, 2008).

Assim, as condições climáticas, a cobertura vegetal, litologia, o homem, entre outros fatores, é que controlam a dinâmica das vertentes/encostas, e por sua vez, o tipo de carga detrítica (sedimentos) a ser fornecida aos rios. Baptista e Lara (2016) e Villela e Mattos (1978) acrescentam também, que esses fatores compõem elementos essenciais para o entendimento do comportamento hidrológico. Nesse sentido, um estudo criterioso da dinâmica dos canais fluviais só deve ser realizado com uma perspectiva integrada do sistema hidrográfico, envolvendo processos naturais e sócio-econômicos.

Muito ainda se discute a respeito do conceito de bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, aqui entendido como uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial (COELHO NETO, 2015). Tal conceito abrange todos os espaços de armazenamento, de circulação, saídas de água e do material por ela transportado que mantêm relações com esses canais. Bacias de diferentes dimensões articulam-se a partir de divisores de drenagens principais e drenam em direção a um canal, tronco ou coletor principal, constituindo num sistema de drenagem hierarquicamente organizado (FERNANDES, TRIGAL e SOPOSITO, 2016; HESS, 2014; COELHO NETO, 2015).

Sob a ótica de um *sistema*, as bacias hidrográficas são consideradas como *sistemas não-isolados*, pois envolvem uma série de subsistemas (fechados e abertos) como, por exemplo: sistema vertente, sistema dos canais fluviais e as planícies de inundação, ocorrendo trocas constantes de matéria e energia, tanto no ganho quanto na perda (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017; HUGGETT, 2011; CHARLTON, 2008; CHRISTOFOLETTI, 1980; DREW, 1998).



Essa troca não obedece a uma sequência exata, podendo haver a introdução de um novo subsistema ou apenas variar a quantidade de energia e matéria de um dos sistemas anteriores. Dessa forma, percebe-se que a bacia hidrográfica é um sistema dinâmico em que operam mecanismos particulares, e complexos, de funcionamento e podem variar temporalmente de setor para setor, apresentando formas inéditas em função das novas interferências (*inputs*), a exemplo da construção de barragens, desmatamentos, canalizações desvios, transposições, entre outros (CHARLTON, 2008; COELHO, 2007; GREGORY, 2006; FEARNSIDE e PUEYO, 2002).

1.1 - Dinâmica do Sistema Fluvial

Em uma bacia hidrográfica, *as características de tipologia de leito, tipologia dos canais, tipologia de padrões de drenagens*, analisadas em conjunto, promovem uma dinâmica peculiar das águas correntes que, associada a uma *geometria e hidráulica*, culmina em processos específicos fluviais de erosão, transporte e deposição (HESS, 2014; CUNHA 2015).

Em um rio, a *velocidade das águas* depende de fatores importantes como a declividade do perfil longitudinal, o volume das águas, a forma da seção transversal, o coeficiente de rugosidade do leito e viscosidade da água, fazendo com que o fluxo desse corpo hídrico tenha variações nos diversos setores do canal no qual ele escoar. Nesse sentido, qualquer obstáculo influencia na eficiência do fluxo das águas. Assim, o comportamento da velocidade das águas e seu fluxo (turbulento ou laminar) relacionam-se com a corrente fluvial (ou trabalho) que o rio executa, possibilitando o transporte da carga sedimentar nas suas mais variadas formas (suspensão, saltação e rolamento), de acordo com a granulação das partículas (tamanho e forma) e das características da própria corrente, elaborando uma forma de relevo fluvial em função destas variáveis (HUGGETT, 2011, CUNHA, 2015; CHRISTOPHERSON, 2012; CARVALHO, 2008; CHARLTON, 2008; COELHO, 2007; BIGARELLA, 2003; LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1995; SUGUIO e BIGARELLA, 1990; CRISTOFOLETTI, 1981 e 1980).

Alterações hidrológicas refletem em novos ajustamentos das variáveis: largura, profundidade média, velocidade média das águas, rugosidade do leito e concentração de sedimentos. Exemplo desse comportamento foi observado por Cunha (1995) no rio Capivari, tributário da bacia do rio São João – RJ, em que variações nos *valores de vazão*, ocorridas em um período de 4 anos, produziram significativas modificações na morfologia fluvial como a largura e profundidade do canal (variação do talvegue), notando também, a redução do tamanho dos grãos de sedimentos.



Church (1996) pontuou alguns fatores que controlam os processos físicos nos rios e que, segundo ele, refletem na morfologia dos canais fluviais como: 1) Volume e tempo de distribuição da água provida de montante da bacia; 2) Volume/característica do sedimento fornecido para o canal; 3) Natureza do material através do qual os rios fluem; e 4) Contexto geológico local da paisagem fluvial. O autor ressalta, ainda, fatores secundários que influenciam a morfologia do canal, como o clima regional, a vegetação natural e a atuação do homem (uso da terra, construção de barragens, rompimento de diques/barragens).

Nessa linha de abordagem, Baptista e Lara (2016); Huggett (2011) e Christofolletti (1980) chamam a atenção para a conformação dos sistemas fluviais em termos de seção transversal e perfil longitudinal com a ocorrência de formas de relevos/topografias específicas, que estão profundamente conectados aos processos de transporte e deposição de sedimentos, como também, associados à distribuição das velocidades das águas ao longo da calha fluvial em que se observa a dinâmica, em um canal, o aumento da velocidade das margens para o centro e do fundo para a superfície (Figura 2) enquanto, no escoamento em curvas, nota-se a ocorrência de correntes secundárias decorrente do fluxo em espiral (Figura 3. Perfis longitudinais A e C).

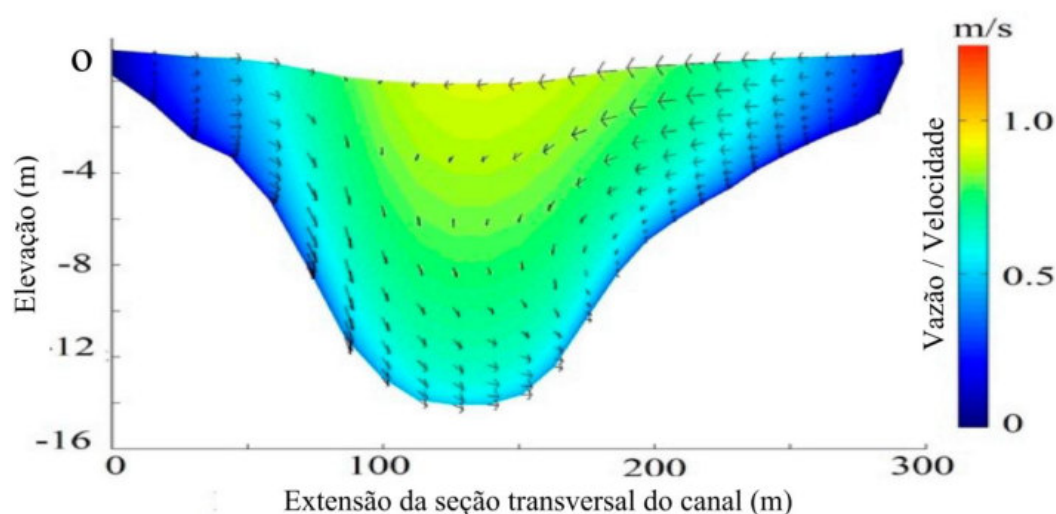


Figura 2 – Seção transversal de um canal fluvial, rio Yong localizado no sudeste da China, com a distribuição do escoamento da água evidenciando o aumento da velocidade da corrente das margens para o centro e do fundo para o centro da calha.

Fonte: Adaptado de XIE, YANG e LUNDSTRÖM (2019).

A partir destas colocações, pode-se afirmar que a morfologia dos canais fluviais é, em grande medida, o reflexo da concentração e da quantidade dos sedimentos e volume de água que fluem e se distribuem ao longo da calha principal (Figura 4). Normalmente, em um rio natural, o comportamento de parte dos sedimentos de granulação fina ao longo de seu curso é serem carregados em suspensão nos fluxos de correntes, e posteriormente, depositados em regiões de fluxos mais calmos e em planícies de inundação (CUNHA, 2015).

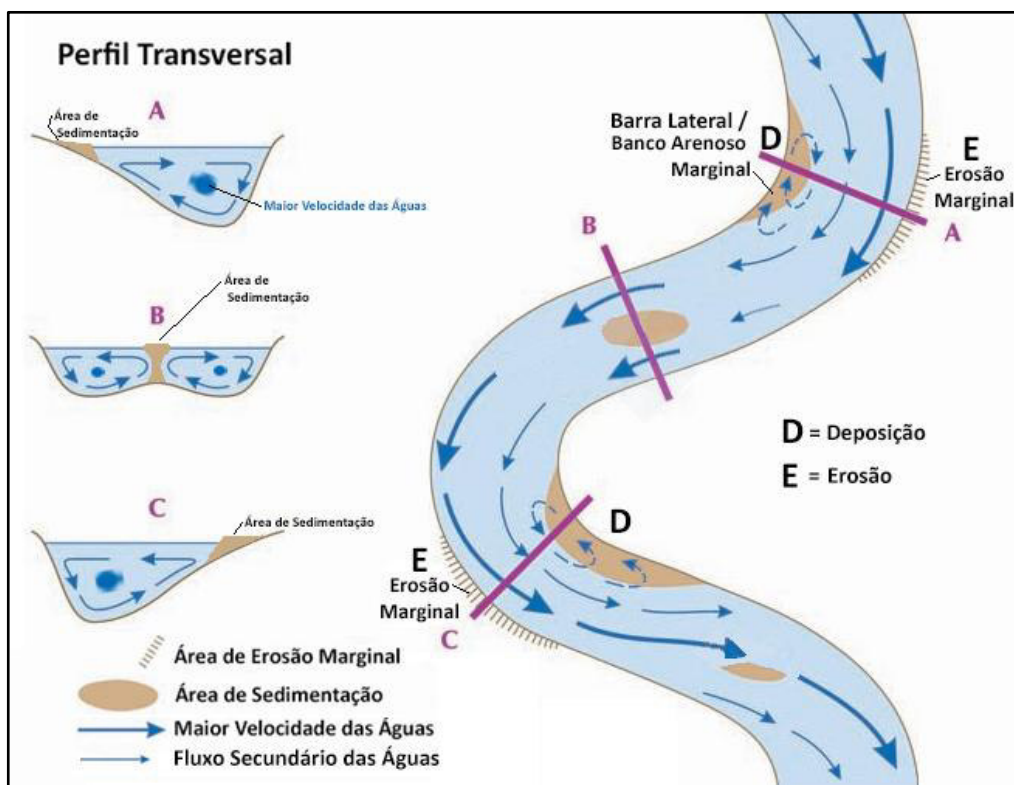


Figura 3 – Modelo simplificado de dinâmica fluvial evidenciando os principais elementos morfológicos do canal como as áreas de sedimentação, setores de erosão marginal, velocidades de escoamento das águas e os respectivos perfis A, B e C.

Fonte: Baseado em Huggett (2011) e Christofolletti (1980).

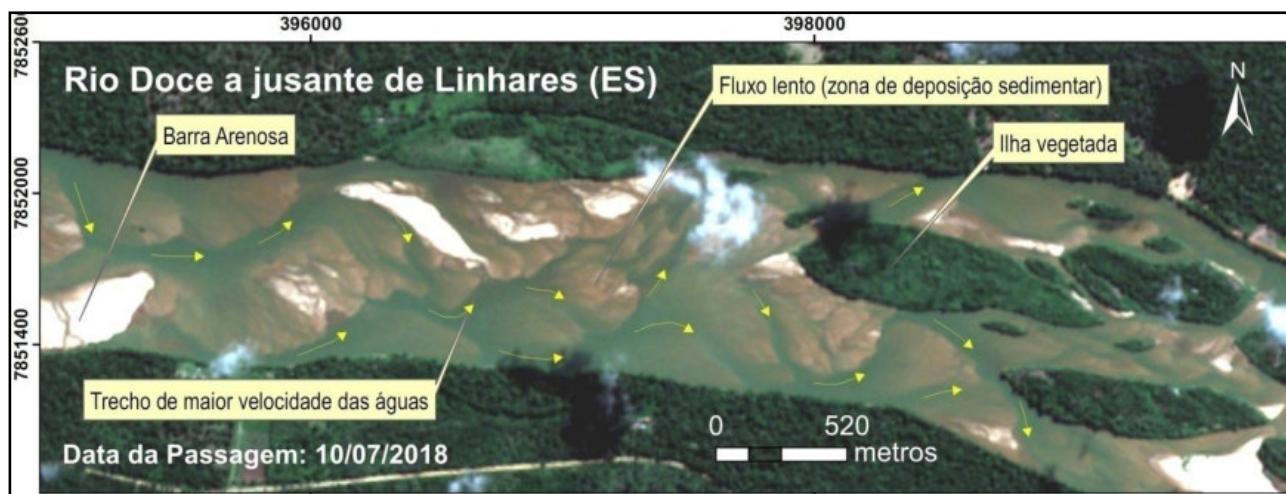


Figura 4 – Imagem Sentinel-2 em julho de 2018 a jusante da sede municipal de Linhares, composição cor natural destacando a dinâmica fluvial no canal principal do rio Doce e distribuição dos sedimentos. As setas amarelas indicam os trechos de maior velocidade das águas, as tonalidades de branco os locais de deposição sedimentar (barra arenosa) e as ilhas vegetadas em verde.

Organização: André L. N. Coelho - 2018.

Por outro lado, os sedimentos mais grossos são transportados junto ao leito sendo depositados em barras. Deve-se também ao fornecimento de sedimentos, a capacidade dos canais desenvolverem meandros ao longo da planície de inundação, vagar e até, dependendo do caso, tornar-se entrelaçado. É possível afirmar, também, que os canais fluviais são ambientes extremamente sensíveis a qualquer modificação e, dependendo do grau de interferência nesses canais refletirá para outros pontos, necessitando de um novo tempo para o canal se ajustar.



1.2 - Desequilíbrio do Sistema Fluvial a Partir da Interferência do Homem

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) do canal fluvial. 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 (CUNHA, 2012; CHARLTON, 2008; CHRISTOFOLETTI, 1980, SOUZA e CUNHA, 2007; SOUZA, 2004; SILVA, SCHULZ, CAMARGO, 2003).

Coelho; Cunha e Souza (2014); Coelho (2008) e Park (1981) 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 apontam que esse tipo de interferência, normalmente, altera a seção transversal, o perfil longitudinal do rio, o padrão de canal, entre outros, como as implicações ecológicas de alteração hidrológica afetando a produção primária e habitats aquáticos (HECHT et al., 2019).

O segundo grupo são as interferências indiretas realizadas fora da área dos canais, ou seja, no interior da bacia e que repercutem no canal. Um exemplo são as mudanças da descarga sólida do rio e, conseqüentemente, a extensão para o restante da bacia a jusante. Tais atividades estão ligadas ao uso da terra, como remoção da cobertura vegetal (desmatamentos), práticas agrícolas degradantes, reflorestamento, atividades mineradoras e industriais, urbanização, irrigação, lançamento de efluentes (industriais e urbanos), entre outros.

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 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 e/ou mudança 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, a exemplo da construção de PCHs em cascata no Jiulong river (SE da China) (LU et al., 2018), ou o caso, de rompimento de barragens/diques, resultar em um período de ajustamento indeterminado.



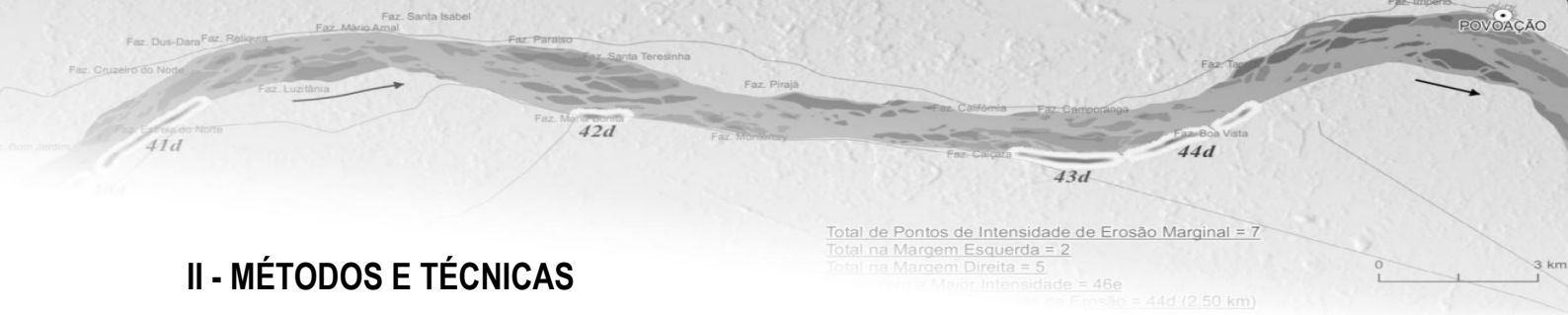
Fernandez (1990) classificou os ajustamentos morfológicos de canais em três intervalos de acordo com escalas de tempo (geológica, humana e de dias) dos acontecimentos e fatos ocorridos:

- 1) Ajustamentos de longo prazo consistem na mudança gradual e progressiva das características físicas do canal, as quais são causadas por alterações climáticas ou por influências tectônicas em intervalos que variam de centenas a milhares de anos.
- 2) Ajustamentos a médio prazo são mais frequentes, pois são atribuídos às atividades humanas, as quais criam um desequilíbrio temporal nas formas do canal, em questão de anos e décadas.
- 3) Ajustamentos de intervalos curtos de tempo decorrentes dos eventos de extrema magnitude, a exemplo de inundações que podem causar expressivas mudanças, seja nas características em planta (*planform*) ou na seção transversal do canal, em questão de horas ou dias. As mudanças que ocorrem em escalas temporais de curta duração são sensíveis e significantes para o estudo das cheias, o uso do solo rural/urbano e para a predição do comportamento dos cursos fluviais.

Assim, a dinâmica conjunta entre a velocidade da corrente fluvial, a variabilidade das descargas (diária + mensal + anual) e a frequência das descargas extremas exerce importante influência nas características abióticas e bióticas, moldando, na calha principal do rio, uma morfologia de acordo com essas condições. O aspecto morfológico de um canal estável é o reflexo do equilíbrio entre a erosão, o transporte e deposição de sedimentos ao longo de seu perfil longitudinal. Havendo um eventual desequilíbrio, o canal fluvial passa por um novo reajustamento até alcançar uma nova forma estável, compatível com as novas condições.

Sustentado nestas colocações, percebe-se que a bacia hidrográfica é um *sistema dinâmico* que passa por alterações/interferências naturais e antrópicas nas mais variadas escalas temporais e espaciais e de intensidade como na área da bacia externa ao canal fluvial, a exemplo, do processo de supressão da vegetação nativa, introdução de floresta plantada de eucalipto e/ou pecuária, expansão urbana, fenômenos climáticos/meteorológicos de entrada de água substancial decorrente de precipitação concentrada provocando inundações na bacia hidrográfica ou a ocorrência de um regime hidrológico atípico decorrente de uma estiagem prolongada. São exemplos de interferência direta no corredor fluvial a construção de barragens e usinas hidrelétricas, rompimento de barragens/diques, extração de areia (mineração), lançamento de águas servidas de cidades e indústrias, obras no canal, transposições, entre outros.

Portanto, quando se faz uma análise geral de uma bacia hidrográfica, não se pode considerar, apenas, os processos (erosão transporte e deposição) separadamente. Outros elementos, como já mencionados, interferem na dinâmica e funcionamento desse sistema.



II - MÉTODOS E TÉCNICAS

O **encaminhamento metodológico** da pesquisa abrangeu duas fases principais de execução, ambas, sustentadas com um referencial bibliográfico sobre o assunto. A primeira deteve-se a uma (re)caracterização² de toda a bacia, sobretudo aos atributos/elementos como a hidrografia, novas usinas hidrelétricas/barramentos, precipitação, dados de vazão, produção de sedimentos, usos da terra, unidades de conservação e estimativa da população em 2017, de forma a complementar os dados já abordados por Coelho (2007). A segunda fase tratou da análise do trecho a jusante da UHE de Aimorés à foz no período de 40 anos, utilizando dados das estações fluviométricas da ANA (Agência Nacional de Águas), além da Base de Dados Geográficas, sintetizada na Tabela 1 e no fluxograma da pesquisa, conforme Figura 5.

Tabela 1 – Principais Base de Dados Geográficas / Planos de Informações utilizados

DADO	TEMA	FONTE(s)	ANO(s)	ESCALA RESOLUÇÃO
CARTA TOPOGRAFICA	TOPOGRAFIA	IBGE / IEMA	1970	1:100.000
LIMITE ESTADUAL	UF	IBGE	2018	1:100.000
LIMITE MUNICIPAL	MUNICÍPIO	IJSN / GEOBASES	2013	1:1.000
SEDE MUNICIPAL	SEDE MUNICÍPIO (POPULAÇÃO)	IBGE	2018	1:10.000
EIXO VIÁRIO	RUAS e RODOVIAS	IJSN / IBGE	2013 e 2018	1:1.000
GEOMORFOLOGIA	MASSA D'ÁGUA	IJSN	2013	1:100.000
PRECIPITAÇÃO	PRECIPITAÇÃO (mm/ano)	CPRM	2006	1:250.000
USO DA TERRA	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	ANA	2016	1:10.000
ÁREAS PROTEGIDAS	ÁREAS PROTEGIDAS/UCS	IBAMA	2015	1:10.000
USINAS HIDRELÉTRICAS	CATEGORIA DE USINAS	SIGEL/ANEEL	2017	1:10.000
PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	SIGEL/ANEEL	2006	1:100.000
SENTINEL-2	IMAGENS BANDAS 4B, 3G e 2R	USGS	2018	10 METROS
LANDSAT-2 MSS	IMAGENS BANDAS 4B, 5G e 6R	USGS e INPE	1977	80 METROS
LANDSAT-8 OLI	IMAGENS BANDAS 3B, 4G e 5R	USGS	2017 e 2016	30 METROS
LANDSAT-8 OLI – PAN	IMAGEM BANDA 8	USGS	2017 e 2016	15 METROS
ORTOFOTOMOSAICO	IMAGEM	IEMA	2008	1 METRO
ASTER GDEM	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	USGS	2011	30 METROS

Organizado pelo autor.

Os produtos cartográficos/mapeamentos, os planos de informações vetoriais e matriciais assim como o processamento foram realizados com uso software de sistema de informações geográficas (SIG) ArcGIS 10.5, empregando o sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS-2000 para a bacia e, Datum SIRGAS-2000 Zona 24 Sul para o estado do Espírito Santo (IBGE, 2005), com o mapeamento produzido seguindo a padronização cartográfica segundo Menezes e Fernandes (2013), Jensen (2009) e Slocum et al. (2008).

² O uso do termo (re)caracterização diz respeito a uma atualização de dados e informações da análise realizada na Bacia do Rio Doce na Tese de doutorado do autor (COELHO, 2007).



FLUXOGRAMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS

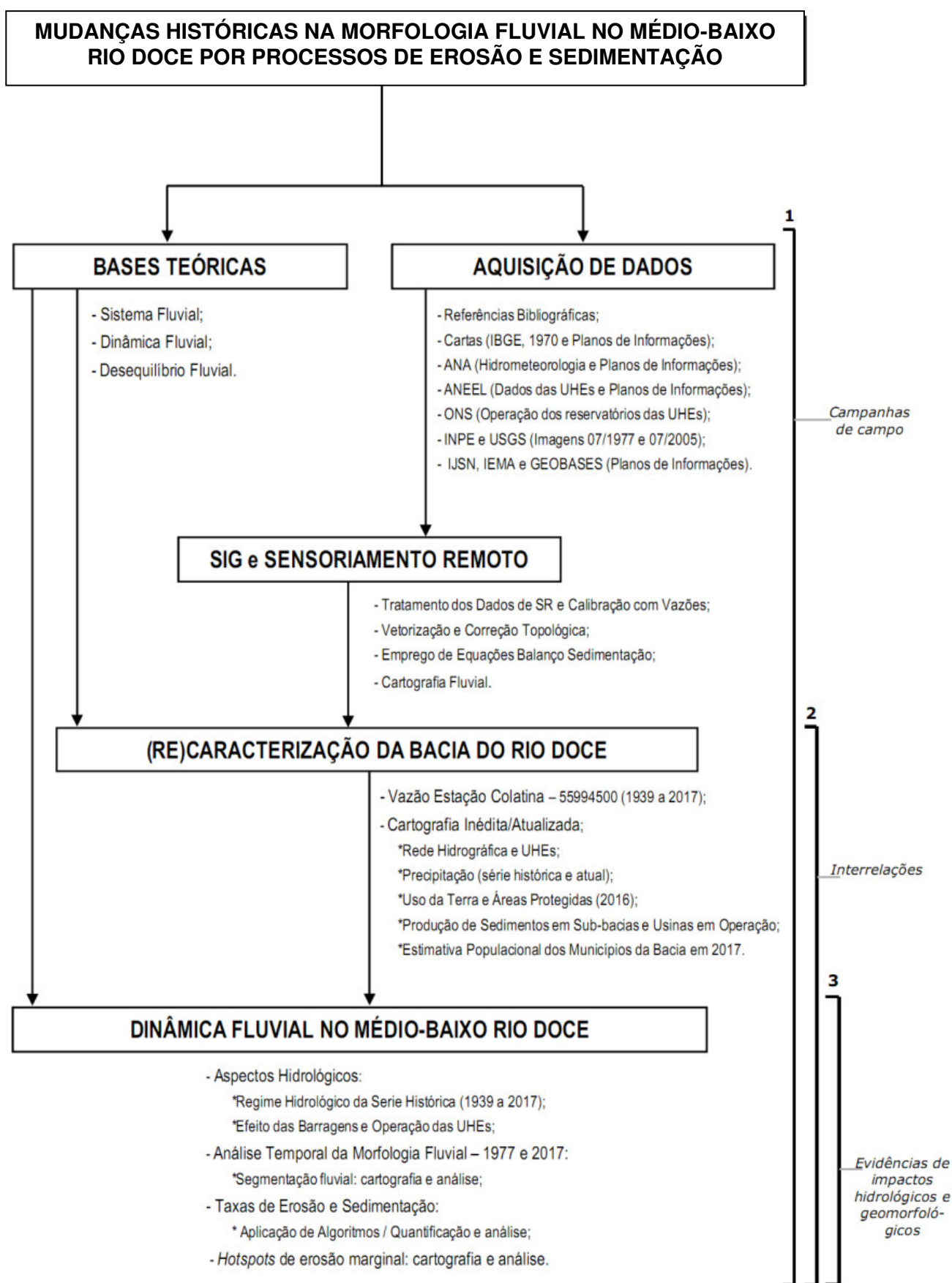


Figura 5 – Principais etapas da pesquisa.

Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.

2.1 - Detalhamento das Principais Etapas:

- Análise do regime hidrológico e identificação de períodos hidrológicos

A análise do Regime Hidrológico, ou seja, das variações de vazão ao longo dos anos e identificação dos períodos hidrológicos, tomou como base os dados de três postos fluviométricos conforme Tabela 2, com o destaque para a Estação Colatina (56994500), a única em operação e que registra valores diários de vazão desde 1939 (ANA, 2018a).

Tabela 2 - Postos fluviométricos da ANA com dados de vazão na bacia do rio Doce

CÓDIGO DA ESTAÇÃO	NOME	PERÍODO DE AMOSTRA
56948000	Resplendor	01/1938 a 12/1982 (44 anos)
56994500	Colatina*	01/1939 até o presente
56998000	Linhares	08/1967 a 12/1993 (26 anos)

* a única estação da ANA em operação no trecho pesquisado.

Avaliação das vazões com o programa *Hidro* (Sistema de Informações Hidrológicas) disponibilizado pela ANA – Agência Nacional de Águas possibilita o cálculo de funções hidrometeorológicas a exemplo: vazões média, diária, mensal, ao longo de um período e visualização de dados através de gráficos, imagens, etc.

- Segmentação do canal principal

De maneira melhor analisar e espacializar mudanças fluviais, o canal principal foi dividido em 4 segmentos de análise (Figura 6) de igual extensão (35,4 km). O uso desse critério possibilita evidenciar e comparar, entre os segmentos, as taxas de mudança da morfologia atual (2017) e em 1977, além da exposição de valores areais e de processos ativos de erosão e sedimentação.

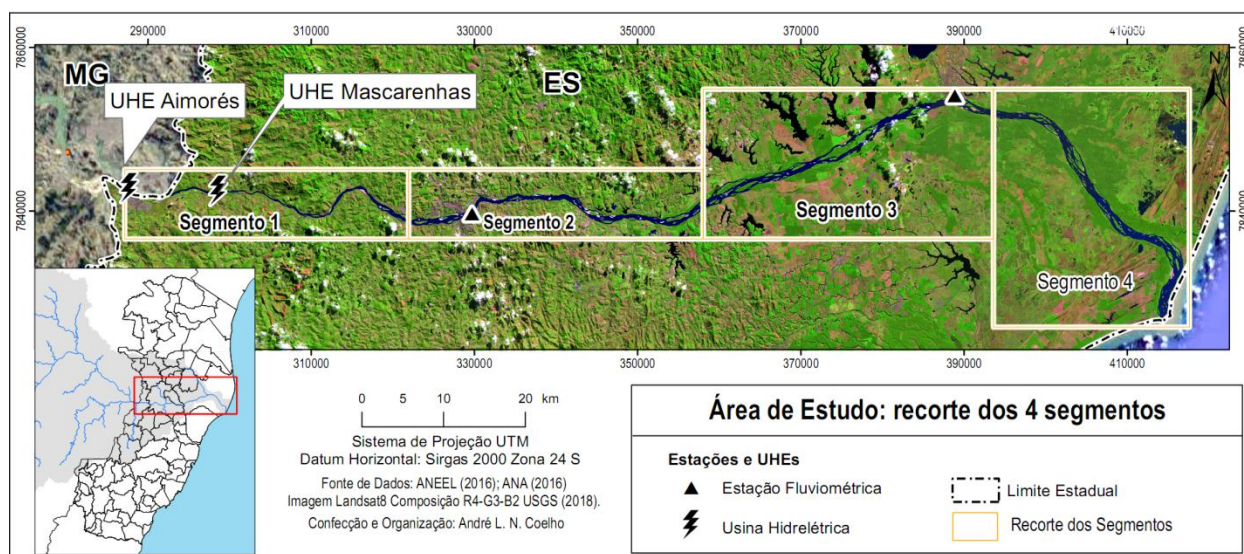


Figura 6 – Área de estudos, médio-baixo rio Doce, dividida em 4 segmentos

- Delimitação de feições fluviais dos anos 1977 e 2017

A avaliação taxas de sedimentação e erosão conta também com o emprego da ferramenta SIG integrada com produtos de SR em que foram realizados procedimentos de vetorização das feições, com base nas imagens de satélites em dois períodos distintos 1977 e 2017, seguido dos respectivos cálculos das características morfométricas (largura: mínima, máxima e média; sinuosidade, extensão do segmento, entre outros) além de elementos morfológicos de número e área de cada ilha, contagem e área de cada banco arenoso e alterações na margem fluvial.

Insta esclarecer que as datas de passagens das imagens de satélites (1977 e 2017) foram estabelecidas com base em uma sequência de critérios lógicos e possíveis para a execução do presente relatório: a) Partindo da consulta, disponibilização e acesso a imagens mais antigas do objeto de estudo; b) imagens obtidas e validadas no período de vazante (julho) do rio com base nos dados da estação Colatina (56994500); c) baixo índice de cobertura de nuvens; d) qualidade das imagens (isenta de ranhuras/erro de bandas e disponibilidade das bandas do satélite); O procedimento de vetorização dessas feições contou com o apoio de outras imagens de maior resolução espacial que destacam de maneira mais detalhada essas características morfométricas e morfológicas.

A identificação dessas feições fluviais não ficou restrita aos registros dos sensores remotos.

Contou com campanhas de campo (Figura 7) para validação das áreas vetorizadas através de barco, averiguação da calha/margem do canal principal nas fazendas que a margeiam, complementadas com entrevistas com barqueiros, pescadores e ribeirinhos atestando os locais cartografados e/ou indicando outros trechos não identificados nas imagens das evidências/marcas das principais transformações fluviais.

Abaixo foram pontuados outros procedimentos importantes realizados na identificação e delimitação dos ambientes fluviais tais como Ilhas vegetadas e ou rochosa, depósito arenoso / sedimentação e erosão no período:

- ✓ Processo de vetorização em tela realizado na escala máxima de 1:2.000;
- ✓ Uso de fotografias/ortofotos de 2008, imagens multiespectrais de 2016 e 2017 com resolução espacial de 15 metros - da série Landsat-8 composta na falsa cor vermelha, bandas (5R, 4G, 3B) mais a banda 8 (PAN), objetivando evidenciar a morfologia atual;

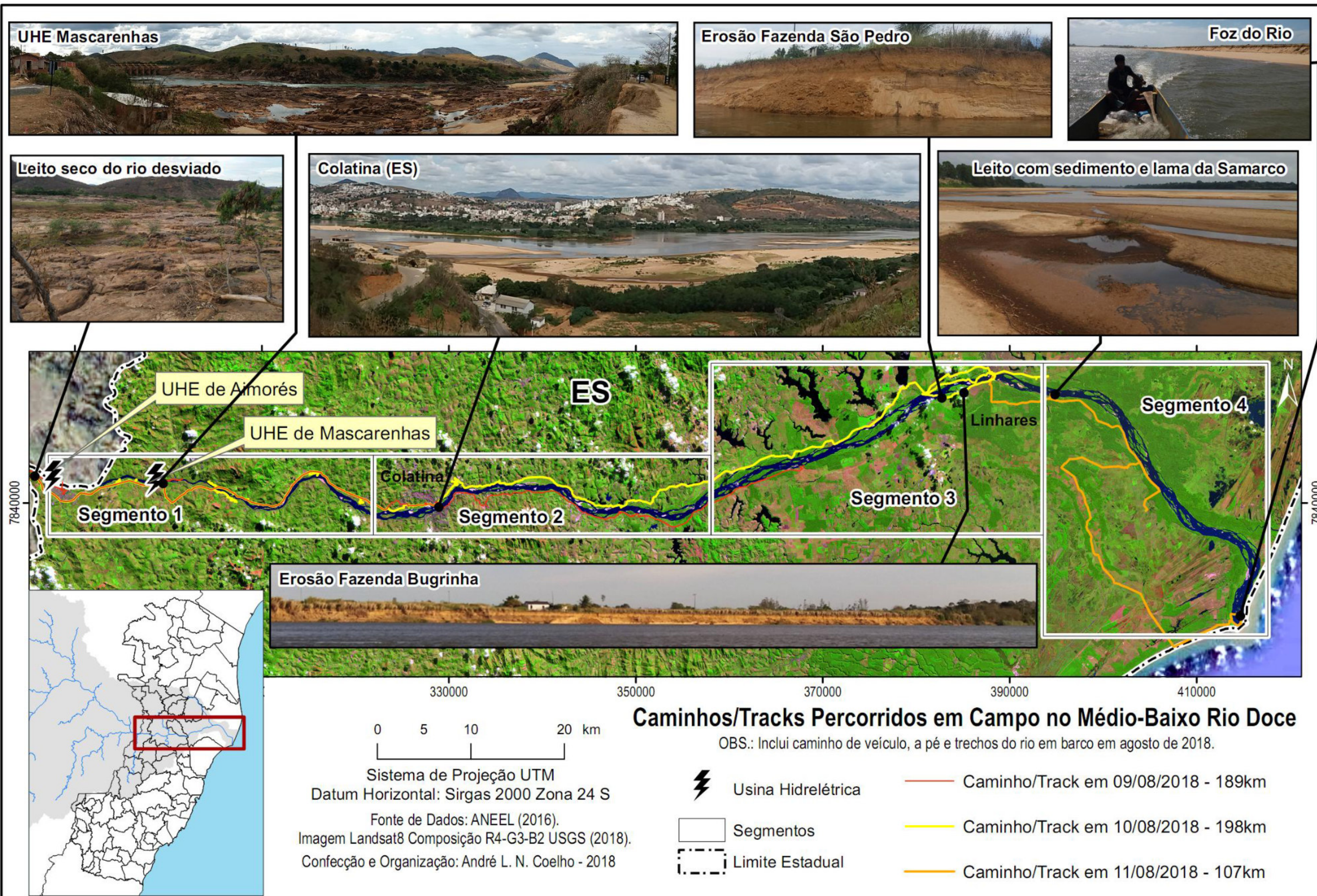


Figura 7 – Cartografia com os caminhos percorridos e registros fotográficos, em uma das campanhas de campo, agosto de 2018.
Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.

- ✓ Uso de cartas topográficas do IBGE, escala 1:100.000, no auxílio da delimitação dos ambientes fluviais, localidades e fazendas ao longo do corredor fluvial;
- ✓ Correções topológicas nos Planos de Informações: Ilhas, sedimentos, erosão e corpo d'água;
- ✓ Reiterando, a realização de campanhas de campo através de barco, visita às fazendas que margeiam o canal principal, complementadas com entrevistas com barqueiros e pescadores a respeito de pontos do rio com erosão das margens e indicação de outros trechos não identificados nas imagens (Figura 7) para validação dos polígonos da calha e registro das evidências/marcas das principais transformações fluviais.

2.2 - Algoritmos para Quantificação das Taxas de Sedimentação e Erosão Fluvial

A utilização de algoritmos em ambiente SIG para Avaliação de Processos Erosivos e Sedimentares, baseado proposta de Moraes (2002), permite verificar a intensidade dos processos fluviais, a partir, dos elementos morfológicos vetorizados das imagens de 2017 e 1977 respectivamente:

- *Equação de balanço de Erosão/Sedimentação*: a obtenção deste cálculo toma como base os valores reais obtida via quantificação de elementos morfológicos. A equação do balanço de Erosão/Sedimentação é dada por:

$$Cy = Cx - Asl + Ae - (Aiy - Aix) - (Aby - Abx)$$

Onde:

x = registro temporal mais antigo;

y = registro temporal atual;

Cy = área* do corpo d'água do canal no tempo y ;

Cx = área* do corpo d'água do canal no tempo x ;

Asl = área* de sedimentação lateral;

Ae = área* de erosão no canal;

Aix = área* de ilhas no tempo x ;

Aiy = área* de ilhas no tempo y ;

Abx = área* de bancos de areia no tempo x ;

Aby = área* de bancos de areia no tempo y .

(equação 1)

* em hectar (ha)

- *Equação de Taxas de Erosão e Sedimentação*: O procedimento para o cálculo destas taxas é dado pelas seguintes equações:

$$Te = \frac{Ae}{T}$$

Onde:

Te = Taxa de Erosão;

Ae = Área em ha de Erosão no Canal;

T = Registro Temporal (1977 e 2017 = 40 anos).

(equação 2)

Onde:

$$Ts = \frac{As}{T}$$

Ts = Taxa de Sedimentação;

As = Área em ha de Sedimentação no Canal;

(equação 3)

$As = (Aby - Abx) + Asl / (y - x)$ = sedimentação lateral e na calha

T = Registro Temporal (1977 e 2017 = 40 anos).

- *Equação da Relação Erosão/Sedimentação*: A equação para determinação desse índice é dada por:

Onde:

$$Re/s = \frac{Te}{Ts}$$

Res = Relação Erosão / Sedimentação;

Te = Taxa de Erosão;

Ts = Taxa de Sedimentação.

(equação 4)

• Identificação dos setores do rio com processos de erosão mais expressivos

Com base nas feições/elementos morfológicos de *ilhas, margens e bancos arenosos* vetorizados das imagens de 1977 e 2017 possibilita evidenciar somente as alterações de cada feição no período (ampliação ou redução), ou seja, mapear estabilidade de cada elemento morfológico por trecho.

A elaboração da Cartografia dos hotspots (*pontos quentes*) de erosão marginal revela os locais em que estes processos foram mais intensos. Este procedimento toma como base as linhas das margens da calha do canal principal nos dois períodos (1977 e 2017), seguido do cruzamento destas linhas, com a obtenção dos polígonos de erosão, em cada uma das margens, que são transformados em nuvens pontos de igual tamanho e distanciamento. Na sequência é aplicada a Estimativa de Densidade de Kernel ou estimador de núcleo, que analisa o comportamento de todos os pontos da amostra que são ponderados pela distância em relação a um valor central ou raio de influência, destacando a magnitude/intensidade do fenômeno (Figura 8).

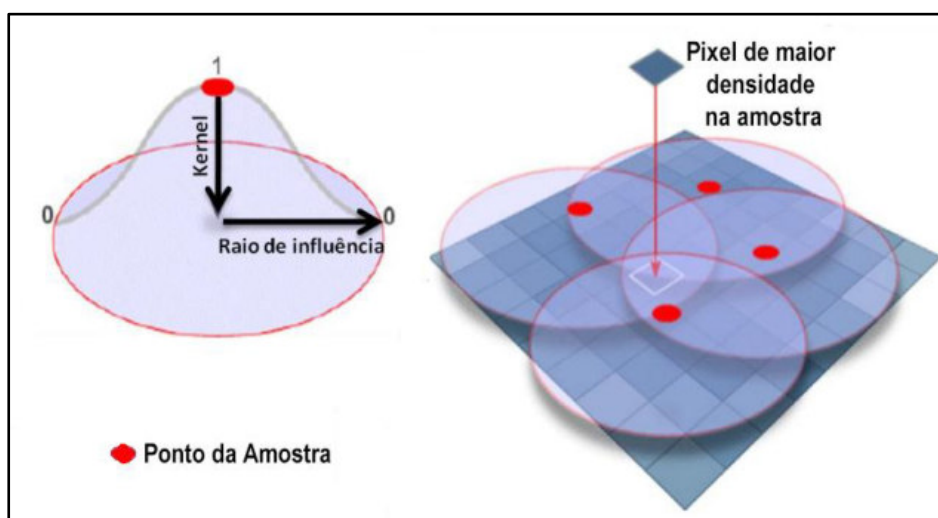


Figura 8 – Representação esquemática do Estimador de Densidade Kernel, com um ponto à esquerda e quatro pontos à direita.
Fonte: Adaptado de Bergamaschi (2010).



III – A BACIA DO RIO DOCE: (RE)CARACTERIZAÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce está localizada na Região Sudeste do Brasil entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo sendo, nos paralelos 17°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste, destacando-se as principais características morfométricas como:

- Área da bacia (A): 83.465 km², sendo a área plana delimitada pelo divisor de águas, dado fundamental para definir a potencialidade hídrica, entre outras análises físicas e socioambientais de uma determinada bacia hidrográfica.
 - Área da bacia em MG: 71.863 km² (86,1%);
 - Área da bacia no ES: 11.602 km² (13,9 %);
- Perímetro da bacia (P): 2.848,6 km que constitui o comprimento médio ao longo do divisor de águas;
- Comprimento total do canal principal (Lcp): 853 Km da nascente à foz;
- Comprimento total dos cursos d'água (Lt): 24.069,5 km sendo a medida em planta desde a nascente até a seção de referência de cada tributário, incluindo o curso principal.

Limita-se ao norte pela serra Negra e pela serra dos Aimorés (bacias hidrográficas do Itaúnas e do Mucuri), a oeste pelo Complexo do Espinhaço (bacia hidrográfica do São Francisco), a sudoeste pela serra da Mantiqueira, a centro-sul pela serra do Caparaó e a leste pelo Oceano Atlântico (Figura 9). Suas nascentes situam-se nos limites sudoeste da bacia na Serra da Mantiqueira (município de Ressaquinha) e no Complexo do Espinhaço, em Minas Gerais, região de altitudes superiores a 1.200 metros.

É formado, inicialmente, pelo rio Xopotó, que segue em direção NE até desaguar no rio Piranga e na confluência deste com o ribeirão do Carmo, limites entre os municípios de Ponte Nova (MG), Rio Doce (MG) e Santa Cruz do Escalvado (MG) recebem o nome de rio Doce. Seus principais afluentes são, pela margem esquerda, os rios Piracicaba, Santo Antônio e Suaçuí Grande, em Minas Gerais, Pancas e São José, no Espírito Santo; pela margem direita, os rios Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhuaçu, em Minas Gerais, e Guandu, no Espírito Santo.

Na Figura 9 são destacadas, também, as principais UHEs de acordo com os dados do *Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio Doce* (ANA, 2018b), somando um total de 8 e o destaque para a de Aimorés (MG/ES), no rio Doce, com área de reservatório de 36,9 km², e Mascarenhas (ES), com área de reservatório 5,3 km².

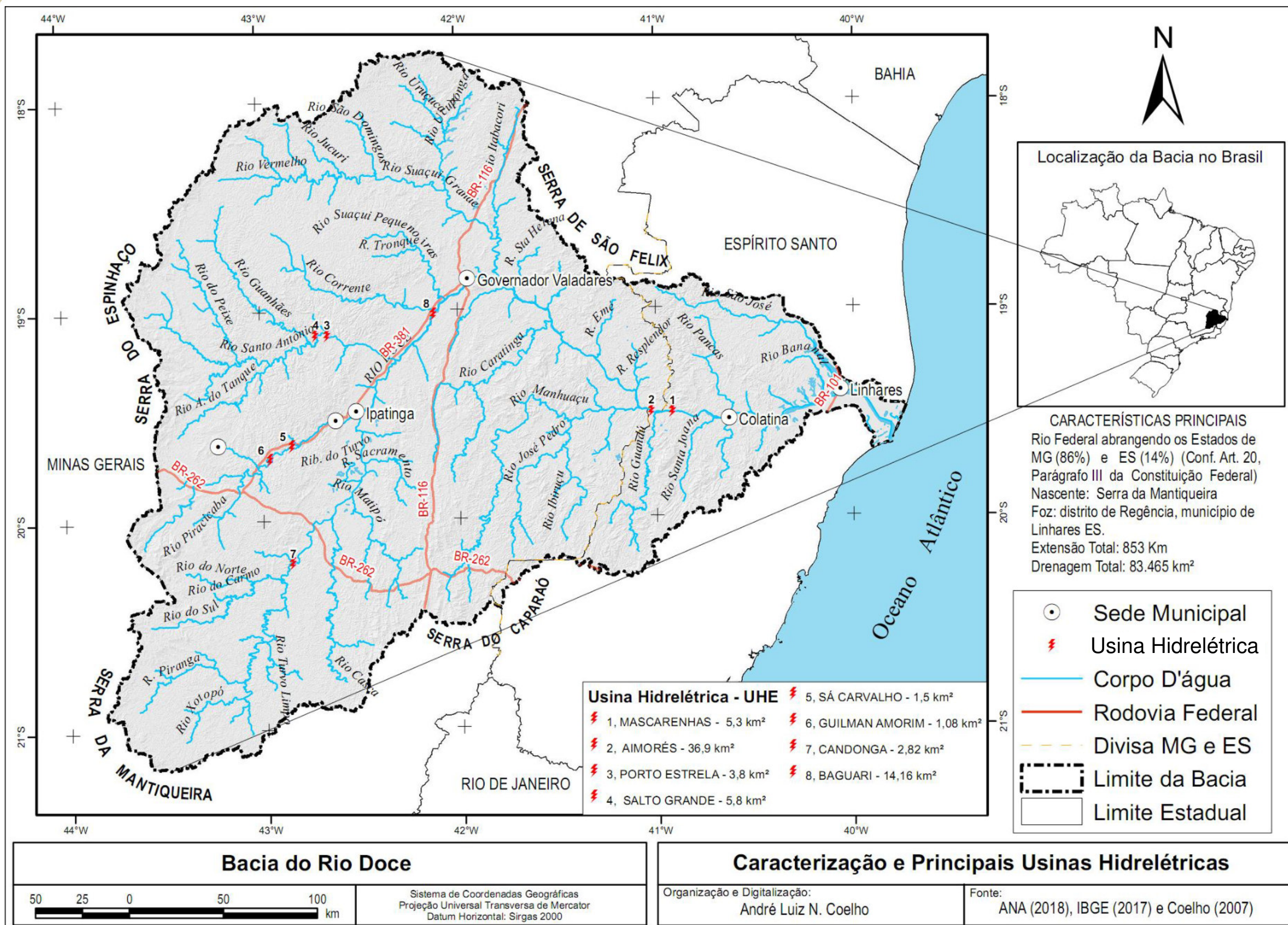


Figura 9 – Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce com os principais rios e Usinas Hidrelétricas.
Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.



No que se refere ao relevo, o rio Doce é caracterizado como um extenso rio (853 km) que penetra profundamente no planalto mineiro. Seu traçado, a partir de sua formação, copia mais ou menos a forma do litoral e, em Governador Valadares, o canal principal toma a direção leste, a caminho do oceano (COELHO, 2007; COELHO; GOULART e BERGAMASCHI, 2012)³.

O clima que opera no interior da bacia é o tropical úmido, estando caracterizado por uma não uniformidade, explicada por um conjunto de fatores, como a posição geográfica (latitude/continentalidade), características de relevo/topografia e, sobretudo, da atuação de quatro massas de ar, um dos principais elementos determinante do clima, segundo Ferreira (2006). Atuam, com maior frequência, a *Massa Tropical Atlântica (mTa)* e a *Massa Polar Atlântica (mPa)* e, como menor intensidade, a *Massa Equatorial Continental (mEc)* e *Massa Tropical Continental (mTc)* (COELHO, op. cit.). A cartografia da precipitação da bacia, gerada a partir dos dados da Série Histórica das Estações da ANA (2018a), revela que a porção oeste e sudeste da bacia apresentam elevada pluviosidade anual variando entre 1300 mm/a e 1.640 mm/a, enquanto, na porção centro-nordeste, registram-se 800 e 950 mm/a, locais, por exemplo, em que estão situadas as UHEs de Aimorés e Mascarenhas (Figura 10).

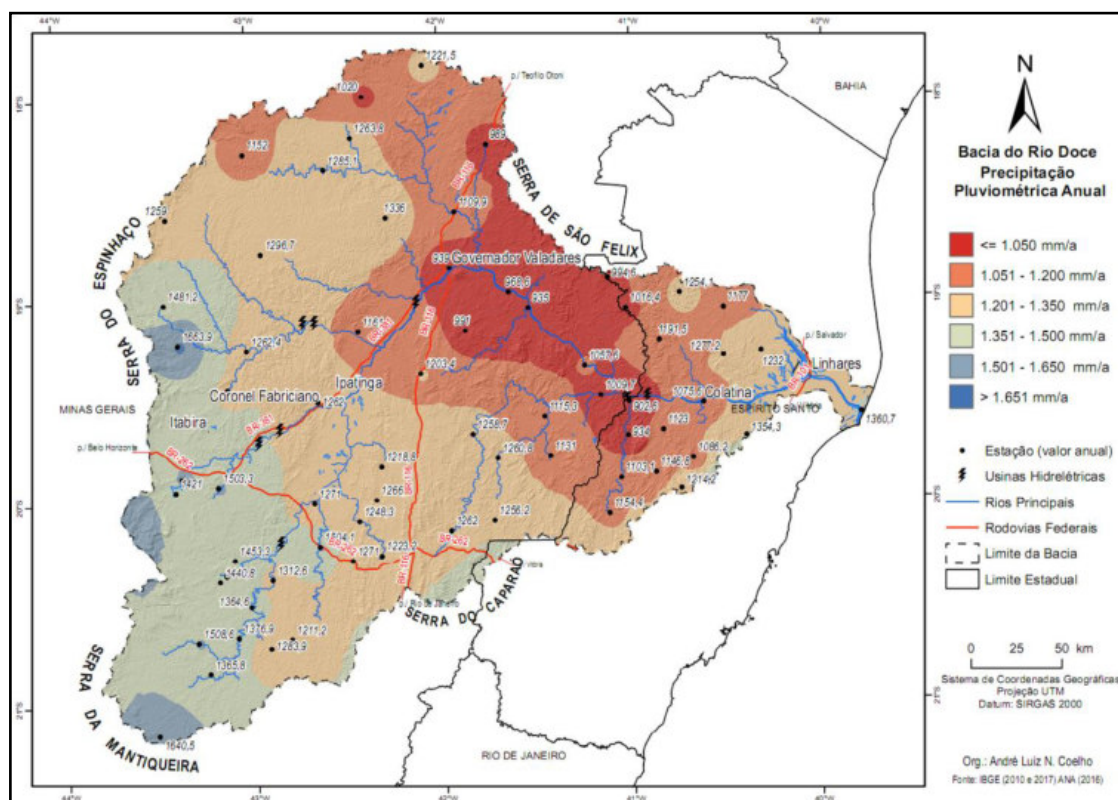


Figura 10 – Histórico da Precipitação Média Anual na Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.

³ Outras características como Hierarquia, Sub-bacias, Padrões de Drenagens, Elevação do Corredor Fluvial**, Hipsometria, Declividades e Unidades Morfológicas da Bacia estão descritas em Coelho (2007). **O Corredor Fluvial corresponde ao espaço ocupado pelo canal e seu entorno (margens e planície de inundação), sustentado na legislação ambiental de preservação aos rios como a Área de Proteção Permanente (APP) de nascentes e faixas marginais de proteção de águas superficiais (CUNHA, 2012).



As temperaturas médias anuais são elevadas, em torno de 26º C, e mesmo nos meses mais frios (junho e julho), as médias são superiores a 18º C, nas altitudes até 500m (COELHO, 2007). A umidade do ar é elevada, aproxima-se de 90% nas regiões serranas e adjacências do litoral, com amplitude térmica diária maior do que a anual, variando entre 10 a 15º C.

O regime hidrológico do rio Doce é perene e bem definido e, de modo geral, acompanha a pluviosidade da bacia, sendo marcado por dois períodos: um de cheia com os níveis máximos ocorrendo nos meses de dezembro e janeiro apresentando médias mensais superiores a 1.600 m³/s (Figura 11); e um de vazante, a partir de maio, atingindo mínimas extremas nos meses de agosto a setembro com valor médio mensal inferior a 440 m³/s, na estação Fluviométrica de Colatina (ANA, 2018a).

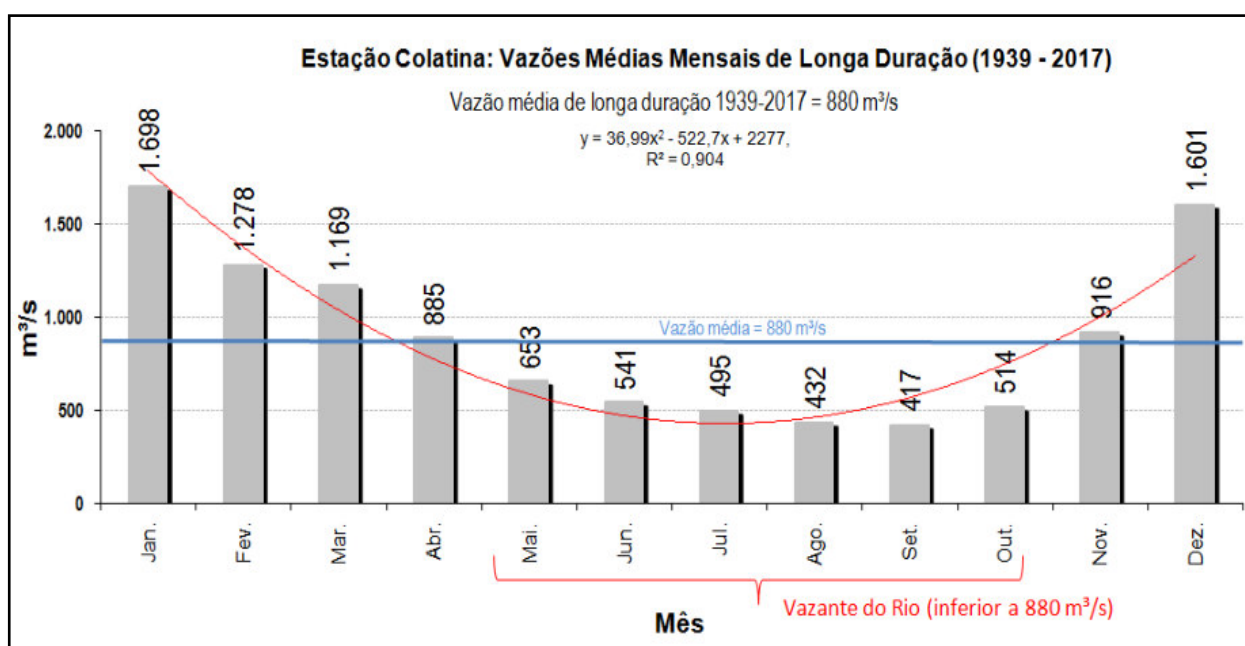


Figura 11 – Vazões médias de longa duração na estação fluviométrica de Colatina destacando os períodos de vazante e cheia do rio Doce. Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.

3.1 - Produção de Sedimentos

A análise da capacidade de Produção de Sedimentos em bacias hidrográficas no Brasil é uma das atribuições da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, responsável pelo gerenciamento e planejamento de energia elétrica do país, pois, segundo dados do BIG – Banco de Informações de Geração (ANEEL, 2018) mais de 63% dessa energia provém das 677 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs); 425 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e 220 Usinas



Hidrelétricas (UHEs)⁴, que somados às características ambientais, sobretudo, do clima operante, geologia, relevo, elevada produção de taxa de intemperismo (pedogênese) e usos da terra, repercutem na produção de sedimentos nos canais fluviais, podendo, com o passar dos anos, comprometer a geração de energia, pelo assoreamento dos reservatórios, exigindo, por sua vez, manutenções inesperadas de remoção de parte destes sedimentos.

Com o propósito de identificar a produção de sedimentos anuais das bacias brasileiras e melhor administrar a geração de energia elétrica, a ANNEL (2006), a partir do estudo de Campanholi (2006), realizou o cruzamento de dados/informações (geologia/geomorfologia, solo, hipsometria, uso da terra e pluviosidade) de outras agências/órgãos (ANA, CPRM, IBGE, EMBRAPA e INMET), gerando uma cartografia da produção de sedimentos.

A partir destas informações, em nível nacional, foi realizada a extração da produção de sedimentos para a Bacia do Rio Doce e sub-bacias (Figura 12) e, posteriormente, a realização de campanhas de campo, a fim de confrontar os dados com a realidade, constatando o elevado índice de erosão e assoreamento, próxima à sede municipal de Santo Antônio do Pontal, a noroeste de Governador Valadares em direção ao município de Coroaci.

A cartografia revela que 66% da área da bacia apresenta uma reduzida produção de sedimentos inferior a 5 toneladas por quilometro quadrado por ano, seguido de 22,1%, com uma produção entre 70 a 200 toneladas por km² anuais concentradas, sobretudo, no setor sudoeste da bacia. Outros pontos de maior produção foram identificados em parte das vertentes da Mantiqueira (sub-bacias dos rios Xotopó e Piranga) e da Serra do Espinhaço nas Cabeceiras dos rios Carmo e Santo Antônio, com valores superiores a 200 toneladas por km² anuais, coincidentemente nos setores da bacia em que a precipitação média anual é elevada (vide Figura 10). No Espírito Santo, os maiores valores foram identificados no entorno das lagoas Juparanã, Nova, das Palmas, entre outras, no município de Linhares (ES).

A Figura 12 apresenta ainda os locais, as tipologias e o número de usinas hidrelétricas em operação com um total de 65 em Minas Gerais e 5 no estado do Espírito Santo, distribuídas mais no centro e sudeste da bacia, coincidentemente, em locais em que ocorrem os maiores volumes de chuvas anuais. Evidencia que as usinas na sub-bacia do rio Matipó estão entre as mais susceptíveis ao processo de assoreamento dos reservatórios por sedimentação.

⁴ Segundo a ANNEL (2009) a potência instalada é que determina o tipo de usina hidrelétrica: classificada em 3: CGHs - Centrais Geradoras Hidrelétricas (com até 1 MW de potência instalada), PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas (entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW)

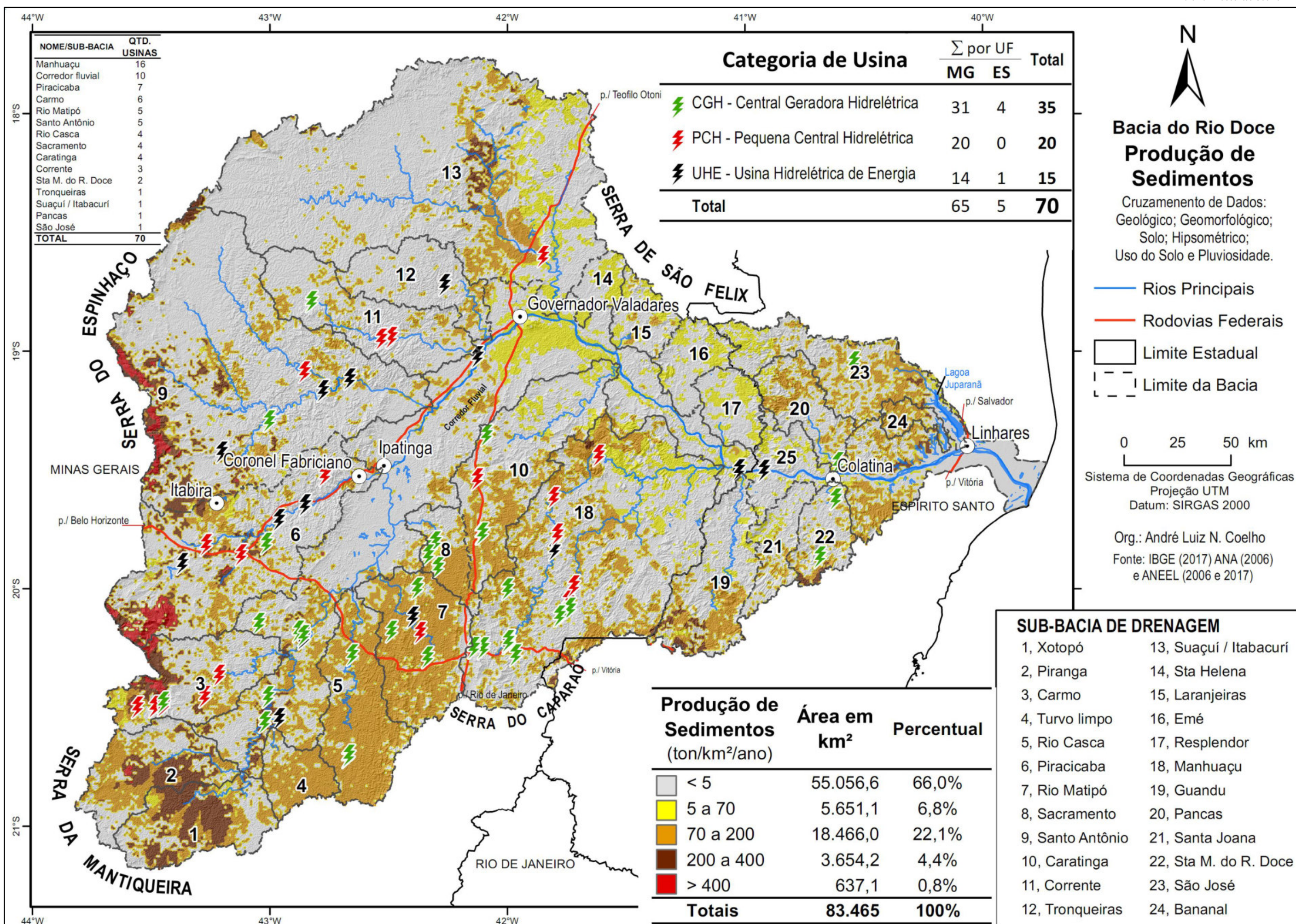


Figura 12 – Cartografia da produção de sedimentos, sub-bacias e categoria de usinas em operação na Bacia Hidrográfica do Rio Doce.
Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.



3.2 - Síntese do Processo de Ocupação e Transformação da Paisagem da Bacia do Rio Doce

Esta síntese tem como objetivo, destacar as principais transformações na paisagem da bacia do rio Doce, no decorrer do século passado, que, por sua vez, influenciaram na dinâmica natural, sobretudo, relacionada ao aspecto hídrico e morfológico da calha principal.

Inicialmente, o processo de ocupação da bacia do rio Doce

Orientou-se em dois sentidos diversos em épocas diferentes: do planalto na direção do litoral, sem contudo atingi-lo; e dêsse para o interior. O primeiro corresponde à antiga corrente povoadora, consequência do ciclo minerador, enquanto o último é mais recente (STRAUCH, 1955, p. 45).

Conforme observa Strauch (op. cit.), o povoamento, no planalto, data dos primeiros anos do século XVIII (ciclo minerador), ocupando grande parte do Espinhaço e favorecendo o surgimento de municípios, como Ouro Preto, Mariana e Serro. O povoamento ocorrido do litoral para o interior da bacia foi iniciado,

...a partir de 1847 através dos núcleos de Santa Isabel e Santa Leopoldina, respectivamente, nos rios Jucu e Santa Maria da Vitória (STRAUCH, 1955, p. 47).

[...]

Assim foi que o movimento colonizador desceu o vale do Santa Maria do Rio Doce, atingindo em 1891 a região das matas, onde hoje se acha a cidade de Colatina. [...] Esta penetração inicial foi feita com elementos alemães de Santa Leopoldina, e no rio Doce ficou muito anos restrita à área inicial. A expansão ao longo do vale tomou impulso com a chegada a Colatina, em 1906, dos trilhos da Estrada de Ferro Diamantina (atual Vitória-Minas) (STRAUCH, 1955, p. 49).

Conforme assinalou Strauch (op. cit.), a ocupação e a transformação da paisagem adjacente ao longo de todo o canal principal se deu de forma definitiva, em 1901, com o início da construção da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), após várias tentativas sem sucesso, via rio⁵. Nessa época, o número total de municípios pertencentes à bacia era de apenas 26, com 22 destes localizados em Minas Gerais e 4 no estado do Espírito Santo, sendo apenas um em Linhares, situado às margens do canal principal do rio Doce⁶.

⁵ Para saber mais a respeito, sugere-se as seguintes leituras: O Sertão do Rio Doce (escrito pelo historiador Haruf Salmen Espindola - 2005); O Vale do Rio Doce (coord.) Romeu do Nascimento Teixeira / (CVRD) - 2002; Norte do Espírito Santo: ciclo madeireiro e povoamento, (Borgo, Rosa e Pacheco, 1996); O Desbravamento das Selvas do Rio Doce (Ceciliano A. de Almeida); O Norte do Espírito Santo Região Periférica em Transformação (Tese, Bertha K. Beker - 1969); A Bacia do Rio Doce: estudo geográfico (Ney Strauch, IBGE, 1955); A Zona Pioneira ao Norte do Rio Doce (Walter Alberto Egler, Revista Brasileira de Geografia, V. 13 - nº. 2, 1951); Geografia Humana Del Bajo Rio Doce: desarrollo local y estrategias de supervivencia de las comunidades de pescadores del litoral norte del Estado de Espírito Santo (Anderson Pereira Portugal, 2010). Sugere-se também o Documentário: Assim Caminha Regência. Direção: Ricardo Sá. São Paulo: Cultura Marcas / Doc TV, 2005.

⁶ Nas últimas décadas do século XIX e início do XX, foram criados diversos municípios, como Viçosa, Guanhães, Peçanha, Manhuaçu, Visconde do Rio Branco, Ferros Caratinga, São Domingos do Prata, Alto do Rio Doce, Alvinópolis e Abre-Campo. Destes, o mais próximo do canal principal do rio Doce era Caratinga, a cerca de 50 km em linha reta. Até o final do ano de 1915, numa área de 30.000 km², no médio rio Doce, não havia uma única cidade, nem mesmo uma vila (STRAUCH, 1955).



A paisagem da bacia era, em sua maior parte, coberta por mata nativa com Campos de Altitude (na Serra do Caparaó, Serra do Espinhaço e Serra da Mantiqueira), Floresta Estacional Semidecidual e o predomínio da Floresta Ombrófila Densa (ou Mata Atlântica) com rico estoque de mata ciliar, considerado por alguns especialistas uma das maiores biodiversidades de espécies madeireiras⁷ do país (BORGOS; ROSA e PACHECO, 1996), em função da localização da bacia, somada a um conjunto de fatores naturais, a exemplo do relevo, clima e latitude, que propiciam condições especiais para o desenvolvimento dessa diversidade florística.

O processo de extinção da mata ocorreu, de forma mais intensa, no baixo rio Doce (STRAUCH, 1955; PORTUGUEZ, 2010), nas adjacências de Linhares até Colatina, com a utilização de técnicas rudimentares de derrubada de árvore com machado. O tronco era transportado por uma junta de bois, através das picadas abertas na mata, até as margens, sendo jogado no rio, descendo em direção a localidade de Povoação, junto à foz, sendo ali embarcada em navios.

Esse processo de extração, como destacam Borgo; Rosa e Pacheco (1996) era o mais viável nessa época (primeira metade do século XIX), pois não havia, praticamente, estradas em boas condições para o transporte dessa madeira. Entretanto, parte destas toras encalhava nos bancos de areia junto à foz⁸, não chegando aos navios para embarque. Borgo; Rosa e Pacheco (op. cit.) relatam que esse “ciclo madeireiro” foi marcante, a partir de 1910 até o final da década de 60, com a construção de inúmeras serrarias, nas proximidades das matas, apresentando, no final deste período, sinais de exaustão, em função do crescimento dessa atividade e dos métodos mais rápidos de corte e transporte. Um exemplo é o caso da sede municipal de Aracruz (ES), em que havia na rua principal mais de 42 grandes serrarias, dado ao grande estoque de matas da região do vale do rio Doce e norte do Espírito Santo.

Dessa forma, em menos de quatro décadas, grande parte das matas nativas do rio Doce, foram, aos poucos, dando lugar a uma paisagem de café e pastagem, impulsionada pela construção da Ferrovia e chegada dos colonos, que propiciavam o desenvolvimento de pequenos aglomerados populacionais que transformavam-se, com o passar do tempo, em municípios. São exemplos dessa situação, o surgimento de cidades mineiras como Aimorés, Itueta, Resplendor, Conselheiro Pena, Governador Valadares, e Capixabas como Colatina e Linhares (Figura 13).

⁷ Espécies como (nome vulgar/científico): Pau-Brasil (*Caesalpinia echin*), Sapucaia (*Lecythis sp.*), Cedro (*Cedrela sp.*), ipê (*Tabebuia sp.*), Peroba (*Aspidospermum sp.*), Ingá-ferro (*Inga capitata*), Jacarandá (*Dalbergia sp.*), Maçaranduba (*Manilkara salzmannii*), Copaíba (*Copaifera langsdorffii*), Angico (*Acacia sp.*), Braúna (*Melanoxylon sp.*), entre outras.

⁸ Tal fato pode ser constatado em uma das várias visitas à região, juntamente com entrevistas realizadas com pescadores mais antigos da localidade de Regência, situada na margem sul do rio.

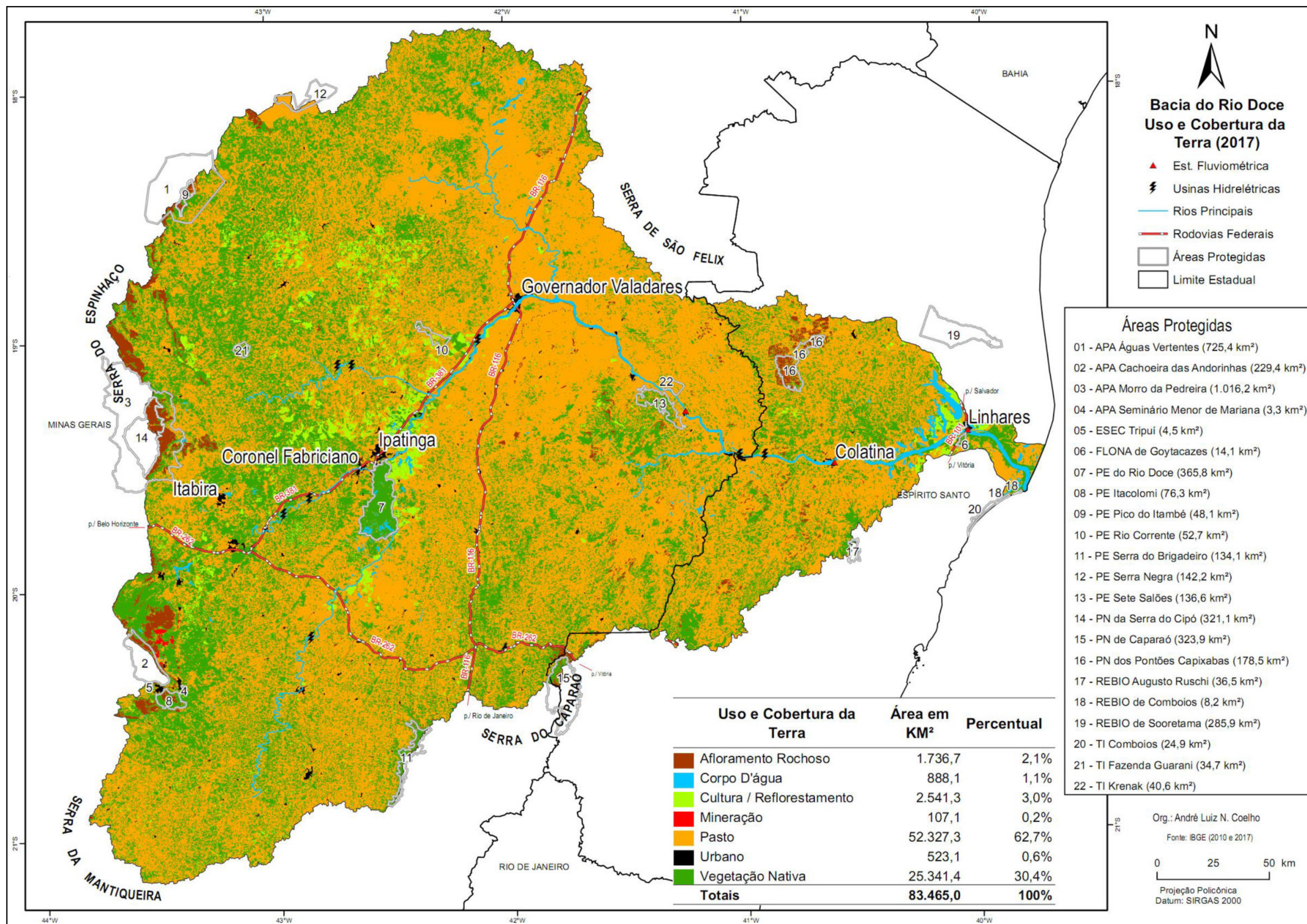


Figura 13 – Principais usos e cobertura da terra e áreas protegidas na Bacia Hidrográfica do Rio Doce.
 Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.



O resultado desse processo de transformação da paisagem é evidenciado na cartografia do Uso da Terra em 2017 (Figura 13) que evidencia o predomínio da pastagem e solo exposto com 62,7% distribuída em toda a bacia, seguida da vegetação nativa com 30,4% abrangendo mais os setores sudoeste, oeste e no interior das Áreas Protegidas como o Parque Estadual do Rio Doce de área de 365,8 km², Parque Estadual Itacolomi (76,3 km²), Rebios – Reservas biológicas, TIs – Terras Indígenas, Apas – Áreas de Proteção Ambiental, Esec – Estação Ecológica e uma Flona – Floresta Nacional. A Cultura e Reflorestamento se concentram mais no entorno dos municípios de Ipatinga e Coronel Fabriciano, em Minas Gerais, e em Linhares (ES) no entorno das Lagoas como Juparanã, Lagoa Nova, Lagoa das Palmas, entre outras.

3.3 - População e Cidades em 2017

Bacia do Rio Doce envolve um total de 225 municípios, conforme divisão político-administrativa em 2017, incluídos total ou parcialmente, nos limites físicos da bacia, sendo 200 localizados em Minas Gerais e, 25 no Espírito Santo, com uma população total superior a 4.130.000 de habitantes segundo estimativa do IBGE (2017), distribuída por toda a bacia (Tabela 3).

Tabela 3 – População e Municípios em Minas Gerais e Espírito Santo

ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO POR UFs NA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DOCE (IBGE, 2017)											
Estado / UF	População	Municípios em 2017 com:								Número Total de Municípios	
		mais de 100.000 habitantes		mais de 50.000 habitantes		mais de 10.000 habitantes		mais de 5.000 habitantes			
MG	3.410.714	6	+	8	+	62	+	64	+	60	= 200
ES	722.010	2	+	0	+	21	+	2	+	0	= 25
Totais	4.132.724	8	+	8	+	83	+	66	+	60	= 225

OBS.: Considerando municípios, incluídos total ou parcialmente, nos limites físicos da bacia

Apenas dezesseis municípios possui população superior a 50.000 habitantes segundo dados estimados do IBGE (2017). Desses 16 municípios, apenas Linhares (169.048 hab.) e Colatina (124.525 hab.) no estado do Espírito Santo, apresentam um quantitativo de população superior a 120.000 habitantes.

Já em Minas Gerais seis municípios apresentam população superior a 100.000 habitantes havendo o destaque para Governador Valadares (280.901 habitantes) e Ipatinga (261.203 habitantes) que se localizam junto ao canal principal do rio Doce (Figura 14), próximo a corredores importantes como Ferrovia (com transporte diário de passageiros e cargas).

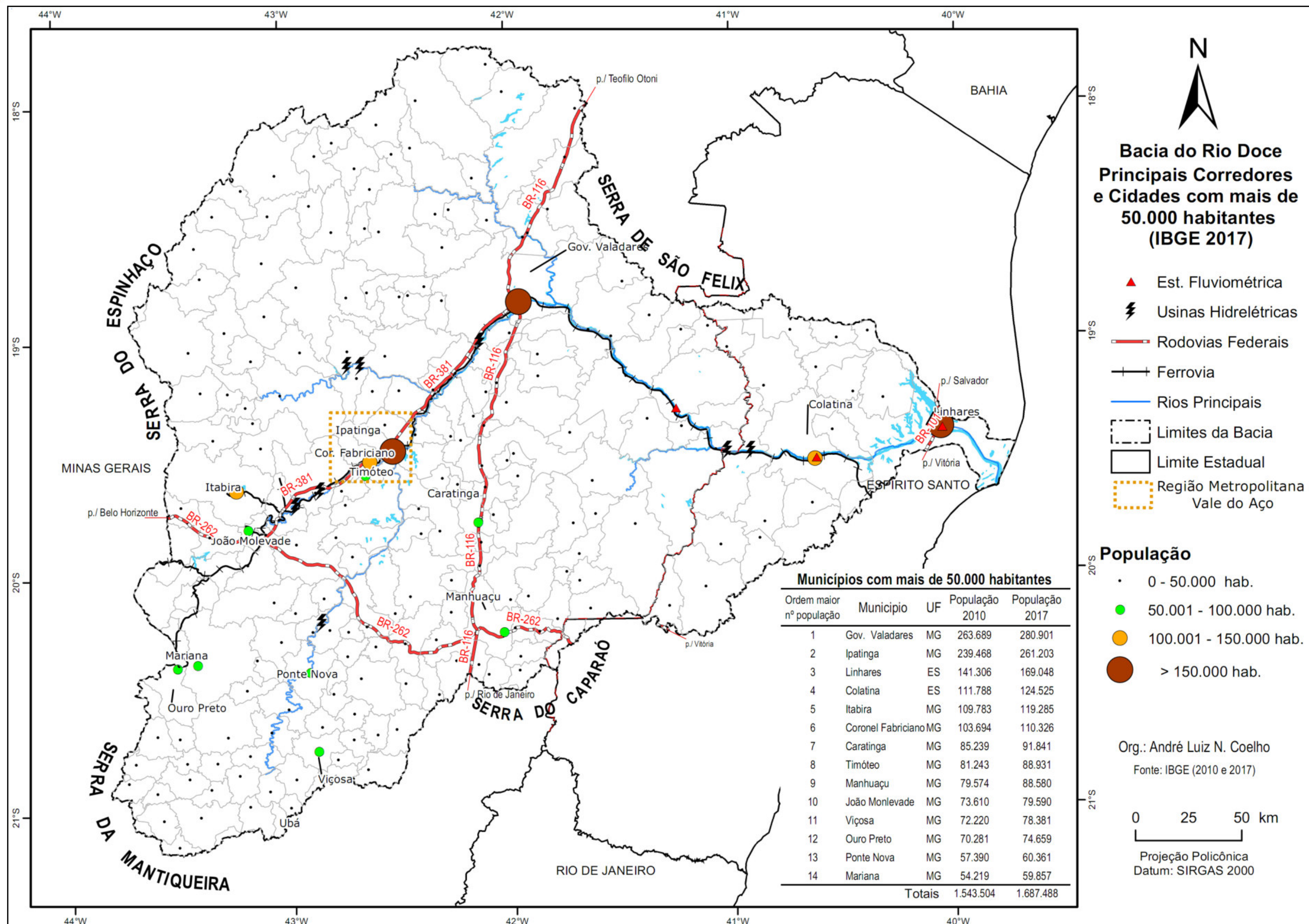


Figura 14 – População estimada em 2017 segundo IBGE, havendo o destaque para os municípios com mais de 150.000 habitantes situados junto ao canal principal do rio Doce. Organização: André Luiz Nascentes Coelho - 2018.



Sob a perspectiva sócio-econômica, os municípios de Governador Valadares e Ipatinga são, a nível regional considerados, os pólos dinamizadores da economia mais importantes da bacia⁹, dotados de estrutura viária como a BR-116 e BR-381, linha férrea, aeroportos e referência técnica em diversos segmentos.

A análise da Figura 14 destaca, também, que 10 dos 16 municípios, com mais de 50.000 habitantes, estão situados próximos a importantes corredores viários que cortam o interior da bacia, desempenhando, até hoje, importante papel na ocupação como a BR-101 a leste da bacia; BR-116 que corta a parte central da bacia no sentido N-S; BR-381 que liga a porção Sudoeste em direção a Governador Valadares; e a BR-262 que corta a porção sul-sudoeste, ligando Belo Horizonte a Vitória. Na porção sudoeste da bacia há também os municípios de Ouro Preto, Ponte Nova, Viçosa e Ubá, cada um, com mais de 50.000 habitantes.

Sobressai também na cartografia da população da Bacia do Rio Doce a Região Metropolitana do Vale do Aço (MG), que possui Ipatinga (261.203 habitantes) como principal município, seguido de Coronel Fabriciano (110.326 habitantes), Santana do Paraíso (32.828 habitantes) e Timóteo (88.391 habitantes).

Já a Tabela 4 lista, no estado do Espírito Santo, os vinte e cinco municípios do médio-baixo rio Doce, apresentando segundo o IBGE, uma população estimada para o ano 2017 em 722.010 habitantes, além da população contabilizada no último censo realizado em 2010 (639.834 hab.). Destaca-se, entre estes municípios, Linhares com população de 169.048 e Colatina com 125.525 respectivamente, ambos adjacentes ao canal principal do rio Doce. O terceiro município com maior população do estado Capixaba é São Gabriel da Palha que apresenta um contingente populacional de apenas 37.375 se comparado com os dois primeiros, revelando uma distribuição populacional no baixo rio Doce concentrada em apenas dois municípios.

A Tabela 4 revela que apenas 8 municípios contam com uma população superior a 25.000 habitantes e que 11 destes municípios como Ibatiba, Ibiraçu, João Neiva, entre outros, estão com os seus limites parcialmente inseridos no interior da bacia do Doce.

⁹ Santos e Silveira (2001) destacam que a partir da análise do território (considere-se a bacia do rio Doce), mesmo que superficial, é possível identificar centros regionais que influenciam os adjacentes, sendo estes centros dotados de maior estrutura, maior número de vias, que acumulam densidades técnicas e informacionais, podendo até acumular densidades populacionais, estando mais aptos a atrair atividades com maior conteúdo em capital, tecnologia e organização. Também em função destas características eles são, em parte, ordenadores das decisões políticas e da produção regional, refletindo assim na economia e na divisão do trabalho.


Tabela 4 – População Inserida no Médio-Baixo curso do rio Doce no Estado do Espírito Santo

BACIA DO RIO DOCE NO ESPÍRITO SANTO								
ESTIMATIVAS DAS POPULAÇÕES EM 2017 E CENSO DE 2010, SEGUNDO OS MUNICÍPIOS - IBGE (ALFABETICA)								
Nº	Município	Pop. 2017	Pop. 2010	Tipo	Ordem População	UF	Cod UF	Sigla do Município
1	Afonso Cláudio.....	32 361	31 091		4	ES	32	00102
2	Águia Branca.....	10 085	9 519	p	23	ES	32	00136
3	Alto Rio Novo.....	8 022	7 317		25	ES	32	00359
4	Baixo Guandu.....	31 794	29 081		5	ES	32	00805
5	Brejetuba.....	12 838	11 915		16	ES	32	01159
6	Colatina.....	124 525	111 788		2	ES	32	01506
7	Governador Lindenberg.....	12 600	10 869		18	ES	32	02256
8	Ibatiba.....	25 882	22 366	p	8	ES	32	02454
9	Ibiraçu.....	12 581	11 178	p	19	ES	32	02504
10	Itaguaçu.....	14 815	14 134		14	ES	32	02702
11	Itarana.....	11 231	10 881		22	ES	32	02900
12	Iúna.....	29 896	27 328	p	6	ES	32	03007
13	João Neiva.....	17 168	15 809	p	12	ES	32	03130
14	Laranja da Terra.....	11 457	10 826		21	ES	32	03163
15	Linhares.....	169 048	141 306	p	1	ES	32	03205
16	Mantenópolis.....	15 419	13 612	p	13	ES	32	03304
17	Marilândia.....	12 602	11 107		17	ES	32	03353
18	Pancas.....	23 697	21 548		10	ES	32	04005
19	Rio Bananal.....	19 457	17 530		11	ES	32	04351
20	Santa Teresa.....	24 025	21 823	p	9	ES	32	04609
21	São Domingos do Norte.....	8 818	8 001		24	ES	32	04658
22	São Gabriel da Palha.....	37 375	31 859	p	3	ES	32	04708
23	São Roque do Canaã.....	12 579	11 273		20	ES	32	04955
24	Sooretama.....	29 038	23 843	p	7	ES	32	05010
25	Vila Valério.....	14 697	13 830	p	15	ES	32	05176
QTD	Totais	Pop. 2017	Pop. 2010					
25	Municípios da BRD	722 010	639 834					
14	Pertencentes a BRD (-p).....	336 796	307 361					
11	Parte pertencentes a BRD (p).....	385 214	332 473					
1	Capital (vitória).....	363 140	327 801					
78	Total do Estado.....	4 016 356	3 514 952					

*Obs: **BRD** = Bacia do Rio Doce

Tipo = **p** (parte do município pertencente a Bacia do Rio Doce)

Organização: **ANDRÉ LUIZ N. COELHO - 2018**

3.4 - Morfologia do Médio-Baixo Rio Doce no Estado do Espírito Santo

O médio-baixo rio Doce, no estado do Espírito Santo situa-se, na sua parte montante da calha principal, imediatamente após a casa de força/geradores e canais de fuga da UHE de Aimorés até a foz na localidade de Regência, no município de Linhares (ES). É a bacia que apresenta no estado espiritosantense o maior volume de vazão com 880 m³/s (período 1939 a 2017) e área



de drenagem com aproximadamente 11.602 km² e, 13,9 % da bacia (COELHO, 2007; RAMOS, 2012).

Segundo Coelho; Goulart e Bergamaschi (2012) e Coelho (2007) a organização geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Doce no estado do Espírito Santo, está dividida em três principais Unidades: a primeira delas os Tabuleiros Costeiros abrange uma área aproximada de 852 km² ou 1,02% de ambas as margens da bacia, delimitada a leste pela Unidade Planície Fluvio-Lacustre e a oeste pelos Patamares Escalonados. É marcada por um relevo baixo de encostas, fracamente, inclinadas, com altitudes, predominantemente, em torno de 50 e 60 metros, topos extensos e planos com a ocorrência de vales originados da dissecação do tabuleiro com depósitos subaéreos constituídos de areias e argilas (Figura 15).

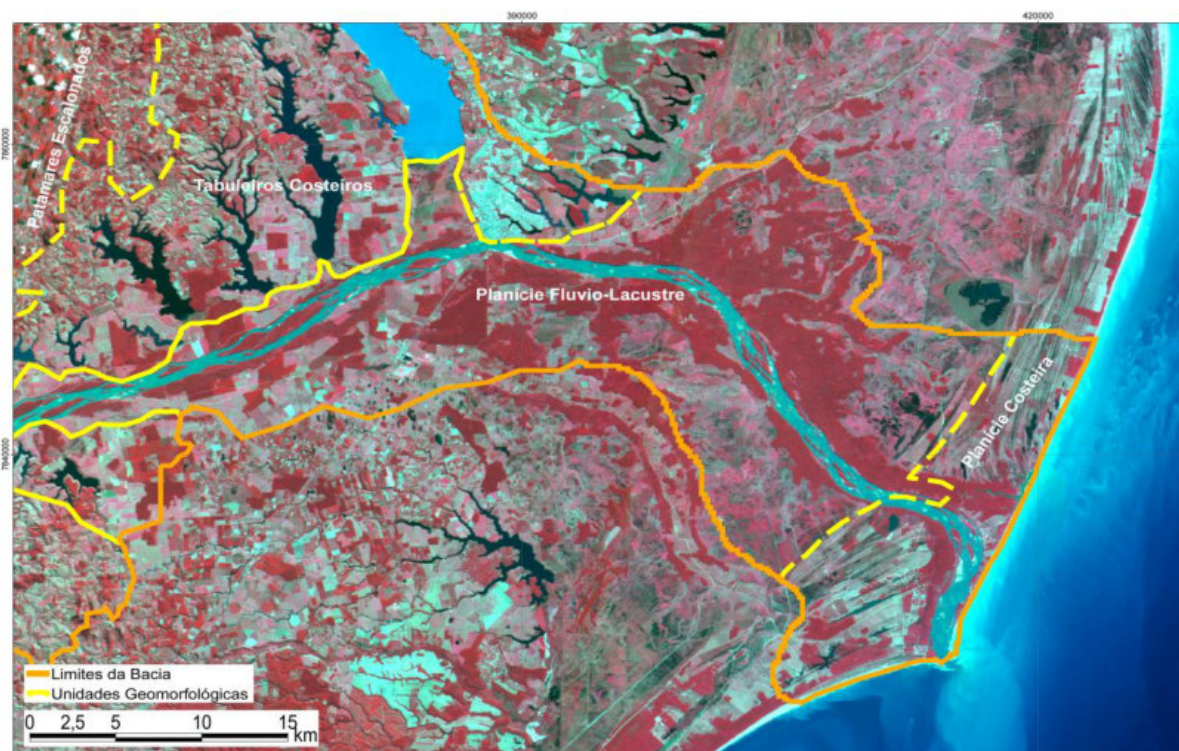


Figura 15 – Imagem falsa vermelha cor das principais unidades de relevo: Planície Fluvio-Lacustre e Planície Costeira (considerando o atual escoamento superficial da bacia do rio Doce). É possível também identificar o um dos paleocanais paralelo ao canal atual do rio Doce, sugerindo uma antiga feição de delta intralagunar. Fonte INPE (2006). Organização e Geoprocessamento: André Luiz N. Coelho - 2007.

Essa Unidade é, também, caracterizada por um conjunto de lagoas alongadas, com sua origem relacionada ao barramento de cursos fluviais por depósitos quaternários, em função das oscilações do nível do mar, a exemplo da lagoa Juparanã e lagoa Nova (Figura 15), situadas no contato do delta do rio Doce, conforme observações em campo e de Bigarella (2003). Estudos de Suguio e Kohler (1992); Radambrasil (1987), entre outros, descrevem a região como sendo uma superfície homoclinal, com discreta inclinação em direção ao oceano, sulcada por canais subparalelos e padrão angular que refletem o sistema de fraturas na direção NO-SE.



A segunda unidade *Planície fluvio-lacustre* faz limites com os Tabuleiros Costeiros, a oeste, em direção ao interior, e com a Planície Costeira, a leste, abrangendo, atualmente, uma área de 651 km², (0,8% da bacia). Trata-se, de fato, de um prolongamento da Planície Costeira, entretanto, diferenciada pelo processo de elaboração predominante da ação do rio (sedimentação fluvial - Apf) evidenciada pelos antigos tributários quando a região possuía uma feição típica de um delta (SOARES e LANDIM, 1977).

Atualmente, o (paleo)delta do rio Doce é classificado como destrutivo, segundo a classificação de Galloway, (1975). Muehe (2002), também o classifica como altamente destrutivo, sugerindo que, ao longo do período Terciário (Plioceno) e início do Quaternário, o referido delta passou por um processo de construção decorrente do elevado aporte sedimentar e, atualmente, ele possui características de um estuário (paleodelta) com uma foz única, onde os processos das correntes e sedimentação não se sobrepõem ao trabalho das ondas e correntes costeiras.

Considerando o atual escoamento superficial¹⁰ e limites da bacia, a unidade *Planície Costeira* ocupa 177,4 km², com altitudes inferiores a 22 metros, que correspondem às terras baixas do litoral, limites com a planície fluvio-lacustre. O fato dessa unidade estar separada da anterior (Planície Fluvio-lacustre) é em função do processo de elaboração do relevo local ser predominante esculpido por ação marinha (ALBINO, 1999), evidenciada pelo domínio de cordões litorâneos/cristas de praia paralelas à linha da costa, relativamente preservadas, ocupadas por vegetação esparsa de restinga rasteira e por pequenas depressões formando, em algumas destas, lagunas e pântanos alongados, igualmente paralelos à linha de costa, muitos destes constituídos de fundo turfoso.

Com relação a sua gênese, a referida unidade é parte do processo evolutivo das Planícies Costeiras quaternárias, sugerido por Dominguez; Bittencourt e Martin (1981), no trecho entre Macaé (RJ) e Recife (PE), que tem como característica marcante de modelado a presença dos Tabuleiros Costeiros da Formação Barreiras, entre as Planícies Fluvio-lacustres/Costeiras quaternárias e Serras Pré-Cambrianas compostas por rochas cristalinas.

Anterior à formação da atual planície fluvio-lacustre/Costeira (Apm) ou do Paleodelta do rio Doce, a lagoa Juparanã era apenas uma baía quando o mar alcançava essas regiões, hoje, está distante 37 km da atual linha costa. Esse fato foi resultante de processos geológico-

¹⁰ Considera-se, aqui, o “estádio” atual da dinâmica geológica-geomorfológica do paleodelta do rio Doce, com um único canal fluvial ligando-se ao oceano.



geomorfológicos (internos e externos), predominantemente, de dissecação do interior da bacia, favorecendo o transporte de sedimentos em direção ao oceano, pelo grande poder de vazão e aporte de sedimentos do rio Doce, ao longo dos últimos 120.000 anos, associados a importantes eventos de variações do nível do mar ligados às fases de glaciação e interglaciação (paleoclimas).

Em relação ao canal principal, o médio-baixo rio Doce é categorizado como um sistema fluvial típico de *canal múltiplo* conforme a classificação de rios discutida por Baptista e Lara (2016) e Cunha (2015), característicos de ambientes de contraste topográfico/morfológico, de variabilidade do regime fluvial - marcado pela regulação artificial dos fluxos pela barragem - e alterações de capacidade de transporte de materiais dissolvidos (sedimentos). Este caráter dinâmico da evolução da morfologia fluvial é materializado pelas distintas configurações de padrões de canais ao longo do tempo como o Sinuoso Afogado¹¹ (reservatório da barragem da UHE de Mascarenhas), Sinuoso¹² e Anastomosado¹³, destacados na Figura 16.

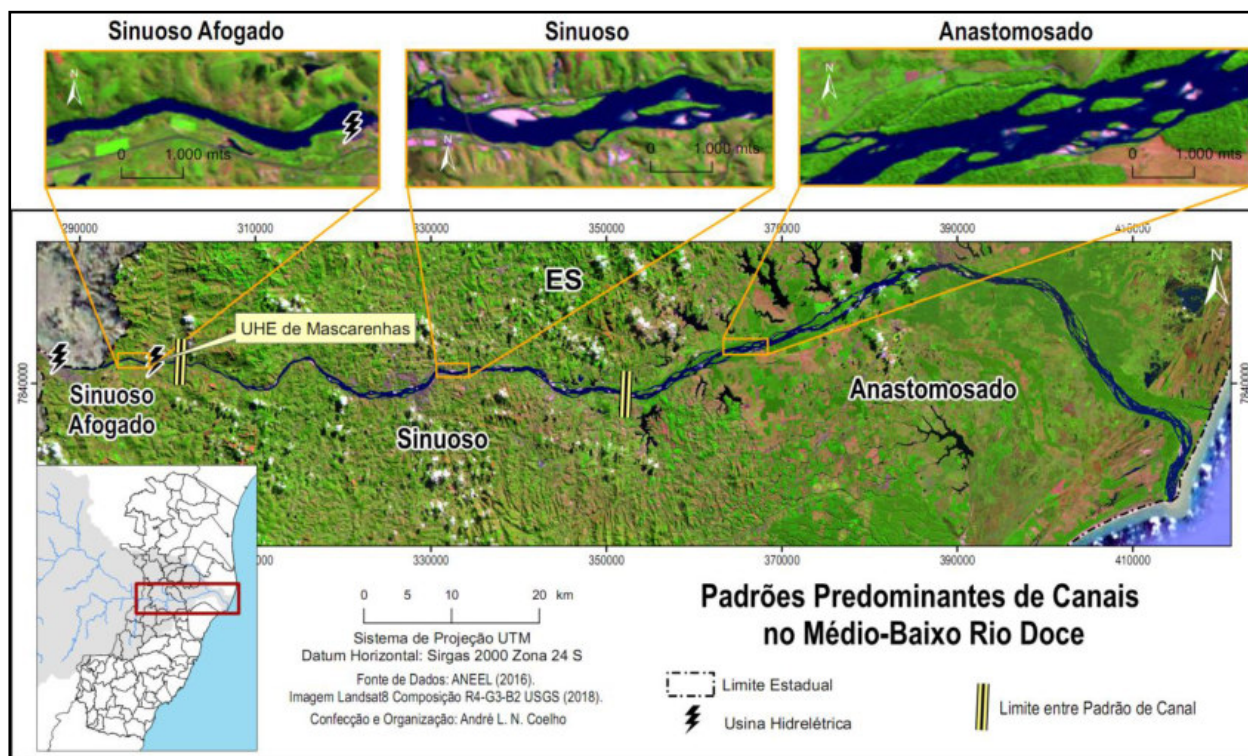


Figura 16 – Padrões predominantes de canais no médio-baixo rio Doce.

Organização: André Luiz Nascentes Coelho – 2018.

¹¹ O Padrão Sinuoso Afogado é caracterizado por uma rede de canais que foi submersa pela construção do barramento com resquício de pequenas ilhas rochosas isoladas (padrão observado no rio Doce a montante da barragem de Mascarenhas).

¹² O Padrão Sinuoso é caracterizado por uma rede de canais que subdividem e se reúnem de maneira aleatória marcado pela presença de ilhas permanentes e temporárias com extensões variáveis (CUNHA, 2015).

¹³ Já o Padrão Anastomosado é marcado pela multiplicidade de canais pequenos e rasos, subdivididos por bancos de ilhas alongadas, eventualmente submersas durante as cheias (BAPTISTA e LARA, 2016; CUNHA 2015).

IV – O SISTEMA FLUVIAL DO MÉDIO-BAIXO RIO DOCE

4.1 – Aspectos Hidrológicos

A análise das vazões¹⁴ do rio Doce foi realizada com base nos dados disponibilizados pela ANA (2018a), em três estações fluviométricas (Tabela 5), sendo uma delas localizada a 27 km a montante da barragem da UHE de Aimorés e 48 km a montante da barragem Mascarenhas. As outras duas estão localizadas a jusante das respectivas UHEs, sendo a estação fluviométrica de Colatina distante 35 km a jusante da UHE de Mascarenhas e a estação Linhares localizada na cidade de mesmo nome (Figura 17).

Tabela 5 - Características das Estações Fluviométricas Analisadas

CARACTERÍSTICAS	ESTAÇÕES NOME		
	Resplendor	Colatina	Linhares
Código da Estação	56948000	56994500	56998000
Bacia / Rio	Atlântico Leste / Doce	Atlântico Leste / Doce	Atlântico Leste / Doce
Município / UF	Resplendor - Minas Gerais	Colatina - Espírito Santo	Linhares - Espírito Santo
Área de drenagem da estação	61.400 km ²	75.800 k m ²	78.456 k m ²
Responsável	ANA	ANA	ANA
Operadora	DESATIVADA	CPRM (em operação)	DESATIVADA
Altitude	80 metros	62 metros	52 metros
Período de amostra	01/1938 a 12/1982 (44 anos)	01/1939 a 12/2017 (79 anos)	08/1967 a 12/1993 (26 anos)
Método de Obtenção das Vazões	Curva de descarga*	Curva de descarga*	Curva de descarga*

Fonte: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> acesso em: 07 de maio de 2018. Organização: André Luiz N. Coelho.

*é a relação entre as cotas e as descargas numa estação fluviométrica.

Abaixo, será analisado e discutido o regime hidrológico com base na série histórica da estação de Colatina e, em sequência, a comparação de valores de vazão das três estações fluviométricas, entre os períodos de 12/1967 a 09/1977¹⁵ (praticamente 10 anos), avaliando possíveis interferências na vazão, a partir da operação da UHE de Mascarenhas.

¹⁴ A vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial, de modo que, quando há a ocorrência, todos os usuários, ou os prioritários, mantenham de certa forma, em operação os usos outorgados. Na bacia do rio Doce, a ANA outorga até 70% da Q95 (vazão associada às permanências de 95% como valores de referência para o processo de outorga, sendo disponibilizada a outorga apenas para um percentual destas vazões mínimas de referência). O Espírito Santo normalizou os critérios de outorga, em 2005, e planeja outorgar, via Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), até 50% da Q7,10 (vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos). A outorga, por sua vez, é o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante (União, Estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso dos recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo.

¹⁵ Não foram consideradas as vazões até 12/1982 pelo fato da estação de Colatina não registrar valores entre 10/1977 a 06/1983.

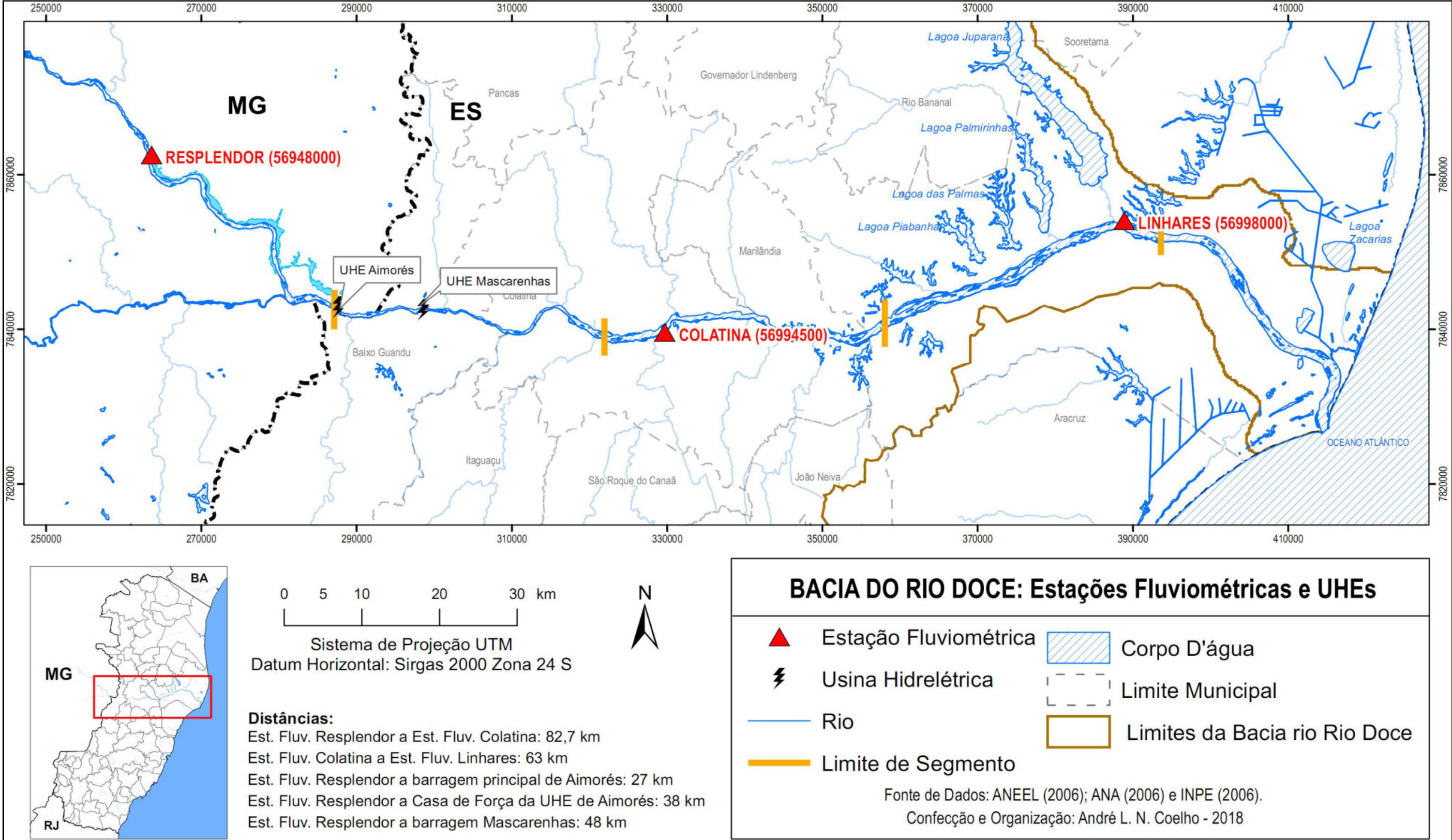


Figura 17 – Localização das Estações Fluviométricas em que foram adquiridos e analisados os dados de vazões ao longo do setor pesquisado do canal principal do rio Doce.
Organização e Geoprocessamento: André L. N. Coelho - 2018.



- REGIME HIDROLÓGICO COM BASE NA SÉRIE HISTÓRICA LONGA DE VAZÕES (1939 – 2017)

Conforme aponta o mapa da Figura 17, a estação hidrometeorológica de Colatina situa-se em um setor importante do rio, estando à jusante das barragens das Usinas Hidrelétricas de Aimorés e Mascarenhas. Além da localização estratégica, é a estação que possui a maior e mais completa série histórica de vazões da bacia (ANA, 2018a). Com base nestes dados, foi realizado um diagnóstico da situação da vazão na calha principal do rio Doce, entre 1939 a 2017, fazendo um paralelo com as transformações ocorridas na paisagem da bacia no decorrer desses anos.

A Figura 18 apresenta os dados de vazões anuais com a respectiva curva de tendência, possibilitando melhor avaliar o comportamento da descarga líquida, entre 1939 a 2017. Nos anos compreendidos entre 1978 a 1982, que não possuem registro de vazões, tomou-se como base estimada, os valores da estação fluviométrica de Linhares a jusante¹⁶ em menos 10%.

A análise desse gráfico (Figura 18) revela uma redução gradual de vazão do rio Doce, desde o início dos registros até 1977, havendo após este ano, uma ligeira recuperação. Outros destaques são pontuados para os períodos, particularmente, de:

- 1940 até 1954 os valores mínimos de vazão foram superiores a $800 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 1944 até 1964 houve queda gradual dos picos de vazões anuais;
- 1966 até 1977 os valores máximos de vazão não ultrapassam os $930 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 1978 à 1983 ocorreu um acréscimo de vazões, registrando valores anuais superiores a $900 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 1991 a 2005 uma relativa recuperação das vazões marcadas por oscilações entre $1.251 \text{ m}^3/\text{s}$ e $507 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 2009 a 2017 o registro de redução expressiva na vazão média anual.

Este comportamento da vazão reflete uma série de acontecimentos/transformações físicas e socioeconômicas ocorridas no interior bacia e corredor fluvial, a partir de sua ocupação, no início do século 20. Antes desse processo a bacia contava com uma expressiva cobertura vegetal, inclusive, ciliar e baixa concentração de população, municípios e indústrias (RAMOS, 2012; BECKER, 1969; BORGIO, ROSA e PACHECO, 1996).

¹⁶ A intenção de apresentar valores estimados, dos anos entre 78 a 82, teve como objetivo obter o cálculo da Curva Tendência mais próximo da realidade hídrica da bacia na estação fluviométrica de Colatina, como também, o cálculo da vazão média.

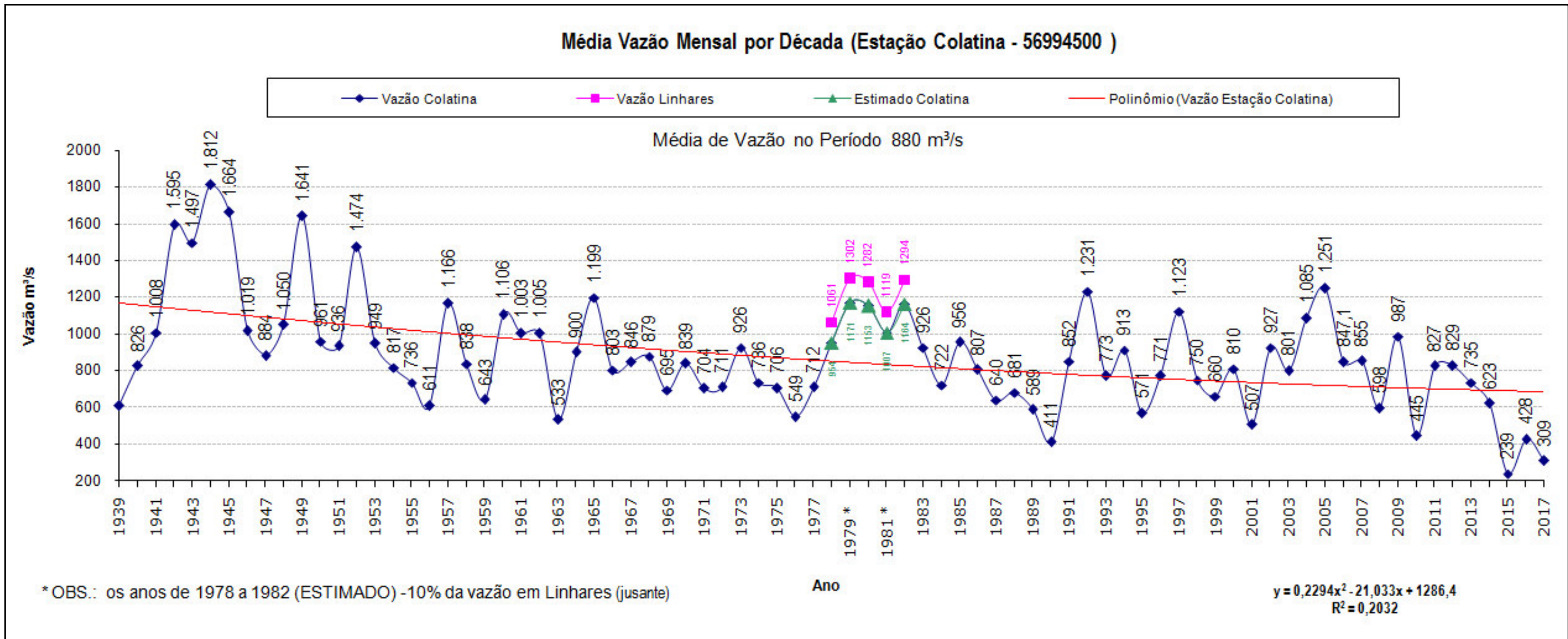


Figura 18 – Gráfico de variação das vazões médias mensais de longa duração (1939-2017), Estação Fluviométrica de Colatina.

Fonte: ANA (2018a), Org.: André Luiz N. Coelho - 2018



A partir de então, sobretudo, na metade do século XX, a região experimentou um acelerado processo de ocupação com supressão de suas matas, refletindo em alterações significativas na dinâmica das águas precipitadas na bacia. Antes, parte expressiva da chuva era absorvida pelo solo, em função da vegetação existente, mas atualmente, grande parte dessas águas passa a ser escoada, superficialmente em direção à calha do rio, transportando quantidades elevadas de sedimentos, o que potencializa os processos de assoreamentos e os picos de cheias.

A Tabela 6 apresenta os valores de vazões por décadas, comprovando também a queda ao longo do decênio, com sua relativa recuperação a partir dos anos 80 e a partir de 2010 até 2017, uma redução considerável.

Tabela 6 - Média de Vazões por Década Estação Colatina entre 1939 - 2017

DÉCADA	PERÍODOS	VAZÃO m ³ /s	DIFERENÇA COM A DÉCADA ANTERIOR em m ³ /s
40	1941 – 1950	1.269	-
50	1951 – 1960	928	- 341
60	1961 – 1970	870	- 58
70	1971 – 1977	735	- 135
80	1983 – 1990	716	- 19
90	1991 -2000	818	+ 102
2000	2001 -2010	836	+ 28
2010	2011 até 2017	574	- 262

Fonte de dados: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> acesso em: 07 de maio de 2017.

Org.: André Luiz N. Coelho.

Entretanto, dado surpreendente foi a redução registrada entre as décadas de 1940 e 1950, quando as vazões passaram de 1.269 m³/s para 928 m³/s, uma queda de 341 m³/s. A partir de então, não mais se observou, em uma década, vazões anuais superiores a 1.000 m³/s. Na década de 1960, a vazão permaneceu estável (870 m³/s) com uma redução de 58 m³/s. No decênio de 70, apresentou uma redução de vazão considerável de 135 m³/s, e na década de 90, registrou-se um acréscimo de vazão de 102 m³/s, com média de 818 m³/s, e entre 2001 e 2010, houve mais um acréscimo sutil de 28 m³/s, verificando após 2011 uma redução expressiva de 262 m³/s.

Sob a perspectiva de dinâmica fluvial esses dados evidenciam a quebra de regularidade de vazão, resultante de um conjunto de processos, entre eles, os desmatamentos intensos, ao longo dos anos na bacia, atividades mineradoras, captação da água para usos agrícola,



industrial e urbano, intensificado pela construção e operação das Usinas Hidrelétricas nas últimas décadas, sobretudo junto ao canal principal do rio Doce, como a de Macarenhas que entrou em operação em 1974; a Risoleta Neves/Candonga operando a partir de 2004; Aimorés em 2005, e Baguari em 2009, todas elas, com o controle das descargas diárias¹⁷.

- O EFEITO DAS BARRAGENS NOS VALORES DE VAZÕES

A confrontação dos dados de vazões mensais das estações fluviométricas de Resplendor (56948000), Colatina (56994500) e Linhares (56998000), período entre dezembro de 1967 a dezembro de 1973, anterior à construção da UHE de Mascarenhas e Aimorés, apontam um pequeno acréscimo de vazão de sub-bacias como a do rio Manhuaçu, com área de 8.826 km², rio do Peixe (2.150 km²), rio Santa Joana (888 km²) e rio Resplendor com (855 km²), no canal principal do rio Doce, setor entre as estações de Resplendor a Colatina (COELHO, 2007).

Coelho (op. cit.) ao realizar o confronto dos dados de vazões mensais das estações fluviométricas de Resplendor, a montante da UHE de Mascarenhas e das outras duas estações (Colatina e Linhares) a jusante, evidenciou variações na vazão do rio Doce, a partir da operação desta UHE a partir de 1975 a 1977, com o registro nos períodos estiagens das vazões da estação fluviométrica de Colatina (a jusante), sempre inferiores aos valores da estação de Resplendor a montante, mesmo considerando o acréscimo das vazões das sub-bacias no setor do rio, entre Resplendor e Colatina, a exemplo do rio Manhuaçu com média de 95 m³/s (Figura 19).

Coelho (2007) constatou que, após a construção e operação da UHE de Mascarenhas, houve uma interferência na vazão do rio a jusante desta, a partir de dois principais aspectos: perdas significativas de água por evaporação do canal principal e do reservatório da UHE de Mascarenhas trecho Resplendor-Colatina; maior frequência de vazões médias a baixas, interferindo na dinâmica do transporte de sedimentos ao longo do perfil longitudinal. Já a UHE de Aimorés, entrou em operação em 2005 e, neste período, não foram registradas as vazões das estações fluviométricas de Resplendor e Linhares, impossibilitando, portanto, a análise dos possíveis efeitos na vazão do rio. Porém, estudos como de Hanasaki, Kanae e Oki (2006), evidenciam os efeitos na redução da vazão provocados pela construção de UHEs. Outro fato é que a área inundada da UHE de Aimorés de 33,88 km² é sete vezes maior que o reservatório de Mascarenhas (com 5,31 km²), resultando em maior taxa evaporação do reservatório.

¹⁷ Processo comum das Usinas Hidrelétricas, nos países tropicais, como é o caso do Brasil, é reter parte das águas em seus reservatórios, mesmo operando a fio de água (podendo ocorrer diariamente ou não) com o propósito de manter a capacidade de geração de energia, mesmo nos períodos de estiagens mais prolongados, o que resulta em uma diminuição mais acentuada da vazão a jusante da barragem.

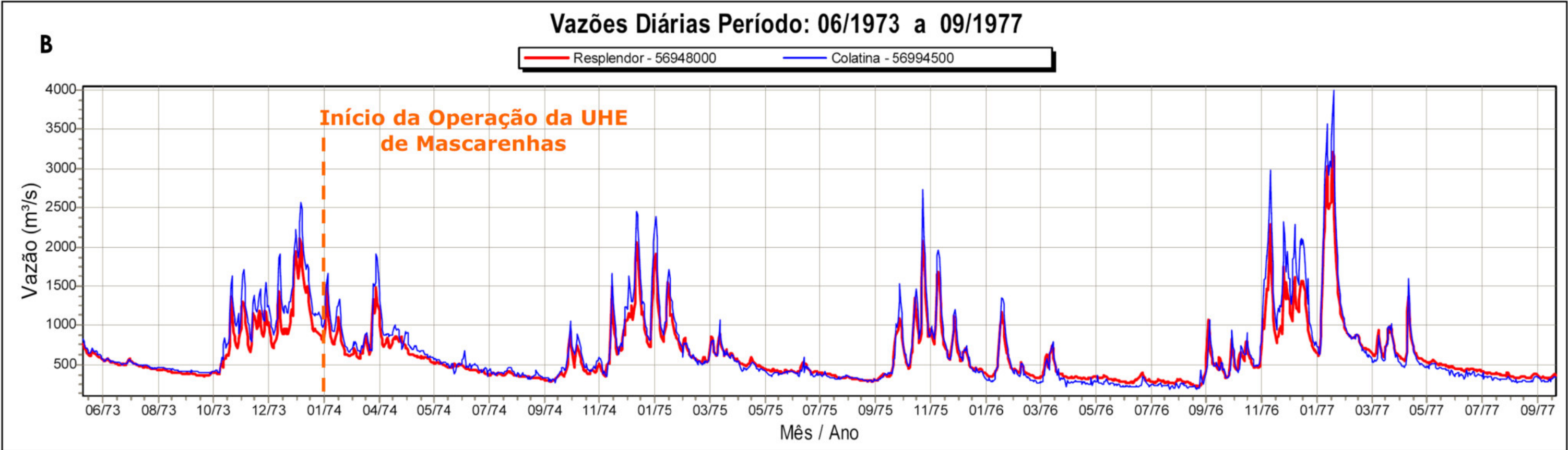
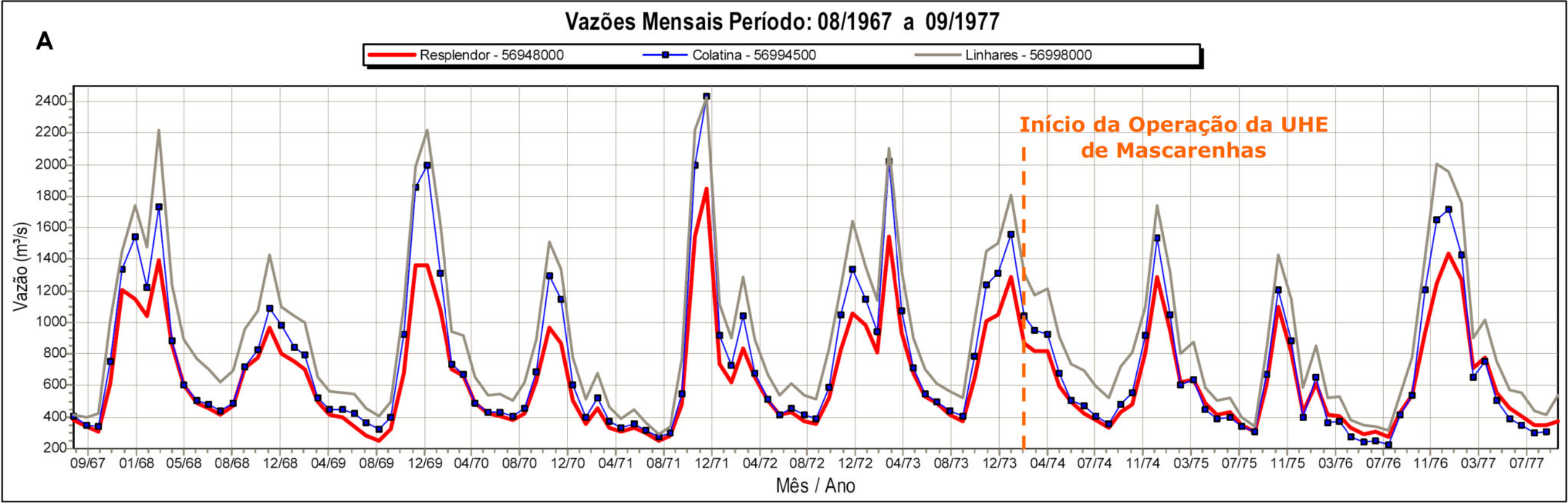


Figura 19 – Gráfico da variação das vazões mensais (A) e vazões diárias (B) do rio Doce. Notar a queda de vazão na estação Colatina em ambos gráficos (linha azul).
Fonte: ANA (2007c), Org.: André Luiz N. Coelho.



Já a análise dos dados de Vazões Mensais da UHE de Aimorés (Figura 20) extraídos do Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio Doce (ANA, 2018a) aponta que o modo de operação da respectiva UHE é a *fio d'água*, com os valores de Vazão Afluente (volume de água que chega a um aproveitamento hidrelétrico) praticamente idênticos aos valores de Vazão Defluente (volume de água que sai de um aproveitamento hidrelétrico).

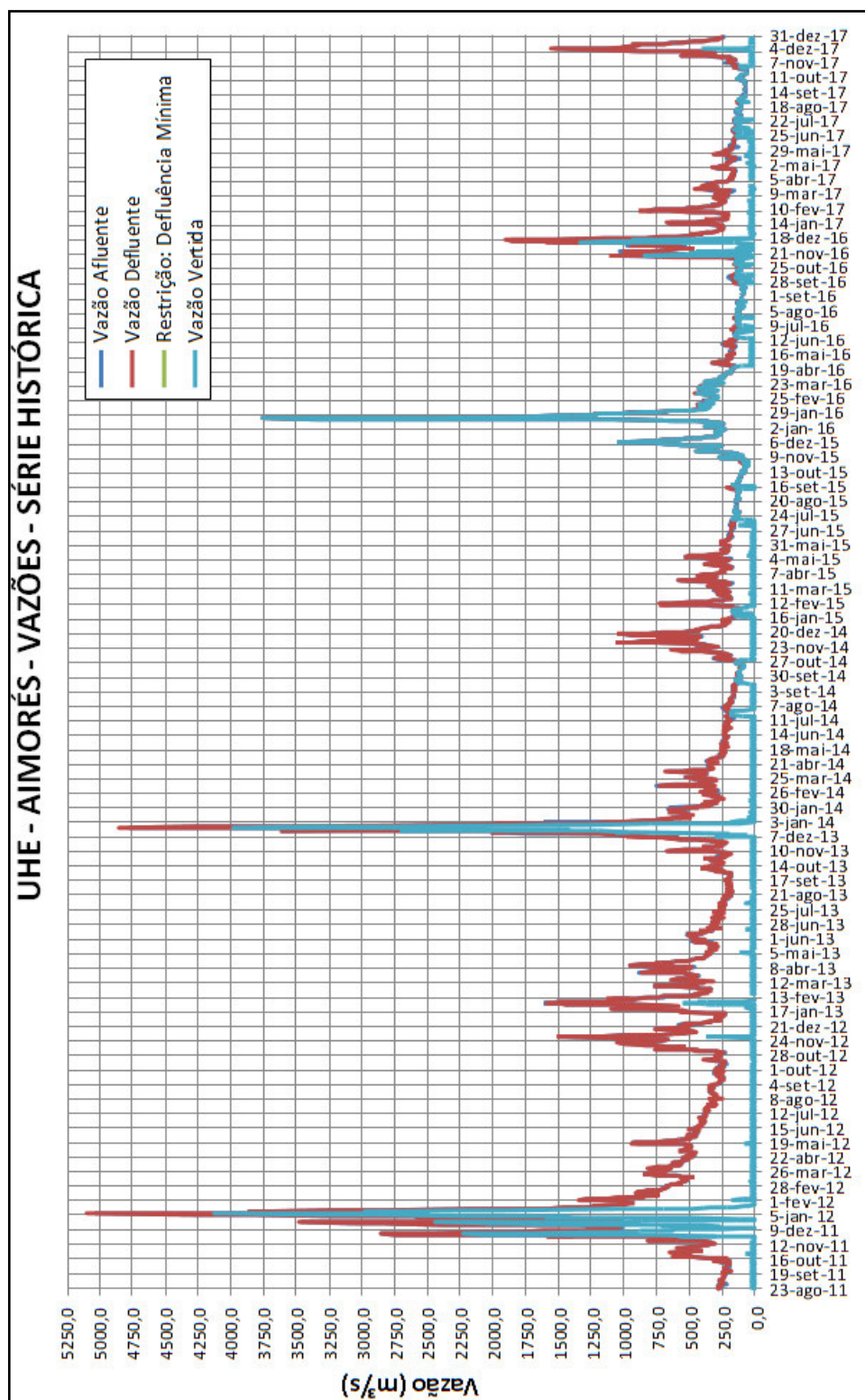


Figura 20 – Gráfico extraído do Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio Doce – UHE Aimorés, revelando a redução progressiva nos picos de cheias e vazantes entre 23 de agosto de 2011 a 31 de dezembro de 2017. Mais informações no Anexo 3.

Fonte: ANA (2007c), Org.: André Luiz N. Coelho.



Aspecto que desperta a atenção e preocupação nesse gráfico é a redução progressiva de vazões (Vide Anexos 1 e 2) dos picos de cheias e vazantes entre 23 de agosto de 2011 a 31 de dezembro de 2017, evidenciando um acréscimo de período prolongado dos valores inferiores a $250 \text{ m}^3/\text{s}$ a partir de agosto de 2013 (Figura 20). Outra característica que pode influenciar na redução de vazão é a localização das UHEs que estão situadas em uma região de baixo déficit hídrico anual e elevadas taxas de evaporação dos reservatórios (vide Anexo 5), apontado pela Defesa Civil do Estado do Espírito Santo (2006) e por Coelho (2007).

Abaixo são pontuados, a partir das observações de Coelho (op. cit.) os principais fatores/elementos que favoreceram a redução dos valores de vazão na Estação Fluviométrica de Colatina decorrentes, sobretudo:

- da baixa precipitação pluviométrica na região das UHEs (trecho Resplendor – Colatina-ES);
- de elevadas temperaturas na região das UHEs de Aimorés e Mascarenhas (Temperatura Média Anual $\geq 25,5 \text{ }^\circ\text{C}$);
- da contribuição insignificante de vazão das sub-bacias no trecho Resplendor-Colatina;
- de elevada taxa de evaporação nas áreas de reservatório e ao longo da calha principal. Conforme consta o RIMA da UHE Aimorés (s.d.), na região de Aimorés/Mascarenhas, a Evaporação Média Anual é de 1.224 mm/a , enquanto, a Precipitação Média Anual é de 900 mm/a ;

Potencializada pela:

- construção e operação de outras UHEs, sobretudo no canal principal do rio Doce como a Baguari a montante da sede do município de Governador Valadares (MG);
- maior frequência de vazões médias ou inferiores à média registrada nas estações fluviométricas;
- política de reserva e liberação diária das águas a jusante das UHEs para a geração de energia elétrica nos horários de pico (e nos meses de estiagens prolongadas).

Resultando em,

- Vazão Negativa¹⁸ nos períodos de estiagens na estação fluviométrica de Colatina (vide figura 19).

Estes valores reduzidos de vazão colocam os municípios, indústrias, inseridos na bacia a jusante das UHEs de Aimorés e Mascarenhas, e o próprio o estado do Espírito Santo em uma situação extremamente delicada, uma vez que a bacia do rio Doce é a maior em área e disponibilidade de água superficial para o estado capixaba, podendo, num futuro próximo, gerar conflitos decorrentes dos diversos usos da água e das novas demandas, como o abastecimento dos municípios inseridos na bacia e de parte da Região Metropolitana de Vitória (RMV), sem mensurar, os efeitos bióticos, geomorfológicos no canal principal e desembocadura com o mar.

¹⁸ Vazão Negativa é tratada aqui quando a vazão a jusante (no caso da Estação Fluviométrica de Colatina) é inferior à vazão a montante (Estação Fluviométrica de Resplendor), considerando a contribuição de sub-bacias como a do rio Manhuaçu com média de $95 \text{ m}^3/\text{s}$.



Essas variações de vazões refletem em novos ajustamentos das variáveis: largura, profundidade média, velocidade média das águas, rugosidade do leito e concentração/deposição de sedimentos, modificando as formas e a dinâmica de escoamento do canal principal.

4.2 – Morfologia Fluvial entre 1977 e 2017

No item anterior, a partir da análise das Séries Históricas de Vazão, foram constatadas reduções progressivas das vazões médias, sobretudo, posterior à construção das UHEs no canal principal nas últimas décadas. Esse comportamento hidrológico possui uma relação direta com a capacidade de transporte e deposição de sedimentos de fundo ao longo do perfil longitudinal, fato evidenciado por Walling (2006) que abordou os impactos humanos, interferindo a transferência de sedimentos da Terra/Continente em direção ao Oceano em vários rios do mundo e; HECHT et al. (2019) que analisaram os impactos das barragens na Bacia Hidrográfica do Rio Mekong (sudeste asiático) indentificando as mudanças geomórficas.

Outros pesquisadores como LU et al. (2018) constataram impactos na construção de PCHs em cascata na vazão ecológica e relevo fluvial na bacia hidrográfica do rio Jiulong (sudeste da China); Graf (2006) apontou os efeitos geomorfológicos e hídricos das grandes barragens nos EUA; Hanasaki, Kanae e Oki (2006), como citado, analisam e criticam o modelo global de operação de reservatórios, revelando que as reduções substanciais da descarga em vários rios do mundo, promovem efeitos ambientais adversos; Brandt (2000) que elaborou prognósticos de mudanças geomorfológicas a jusante de barragens, entre outros. Nessa linha de discussão será realizada, a seguir, uma análise temporal da morfologia fluvial do médio-baixo rio Doce.

- SEGMENTAÇÃO DO CANAL E PRINCIPAIS FORMAS FLUVIAIS

O trecho do médio-baixo rio Doce, apresenta uma extensão 141,6 km. Para fins de análise e identificação de mudanças morfológicas na área de estudo procedeu-se com a divisão em 4 grandes segmentos de igual extensão (35,4 km), propondo uma cartografia que destaca o traçado do canal principal a partir de duas imagens de satélites no intervalo de 40 anos. Uma de 07/1977 (sensor MSS – LANDSAT-2) e a outra de 07/2017 (sensor OLI – LANDSAT-8) calibradas com o mesmo mês de vazão¹⁹ e ajustadas a mesma escala espacial. Além dessas imagens temporais o mapa apresenta as principais formas/elementos fluviais do canal

¹⁹ Principais critérios utilizados na seleção das imagens: período de vazante do rio de 1977 e 2017 com base nos dados da estação Colatina (56994500); baixo índice de cobertura de nuvens; qualidade das imagens (isenta de ranhuras/erro e disponibilidade das bandas do satélite).



principal dos anos 1977 e 2017 de forma a evidenciar algumas transformações e entender a evolução dos processos fluviais a partir da análise comparativa.

A morfologia dos canais/calhas de médios e grandes sistemas fluviais são caracterizados por diversas tipologias e tamanhos de ilhas e barras arenosas, constituindo-se como os elementos geomorfológicos mais importantes, originados dos processos fluviais complexos, relacionados à vazão, fluxo das águas, erosão, transporte e deposição de sedimentos. Este último é responsável, em grande parte, pelo desenvolvimento destas feições fluviais (STEVAUX E LATRUBESSE 2017; CUNHA, 2015; COELHO, 2008; CHARLTON, 2008; BIGARELLA, 2003; SUGUIO e BIGARELLA, 1990; CRISTOFOLETTI, 1981 e 1980).

Com base nessas colocações foi definido, nesta pesquisa, quatro classes de elementos morfológicos presentes no canal principal sendo: 1) Corpo d'água: compreendendo a área superficial constituída pelo espelho d'água do corredor fluvial incluído os reservatórios das UHEs; 2) Ilha Vegetada e/ou Rochosa: elementos morfológicos do canal principal de dimensões variadas coberto por vegetação aparentemente estável ou coberto parcialmente por vegetação e rocha; 3) Depósito Arenoso/Barra Arenosa/Sedimentação: morfologia fluvial resultante de acumulação de material sedimentar de origem arenosa e de caráter móvel, ocorrendo nas margens e/ou no meio do canal; 4) Erosão (entre 1977 e 2017): recuo linear das margens do corredor fluvial, a partir de uma análise temporal, pela remoção dos materiais do barranco, sobretudo, pela ação fluvial de correntes e/ou ondas. Esse recuo pode ser também desencadeado por elementos externos à dinâmica fluvial como a ação do homem com o corte no barranco e/ou supressão da vegetação marginal e, também, por ação mista como a ação das correntes do canal em margem suprimida de vegetação.

- SEGMENTO 1

O Segmento 1 possui uma extensão atual de 35,4 km e largura média de 605 metros, sendo, dos quatro segmentos, o que apresenta as maiores rugosidades de relevo em que vertem as águas do rio Mutum Preto (margem esquerda), o Córrego Quixadão (margem direita), além de outros cursos d'água com padrão de drenagem retangular/subparalela, adaptados às condições tectônicas/estruturais regionais (Tabela 7).

Em função dessa característica predominante de um relevo mais rugoso, marcado pela ocorrência de cristas simétricas, ressaltos e pontões é o segmento sinuoso do canal principal em que o rio corre mais encaixado, sobretudo, no trecho a partir da sede municipal de Baixo



Guandu (ES) até a localidade de Mascarenhas (Figuras 21 e 22).

Tabela 7 - Características morfométricas e morfológicas do Segmento 1

Variável		Segmento 1		
		jul/1977	jul/2017	Diferença entre 77 e 2017
Nº de Ilhas		21	25	4
Nº de Bancos Arenosos		15	37	22
Extensão Real - L (km)		35,4	35,4	0
Extensão em Linha Reta - Le (km)		33,9	33,9	0
Sinuosidade (Lc/Le)		1,04		
Cota Montante (Hm)		60,4		
Cota Jusante (Hj)		28,3		
Gradiente % - (Hm - Hj)/Lc		0,91		
Largura do Canal	Mínima (m)	36,9	85,5	48,6
	Máxima (m)	1182,4	1126,2	-56,2
	Média (m)	609,65	605,85	-3,8
Direção (do comprimento do eixo)		Oeste-Leste		
Rugosidade do relevo nas margens (formas predominantes)		Alta (alinhamento estrutural)		
Maior Hierarquia na Margem Esquerda do Canal (n / Nome)		1 / Córregos Gimirim e Mutum Preto		
Maior Hierarquia na Margem Direita do Canal (n / Nome)		3 / Rio Guandu		
Predomínio de forma do leito		Sinuoso		

Org. André Luiz N. Coelho.

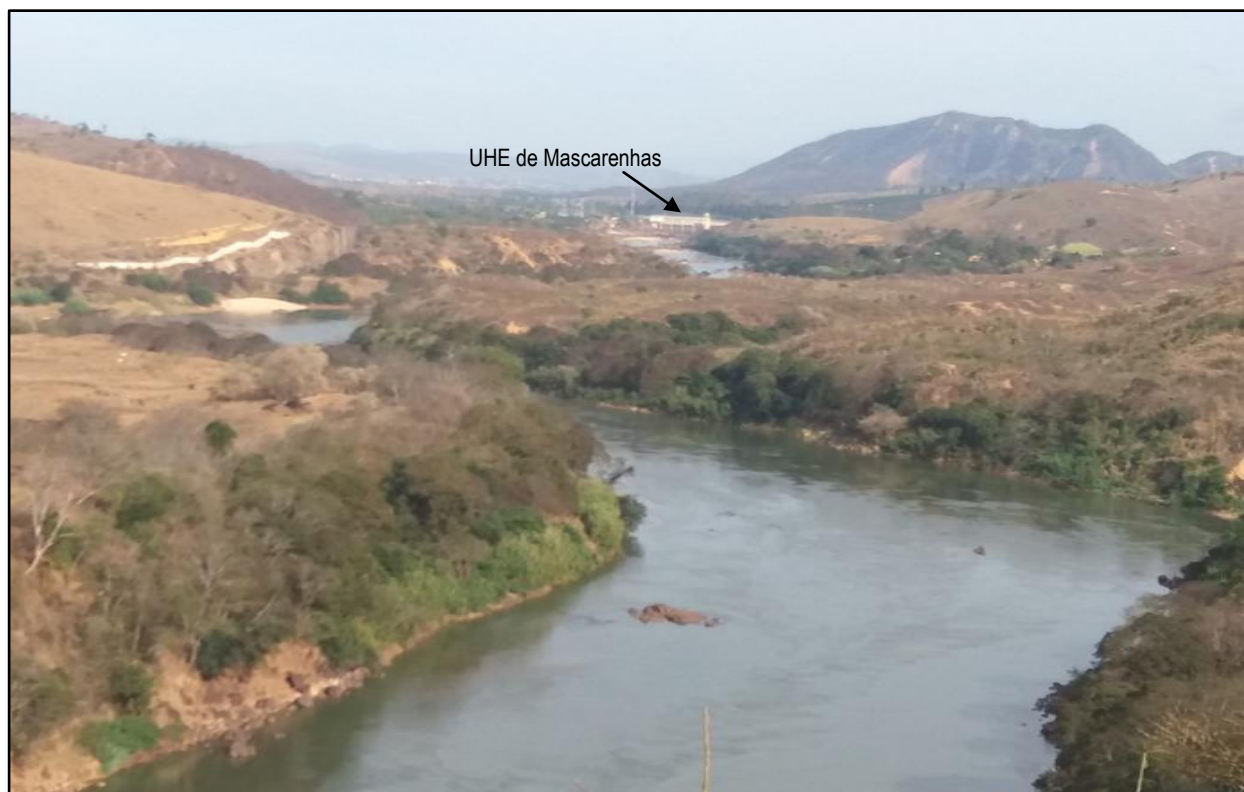


Figura 21 – Foto próxima a ponte da BR-259, na localidade de Córrego Queixadão/Itapina, trecho sinuoso do canal principal, a jusante das UHEs, em que o rio corre mais encaixado, com largura média entre as margens de 110 m.
Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

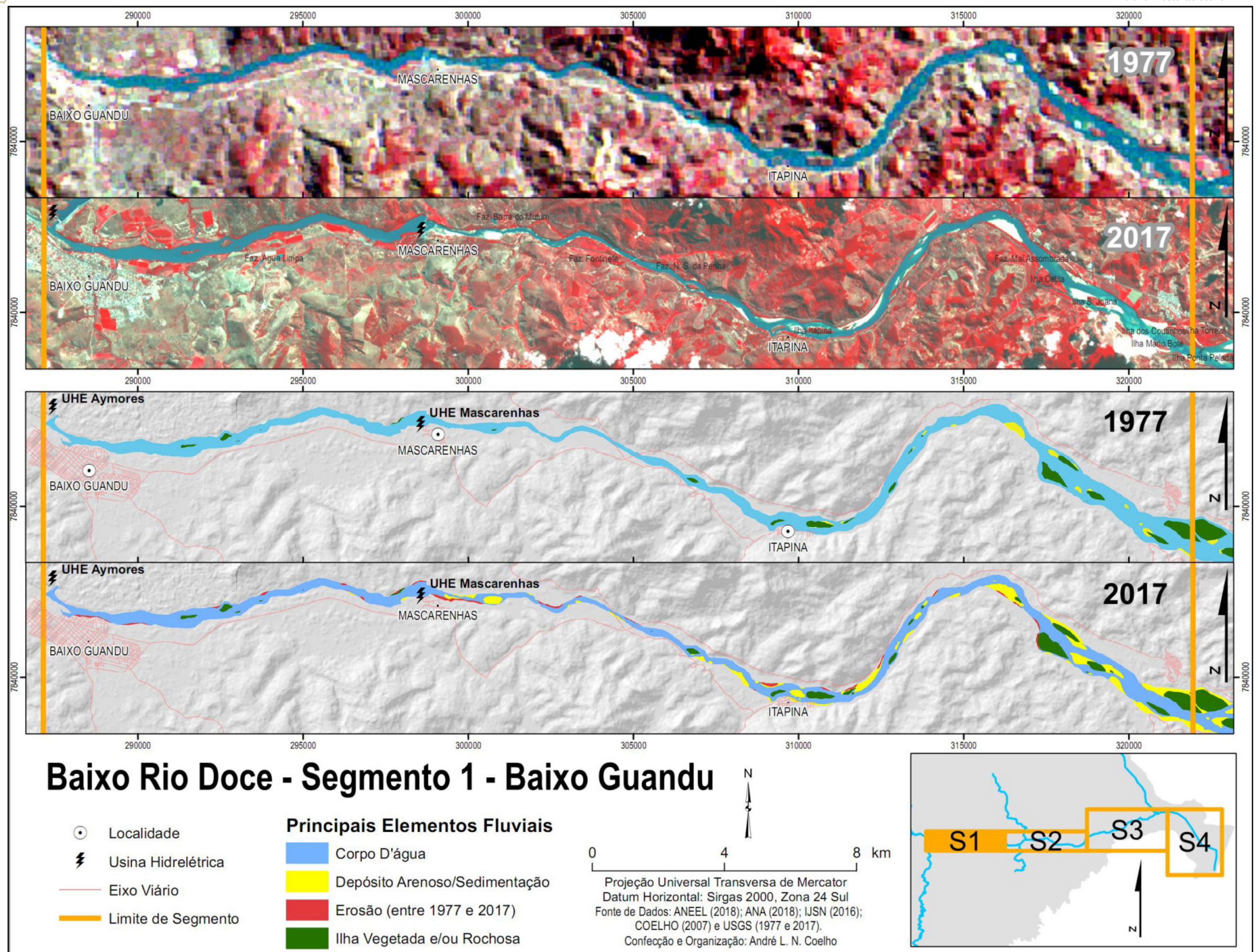


Figura 22 – Cartografia destacando o segmento 1 a partir da casa de força da UHE de Aimorés, caracterizado como o trecho com menor largura do canal em função das características geológicas e geomorfológicas locais de relevo mais acidentado. Organização: André Luiz N. Coelho - 2018.



Em função desta peculiaridade de relevo regional e do potencial hidráulico existente, é o setor da bacia que estão situadas as UHEs de Aimorés na divisa de MG e ES e Mascarenhas no ES (Figura 23).

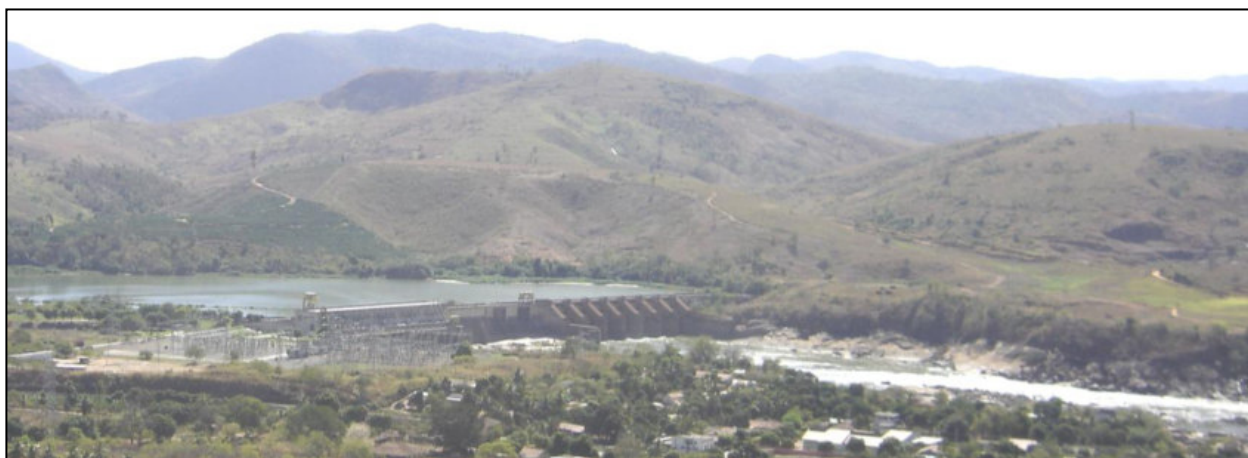


Figura 23 – Barragem de Mascarenhas com 33 metros de altura.

Foto: André Luiz N. Coelho (07/2007).

A análise da Tabela 7 comprova esse potencial hidráulico existente com o maior gradiente do rio entre os segmentos pesquisados, apesar de baixo (0,91%). As informações da Tabela e cartografia revelam também, o desenvolvimento de 4 novas ilhas e, sobretudo, o crescimento dos bancos arenosos a jusante das referidas UHEs.

Com a construção e operação do reservatório, houve o rompimento do equilíbrio longitudinal do canal principal, ocorrendo, a montante da barragem de Mascarenhas, a intensificação dos processos de assoreamento do reservatório, em função da alteração da velocidade da corrente fluvial e sedimentar, caracterizando esse trecho como um ambiente, tipicamente, de águas paradas ou lântico (Figura 24).



Figura 24 – Trecho do rio Doce 1000 metros a montante da barragem da UHE de Mascarenhas com características lânticas/águas paradas em função do barramento. Baixo Guandu (ES).

Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).



Após a barragem ocorrem alterações no fluxo das águas, que passa ser concentrada, associada a uma menor carga de sedimentos, refletindo nesse setor na mudança substancial dos padrões de drenagem e morfologia do canal, como erosão das margens (Figura 25), eliminação de ilhas residuais, relativo entalhamento do rio após o reservatório (Figura 26). Enfim, o que se observa é, praticamente, uma nova dinâmica fluvial após a barragem, com vazões diárias controladas pelas UHEs, influenciando nas formas fluviais e nos processos de erosão, transporte e deposição. No que diz respeito à fauna aquática, não há, praticamente, como os peixes subirem o rio em determinadas épocas do ano, em função da barragem de Mascarenhas (não existe escada de peixes).



Figura 25 – Margem direita do rio Doce 900 metros à jusante da barragem da UHE de Mascarenhas evidenciando a erosão após o último período de cheia em 2017.

Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).



Figura 26 – Trecho entalhado do rio Doce a jusante da barragem da UHE de Mascarenhas, notando também à esquerda a erosão marginal desencadeada pelo fluxo turbulento das águas durante os períodos de cheias e/ou abertura das comportas da barragem.

Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).



- SEGMENTO 2

O Segmento 2 possui 35,4 km de extensão apresentando uma variação entre as cotas do canal a montante (28,3 m) e jusante (22,7 m) de 5,6 metros refletindo, em parte, as características do relevo regional com uma menor rugosidade, formas mais suavizadas e geometria das sub-bacias com o padrão, predominantemente, dendrítico (Tabela 8).

Morfologicamente, é um segmento em que o leito do rio encontra-se um pouco mais largo com uma média de 800 metros e o predomínio de padrões sinuoso a anastomosado, consequentemente, em um maior número de ilhas assimétricas e barras arenosas (Tabela 8), se comparado ao segmento anterior.

Tabela 8 - Características morfométricas e morfológicas do Segmento 2

Variável		Segmento 2		
		jul/1977	jul/2017	Diferença entre 77 e 2017
Nº de Ilhas		42	58	16
Nº de Bancos Arenosos		32	82	50
Extensão Real - L (km)		35,4	35,4	0
Extensão em Linha Reta - Le (km)		34,8	34,8	0
Sinuosidade (Lc/Le)		1,02		
Cota Montante (Hm)		28,3		
Cota Jusante (Hj)		22,7		
Gradiente % - (Hm - Hj)/Lc		0,16		
Largura do Canal	Mínima (m)	311,3	346,5	35,2
	Máxima (m)	1328,09	1257	-71,1
	Média (m)	819,695	801,75	-17,9
Direção (do comprimento do eixo)		Oeste-Leste		
Rugosidade do relevo nas margens (formas predominantes)		Média (Relevo suave ondulado)		
Maior Hierarquia na Margem Esquerda do Canal (n / Nome)		3 / Pancas		
Maior Hierarquia na Margem Direita do Canal (n / Nome)		2 / Santa Maria do Rio Doce		
Predomínio de forma do leito		Sinuoso a Anastomosado		

Org. André Luiz N. Coelho.

Essas características são evidenciadas, no canal fluvial, pela ocorrência elevada nos números de Ilhas e bancos arenosos em julho de 1977 com 42, enquanto em julho de 2017, houve uma ampliação com o desenvolvimento de 16 novas ilhas e, o notável crescimento no número de bancos arenosos/barras arenosas, com o acréscimo de 50 em resposta ao ajustamento do canal às novas condições hidrológicas (Tabela 8 e Figura 27).

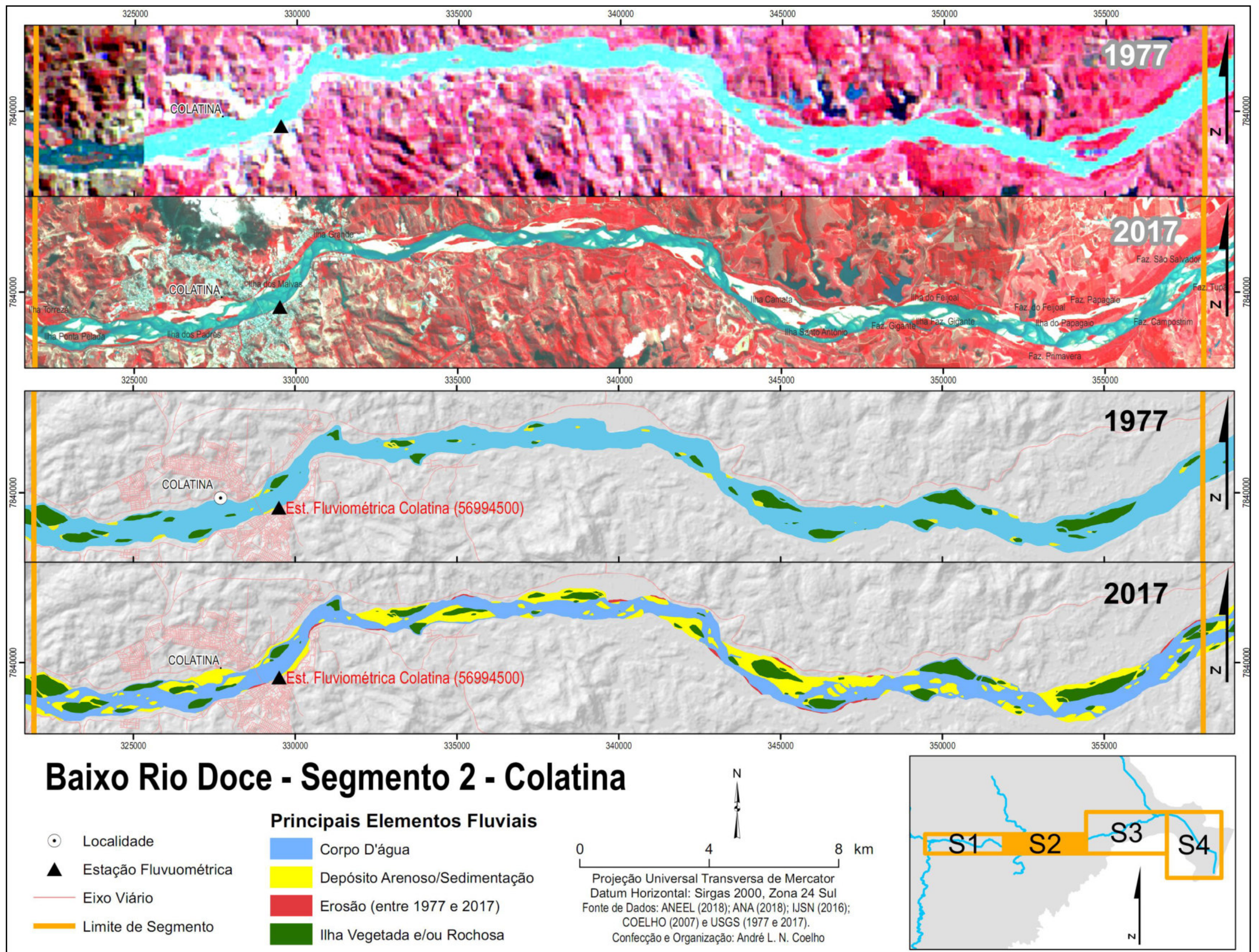


Figura 27 – Mapa do segmento 2 caracterizado pela ocorrência de Ilhas vegetadas/rochosas a montante e o número elevado de depósitos arenosos / Sedimentação.
Organização: André Luiz N. Coelho - 2018.



Estas formas fluviais atuais refletem às mudanças no perfil longitudinal do rio, ao longo do século passado (incluindo o ciclo madeireiro), intensificado pela construção das barragens e operação de UHEs que desencadeou a erosão e o relativo entalhamento a montante no segmento 1, após a barragem de Mascarenhas, e uma maior deposição de sedimentos em pontos a jusante resultando na modificação do escoamento e das formas do canal, a exemplo das barras arenosas, fato, potencializado pela redução progressiva da vazão evidenciada nos dados da Estação Fluviométrica de Colatina, localizada neste setor.

Nota-se na cartografia (Figura 27), através da comparação em alguns trechos a resposta do processo fluvial ocorrido, e também o registro, em um mesmo local do rio (Figuras 28 A e B), na localidade de Feijoal, a ampliação expressiva dos bancos arenosos entre 08/2007 e 08/2018.

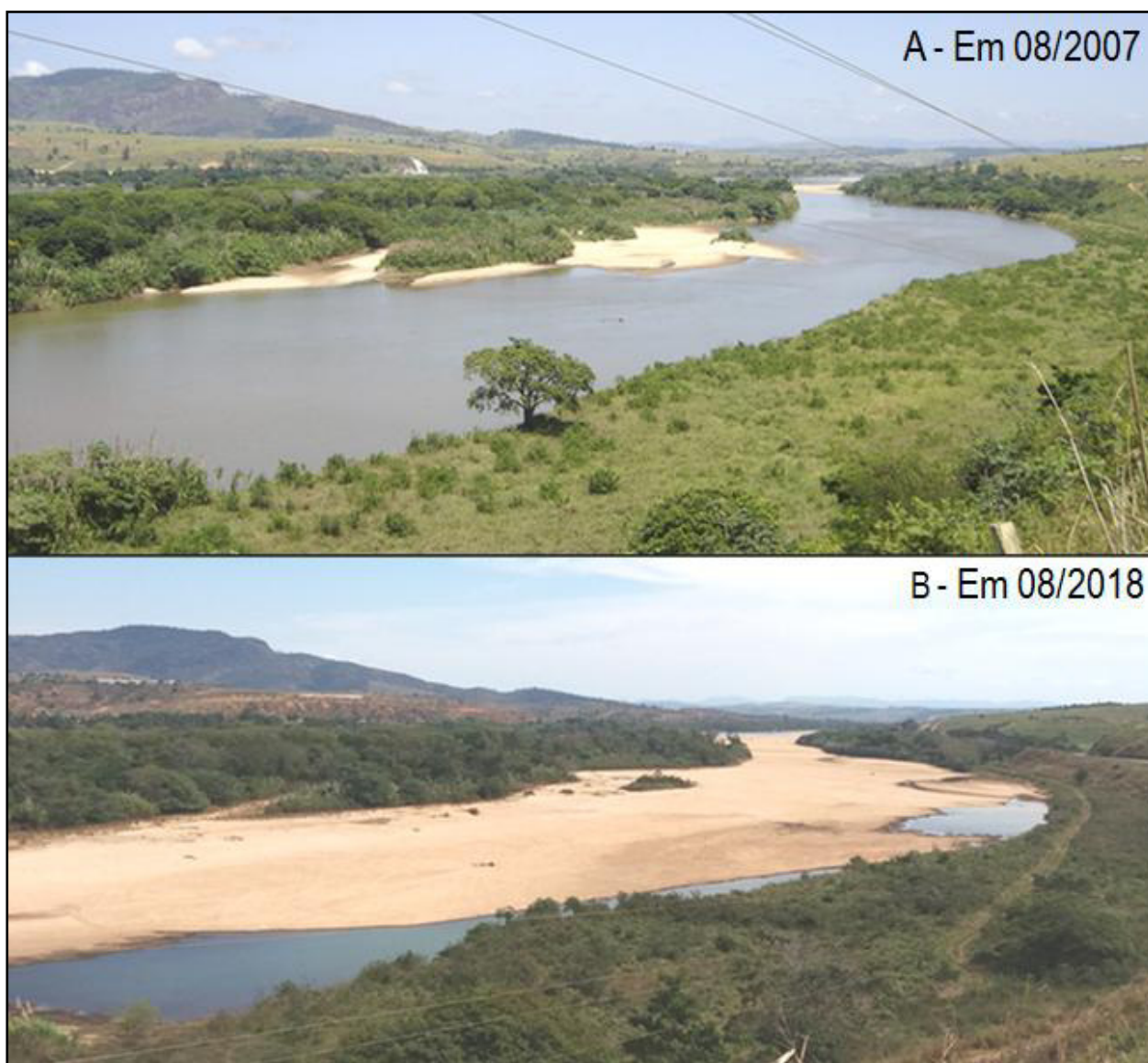


Figura 28A – Trecho do rio em Agosto de 2007 na localidade de Feijoal com ilha vegetada parcialmente composta por material sedimentar. Figura 28B - Mesmo trecho em Agosto de 2018 com o escoamento fluvial totalmente interrompido na margem esquerda pelo elevado aporte de sedimentos. Fotos: André Luiz N. Coelho.

Uma vez formadas estas barras foram, com o passar do tempo, estabilizadas pela deposição de sedimentos mais finos na fase subsequente de um evento de cheia do rio. Em etapa posterior, estabeleceu-se uma cobertura vegetal que, além de dificultar a erosão, favoreceu a deposição de novos sedimentos finos, e consequentemente, a ampliação desta barra.

Esse Segmento é marcado, também, por alterações nas margens do canal principal no trecho que passa pela área urbana de Colatina (ES). Estudo realizado por Dallapicola (2015) constatou diversas modificações na calha do rio a partir de 1950, sobretudo na margem direita, com obras de aterro e concretagem, ampliando a parte urbana desse setor da cidade com avenidas, rodoviária e outros serviços (Figura 29).

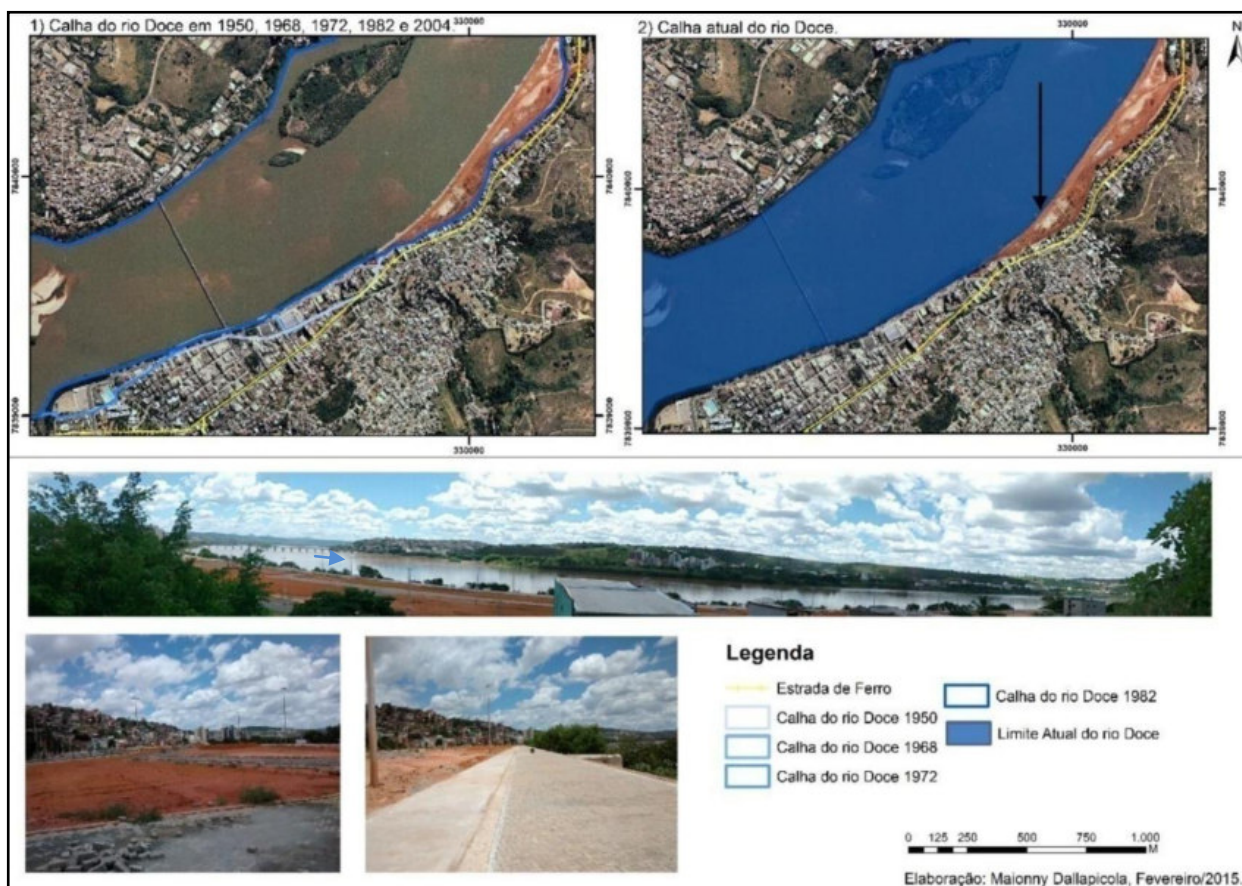


Figura 29 – Na imagem superior esquerda mostra as alterações na margem direita do rio com obras de aterros. Na imagem superior direita destaca na seta a última obra de aterramento da margem direita para dar continuidade a Avenida Beira Rio, evidenciadas nas três fotos abaixo.

Fonte: Dallapicola (2015).

Como já exposto, nesse setor são mais evidentes a migração e o desenvolvimento das barras arenosas para outros pontos do canal, resultando na ampliação das barras anexadas às ilhas, como por exemplo, o ponto registrado na localidade de Cobra Verde, próximo a fazenda Gigante (Figura 30).



Figura 30 – Foto na localidade de Cobra Verde destacando uma barra arenosa na margem esquerda do rio parcialmente vegetada e em processo de ampliação.

Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

- SEGMENTO 3

Diferentemente dos dois segmentos anteriores, este segue a direção sudeste-nordeste, possuindo uma largura média da calha de 1.137 metros em julho de 2017, marcado pela planície aluvial bem desenvolvida e uma quantidade considerável de lagoas naturais nas adjacências da calha principal (Tabela 9 e Figura 31).

Tabela 9 - Características morfométricas e morfológicas do Segmento 3

Variável		Segmento 3		
		jul/1977	jul/2017	Diferença entre 77 e 2017
Nº de Ilhas		48	69	21
Nº de Bancos Arenosos		38	163	125
Extensão Real - L (km)		35,4	35,4	0
Extensão em Linha Reta - Le (km)		35	35	0
Sinuosidade (Lc/Le)		1,01		
Cota Montante (Hm)		22,7		
Cota Jusante (Hj)		12,7		
Gradiente % - (Hm - Hj)/Lc		0,28		
Largura do Canal	Mínima (m)	541,2	528,4	-12,8
	Máxima (m)	2000,8	1745,9	-255
	Média (m)	1271	1137,15	-134
Direção (do comprimento do eixo)		Sudoeste-Nordeste		
Rugosidade do relevo nas margens (formas predominantes)		Baixa (Lagoas / Relevo Suave)		
Maior Hierarquia na Margem Esquerda do Canal (n / Nome)		3 / Rio São José		
Maior Hierarquia na Margem Direita do Canal (n / Nome)		1 / Córrego São José		
Predomínio de forma do leito		Anastomosado		

Org. André Luiz N. Coelho.

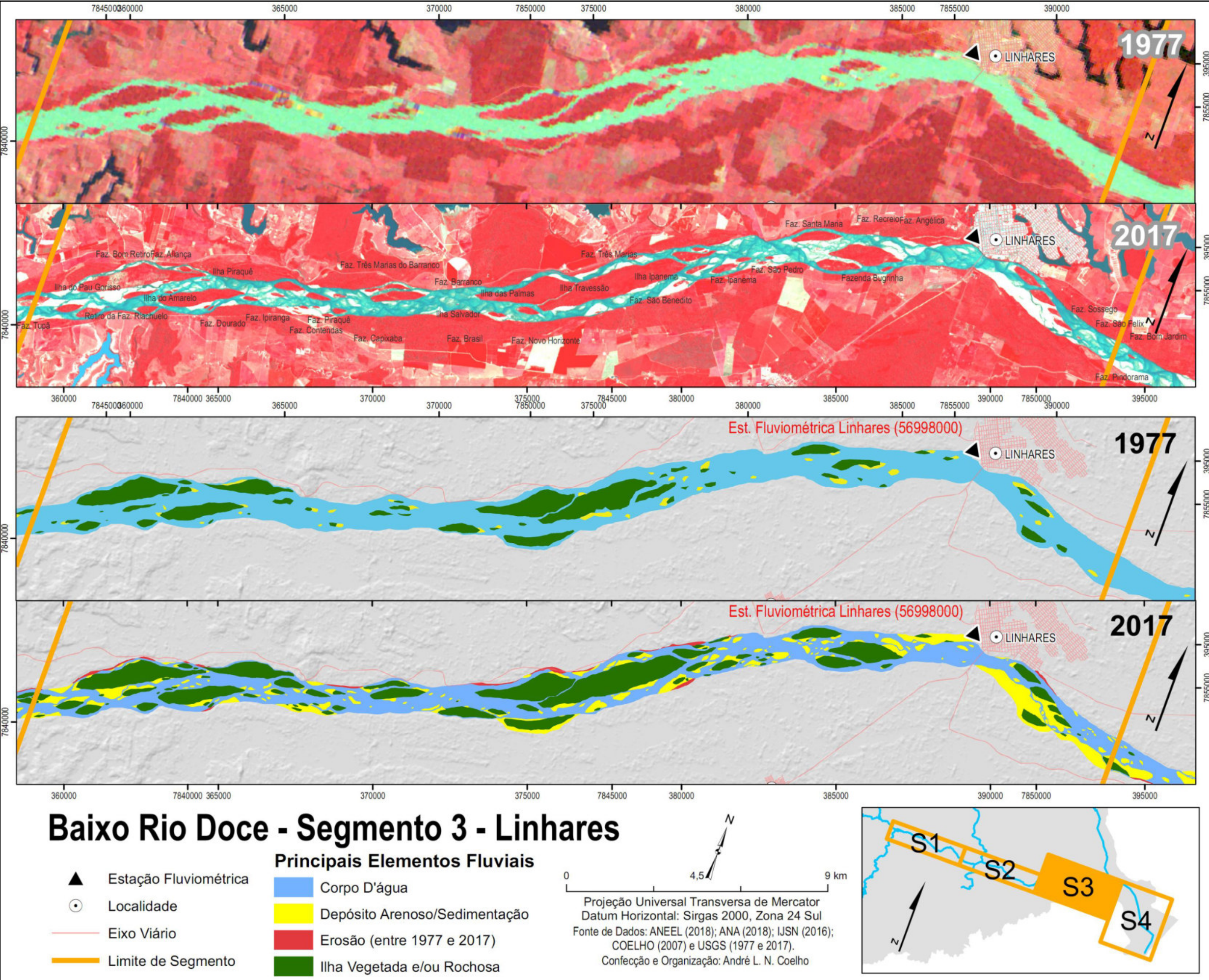


Figura 31 – Segmento 3 vertendo em direção nordeste, caracterizado pela ocorrência de anexação e desenvolvimento de Ilhas vegetadas e pontos de erosão marginal.
Organização: André Luiz N. Coelho - 2018.

A maior parte dessas lagoas naturais estão situadas na margem esquerda do canal principal, a exemplo da Lagoa Juparanã e Lagoa Grande, reflexo das variações eustáticas (DOMINGUEZ; BITTENCOURT e MARTIN, 1981), havendo, nesse setor, uma menor rugosidade do relevo se comparado com os segmentos a montante (Figura 31). O segmento apresenta um gradiente baixo de 0,28% refletido pelo número elevado de ilhas com total de 69 e quantidade expressiva de bancos arenosos com 163 identificados em 2017.

É um trecho do canal, extremamente, plano e susceptível a mudanças, como desaparecimento e/ou surgimento/ampliação/anexação de ilhas. Na Figura 31 é possível identificar alterações no padrão do canal com tendência a se transformarem, rapidamente, em anastomosados com relativa modificação em sua largura, além de processos de migração de bancos arenosos, resultantes da mudança na eficiência do fluxo das águas e dos sedimentos, como também, a redução nas vazões constatadas nas últimas décadas²⁰, refletindo em um elevado índice de assoreamento (Figura 32). É também caracterizado por pontos de erosões marginais como a identificada na Fazenda Três Marias do Barranco (Figura 33).



Figura 32 – Exemplo de trecho do rio com extensa barra arenosa anexada à margem direita na fazenda Piraquê.
Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).



Figura 33 - Mesmo segmento marcado por pontos de erosão marginal como o próximo a fazenda Três Marias do Barranco na margem esquerda.
Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

²⁰ A análise do regime hidrológico durante a série histórica (1939 – 2017) de vazões revela que houve uma maior frequência o de vazões reduzidas favorecendo o depósito de sedimentos ao longo da calha.



- SEGMENTO 4

Este segmento compreende o trecho a jusante da sede municipal de Linhares e da ponte da BR-101 até desembocadura do rio Doce com o mar, na localidade de Regência, apresentando uma extensão atual de 35,4 km de direção sudeste-sul (Tabela 10), com largura média da calha de 1.220 metros, marcado em ambos os lados das margens, mais a jusante do setor, pela ocorrência de mata associada à cultura de cacau-cabruca.

Tabela 10 - Características morfométricas e morfológicas do Segmento 4

Variável		Segmento 4		
		jul/1977	jul/2017	Diferença entre 77 e 2017
Nº de Ilhas		57	117	60
Nº de Bancos Arenosos		71	206	135
Extensão Real - L (km)		35,4	35,4	0
Extensão em Linha Reta - Le (km)		32,9	32,9	0
Sinuosidade (Lc/Le)		1,08		
Cota Montante (Hm)		12,7		
Cota Jusante (Hj)		0		
Gradiente % - (Hm - Hj)/Lc		0,36		
Largura do Canal	Mínima (m)	786,4	716,4	-70
	Máxima (m)	1727,3	1724	-3,3
	Média (m)	1256,85	1220,2	-36,6
Direção (do comprimento do eixo)		Noroeste-Sul		
Rugosidade do relevo nas margens (formas predominantes)		Muito Baixa (Planície Fluvio-Marinha)		
Maior Hierarquia na Margem Esquerda do Canal (n / Nome)		---		
Maior Hierarquia na Margem Direita do Canal (n / Nome)		---		
Predomínio de forma do leito		Anastomosado		

Org. André Luiz N. Coelho.

O relevo do entorno é caracterizado pela planície fluvio-marinha apresentando uma baixa rugosidade, reflexo das variações eustáticas associada à dinâmica fluvial, sendo praticamente plano com o gradiente de apenas 0,36% e, paralelo à linha de costa, há a ocorrência de numerosas cristas praiais.

Nesse segmento, constatou-se o crescimento significativo do número de barras arenosas, que pode ser verificado na confrontação de imagens dos anos 1977 e 2017. Houve, também, a ampliação das ilhas com formato alongado, resultado das ocorrências de cheias extremas (GIL e COELHO, 2018), seguido de um longo período de vazão média a reduzida impedindo, assim, o transporte do sedimento de fundo para a foz (Figura 34).

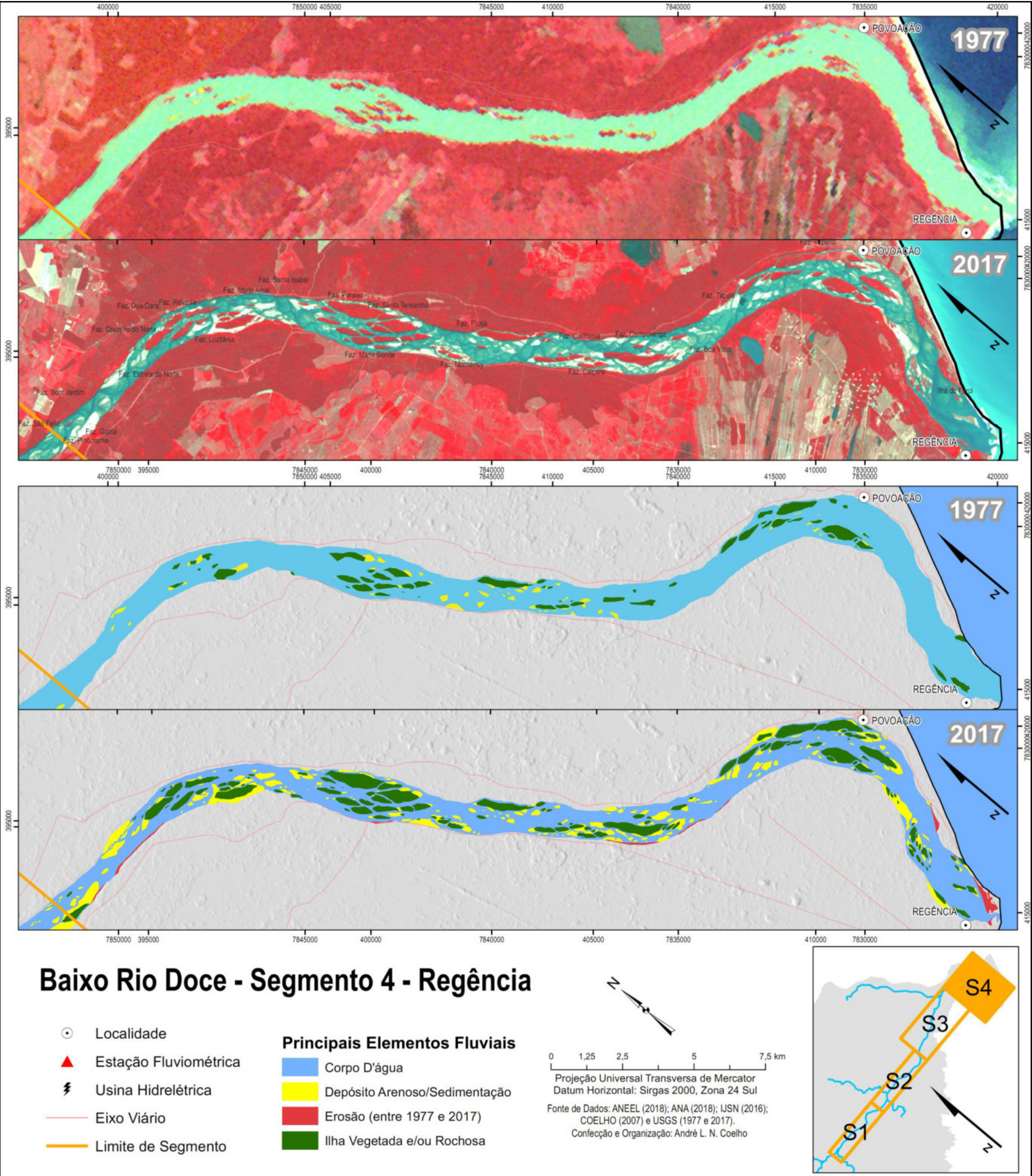


Figura 34 – Segmento 4 vertendo em direção sudeste-sul, caracterizado pela ocorrência de anexação e desenvolvimento de Ilhas vegetadas e pontos de erosão marginal. Organização: André Luiz N. Coelho - 2018.

O comparativo das imagens de satélites e cartografia da Figura 34 evidencia a ampliação das barras arenosas de grandes dimensões, desenvolvida ao longo do período 07/77 até 07/2017 (nas tonalidades em branco na imagem de satélite e em amarelo no mapa), como também, as ilhas vegetadas, tornando-se uma constante a partir deste segmento.

A Figura 35 apresenta uma fotografia acompanhada da imagem de satélite do dia 10/07/2018 indicando o local em que foi realizado o registro, na margem direita do rio na fazenda Glória, município de Linhares (ES), apresentando em primeiro plano, a extensa barra arenosa que atualmente envolve uma antiga ilha vegetada, enquanto na margem esquerda, nas setas, indicam o fluxo lento e raso das águas no trecho do rio com largura da calha/canal de 928 metros entre as margens.

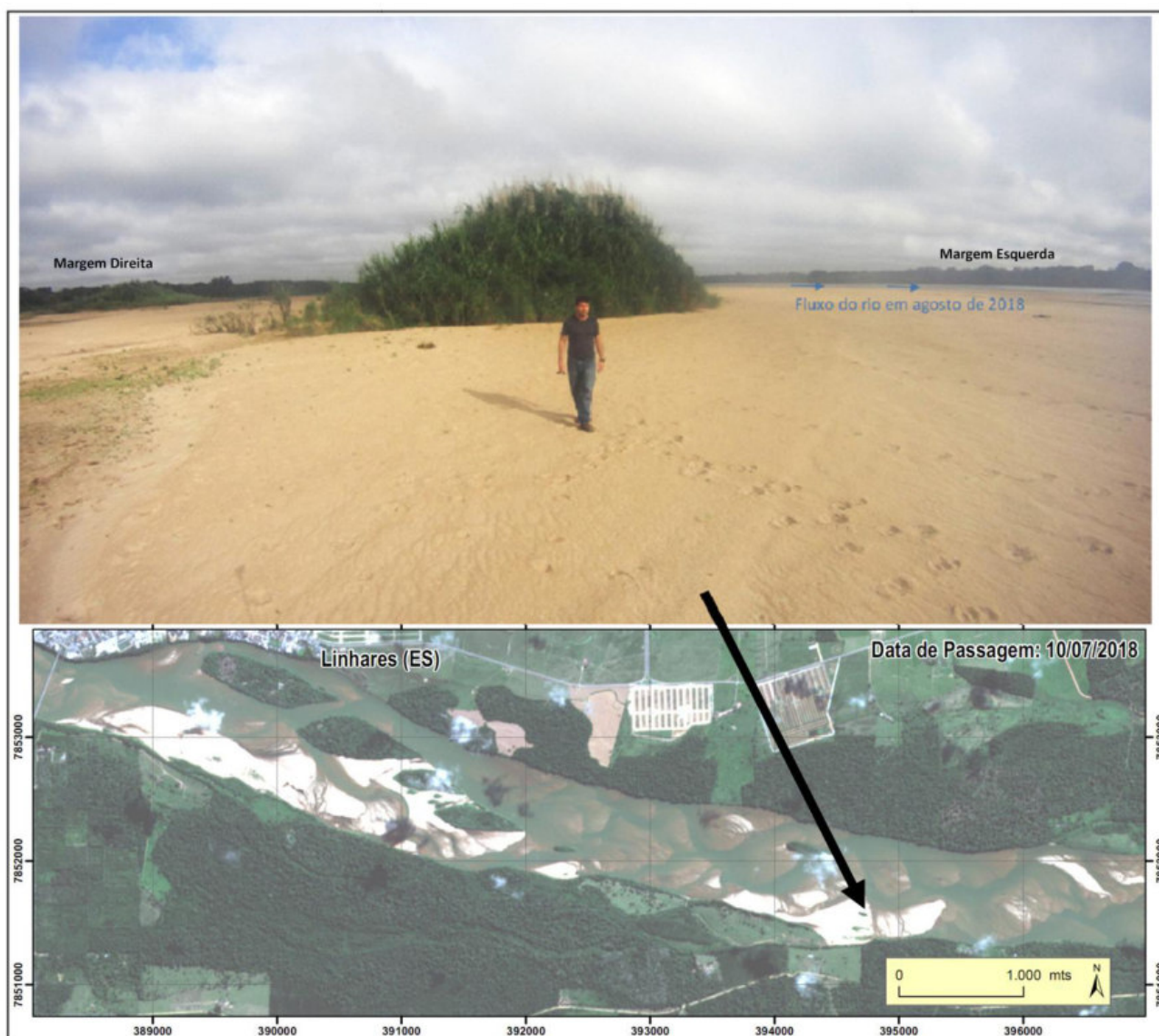


Figura 35 – Margem direita do canal principal na fazenda Glória evidenciando o acúmulo de sedimento.

Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).



A cartografia da Figura 34 revela também a ocorrência de vários pontos de erosão marginal identificados durante o percurso do rio, evidenciando um elevado desequilíbrio fluvial nesse setor. Exemplo dessa situação é a margem direita do canal principal, na fazenda Caiçara entre sede municipal de Linhares (ES) e a localidade de Regência, formada por sedimentos coesivos, normalmente, mais resistentes à erosão superficial por possuir baixa permeabilidade.

Entretanto, quando as margens de rios sofrem intensa ação corrosiva da corrente fluvial/ondas (nos eventos de volumes elevados água na calha) promove o deslizamento, situação exemplificada na Figura 36 com a geração de fendas na camada superior do barranco, indicando a eminência de queda de blocos, tendo na base bloco caído restos de vegetação.



Figura 36 – Margem direita do canal principal, entre a Sede da Fazenda Maria Bonita e a localidade Bananal do Sul, com a geração de fendas na camada superior do barranco, indicando a eminência de queda de blocos tendo na base bloco caído com restos de vegetação. Foto: André Luiz N. Coelho (07/2007).



4.3 – Quantificação e Avaliação das Taxas de Erosão e Sedimentação

Na sequência será avaliada a intensidade dos processos de erosão e sedimentação do Médio-Baixo Rio Doce entre os anos de 1977 e 2017, tomando como base os valores areais das feições vetorizadas em ambiente SIG de Ilhas, deposição sedimentar, corpo d'água e erosão marginal, cartografadas para cada um dos 4 segmentos de mesma extensão. A partir do emprego de algoritmos baseado proposta de Moraes (2002) permitirá verificar a variação dos tipos de processos que operam e mensurar a intensidade dos mesmos.

- EQUAÇÃO DE BALANÇO EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO

Este algoritmo objetiva demonstrar a intensidade que o canal principal do rio Doce no presente (2017) é o reflexo de um ajuste dinâmico e evolutivo dos elementos geomórficos fluviais de ilhas, bancos arenosos e da calha, ao longo do tempo, os quais modificam sua distribuição espacial e areal devido a processos erosivos e sedimentares que operam no rio, revelado pela seguinte equação.

$$Cy = Cx - Asl + Ae - (Aiy - Aix) - (Aby - Abx)$$

Onde:

x = registro temporal em 1977;

y = registro temporal em 2017;

Cy = área* do corpo d'água do canal em 1977;

Cx = área* do corpo d'água do canal em 2017;

Asl = área* de sedimentação lateral;

Ae = área* de erosão no canal;

Aix = área* de ilhas em 1977;

Aiy = área* de ilhas em 2017;

Abx = área* de bancos de areia em 1977;

Aby = área* de bancos de areia em 2017.

(equação 1)

* em hectare (ha)

- EQUAÇÃO DE TAXAS DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO

A aplicação das equações (2 e 3) possibilitam mensurar a taxa de erosão marginal na calha e taxa de sedimentação (incluído os processos de sedimentação: lateral, em ilhas residuais, ilha sedimentar nova) no segmento do canal estudado, em um intervalo de tempo, cujo o resultado é dado por um valor estimativo em ha/ano, no caso da pesquisa, em 40 anos.



$$Te = \frac{Ae}{T}$$

Onde:

Te = Taxa de Erosão;

Ae = Área em hectares de erosão no canal.

T = Registro temporal de 40 anos (1977 e 2017).

(equação 2)

$$Ts = \frac{As}{T}$$

Onde:

Ts = Taxa de Sedimentação;

As = Área em ha de Sedimentação no Canal;

$As = (Aby - Abx) + Asl / (y - x)$ = sedimentação lateral e na calha.

T = Registro temporal de 40 anos (1977 e 2017).

(equação 3)

- ALGORITMO DE TAXAS DE EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO

Este cálculo tem a finalidade de determinar a relação existente entre as taxas de erosão e sedimentação, expresso por um índice que indica um determinado estágio em que se encontra o canal de um valor ideal de equilíbrio (1 = equilibrado). O modelo ideal aponta que um rio em equilíbrio erode e deposita sedimentos em uma mesma intensidade, fato que não se verifica quase na totalidade dos canais fluviais.

Ressalta-se que a variação em área é o resultado de uma estimativa de carga volumétrica superficial do material sedimentar na calha fluvial, servido como um indicativo entre a quantidade de material erodido e depositado. Portanto, os valores extraídos deste índice e apresentados expressam um valor aproximado das condições de equilíbrio que se encontra o canal frente à intensidade dos processos erosivos e sedimentares operantes, dado pela seguinte equação:

$$Re/s = \frac{Te}{Ts}$$

Onde:

Re/s = Relação Erosão / Sedimentação;

Te = Taxa de Erosão;

Ts = Taxa de Sedimentação.

(equação 4)

Os valores expressos deste índice podem ser maiores que 1, ou menores que 1, ou ainda, iguais a 1. Quanto mais próximo o valor em alcançar 1 melhor será a relação de proximidade entre os processos de erosão e sedimentação, isto é:



- $Re/s = 1$ – Reflete um comportamento em que o canal encontra-se erodindo e depositando seus materiais em uma mesma intensidade;
- $Re/s = >1$ – Indica que há uma intensidade dos processos erosivos do canal analisado;
- $Re/s = <1$ – Indica que há uma maior ação dos processos sedimentares do canal fluvial analisado.

Assim, ao final de cada cálculo os resultados quantitativos poderão ser comparados com a cartografia do canal que reproduzem esta dinâmica de transformação morfológica no interior da calha principal.

- SEGMENTO 1

O Segmento 1 constitui-se, entre os quatro setores de mesma extensão, o que apresentou a melhor relação da taxa de erosão e taxa de sedimentação, apesar de baixa 0,26. É também o segmento que expressou a menor taxa de sedimentação com 4,06 ha/ano (Tabela 11). Este valor reduzido é explicado, em parte, pela ocorrência de um trecho do canal afogado, caracterizado por uma dinâmica das águas lânticas do espelho d'água do barramento da UHE de Mascarenhas, conforme atesta a imagem da Figura 37, e pela localização de outra barragem 22,6 km a montante (UHE de Aimorés), que retém parte dos sedimentos no seu reservatório.

Tabela 11 - Características areais e processos de erosão e sedimentação do Segmento 1

Valor Areal/Processo Ativo	Segmento 1		
	jul/1977	jul/2017	Dif.
Corpo D'água Superficial (ha)	1.179,1	1.042,8	-136,3
Ilhas (ha)	119,3	134,0	14,7
Sedimentação na Calha por Bancos de Areia (ha)	39,2	167,0	127,8
Erosão Lateral (ambas às margens) (ha)	42,0		
Erosão Lateral Margem Esquerda do Canal (ha)	19,8		
Erosão Lateral Margem Direita do Canal (ha)	22,2		
Sedimentação Lateral (ambas às margens) (ha)	34,6		
Sedimentação Lateral na Margem Esquerda do Canal (ha)	7,9		
Sedimentação Lateral na Margem Direita do Canal (ha)	26,7		
Balço de Erosão/Sedimentação (ha)	1.044,0		
Taxa de Erosão (ha/ano)	1,05		
Taxa de Sedimentação (ha/ano)	4,06		
Relação Taxa de Erosão / Taxa de Sedimentação	0,26		

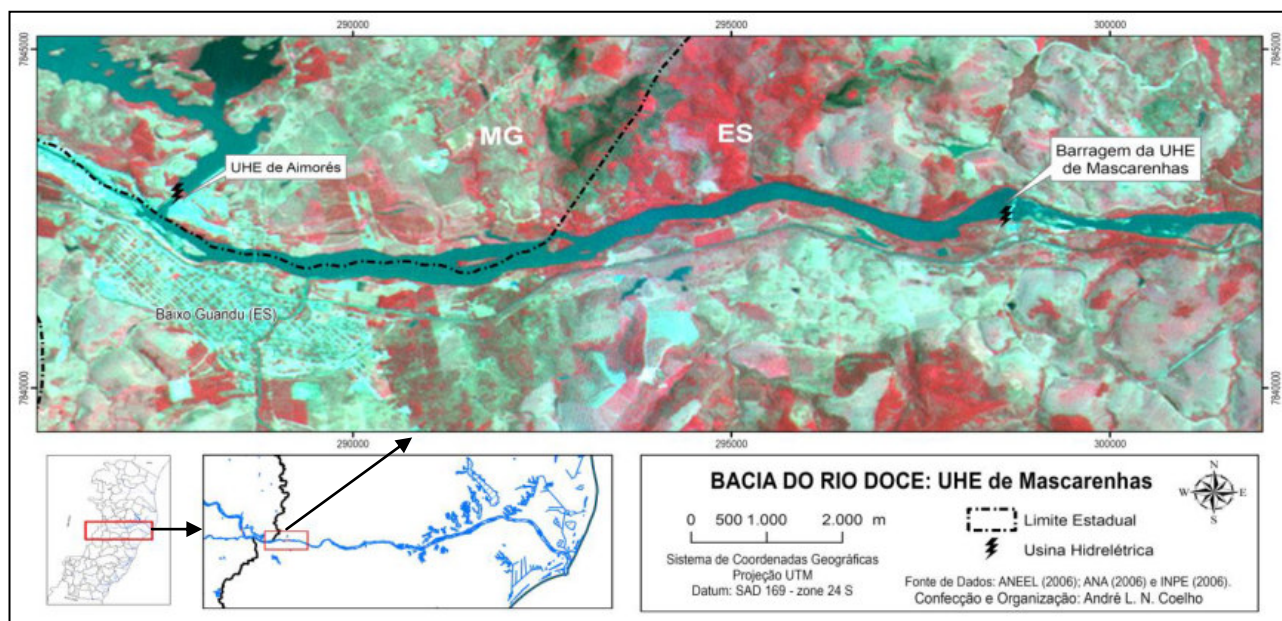


Figura 37 – Imagem da parte montante do segmento 1 evidenciando no trecho entre a UHE de Aimorés e UHE de Mascarenhas o canal sem a ocorrência de processos de sedimentação em função do reservatório alongado do barramento da UHE de Mascarenhas .
Fonte: Coelho (2007).

Nas Figuras 37 e 38 é possível identificar que os processos sedimentares surgem a 1 km a abaixo do barramento de Mascarenhas, intensificando-se mais a jusante deste segmento, sobretudo, a partir da localidade de Itapina (ES).

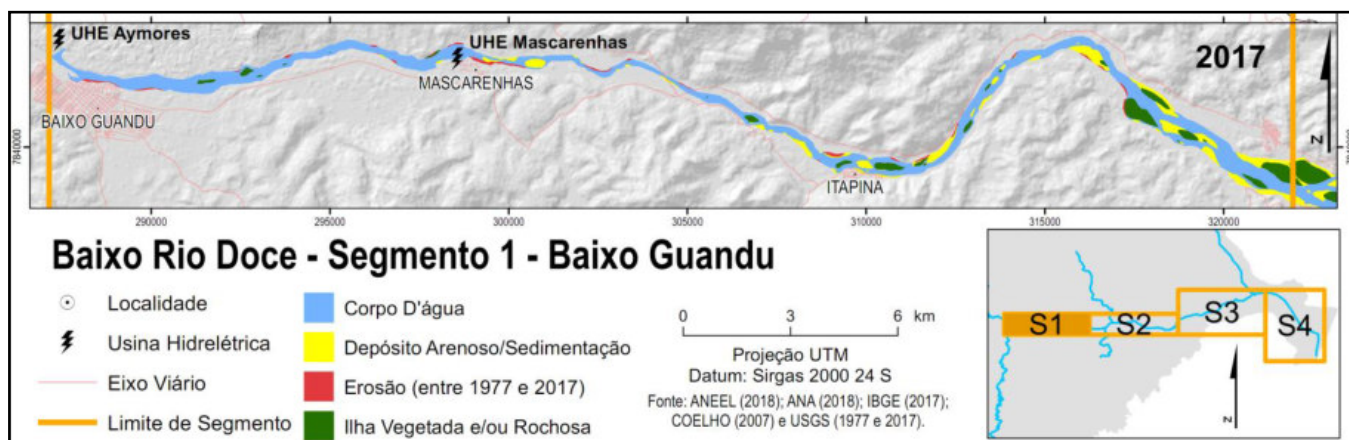


Figura 38 – Cartografia do segmento 1 com a distribuição dos elementos fluviais e o destaque para o processo de sedimentação após a localidade de Itapina (ES).

Esta retenção de sedimentos, sobretudo, de carga de fundo, que ocorre nos dois reservatórios, primeiro na barragem de Aimorés e, em seguida, em Mascarenhas produz um “efeito cascata” que potencializa ainda mais as alterações geomorfológicas e hidrológicas no canal a jusante das UHEs. Em consequência, promove uma mudança de turbidez da água após o reservatório, que apresenta-se, excessivamente límpida sobretudo nos períodos de estiagens/vazante, indicando a retenção de sedimentos (de fundo e parte em suspensão) a montante dos barramentos, fato que pode ser constatado durante as campanhas de campo.

Em relação aos processos erosivos, é notável sua ocorrência logo após o reservatório da barragem de Mascarenhas (Figuras 38 e 39) decorrentes da concentração das águas vertidas das turbinas (vazão defluente) e dos vertedouros durante os períodos de cheia do rio.

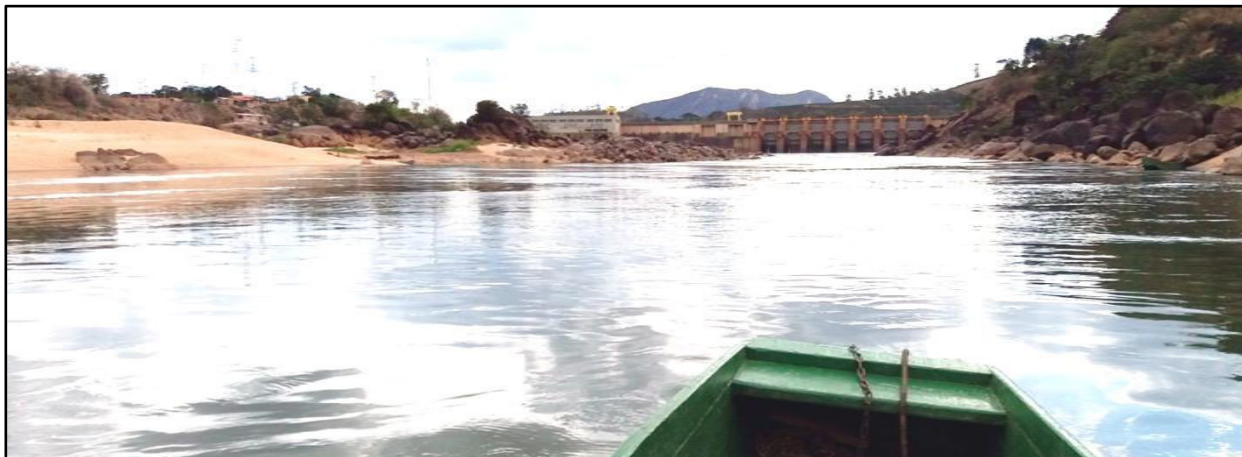


Figura 39 – Vista do barco da barragem da UHE de Mascarenhas de 33 m que iniciou sua operação em 1974, estando, à esquerda, a casa de força e, à direita, o vertedouro com 7 comportas. Notar também à esquerda a extensa margem erodida.

Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

Relacionado a esse aspecto, Walling (2006) fez uma investigação das principais obras/intervenções que promoveram a redução no transporte de carga sedimentar dos grandes rios do mundo, destacando os reservatórios como os principais responsáveis. Em seu estudo o pesquisador chama a atenção para outros efeitos, como as mudanças que ocorrem ao longo dos anos na morfologia do canal a jusante da barragem e também na morfologia praial adjacente à desembocadura, comentando uma série de casos, entre eles, o do rio São Francisco na sua foz, que passou a erodir praias pela redução de aporte de sedimentos que foram depositados a montante das barragens e ao longo do canal principal.

- SEGMENTO 2

O Segmento 2 se destaca, entre os quatro de mesma extensão, o que apresenta a maior taxa de sedimentação com 18,1 ha/ano (Tabela 12) e o que possui o menor gradiente (0,16%) / desnível da cota (5,6 m, valor extraído da calha fluvial no início e fim do segmento), resultado em uma reduzida dinâmica fluvial marcada pela menor velocidade das águas correntes e transporte de material, inclusive nos períodos de estiagens, característica que potencializa os processos de deposição de sedimentar e assoreamento do rio neste trecho, sendo, o setor em que a relação da taxa de erosão e sedimentação é a mais baixa entre os quatro segmentos ($Re/s = 0,06$) evidenciando uma maior ação dos processos sedimentares.

**Tabela 12 - Características areais e processos de erosão e sedimentação do Segmento 2**

Valor Areal/Processo Ativo	Segmento 2		
	jul/1977	jul/2017	Dif.
Corpo D'água Superficial (ha)	2.586,4	1.826,9	-759,5
Ilhas (ha)	424,5	497,8	73,3
Sedimentação na Calha por Bancos de Areia (ha)	71,8	741,9	670,1
Erosão Lateral (ambas às margens) (ha)	40,6		
Erosão Lateral Margem Esquerda do Canal (ha)	18,7		
Erosão Lateral Margem Direita do Canal (ha)	21,9		
Sedimentação Lateral (ambas às margens) (ha)	55,8		
Sedimentação Lateral na Margem Esquerda do Canal (ha)	35,4		
Sedimentação Lateral na Margem Direita do Canal (ha)	20,4		
Balaço de Erosão/Sedimentação (ha)	1.827,8		
Taxa de Erosão (ha/ano)	1,02		
Taxa de Sedimentação (ha/ano)	18,15		
Relação Taxa de Erosão / Taxa de Sedimentação	0,06		

Org. André Luiz N. Coelho.

A Tabela 12 mensura também, a redução significativa de praticamente 760 hectares de área de corpo d'água superficial da calha cedendo lugar para os depósitos de sedimentos por bancos de areia com 670,1 ha e 73,3 ha de ilhas, fato evidenciado pela Figura 40 nas tonalidades verde e amarela dessas formas de relevo arenoso/sedimentação e ilhas vegetadas e/ou rochosas, respectivamente.

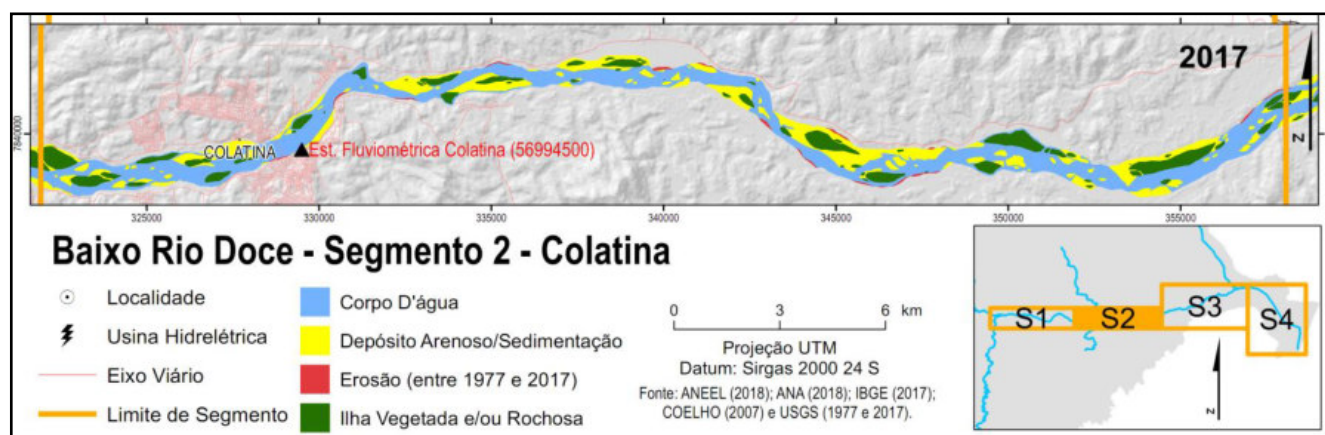


Figura 40 – Segmento 2 marcado pela ocorrência elevada de depósitos arenosos e ilhas em função do baixo gradiente, o menor entre os quatro setores.

É, portanto, uma feição fluvial, comum de setores de rios de baixo gradiente, marcado pela elevada ocorrência de processos sedimentares na forma de bancos arenosos anexados a ilha, ilhas temporárias de sedimentos, em vários trechos, cartografado na Figura 40 e, exemplificado na Figura 41 na localidade de Poáia, próximo a sede municipal de Colatina (ES).



Figura 41 – Exemplo de forma fluvial comum de Ilha vegetada anexada a um banco arenoso registrada na localidade de Poáia a montante da sede municipal de Colatina - Segmento 2.

Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

- SEGMENTO 3

O Segmento 3 é o segundo, entre os quatro, que apresenta o menor gradiente com 0,28% e taxa de sedimentação anual 16,10 ha/ano (Tabela 13). Ele é marcado por apresentar as maiores ilhas individuais por segmento, e também, o maior em área de ilhas vegetadas com 1,524 ha, formadas pela anexação de outras ilhas próximas de formato simétrico como evidenciado na Figura 42 que destaca o segmento 3.

Tabela 13 - Características areais e processos de erosão e sedimentação do Segmento 3

Valor Areal/Processo Ativo	Segmento 3		
	jul/1977	jul/2017	Dif.
Corpo D'água Superficial (ha)	3.481,7	2.497,9	-983,8
Ilhas (ha)	1.215,3	1.524,3	309,0
Sedimentação na Calha por Bancos de Areia (ha)	137,4	626,2	488,8
Erosão Lateral (ambas às margens) (ha)	78,2		
Erosão Lateral Margem Esquerda do Canal (ha)	68,4		
Erosão Lateral Margem Direita do Canal (ha)	9,8		
Sedimentação Lateral (ambas às margens) (ha)	155,3		
Sedimentação Lateral na Margem Esquerda do Canal (ha)	42,2		
Sedimentação Lateral na Margem Direita do Canal (ha)	113,1		
Balço de Erosão/Sedimentação (ha)	2.606,8		
Taxa de Erosão (ha/ano)	1,96		
Taxa de Sedimentação (ha/ano)	16,10		
Relação Taxa de Erosão / Taxa de Sedimentação	0,12		

Org. André Luiz N. Coelho.

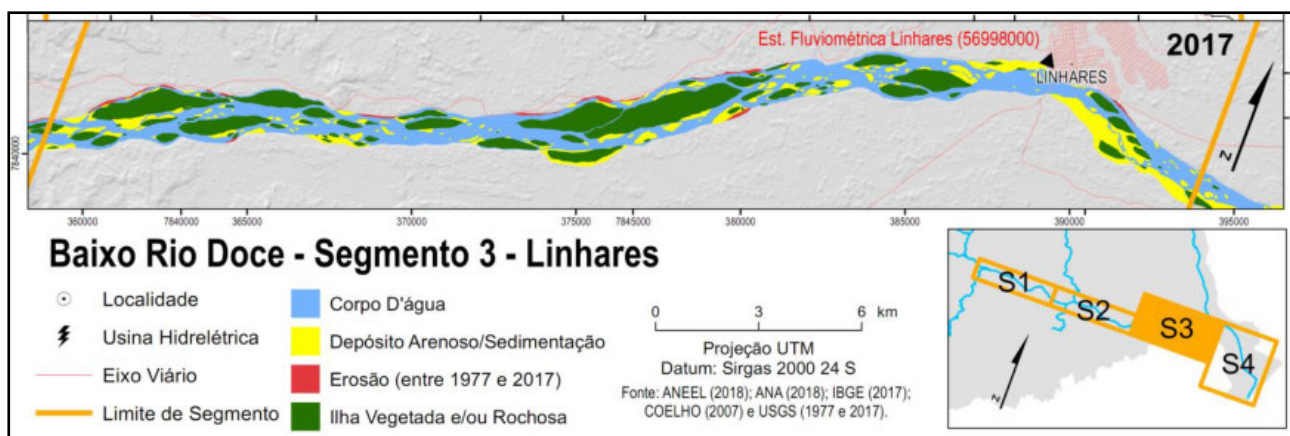


Figura 42 – Segmento 3 caracterizado pelas numerosas ilhas vegetadas e diversos processos erosivos das margens, sobretudo, esquerda.

Um registro em campo deste processo de erosão ativa (Figura 43) desencadeado, em parte, pelas oscilações diárias das vazões/fluxos artificiais da UHE de Mascarenhas, nos horários de pico/ponta para geração de energia (vide anexo 3), foi o localizado a montante da sede municipal de Linhares (ES) em agosto de 2018 numa margem de constituição mista, caracterizada por possuir camadas intercaladas de variadas granulometrias, como silte e argila e, sobretudo areias, resultantes das mudanças ambientais, como as ocorridas na Planície Fluvio-lacustre, marcada pela deposição sedimentar neste trecho do rio, no decorrer do período Quaternário.



Figura 43 – Margem estratificada tipo mista do canal principal, próxima a Fazenda São Pedro, a montante da sede do município de Linhares (ES), com areias finas, siltosas intercaladas com níveis argilosos.

Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

Por apresentar uma constituição variada, esses tipos de margens são mais vulneráveis à erosão pelo fato de haver a presença de silte e argila na matriz dessas areias. Porém são suficientemente mais resistentes do que as margens não coesivas, de constituição, predominantemente, arenosa como as próximas a foz do rio.

- SEGMENTO 4

O 4º Segmento, de direção nordeste-sul, é o que possui as maiores áreas de erosão marginal com 81,1 hectares e taxa anual de 2,03 ha. O segmento também se destaca por apresentar o maior balanço de erosão e sedimentação com 3.114,5 ha (Tabela 14) e uma distribuição irregular de sedimentação entre as margens com 41,2 ha na margem esquerda e, apenas 16,2 ha na margem direita (Figura 44).

Tabela 14 - Características areais e processos de erosão e sedimentação do Segmento 4

Valor Areal/Processo Ativo	Segmento 4		
	jul/1977	jul/2017	Dif.
Corpo D'água Superficial (ha)	3.866,1	3.090,2	-775,9
Ilhas (ha)	450,5	828,7	378,2
Sedimentação na Calha por Bancos de Areia (ha)	125,8	522,9	397,1
Erosão Lateral (ambas às margens) (ha)	81,1		
Erosão Lateral Margem Esquerda do Canal (ha)	39,6		
Erosão Lateral Margem Direita do Canal (ha)	41,5		
Sedimentação Lateral (ambas às margens) (ha)	57,4		
Sedimentação Lateral na Margem Esquerda do Canal (ha)	41,2		
Sedimentação Lateral na Margem Direita do Canal (ha)	16,2		
Balço de Erosão/Sedimentação (ha)	3.114,5		
Taxa de Erosão (ha/ano)	2,03		
Taxa de Sedimentação (ha/ano)	11,36		
Relação Taxa de Erosão / Taxa de Sedimentação	0,18		

Org. André Luiz N. Coelho.

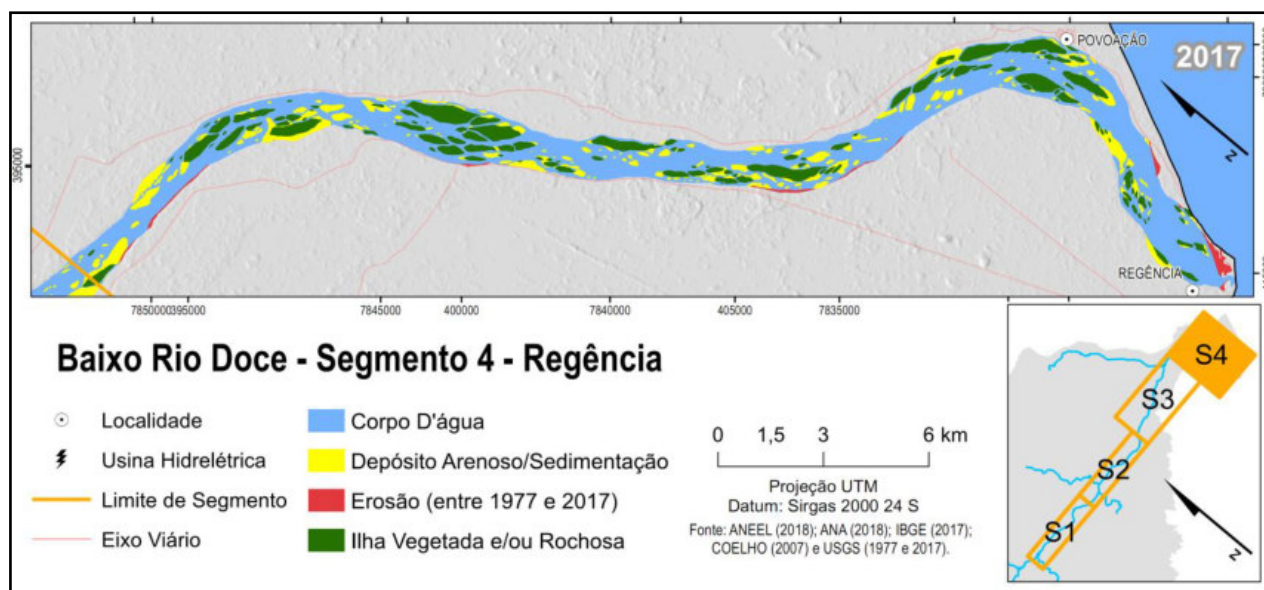


Figura 44 – Segmento 4 caracterizado pela distribuição irregular de sedimentação entre as margens, sendo maior, a esquerda.

Nas proximidades da foz do rio Doce, as margens fluviais possuem características aneno-argilosas de baixa altura e estão submetidas, sobretudo, à ação das marés marinhas, removendo as areias subjacentes pela ação das ondas e o solapamento da camada superior.

O processo inicia-se com a variação da maré, associada à produção de ondas que atuam na erosão de micro escarpas, na faixa de praia ou na base do barranco, com a remoção das margens, ocorrendo em duas principais fases. A primeira com a remoção direta das partículas individuais constituintes das argilas e/ou areias, podendo em alguns casos, formar dutos causando o solapamento da base do barranco e a instabilidade da parte superior, que desmorona em forma de blocos maiores. Na segunda fase, uma vez caídos, estes blocos ficam sujeitos à ação das ondas até que sejam, totalmente, desmembrados e removidos pela flutuação do nível de maré marinha e ação das ondas e/ou corrente fluvial (Figura 45).



Figura 45 – Erosão da margem esquerda, promovendo a retirada do material arenoso subjacente (formando dutos) devido à flutuação do nível do rio / maré marinha e ação das ondas. Localidade de Povoação (Linhares) próximo à desembocadura com o mar. Foto: André Luiz N. Coelho (07/2007).

CONSIDERAÇÕES

A análise evidenciou que os processos de erosão sobressaíram, reiterando as argumentações de Cunha (2001); Lima et al. (2005) e Almeida e Carvalho (1993) que o rio Doce é marcado pela elevada produção de sedimentos. Já a Figura 46, quantifica os totais de taxa de erosão e taxa sedimentação por segmentos em hectares por ano e aponta que, em todos eles, a sedimentação é maior, sobretudo nos setores 2 e 3 com valores superiores a 16 ha/ano. A avaliação conjunta dos quatro segmentos revela os totais de taxa de erosão com 6,05 ha/ano e taxa sedimentação de 49,67 ha/ano, sendo oito vezes maior que a taxa de erosão no médio-baixo curso do rio Doce.

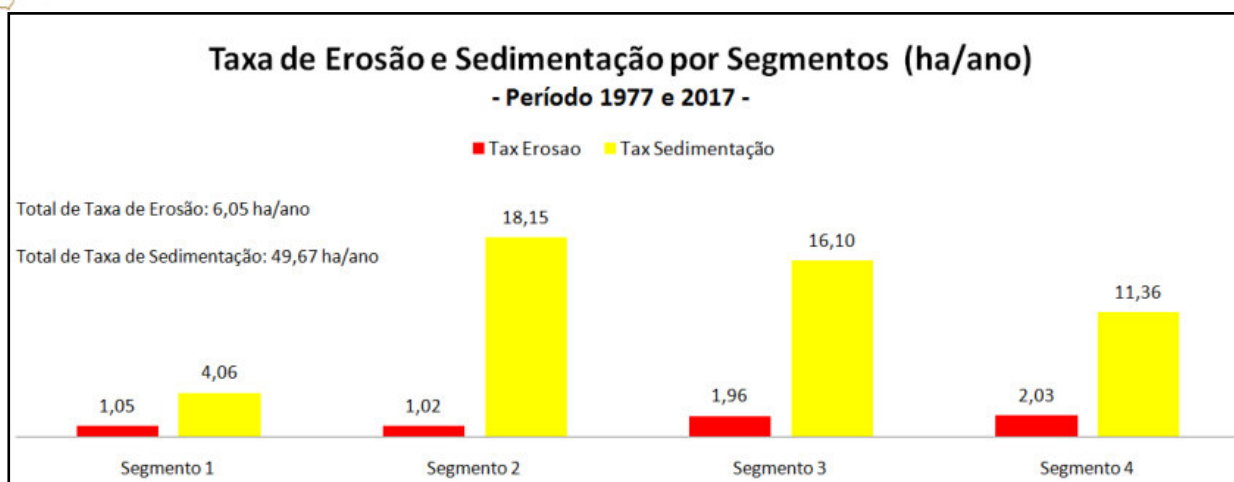


Figura 46 – Valores de taxa de erosão e sedimentação no canal principal do médio-baixo curso do rio Doce entre 1977 e 2017. Organizado pelo autor.

Stevaux e Latrubesse (2017); Charlton (2008) pontuam as principais condições - com algumas dessas constatadas em campo - que propiciam a deposição do material sedimentar transportado pelos corredores fluviais/canais (Tabela 15), ressaltando que a velocidade deste processo está fortemente relacionado com o tamanho da partícula, de modo que a deposição se dá, em geral, de forma gradativa e seletiva, à medida que a velocidade do fluxo das águas se reduz.

Tabela 15 – Condições que propiciam a deposição de material sedimentar transportado ao longo da calha fluvial

Condição	Causa mais comum
REDUÇÃO DA DESCARGA	Condições climáticas da bacia** (sobretudo sazonalidade**); e/ou Regulação de fluxo/vazão artificial pela barragem**;
REDUÇÃO DO GRADIENTE DO CANAL	Condições geológicas/geomorfológicas** (litologia, estrutura e relevo; topografia/gradiente); Variação na textura da carga de fundo; Mudanças no nível de base por efeito de uma barragem no rio principal com relação a um tributário**, etc.
AUMENTO DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO CANAL	Alteração no grau de coesão do material das paredes do canal**.
AUMENTO DA RUGOSIDADE DO CANAL	Ocorrência de vegetação nas margens, fundo rochoso com presença de blocos.
SEPARAÇÃO DE FLUXO	Ocorrência de ilhas**, pilares de ponte**, blocos**, etc.
BLOQUEIO HIDRÁULICO	Fluxo do tributário barrado pelas águas do receptor de maior porte e período de águas altas.
OBSTRUÇÃO DO FLUXO	Acúmulo de sedimento a montante das obstruções: represa/barramento**.

** Fato constatado por Coelho em 2018 no médio-baixo rio Doce

Fonte: Adaptado de Stevaux e Latrubesse (2017).

4.3.1 HOTSPOTS DE EROSÃO

A cartografia dos pontos quentes erosão marginal tem com objetivo evidenciar, no baixo curso do rio Doce, os locais em que esses processos foram mais expressivos através da Estimativa de Densidade de Kernel (EDK). O resultado dessa aplicação apresenta uma visão geral da



intensidade da erosão em toda a extensão da calha do canal principal avaliada, sendo uma alternativa à análise espacial e geográfica do desencadeamento desse processo.

A base utilizada para a elaboração e análise foram os traçados das linhas das margens da calha do canal principal dos anos de 1977 e 2017, vetorizadas com base nas imagens de satélites dos respectivos períodos, complementadas com trabalhos de campo, entrevistas com barqueiros e ribeirinhos. A partir destas 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 de Kernel, que criou os *Pontos Quentes (hotspots)*, representando a ocorrência e intensidade desses processos de erosão nos setores do médio-baixo rio Doce.

A Figura 47 apresenta a cartografia dos quatro segmentos de igual extensão (35,4 km) no canal principal do rio Doce, evidenciando nas tonalidades do vermelho, a intensidade dos processos erosivos, em que as cores mais escuras são os locais/pontos em que esses processos foram mais expressivos.

De forma melhor analisar no mapa os “*hotspots*” de erosão marginal, cada local em que esse processo foi deflagrado e evidenciado pela Densidade de 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 principal²¹. Para cada segmento foram avaliados os números totais dos pontos/locais de *hotspot* de erosão, os totais de erosão por margens (esquerda e direita), além do código do local em que esse processo foi mais intenso, e também, o código do local em que o ponto quente foi mais extenso.

A cartografia revelou 46 *hotspots* registrados nos quatro segmentos do médio-baixo curso do rio Doce, com 25 áreas/pontos na margem esquerda e 21 áreas/pontos na margem direita, revelando uma distribuição equilibrada entre as margens e um total de área erodida de 241,9 ha (Figura 47). A análise conjunta evidenciou que esses pontos quentes ocorreram de maneira distinta de montante para jusante, com um número maior destes pontos 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, praticamente a metade das ocorrências nos setores S1 e S2.

²¹ De maneira melhor cartografar e evidenciar a intensidade dos processos erosivos/pontos quentes (*hotspots*) derivados da Estimativa de Densidade de Kernel os mesmos foram destacados nas tonalidades de vermelho enquanto as ilhas e bancos arenosos presentes na calha do canal principal com tonalidades mais claras.

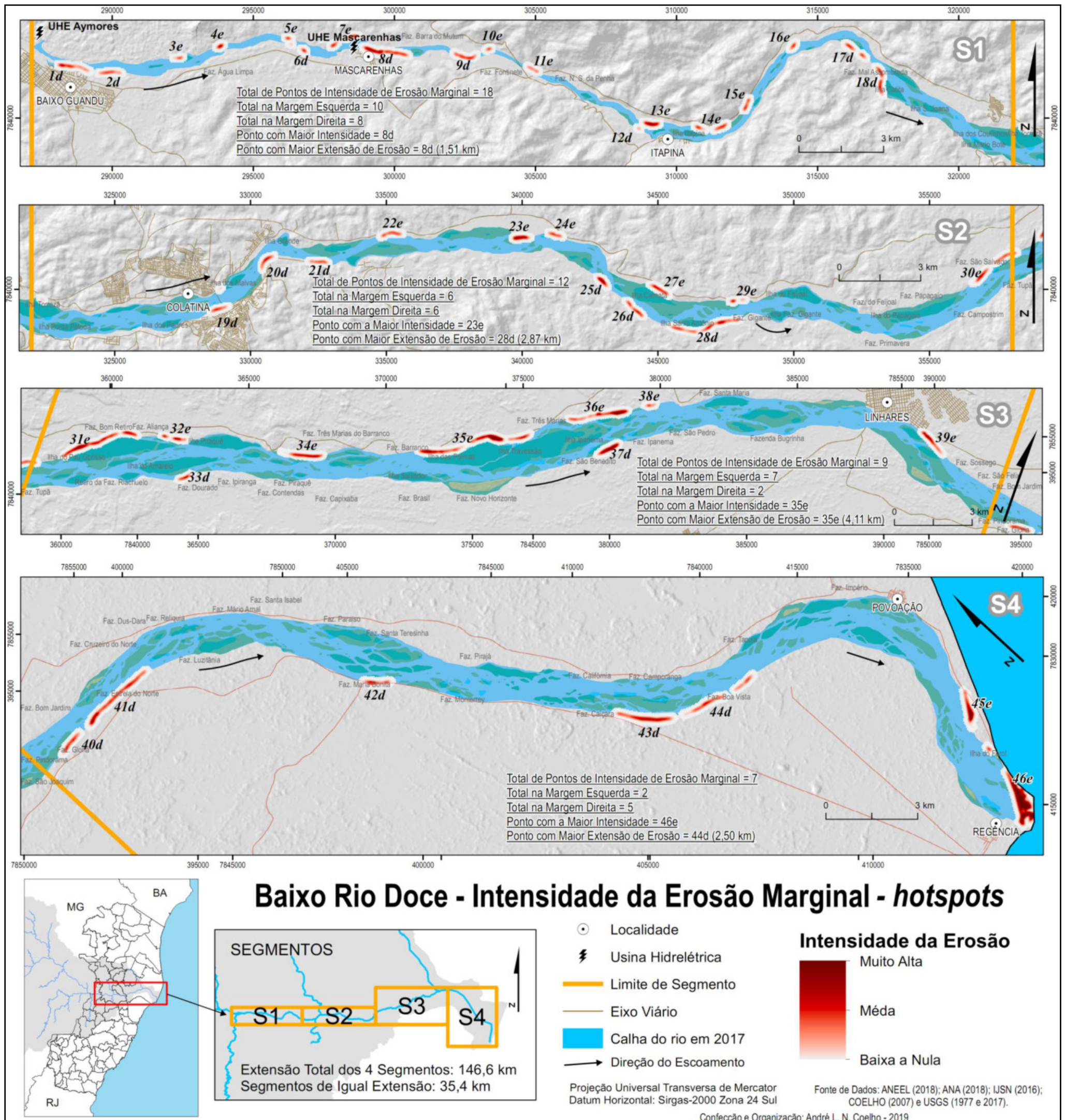


Figura 47 – Intensidade dos processos erosivos das margens *Hotspots* dos quatro segmentos.
Organização: André Luiz N. Coelho - 2018.



Entretanto, a intensidade da ocorrência desses processos foram muito mais expressivos nesses 2 últimos segmentos (S3 e S4), refletindo na maior extensão (Figura 47) e na maior área em hectares erodida com 78,2 ha para o segmento S3 e 81,1 ha no segmento 4 (Figura 48). O gráfico mostra ainda que os processos erosivos nas margens, em termos de área erodida, foi equilibrado, exceto para o segmento 3 que concentrou 87,5% da erosão na margem esquerda.

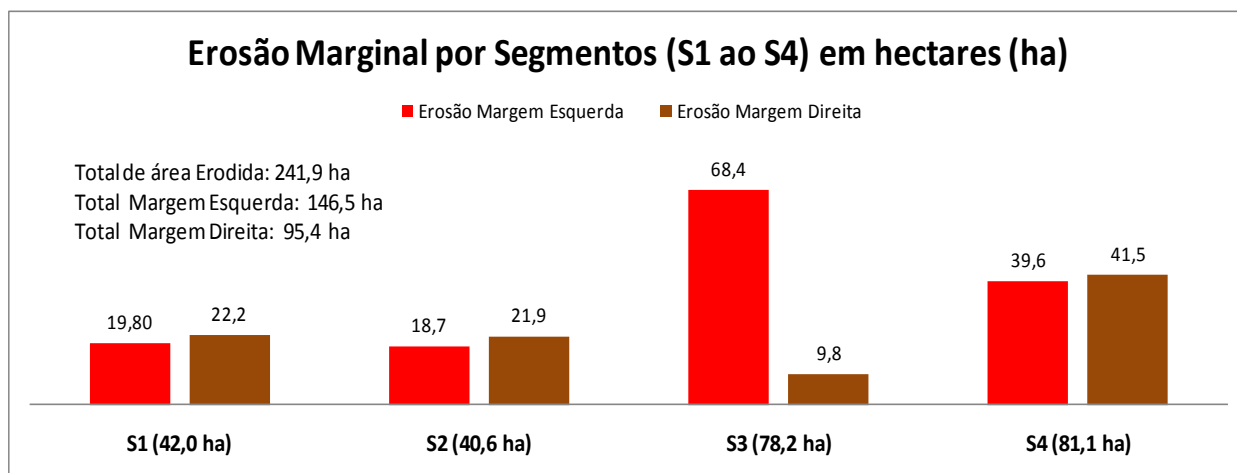


Figura 48 – Valores em hectares de erosão marginal dos quatro segmentos.

Um elemento que potencializa a erosão das margens dos dois últimos segmentos são os solos, em sua maioria, formados por sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes (período Quaternário), sem relações pedogenéticas entre elas. Destacam-se o Neossolo Flúvico e o Cambissolo Flúvico, em praticamente todo o segmento 3 e parte montante do segmento 4, enquanto na foz, há a ocorrência do Neossolo Quartzarênico.

No **segmento 1** nota-se uma relativa distribuição dos dezoito pontos quentes de erosão entre as margens, com 10 pontos na margem esquerda e 8, na margem direita. O local identificado com maior intensidade foi o “8d” (Figura 47) situado a jusante da UHE de Mascarenhas, conforme o comparativo das imagens da Figura 49. É neste trecho do segmento S1 em que foram notadas as maiores transformações na morfologia do canal, imediatamente após a barragem em direção à desembocadura, com o destaque para a erosão marginal na margem direita. Esse processo teve início com a remoção de, praticamente, todo o sedimento de fundo nos primeiros 700 metros a jusante da barragem, decorrente da concentração de água liberada dos vertedouros e casa de força, sobretudo, durante os eventos de cheias no rio (Figura 49).

A alteração no fluxo das águas após a barragem passa ser concentrado, associada a uma menor carga de sedimentos, resultando na mudança substancial dos padrões de drenagem e



morfologia do canal, como erosão das margens (Figuras 49 e 50), eliminação de ilhas residuais, relativo entalhamento do rio após o reservatório. Enfim, o que se observa é, praticamente, uma nova dinâmica fluvial após a barragem, com vazões controladas, influenciando nas formas fluviais e nos processos de erosão, transporte e deposição.

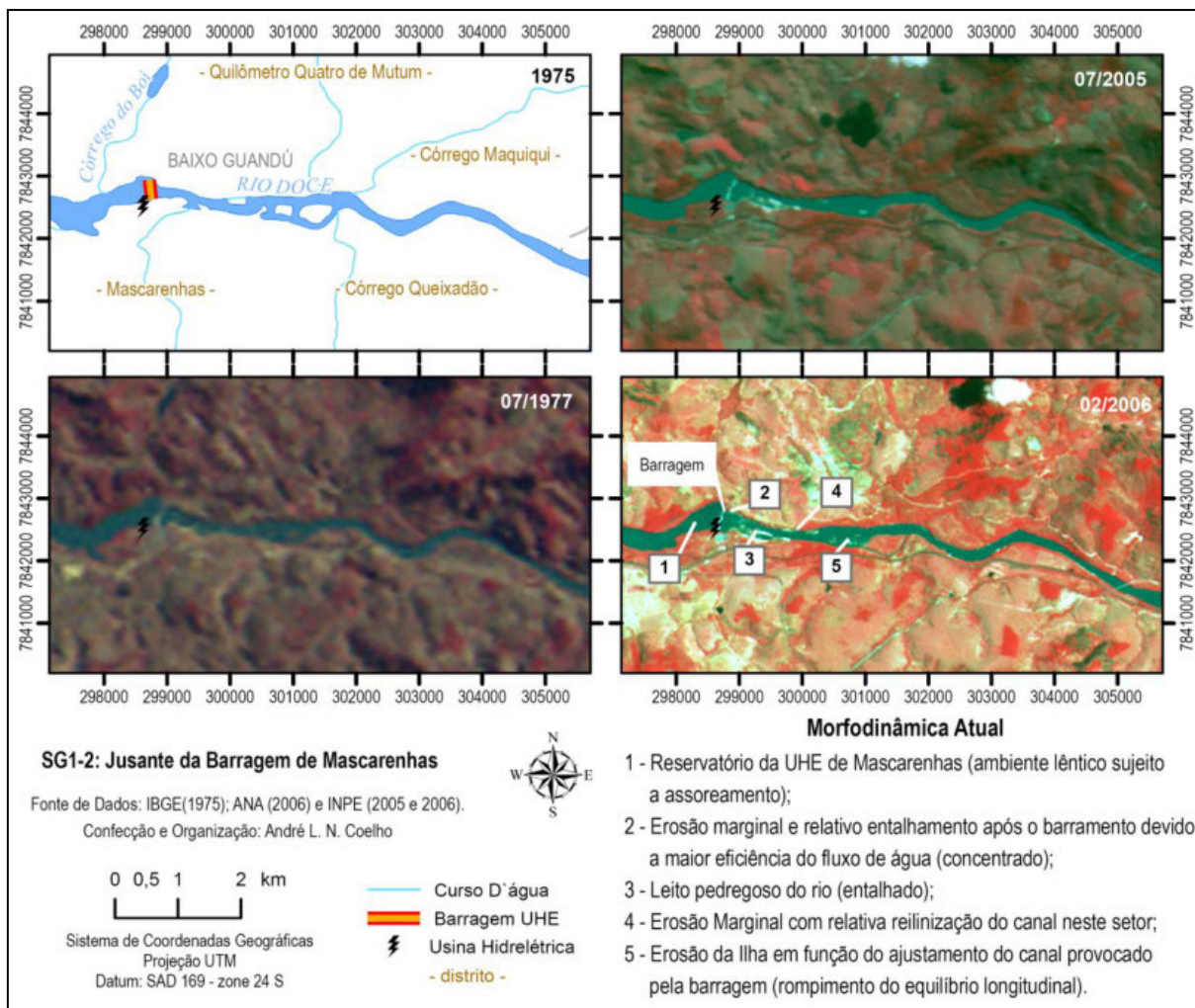


Figura 49 – Imagens orbitais, destacando a barragem de Mascarenhas e as transformações ao longo dos anos, no canal principal, em função do barramento (modificação das formas fluviais).



Figura 50 – Evidências do processo erosivo da margem direita do canal principal logo após o barramento da UHE de Mascarenhas. Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

O **Segmento 2** apresenta um total de 12 pontos de intensidade de erosão marginal com a ocorrência equilibrada de seis pontos na margem esquerda e seis na margem direita. Em relação à distribuição desses pontos ao longo do segmento, observa-se uma concentração maior a partir da metade desse segmento em direção a jusante, havendo a maior intensidade para o ponto “23e”, trecho do rio em que o gradiente é maior, como também, a ocorrência do material presente nessas margens de sedimentos da Formação Barreiras (arenitos friáveis), associado à baixa concentração e até a ausência de vegetação ciliar favorecem o desencadeamento da erosão pelas correntes fluviais, sobretudo no trecho “28d” (Figuras 47 e 51), marcado pela maior extensão de erosão marginal com 2,87km.



Figura 51 – Margem direita do canal principal em curva no ponto “28d” com o processo de erosão ativo, próximo a Fazenda Gigante.
Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

Já a Figura 52 apresenta o registro pelo satélite no ponto do rio “28d” em curva destituído de vegetação marginal no qual as correntes são mais intensas e a eficiência do fluxo maior, evidenciado na imagem, pela tonalidade da cor da água mais escura.



Figura 52 – Imagem Digital Globe 2018, mostrando o ponto “28d” na margem direita destituído de vegetação marginal com o processo de erosão de 2,87 km .

O **Segmento 3** de direção sudeste-nordeste apresenta 9 (nove) pontos intensos de erosão marginal, marcados pela maior ocorrência na margem esquerda do canal principal, com 7 pontos e, apenas 2 na margem direita. Chama a atenção também a extensão maior desses processos na maioria destes pontos, sobressaindo o ponto “35e” com 4,11 km (Figura 47).

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 Figura 53, são evidentes, na margem esquerda, os maiores trechos de vegetação ciliar suprimida enquanto na margem direita observa-se uma maior continuidade da vegetação ciliar e reduzida intensidade dos usos da terra. Verifica-se também a ocorrência junto ao canal principal de ilhas vegetadas de grandes extensões, segmento em que o gradiente e sinuosidade são extremamente reduzidos neste setor.



Figura 53 – Imagem Digital Globe 2018, evidenciando vários pontos de vegetação marginal suprimida na margem esquerda se comparado com a direita, coincidentemente local em que os processos erosivos foram identificados.



A Figura 54 expõe parte do ponto “37d” com o processo de erosão em uma margem estratificada do tipo mista na fazenda São Benedito, próximo a sede de Linhares (ES).



Figura 54 – Segmento 3 evidenciando a erosão na margem direita estratificada tipo mista próximo a sede do município de Linhares (ES). Foto: André Luiz N. Coelho (08/2018).

O **Segmento 4** de direção noroeste-sul apresenta, entre os quatro segmentos, o segundo que possui o maior gradiente do canal com 0,36% que associado ao material predominantemente não coesivo presente nas margens favorecem, em certa medida, o desencadeamento das erosões, com o registro de sete pontos de intensidade, marcados também, pela maior extensão (como observado no segmento 3) e concentrados na margem direita do canal principal com cinco pontos/áreas (Figuras 47 e 55).

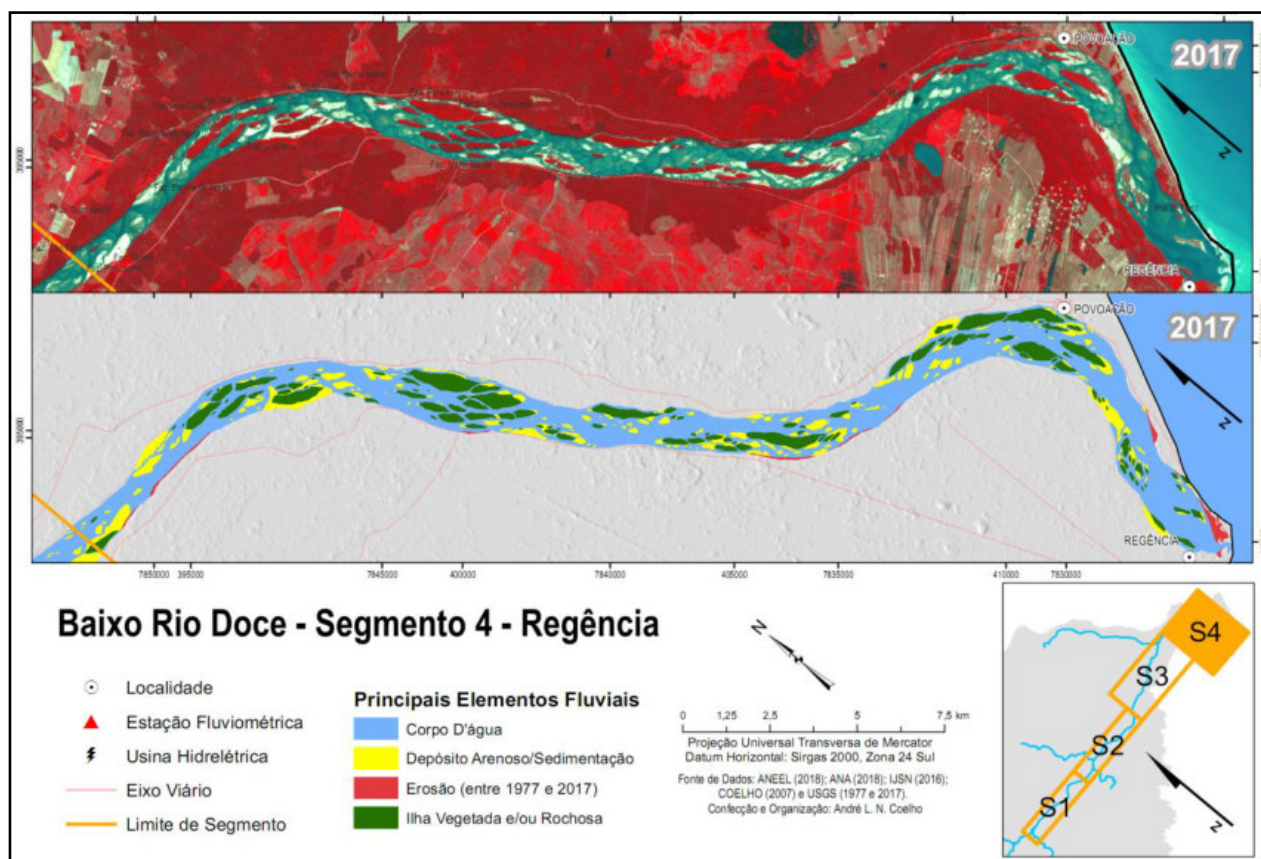


Figura 55 – Segmento 4 com a imagem do Landsat-8 falsa cor vermelha do ano de 2017 e abaixo os principais elementos fluviais da calha como corpo d'água, depósito arenoso, ilha vegetada e, em vermelho, os pontos de erosão identificados entre imagens de 1977 e 2017.



Ao analisar a imagem de satélite da Figura 55, que evidencia as ilhas, bancos arenosos e os pontos erosão, percebe-se que as correntes das águas são direcionadas para as margens (os locais com a maior intensidade da cor azul na imagem orbital), promovendo o desencadeamento dessas erosões, sobretudo, nos períodos de cheias do rio. O ponto de maior intensidade registrado foi junto à foz do rio, local em que predomina a instabilidade da linha de costa pelas correntes marítimas e as correntes do rio e/ou ondas marítimas (Figuras 56 e 57).



Figura 56 – Ponto “45e” com a erosão intensa da margem esquerda na localidade de Povoação, próximo à desembocadura.
Foto: André Luiz N. Coelho (07/2007).

Já a Figura 57, destaca o setor do rio “45e” marcado por uma extensão considerável de erosão ativa da margem esquerda próxima à localidade de Povoação e, explicado em parte, pelo tipo de constituição do material, predominantemente areno-argiloso nas adjacências da foz do rio Doce no trecho do rio em curva com maior energia das correntes.

O processo de erosão marginal, especialmente, decorrente da ação das correntes do rio, está diretamente associado às alterações provocadas no interior das bacias, como vazão natural e artificial, política de operação das barragens, demandas (abastecimento/irrigação/indústria) e



natureza das correntes fluviais, refletindo em uma condição instável (desequilibrada) do canal fluvial, fato já evidenciado por Coelho (2007 e 2012).

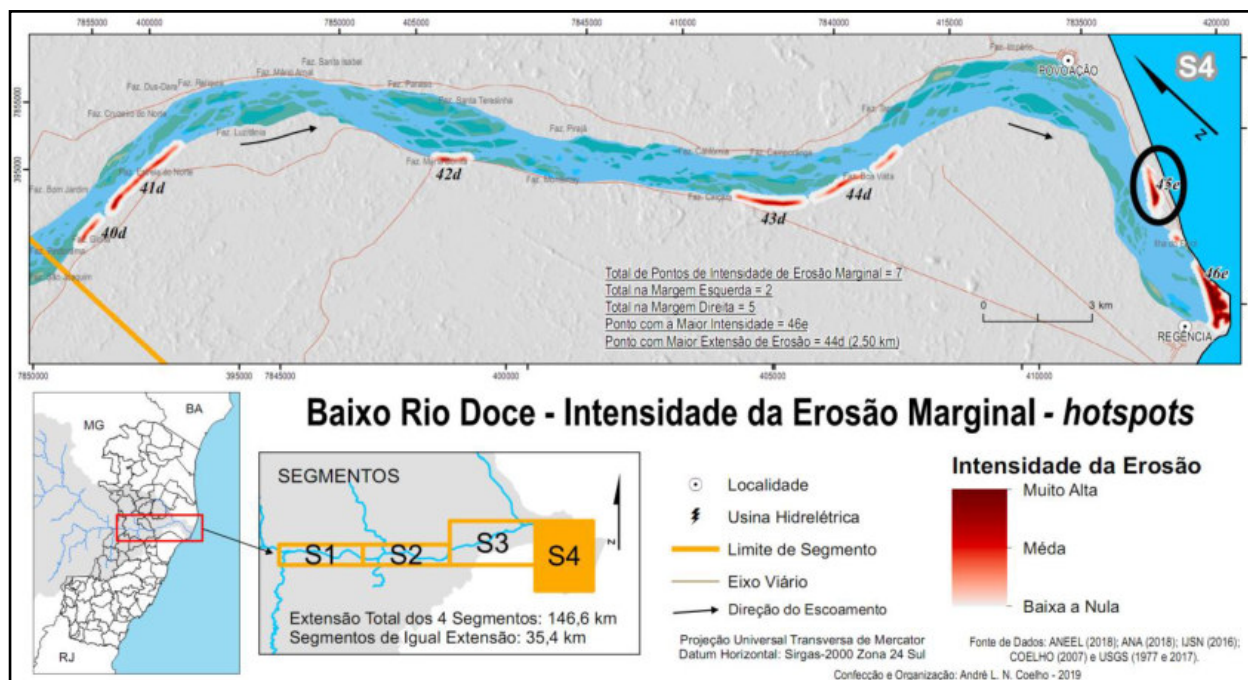


Figura 57 – Pontos de intensidade de erosão marginal, destacando o ponto 45e da foto anterior.

Um elemento que contribui para esse complexo processo é a litologia e granulometria do material presente nas margens, a exemplo daquelas formadas por sedimentos coesivos, não coesivos, mistos e construídos (obras de engenharia), que exercem um papel importante na estabilidade, ou não, do avanço da erosão marginal e na dinâmica do canal.

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 3 e 4 com 1,96 e 2,03 hectares/ano respectivamente, durante o período analisado.

Por fim, o emprego desta metodologia, com indicação dos pontos quentes a partir do uso de produtos de sensoriamento remoto com validação em campo, possibilita apresentar um panorama dos processos erosivos de médios e grandes sistemas fluviais, através de um estudo temporal, sobretudo, dos rios destituídos de análises/levantamentos dessa natureza. A metodologia permite ainda ampliar os resultados ao realizar um diagnóstico conjunto dos processos erosivos e sedimentação mensurando o balaço de erosão/sedimentação e relação taxa de erosão/taxa de sedimentação, entre outras análises.



CONCLUSÕES

O presente trabalho confirma as hipóteses apresentadas: 1) Que rio assume um comportamento distinto em cada trecho, evidenciado nos segmentos, diante da dinâmica hidrossedimentológica ao longo do tempo. 2) Constatou-se mudanças no canal de forma abrupta em qualidade e intensidade em diferentes setores/trechos do rio, comprovado nos produtos de sensoriamento remoto e em campo.

Confirmou também que os processos de sedimentação sobressaíram, reiterando as observações de Lima et al. (2005) e Almeida e Carvalho (1993), que a Bacia Hidrográfica do Rio Doce é considerada uma das mais prolíficas na produção de sedimentos do país, mesmo comparado com outras bacias de maior extensão, apresentando um histórico de problemas de assoreamentos/sedimentação acima da normalidade nos reservatórios e ao longo da calha principal. Aponta também, setores do rio, mesmo com o volume e fluxo de água reduzido, processos de erosão ativa decorrente a variação diária de vazões artificiais das UHEs nos horários de pico/ponta, sobretudo a de Mascarenhas, que está localizada a jusante das outras UHEs do canal principal.

Esta pesquisa priorizou e valorizou o uso conjunto dos dados/informações de agências e órgãos de referência, entre eles, a ANA, com informações hidrológicas, meteorológicas e da situação dos reservatórios operantes na bacia em estudo; a ANEEL com dados das UHEs; o IBGE com os censos e estimativas de população; a ONS, com o monitoramento de reservatórios, além dos produtos do INPE, USGS, IJSN, GEOBASES, IBAMA e IEMA juntamente com o uso de tecnologias integradas de SIG e Sensoriamento Remoto, trabalhos de campo, registros fotográficos, referencial bibliográfico selecionado, possibilitando aplicar uma metodologia satisfatória para análises dos processos de erosão e sedimentação em rio de médio porte.

Ademais, todos os produtos cartográficos elaborados possuem uma mesma base/estrutura, utilizada nos principais órgãos, agências e universidades, portanto, passíveis de alterações e



atualizações, o que permite por exemplo, dar continuidade ao monitoramento, por imagens de sensoriamento remoto, do canal principal do rio Doce, objetivando identificar alterações na morfologia do rio e ampliar o estudo para outros setores do canal principal na bacia.

Neste estudo, comprovou-se uma dinâmica geomorfológica operante de um rio, tipicamente, em busca de um novo equilíbrio fluvial em, praticamente, todos os segmentos analisados, merecendo destaque alguns processos/fatos observados:

- Diminuição gradual da vazão média, conforme dados da série histórica (1939 a 2017), coletados na estação de Colatina, com queda mais acentuada a partir da construção dos reservatórios e operação das UHEs de Mascarenhas e Aimorés, setores com registros de baixa pluviometria e de elevada temperatura, resultado em um elevado índice de evaporação do espelho d'água das águas barradas;
- Desequilíbrio Fluvial, potencializado pelas práticas de desmatamentos e, principalmente, devido à interferência direta no canal fluvial, com a construção das barragens de UHEs em série (mesmo que operando a fio de água), rompendo com a dinâmica dos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, ao longo do perfil longitudinal, responsáveis pela elaboração das formas de relevo fluvial. Revelou, a partir do cruzamento das imagens de satélites, o relativo entalhamento do leito do rio, após o barramento de Mascarenhas; migração de processos (nos locais em que ocorriam a deposição de sedimentos e formação de ilhas estão, atualmente, sendo erodidos e depositados em outros setores a jusante do canal principal); crescimento substancial da erosão marginal, de ilhas vegetadas e de barras arenosas, especialmente, nos dois últimos segmentos com a formação, extremamente acelerada, de um leito anastomosado. Este processo é potencializado pela ocorrência frequente de vazões mínimas a jusante dos reservatórios, que afetam por sua vez, a eficiência do transporte de sedimentos de fundo, principalmente, nos períodos de estiagens;
- Junto à desembocadura (localidade de Regência) foi constatado através da confrontação de imagens, campanhas de campo, entrevistas com moradores mais antigos e pescadores, os reflexos do desequilíbrio fluvial, decorrentes dos usos ao longo dos anos, que, somados à dinâmica estuarina e/ou deriva litorânea, estão aos poucos, alterando a morfologia na desembocadura do rio, podendo com o passar dos anos, desencadear processos erosivos mais intensos das praias adjacentes em função da nova dinâmica de transporte de sedimentos entre o rio e o mar;
- Em 2015 foi registrado uma das menores vazões do rio junto a foz com o fechamento da barra no sentido sul e abertura de um pequeno canal a norte da desembocadura favorecendo o avanço da cunha salina mais para a montante do rio, sobretudo nas marés de sizígia/maré viva.



Com base nestes acontecimentos, pode-se inferir que os processos, que se apresentam na morfologia fluvial adjacente à desembocadura e a própria foz, são, na realidade, um reflexo das intervenções que ocorrem à montante da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, necessitando de medidas que procurem reduzir tais efeitos.

Este estudo, de acordo com o cenário atual, aponta para a inviabilidade na implantação de novas UHEs, no trecho do canal principal, entre o município de Resplendor até a desembocadura, em função das condicionantes naturais (forma da bacia com pequeno acréscimo de vazão de sub-bacias na calha principal, clima operante com elevadas taxas de evaporação) e sócio-econômicas (crescimento populacional de municípios inseridos, neste setor, necessitando de novas demandas para abastecimento futuro, além do aumento da área cultivável e industrial), que podem causar, no futuro, conflitos de uso da água, colocando o estado capixaba em uma situação extremamente delicada.

Tais necessidades devem ser sanadas com o uso de alternativas que agredam menos o meio ambiente, especialmente, os ambientes fluviais, com o desenvolvimento e implantação de novas tecnologias viáveis, como, substituição de turbinas antigas das UHEs por novas e mais potentes e eficientes; investimento em outras formas de geração elétrica menos impactantes, como energia eólica; energia solar; energia gerada pelos oceanos como: maremotriz/energia das marés, energia das ondas, correntes (marés e oceânicas), gradiente de temperatura e gradiente de salinidade; aproveitamento de gás gerado pelo chorume dos aterros sanitários para geração dessa energia.

- Alternativas e Recomendações

- Emissão de Outorgas (medida paliativa)

Uma das alternativas empregadas com sucesso em outros estados brasileiros e países para minimizar conflitos de usos entre os diversos setores usuários na bacia e evitar impactos ambientais maiores aos corpos hídricos é o uso do instrumento de outorga²².

²² Outorga é o ato administrativo, mediante o qual o poder público outorgante (União, Estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso dos recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo (ANA, 2018a).



Segundo a ANA (2018a), a outorga é considerada importante e necessária para o gerenciamento mais eficiente dos recursos hídricos, pois permite ao administrador (outorgante) realizar o controle quali-quantitativo da água e ao usuário (requerente), a necessária autorização para implementação de seus empreendimentos produtivos.

A vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial, de modo que, quando da ocorrência da situação, todos os usuários, mantenham de certa forma, em operação os usos outorgados. Normalmente, as vazões de referência para concessão de outorgas são:

- $Q_{95\%}$ = Vazão com intervalo diário com 95% de duração²³;
- $Q_{7,10}$ = Vazão mínima média de 7 dias consecutivos e 10 anos de período de retorno;
- $Q_{\max 50}$ = Vazão máxima diária anual com 50 anos de período de retorno;
- $Q_{\max 100}$ = Vazão máxima diária anual com 100 anos de período de retorno.

Muitos órgãos gestores têm adotado a vazão mínima como o critério de outorga. O estado do Espírito Santo, em 2005, regulamentou a concessão de outorgas via Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) em até 50% da $Q_{7,10}$, nas sub-bacias do rio Doce. Já a ANA outorga 70% da $Q_{95\%}$ do canal principal do rio Doce podendo variar em função das peculiaridades de cada região. É importante salientar que há a necessidade de se evoluir nos critérios de emissão de outorgas, com estudos mais aprofundados que busquem suprir a carência de dados hidrológicos de bacias de drenagens, como a espacialização das vazões ou a adoção de novas vazões de referência.

A outorga deve ser entendida como uma medida paliativa que busca manter a qualidade e quantidade mínima de água durante as estiagens. Entretanto, no futuro próximo irão surgir novas demandas de captação de água (superficial e subterrânea), em função do crescimento urbano, industrial, agrícola para uma mesma quantidade de vazão na bacia, levando ao limite extremo da capacidade do rio/manancial de atender a essas novas necessidades.

²³ A ANA é responsável pelas outorgas no Rio Doce, seguindo os procedimentos estabelecidos em consonância com a Resolução CNRH no. 16, de 8 de maio de 2001. Outorga 70% da $Q_{95\%}$ (Vazão com intervalo diário com 95% de duração), podendo variar em função das peculiaridades de cada região.



Nesse sentido, é importante a adoção de outras medidas/incentivos que busquem melhorar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos, entre eles:

- Zoneamento e monitoramento das matas ciliares/florestas adjacentes, criando condições para uma atuação preventiva evitando o desmatamento através do uso de novas tecnologias de sensoriamento remoto;
- Recuperação de nascentes e reflorestamento de áreas subutilizadas (antigas áreas de pasto e agricultura) com a implantação de mudas nativas;
- Incentivo à criação de novas Unidades de Conservação (UCs), a exemplo da Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) e Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) conforme Lei Federal nº 9.985 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) além da manutenção e conservação do corredor ecológico Sooretama – Goytacazes – Comboios.
- Atuação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, com a criação de um fundo de recuperação de áreas degradadas de toda a bacia, paralelo ao da Fundação Renova – fundo específico para gerir os programas de reparação, restauração e reconstrução das regiões impactadas pelo rompimento da barragem da Samarco, ocorrido em novembro de 2015 - com o desenvolvimento de projetos, como a Faixa de Recuperação e Preservação Permanente (FRPP), que tenham como objetivo o alcance ou maior proximidade das Áreas de Preservação Permanente; entre outros;
- Incentivo à atuação do poder local/comunidades no desenvolvimento de projetos visando o resgate de tradições ligadas ao rio e educação ambiental (formal e informal);
- Melhoria constante na qualidade da água e tratamento de efluentes industriais e residenciais (criação/ampliação das Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs modernas e eficientes), além da coleta de lixo urbano/rural/industrial/hospitalar com destinação adequada para aterros sanitários.
- Monitoramento constante e eficiente das barragens de rejeitos com planos de Emergência.

Há que se resguardar, independentemente do modelo do instrumento econômico adotado ou a adotar na bacia e sub-bacias, a garantia de água (e saneamento) de qualidade para os diferentes segmentos sociais, inclusive, aqueles desfavorecidos que não podem pagar por esse recurso.



- **Outras recomendações:** de caráter emergencial

- Implantação da cobrança pelo uso da água (prevista na lei 9.433) com o objetivo de criar um fundo a ser utilizado, exclusivamente, para recuperação e manutenção hídrica da bacia;
- Ampliação do sistema de informações hídricas integrado, entre MG e ES, na bacia e sub-bacias do rio Doce, com uso de banco de dados, contendo informações como cadastro de usuários outorgados, elaboração de boletins da situação hídrica (vazão/cota) em tempo real, qualidade das águas, prevenção de cheias, possibilitando a atualização desses dados/informações;
- Reativação de Estações Fluviométricas, pela ANA, em pontos, estratégicos como Resplendor (56948000), Linhares (56998000) e estações mais próximas à foz do canal principal, com a atualização constante dos dados no *site* da referida agência;
- No que se refere à construção de novas UHEs (pequeno e grande porte) em canais principais, sugere-se ACRESCENTAR nos estudos de EIAs / RIMAs:
 - Estudo socioambiental de projetos de construção de barragens, abrangendo a área do lago e todo o trecho do rio a jusante do barramento, para identificar potencialidades e limitações de usos, como por exemplo, clima, vazões, mudanças na morfologia fluvial como desencadeamento de processos erosivos e de sedimentação, população, indústrias, entre outros;
 - Análise mais abrangente dos órgãos competentes em relação as operações de *Flushing / Pass Throught* das UHEs/Barramentos (operação de transporte de sedimentos depositados no lago da barragem para jusante desta): Informar a população no entorno e adjacências em relação ao procedimento, mas também, comunicar, quando for o caso, o *Pass Throught* para as outras UHEs a jusante do canal. Apresentar um parecer aos órgãos competentes com a estimativa de sedimentos a ser transportada e a rotina de acompanhamento da dinâmica deste sedimento ao longo do tempo, avaliando como se distribui e deposita; monitoramento dos possíveis efeitos geomorfológicos e impactos nas localidades ribeirinhas;
 - Estudos, identificando as atuais demandas de água bruta (urbana, industrial e irrigação), estimando também, as necessidades futuras como os projetos de transposição de águas entre bacias de drenagens;
 - Plano de segurança das barragens (análise permanente das estruturas das barragens/apresentação de planos de emergência/evacuação);



- Estudos detalhados do clima da região, considerando os valores reais de evaporação de espelho d'água do reservatório e efeitos na vazão do rio a jusante dos barramentos, apresentando um cenário e quais ações serão efetuadas, em períodos prolongados de estiagens;
- Revisão da viabilidade do estudo de potencial hidrelétrico (Multicritério Técnico-Econômico), considerando as demandas atuais e futuras por água bruta. Sincronização e integração de estudos observacionais e modelagem, incluindo, as estimativas de evaporação do espelho d'água;
- Estudos dos prováveis efeitos na morfologia fluvial (Multicritério Ambiental) a jusante do barramento e casa de força, em função do aprisionamento de sedimentos de fundo e turbidez da água e os efeitos em cascata de usinas, quando for o caso, além, das implicações ecológicas de alteração hidrológica;
- Monitoramento constante da desembocadura de rios com o mar, decorrentes das alterações das vazões (vazões artificiais) e aprisionamento de sedimentos de fundo para reservatórios de grande porte, ou que estejam a uma distância inferior a 200 km da desembocadura.

A área de 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. Este sistema compreende, também, outras escalas espaciais, outros elementos (fauna e flora), 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. Casos lamentáveis de ambientes com as mesmas características geomórficas, com níveis de degradação avançados, são os das Planícies Costeiras do Rio São Francisco e do Rio Paraíba do Sul. Atualmente, a área de estudo, comparada com os casos anteriores, resiste, mantendo, 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.

Enfim, 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.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBINO, Jacqueline. Processos de Sedimentação Atual e Morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação, ES. 1999. 175 f. Tese de Doutorado (Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo), São Paulo, 1999.
- ALMEIDA, Sérgio B.; CARVALHO, Newton de O. Efeitos do Assoreamento de Reservatórios na Geração de Energia Elétrica: Análise da UHE de Mascarenhas, ES. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Anais... Gramado, RS, 1993. pp. 1-8.
- ANA - Agência Nacional das Águas: Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do rio Doce. v.13, n.01, 2018, janeiro 2018b.
- ANA - Agência Nacional das Águas: *hidroweb*. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 7 abr. 2018a
- ANA - Agência Nacional das Águas: Uso e Ocupação do Solo em Moderada Resolução Espacial (10m) da Bacia do Rio Doce - 2016. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?uuid=49a3aa22-fff4-4527-a17b-64b6ad31d8cb>>. Acesso em: 23 abr. 2017
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - Mapa de Produção de Sedimentos do Brasil (formato matricial), 2006. Disponível em: <<https://sigel.aneel.gov.br/Down/>> Acesso em: 12 fev. 2018
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica Atlas da Energia Elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2009.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica BIG – Banco de Informações de Geração: ANEEL, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 7 abr. 2018.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Planos de Informações vetoriais – Usinas Hidrelétricas - UHEs, Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs e Centrais Geradoras Hidrelétricas CGH, 2017. Disponível em: <<https://sigel.aneel.gov.br/Down/>> Acesso em: 12 fev. 2018.
- ARAÚJO, A. P.; ROCHA, P. C. Regime de Fluxo e Alterações Hidrológicas no Rio Tibagi - Bacia do Rio Paranapanema/Alto Paraná. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, Set. 2010.
- ASHMORE Peter. Towards a Sociogeomorphology of Rivers. Geomorphology. Volume 251, 15 December 2015, pp. 149–156.
- BAPTISTA Márcio; LARA Márcia, Fundamentos de Engenharia Hidráulica - 4ª Ed, UFMG, 2016.
- BECKER, Berta K. O Norte do Espírito Santo: região periférica em transformação. 1969. 130 f. Tese de concurso para livre-docência. Instituto de Geociências - UFRJ, 1969.
- BERGAMASCHI, R. B. SIG Aplicado à Segurança no Trânsito: Estudo de caso no município de Vitória – ES. 74p. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Vitória, 2010.
- BIGARELLA, João J. Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. Florianópolis: Ed. UFSC v.3, 2003. pp. 877-1436.
- BORGIO, I.; ROSA, L.; PACHECO, R. J. Norte do Espírito Santo: Ciclo madeireiro de povoamento. Vitória: Edufes, 1996. 178 p.
- BOTELHO, Rosângela G.M.; SILVA, Antônio S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental In: GUERRA, A. J. T.; Vitte, Antônio C (orgs.) Reflexões Sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. pp. 153-192.
- BRANDT, S.A., Classification of Geomorphological Effects Downstream of Dams CATENA, v. 40, Issue 4, 2000. pp. 375-401.
- CAMPANHOLI, Fernando, The Production of the Sediment of the South America Continent: Propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 7, nº 1. 2006.
- CARNEIRO, Paulo R. F. Dos Pântanos à Escassez: Uso da água e conflito na Baixada dos Goytacazes. São Paulo: Annablume, 2004. 136 p.
- CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática. Editora Interciência. 2ª. Ed. 2008. 602 p.
- CHARLTON, Ro. Fundamentals of Fluvial Geomorphology, Routledge, New York, 2008. 280p.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio, Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981. 313 p.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio, Geomorfologia. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980. 188 p.
- CHRISTOPHERSON, Robert W. Geosystems: An introduction to physical geography. 8th ed. Pearson, 2014.
- CHURCH, M. Channel Morphology and Tipology. In: PETTS Geoffrey E. e CALOW, P. (orgs). River flow sand channel forms. Blackwell Science, 1996.



- COELHO NETO, Ana L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. 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. 93-148.
- COELHO, A. L. N.; GOULART, A. C. O.; BERGAMASCHI, R. B. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Espírito Santo. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, 11., 2012, Maringá. Anais... Maringá: SINAGEO, 2012.
- COELHO, André L. N. Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. In Caminhos de Geografia - Instituto de Geografia UFU, Programa de Pós-Graduação em Geografia: Uberlândia. V. 9, n.26, 2008.
- COELHO, André L. N.; CUNHA, Sandra B. ; SOUZA, C. A. Efeitos na Morfologia Fluvial Provocados pelo Barramento da UHE Santo Antônio no Rio Madeira. Revista Geonorte , v. 10, pp. 18-24, 2014.
- COELHO, André. L. N. Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES, 2007. 237 f. Tese de Doutorado (Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense) UFF, Niterói – RJ, 2007.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Atlas Pluviométrico do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>> Acesso em 22/05/2018 - 2006.
- CUNHA, S. B. Rios Desnaturalizados. In: BARBOSA, J. L. (Org.). Ordenamento Territorial e Ambiental. 1. ed. Niterói: EDUFF, 2012, pp. 171-191.
- CUNHA, Sandra 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, Sandra B. Canais Fluviais e a Questão Ambiental. In: CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T. (orgs.) A Questão Ambiental: diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. pp. 219-238.
- CUNHA, Sandra B. 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.
- CUNHA, Sandra B. Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil). Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ, 1995. 378 p.
- DALLAPICOLA, Maionny Soares Queiza: Desnaturalização do Rio Doce: Uma abordagem geográfica das intervenções no setor urbano de Colatina/ES, Trabalho de Conclusão de Curso - GEOGRAFIA/UFES. 2015.
- DEFESA CIVIL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO: Atlas das Áreas com Potencial de Riscos do Estado do Espírito Santo – ARES, 2006.
- DEINA, Miquelina Aparecida. Alterações hidrogeomorfológicas no baixo curso do rio Jucu (ES), 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. 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, nº 11, 1981. pp. 225-237.
- DREW, David. Processos Interativos Homem-Meio Ambiente. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 224 p.
- ESPINDOLA, Haruf S. Sertão do Rio Doce, Bauru – SP: EDUSC, 2005. 488 p.
- FEARNSIDE, Philip; PUEYO, Salvador. Greenhouse-gas Emissions From Tropical Dams. Nature Climate Change 2002. pp.382–384.
- FERNANDES, José Alberto Rio; TRIGAL, Lorenzo Lopéz; SPOSITO, Eliseu Savério. Dicionário de Geografia Aplicada: Terminologia da análise, do planejamento e da gestão do território, Porto Editora, 2016, 568P.
- FERNANDEZ, Oscar V. Q. Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens: Região de Porto Rico, 1990. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geociências), UNESP Rio Claro - SP, 1990.
- FERREIRA, Artur Gonçalves. Meteorologia Prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 190 p.
- GALLOWAY, W.E. Process Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional systems. In: Deltas, models for exploration, Houston Geological Society - New York, 1975.pp. 87-98.
- GEOBASES - Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo – Dados Planos de Informações (2013). Disponível em: <<https://geobases.es.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2017
- GENZ, F.; LUZ, L. Metodologia para Considerar a Variabilidade Hidrológica na Definição do Regime Natural de Vazões no Baixo Curso do Rio São Francisco. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo/SP. Anais, 1 CD-ROM.
- GIL, Andressa. P. ; COELHO, André. L. N. Análise do Comportamento Espaço-Temporal das Geoformas Fluviais do Baixo Curso do Rio Doce com o Auxílio de Imagens Orbitais Landsat 8 - Linhares, ES. In: Leonardo Tullio. (Org.). Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2. 1ed. Ponta Grossa - PR: Atena, 2018, v. 1, p. 14-24.
- GRAF, William L. Downstream Hydrologic and Geomorphic Effects of Large Dams on American Rivers, Geomorphology v. 79. 2006. pp. 336–360.



- GREGORY, K. J. The Human Role in Changing River Channels Geomorphology. Volume 79, 15 September 2006, pp. 172-191.
- HANASAKI, Naota; KANAE, Shinjiro; OKI, Taikan, A Reservoir Operation Scheme for Global River Routing Models. Journal of Hydrology, 2006. pp. 22-41.
- HECHT, Jory S.; LACOMBE, Guillaume; ARIAS, Mauricio E.; DANG, Thanh Duc; PIMAN, Thanapon. Hydropower Dams of the Mekong River Basin: A review of their hydrological impacts, Journal of Hydrology, 2019 pp. 285–300.
- HESS, Darrel. Fluvial Processes, in _____. McKnight's Physical Geography: A landscape appreciation, 11th ed. Pearson, 2014.
- HUGGETT, Richard John. Fluvial Landscapes, in _____. Fundamentals of Geomorphology, Third edition. Taylor & Francis e-Library, 2011. pp. 187-246.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – SISCOM: Planos de Informações de Unidades de Conservação, Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/> e <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm#> 2015. Acesso em: 12 dez. 2017.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartas Topográficas escala 1:100.000 – 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, 1970.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas Populacionais para os Municípios e Para as Unidades da Federação Brasileiros em 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2018.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas Populacionais para os Municípios e Para as Unidades da Federação Brasileiros em 2018. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 06 nov. 2018.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Planos de Informações Vetoriais. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/>. Acesso em: 7 abr. 2018.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resolução IBGE nº 1/2005 que altera a caracterização do referencial geodésico brasileiro. ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_25fev2005.pdf Acesso em 30/07/2017 (2005).
- ICOLD - International Commission on Large Dams. World Register of Dams 2019. Disponível em: <https://www.icold-cigb.org> Acesso em 04/03/2019.
- IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente, Geomática- I3GEO, <<http://189.84.218.229/aplicmap/geral.htm?5d75a20e0280f3b02337f1fae96ed33b>>. Acesso em 30/07/2017. 2017.
- IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente, Unidades administrativas de recursos hídricos do estado do Espírito Santo, 2004 (CD-Rom).
- IEMA - Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Vitória-ES. Levantamento Aerofotogramétrico, Apoio de Campo, Aerotriangulação e elaboração Ortofotomosaicos. (RGB) 2007/2008 Pixel 1x1m, UTM, Datum WGS84, Zona 24s.1:15.000 PEC "A", 2008.
- IJSN/CGEO - Instituto Jones dos Santos Neves / Coordenação de Geoprocessamento – Base de Dados Geográficos. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/>> Acesso em 22/09/2017 - 2013.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens de Satélite Landsat-2 MSS Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 26 de Jan. 2016.
- JENSEN, John R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres, São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. e MILLER, J. P. Fluvial Processes in Geomorphology. New York. Dover Publication, INC, 1995.
- LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A.; CARVALHO, N. DE O.; VIEIRA, M. R.; SILVA, E. M. Suspended Sediment Fluxes in the Large River Basins of Brazil, 291. IAHS-AISH Publication, pp. 355 - 363, 2005.
- LU, Weiwei; LEI, Huimin; YANG, Dawen; TANG, Lihua; MIAO, Qinghua. Quantifying the impacts of small dam construction on hydrological alterations in the Jiulong River basin of Southeast China, Journal of Hydrology, 2018. PP. 382–392
- MCCULLY, Patrick. Rivers No More: The Environmental Effects of Dams ____ in: Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams. New York: Blackwell Publishing, 2001. Cap. 2.
- MENEZES, P. L.; FERNANDES, M. C. Roteiro de Cartografia. SP: Oficina de Textos. 2013.
- MORAIS, Roberto P. Mudanças históricas na morfologia do canal do Rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garças (MT) até a foz do Rio Cristalino na Ilha do Bananal no período entre as décadas de 60 e 90, 2002. 176 f. Dissertação (Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia) UFG, Goiana – Goiás 2002.
- MUEHE, Dieter. O Litoral brasileiro e sua compartimentação, in: CUNHA, S. B. & GUERRA, A T. (orgs). Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. p. 273–349.



- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Evaporações Líquidas nas Usinas Hidrelétricas. RJ: ONS, 2004. 61 p.
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos. RJ: de 2016. 163 p.
- PORTUGUEZ, Anderson Pereira. Geografia Humana Del Bajo Rio Doce: Desarrollo local y estrategias de supervivencia de las comunidades de pescadores del litoral norte del Estado de Espírito Santo. Ituiutaba: Edição do Autor. 2010. 655p.
- RADAMBRASIL Projeto - Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. v. 34, Folha SE 24 Rio Doce. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. 554 p.
- RAMOS, André L. D. Análise Integrada e Estrutura da Paisagem das Áreas de Proteção Permanente e Zona Ripária do Baixo Rio Doce, 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Espírito Santo - UFES/CCHN.
- RIMA UHE DE AIMORÉS - Relatório de Impacto Ambiental da Usina Hidrelétrica de Aimorés, IESA / CEMIG s.d.
- ROCHA, P. C. Indicadores de alteração hidrológica no Alto Rio Paraná: intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 191-211, abr. 2010.
- ROCHA, P. C., SANTOS, M. L.; SOUZA FILHO, E. E. Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a montante. Anais do VIII Encuentro de Geógrafos de América Latina. 2001.
- RODRIGUES, C.; ADADI, S., Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI Luis A.B. (org.) Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental, SP: Oficina de Textos, 2005. p. 147-166.
- SANTOS, Milton; SILVEIRA, Maria L. Brasil Território e Sociedade no Início do Século XXI. São Paulo: Record, 2001. 478 p.
- SARTÓRIO, Marcus Vinícius Oliveira. Desnaturalização dos Sistemas Fluviais Urbanos: O caso do Canal da Costa e do Canal Bigossi, Vila Velha (Es), 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.
- SENRA, João B. Água, o desafio do terceiro milênio. In: VIANA, Gilney; SILVA, Marina; DINIZ, Nilo (Orgs) O desafio da sustentabilidade: um debate socioambiental no Brasil, São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2001. p. 133–155.
- SILVA, Alexandre M.; SCHULZ, Harry E.; CAMARGO, Plínio B. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas, São Carlos - São Paulo: RiMa. 2003. 37 p.
- SLOCUM, Terry A.; MCMASTER, Robert B; KESSLER, Fritz C.; Howard, Hugh H. Thematic Cartography and Geovisualization, 3rd Edition, Ph. Series in Geographic Information Science, Hardcover. 2008.
- SOARES, Paulo C.; LANDIM, Paulo M. B., Contribuição ao Estudo do Delta do Rio Doce: Aspectos geomorfológicos. Not. Geomorfol., Campinas, 17 (34), dez. 1977. p. 47-58.
- SOUZA, C. A. de. Dinâmica do Corredor Fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da Ilha de Taiaimã - 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 Taiaimã -MT. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas Três Lagoas - MS, V 1 – n.º 5 - ano 4, Maio de 2007.
- STEEVEAUX, José C.; LATRUBESSE, Edgardo M. Geomorfologia Fluvial. SP: Oficina de Textos. 2017.
- STRAUCH, N. A Bacia do Rio Doce. Rio de Janeiro: IBGE. 1955. 199 p.
- SUGUIO K.; BIGARELLA, J. J., Ambientes Fluviais. 2. ed. Curitiba: UFPR, 1990. 183 p.
- SUGUIO K.; KOHLER, H. C. Quaternary barred lake systems of the Doce River (Brazil). Anais... Academia Brasileira de Ciências, RJ, v. 64, nº 2, 1992. p. 183-191.
- TEIXEIRA, Romeu do Nascimento. O Vale do Rio Doce (CVRD) – 2002.
- USGS - Geological Survey / Serviço Geológico Americano. Dados de Altitude ASTER/GDEM - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer / Global Digital Elevation Model. Id.: ASTGDEMv2_0520W041. Data de passagem 17/10/2011. <http://earthexplorer.usgs.gov> - Acesso em 01/01/2017- 2011.
- USGS - Geological Survey / Serviço Geológico Americano. IMAGEM LANDSAT-8. Anos 2016 e 2017 e IMAGEM SENTINEL2 Ano 2018. <http://earthexplorer.usgs.gov> - Acesso em 11/12/2017, 2017.
- VILLELA, S. M; MATOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: Difel, 1978.
- WALLING D.E. Human Impact on Land–Ocean Sediment Transfer by the World's Rivers, Geomorphology Elsevier. 2006. pp. 1-25.
- XIE, Qiancheng; YANG, James; LUNDSTRÖM, T. Field Studies and 3D Modelling of Morphodynamics in a Meandering River Reach Dominated by Tides and Suspended Load. Fluids. 4. 10.3390/fluids4010015, 2019.



ANEXOS



- ANEXO 1 -

CAPTURA DE TELA DO SISTEMA HIDRO: média de vazões



Estações

56948000 – Resplendor (01/1938 – 12/1982)

56994500 – Colatina (01/1939 – 12/2017)

56998000 – Linhares (01/1967 – 12/1993)

<

<



Hidro - [Estatísticas de Vazões Médias]

Sistema Editar Exibir Janela Ajuda

Fechar

Estação Linhares

Séries

Série: 56998000 (Importado, Consistido, ..., 08/1967 - 12/1993)

Médias Diárias Gráfico de Médias Diárias Médias Mensais Máximas Mensais Mínimas Mensais Leituras Mensais Situação Mensal

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1967								414	400	419	1005	1457	
1968	1741	1481	2223	1236	896	771	704	618	696	955	1076	1426	1151,917
1969	1102	1041	1003	657	560	555	549	455	410	497	1108	1986	826,917
1970	2216	1627	943	918	656	542	544	508	618	890	1509	1340	1025,917
1971	777	516	679	462	388	450	366	287	338	772	2217	2425	806,417
1972	1115	899	1286	896	670	536	613	539	515	834	1222	1645	897,5
1973	1352	1139	2108	1328	900	700	612	561	518	1005	1451	1505	1098,25
1974	1810	1312	1173	1218	913	732	694	593	525	716	814	1095	966,25
1975	1744	1319	803	874	591	509	524	400	340	824	1429	1151	875,667
1976	585	852	518	527	384	347	341	314	548	774	1410	2005	717,083
1977	1954	1758	897	1020	755	574	553	442	417	538	744	1397	920,75
1978	1959	1499	1457	1160	885	832	796	626	529	790	809	1393	1061,25
1979	2503		2989*	1693	1292	1187	1017	1010	765	676	1460	1418	
1980	2652	2130	1276	1691	1106	969	883	754	660	647	863	1758	1282,417
1981	1430	1017	1219	1273	793	723	566	483	351	629	2894	2052	1119,167
1982	2835	1624	2368	1911	1274	1070	918	817	678	662	566	805	1294
1983	2793	2254	1825	1578	1180	1059	849	739	757	1340	1608	2783	1563,75
1984	1407	1059	1019	1088	701	557	526	517	703	838	920	2466	983,417
1985	4529	2987	2336	1485	1116	901	802	739	676	790	1028	1550	1578,25
1986	2464	1252	807	604	595	574	488	576	412	245	412	917	778,833
1987	1140	691	1088	909	530	468	319	259	288	313	794	1863	721,833
1988	1892	1388	1163	875	622	540	410	337	268	439	716		
1989			960	466									
1990	870	580	491	434	415	313	361	316	393	380	537	605	474,583
1991	1674	1647	1714	1151*	769*	583*	488*	457*	383*	555*	1036	1092	962*
1992	2624	3170	1419	983	832	623	575	492	480	806	2227	2166	1366,417
1993	2015	1256	897	880	707	613	515	491	403	470	548		
Média	1887,32	1437,417	1333,115	1050,654	781,2	669,12	600,52	528,615	502,731	684,769	1169,346	1595,833	1021,481

* - estimado; ? - duvidoso; # - régua seca



- ANEXO 2 -

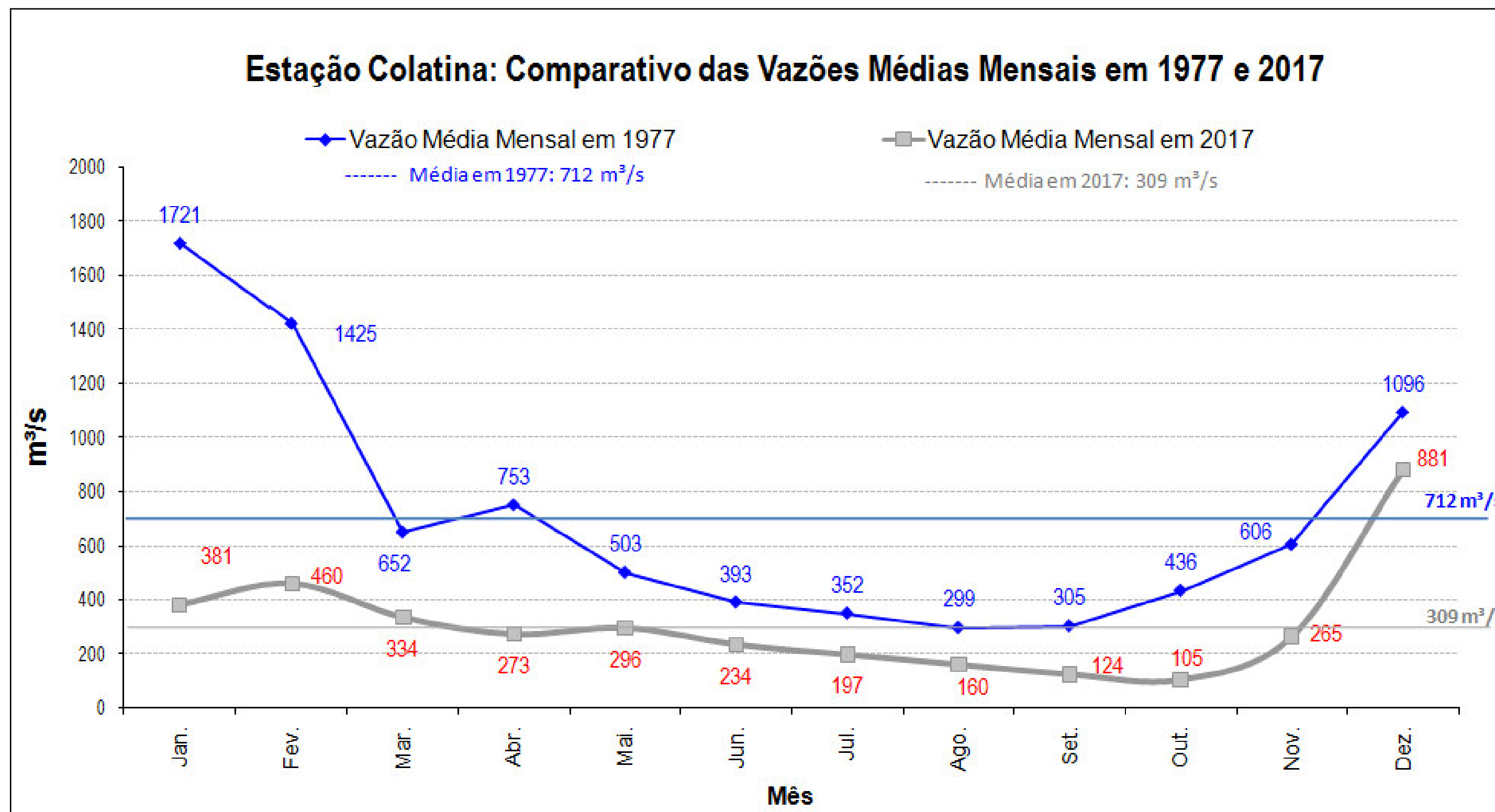
Vazões Anuais 1977 e 2017
Destaque para a data de aquisição das imagens dos satélites

Sistema de Informações Hidrológicas Versão Web 3.0
2018 Agência Nacional de Águas (ANA)
Código / Nome da Estação:56994500 / Colatina

Ano	Mês	Máxima	Mínima	Média	Dia Máxima	Dia Mínima	DIA																														
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2017	Janeiro	824	245	381,3	19	28	480,7	439,6	370,7	352,6	320,4	352,6	320,4	322,5	283,5	287,5	299,7	326,7	305,8	350,1	295,6	373,3	528,4	656,9	823,9	665,9	508,6	428,8	368,1	365,5	388,9	263,9	293,6	244,8	258,1	289,5	254,3
	Fevereiro	977	237	459,9	11	1	237,4	254,3	248,6	312,0	368,1	261,9	322,5	525,6	792,2	907,6	976,7	852,6	770,3	669,0	627,1	534,1	464,2	428,8	415,4	350,1	299,7	418,1	322,5	326,7	307,9	310,0	299,7	273,6			
	Março	478	276	334,4	31	20	312,0	281,5	318,3	347,5	310,0	310,0	318,3	326,7	324,6	285,5	283,5	326,7	322,5	326,7	316,2	297,6	314,1	277,6	281,5	275,6	281,5	365,5	423,4	442,3	355,2	347,5	322,5	328,8	445,0	420,8	477,9
	Abril	429	228	272,8	2	15	383,7	428,8	357,8	331,0	339,5	312,0	263,9	269,7	248,6	254,3	242,9	269,7	246,7	244,8	228,2	242,9	242,9	242,9	254,3	250,5	252,4	289,5	244,8	248,6	231,8	248,6	252,4	237,4	237,4	285,5	
	Maio	424	230	296,2	2	20	308,7	424,5	372,7	329,0	322,2	297,5	295,2	304,2	290,8	290,8	288,5	277,5	273,0	251,2	253,4	244,7	259,9	240,4	242,5	229,6	249,0	279,7	259,9	284,1	290,8	379,7	372,7	331,3	329,0	290,8	320,0
	Junho	295	155	234,1	2	28	279,7	295,2	259,9	253,4	273,0	251,2	244,7	264,3	259,9	251,2	238,2	242,5	236,1	249,0	219,0	229,6	240,4	223,2	227,5	242,5	212,7	221,1	231,8	229,6	221,1	216,9	171,2	155,1	206,3	175,3	
	Julho	240	161	196,9	7	6	175,3	171,2	183,5	225,4	225,4	161,1	240,4	214,8	223,2	191,7	191,7	195,9	200,1	221,1	214,8	163,1	189,7	187,6	181,4	181,4	195,9	189,7	189,7	183,5	193,8	193,8	198,0	195,9	236,1	206,3	183,5
	Agosto	196	143	159,7	1	25	195,9	189,7	171,2	145,2	171,2	157,1	155,1	161,1	159,1	161,1	153,1	167,2	181,4	171,2	173,3	167,2	171,2	175,3	163,1	155,1	149,1	145,2	147,2	145,2	143,2	143,2	145,2	145,2	147,2	145,2	151,1
	Setembro	206	95,6	124,2	1	28	206,3	163,1	147,2	155,1	151,1	141,3	137,3	133,4	137,3	123,8	135,4	135,4	116,1	101,1	97,4	104,8	106,7	104,8	114,2	123,8	110,5	108,6	135,4	116,1	110,5	110,5	104,8	95,6	99,3	99,3	
	Outubro	141	68,8	104,7	15	31	93,8	97,4	95,6	99,3	97,4	99,3	119,9	116,1	112,3	104,8	106,7	119,9	123,8	123,8	141,3	129,6	127,6	127,6	125,7	125,7	127,6	121,9	110,5	90,1	79,3	74,0	72,3	72,3	70,5	70,5	68,8
	Novembro	579	110	264,6	25	1	110,5	137,3	165,2	185,5	153,1	155,1	191,7	193,8	195,9	183,5	204,2	219,0	212,7	208,4	231,8	225,4	206,3	195,9	189,7	216,9	231,8	238,2	324,5	299,7	578,6	538,7	556,1	533,7	450,8	405,5	
	Dezembro	2058	300	880,7	7	31	415,0	543,6	1115,2	1438,5	1867,3	1820,5	2057,8	1789,4	1333,2	1247,7	1101,5	1226,5	1091,2	1070,8	1060,6	881,6	736,1	717,6	699,3	621,5	596,2	501,7	477,3	462,8	386,7	347,3	410,3	358,8	317,7	308,7	299,7
		Médias	571	187	309			266,6	285,5	317,1	347,9	383,2	360	388,9	385,1	363,4	357,5	351,9	363,3	340	332,3	321,5	299,5	299	298,2	309,9	286,5	267,9	275,7	269,6	266,2	274	264,5	266,6	247,7	254,3	245,2

Ano	Mês	Máxima	Mínima	Média	Dia Máxima	Dia Mínima	DIA																															
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1977	Janeiro	3569	627	1721	26	18	1977,0	1717,0	1681,0	1456,0	1267,0	1591,0	1039,0	983,0	903,0	879,0	794,0	772,0	750,0	787,0	719,0	719,0	655,0	627,0	757,0	1195,0	1600,0	2237,0	2957,0	2933,0	3209,0	3569,0	3185,0	2921,0	3089,0	3017,0	3361,0	
	Fevereiro	3998	824	1425	2	26	3725,0	3998,0	3185,0	2479,0	2105,0	1857,0	1645,0	1492,0	1384,0	1285,0	1213,0	1123,0	1087,0	1007,0	975,0	935,0	935,0	895,0	895,0	855,0	871,0	832,0	840,0	840,0	855,0	824,0	871,0	895,0				
	Março	879	530	652,3	23	17	871,0	810,0	810,0	734,0	719,0	676,0	690,0	655,0	648,0	669,0	607,0	593,0	627,0	607,0	587,0	567,0	530,0	536,0	554,0	548,0	548,0	580,0	879,0	847,0	742,0	648,0	600,0	554,0	542,0	560,0	683,0	
	Abril	1600	458	753	25	20	765,0	757,0	967,0	983,0	943,0	1023,0	903,0	810,0	727,0	690,0	600,0	620,0	554,0	542,0	536,0	506,0	518,0	476,0	482,0	458,0	482,0	494,0	641,0	727,0	1600,0	1276,0	1055,0	927,0	810,0	719,0		
	Maio	655	440	503,2	1	27	655,0	627,0	587,0	573,0	548,0	524,0	500,0	506,0	518,0	500,0	488,0	482,0	470,0	482,0	470,0	482,0	452,0	488,0	500,0	512,0	506,0	518,0	518,0	506,0	458,0	452,0	440,0	464,0	464,0	458,0	452,0	
	Junho	452	322	393,1	4	24	446,0	446,0	440,0	452,0	424,0	424,0	435,0	429,0	370,0	429,0	413,0	396,0	370,0	355,0	385,0	380,0	401,0	390,0	350,0	365,0	380,0	360,0	370,0	322,0	345,0	360,0	429,0	350,0	380,0	396,0		
	Julho	407	299	352,3	4	25	370,0	385,0	375,0	407,0	396,0	370,0	355,0	370,0	365,0	380,0	360,0	365,0	370,0	355,0	390,0	317,0	355,0	340,0	340,0	326,0	345,0	340,0	345,0	340,0	299,0	317,0	326,0	331,0	335,0	331,0	322,0	
	Agosto	350	266	299,5	11	21	317,0	303,0	313,0	313,0	308,0	322,0	313,0	313,0	308,0	313,0	350,0	335,0	322,0	308,0	286,0	294,0	290,0	286,0	278,0	317,0	266,0	274,0	282,0	274,0	286,0	278,0	290,0	294,0	290,0	286,0	274,0	
	Setembro	355	274	304,9	30	1	274,0	278,0	278,0	278,0	282,0	299,0	286,0	331,0	345,0	345,0	350,0	350,0	326,0	326,0	322,0	278,0	286,0	294,0	299,0	286,0	282,0	286,0	282,0	282,0	317,0	274,0	308,0	313,0	335,0	355,0		
	Outubro	655	303	436	11	7	340,0	335,0	331,0	326,0	308,0	313,0	303,0	385,0	530,0	593,0	655,0	614,0	567,0	488,0																		
	Novembro	0	0	606																																		
	Dezembro	0	0	1096																																		
		Médias	1077	362	712			974	965,6	896,7	800,1	730	739,9	646,9	627,4	609,8	608,3	583	565	544,3	525,7	518,9	497,6	491,3	481,3	495	540,2	586,7	657,9	790,4	785,7	901,2	888,7	833,8	783,2	780,6	765,3	1018

Vazões Anuais 1977 e 2017






- ANEXO 3 -

VAZÃO EM TEMPO REAL A JUSANTE DA UHE DE MASCARENHAS

- no dia do campo de 09/08/2018 à 11/08/2018 -

**ANA**
Agência Nacional de Águas

Sistema de Monitoramento Hidrológico

Últimos dados | Série histórica | Estações | Supervisão | Administração |
Pesquisar Dados | Exportar Dados |

ORIGEM	BACIA	SUBBACIA	ESTAÇÃO
<todos>	2 Rio Tocantins	53 RIOS PARDO,CACHOEIRA E OUTROS	56675080 UHE GUILMAN-AMORIM JUSANTE
ANA/INPE	3 Atlântico, Trecho Norte/Nordeste	54 RIO JEQUITINHONHA	56666000 UHE GUILMAN-AMORIM RIO DA PRATA
ANA/SIVAM	4 Rio São Francisco	55 RIOS MUCURI,SAO MATEUS E	56992400 UHE MASCARENHAS BARRAMENTO
Setor Elétrico	5 Atlântico, Trecho Leste	56 RIO DOCE	56992480 UHE MASCARENHAS JUSANTE

Estação: 56992480 UHE MASCARENHAS JUSANTE

Sub-bacia:RIO DOCE

Total de
Registros:
61

Estação	Data e Hora	Vazão (m3/s)
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 12:00:00	674.98
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 11:00:00	684.85
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 10:00:00	691.46
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 09:00:00	711.46
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 08:00:00	708.11
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 07:00:00	671.71
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 06:00:00	665.18
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 05:00:00	658.68
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 04:00:00	648.98
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 03:00:00	636.15
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 02:00:00	607.69
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 01:00:00	585.96
UHE MASCARENHAS JUSANTE	11/08/2018 00:00:00	579.81
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 23:00:00	567.60
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 22:00:00	549.50
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 21:00:00	519.91
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 20:00:00	511.18
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 19:00:00	514.08
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 18:00:00	514.08
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 17:00:00	519.91
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 16:00:00	522.84
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 15:00:00	531.66
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 14:00:00	546.51
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 13:00:00	552.50
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 12:00:00	552.50
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 11:00:00	549.50
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 10:00:00	546.51
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 09:00:00	537.58
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 08:00:00	528.71
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 07:00:00	511.18
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 06:00:00	479.70
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 05:00:00	443.64
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 04:00:00	438.20
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 03:00:00	427.41
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 02:00:00	419.40
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 01:00:00	419.40
UHE MASCARENHAS JUSANTE	10/08/2018 00:00:00	414.09
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 23:00:00	419.40
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 22:00:00	419.40
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 21:00:00	419.40
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 20:00:00	422.06
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 19:00:00	422.06
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 18:00:00	419.40
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 17:00:00	422.06
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 16:00:00	422.06
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 15:00:00	424.73
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 14:00:00	422.06
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 13:00:00	422.06
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 12:00:00	249.57
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 11:00:00	427.41
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 10:00:00	427.41
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 09:00:00	427.41
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 08:00:00	427.41
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 07:00:00	435.49
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 06:00:00	438.20
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 05:00:00	449.10
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 04:00:00	454.60
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 03:00:00	454.60
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 02:00:00	451.85
UHE MASCARENHAS JUSANTE	09/08/2018 01:00:00	451.85

SITUAÇÃO DA VAZÃO

- Sem Informação Atualizada
- Sem dado de referencia
- Abaixo da vazão com permanência 95%
- Vazão normal (entre 5% e 95%)
- Acima da vazão com permanência de 5%

INFORMAÇÕES ÚTEIS

- * A chuva é medida em mm, o nível em cm e vazão em m3/s.
- * O prazo para considerar a informação atualizada é de 96 horas.
- * O valor da chuva horária no primeiro dado após uma falha representa o total de chuva acumulada durante toda a extensão da falha
- * Utilize a tecla CTRL para selecionar mais de um campo no filtro acima.



Vazões em Mascarenhas no dia do campo 09/08/2018 à 11/08/2018

Visitante ▾

Navegação

- Nordeste e Semiárido ○
- SIN ●
 - Dados Históricos
- Sistema Cantareira ○
- Acesso Rápido ○

BRASIL

Serviços

Simplifique!

Participe

Acesso à Informação

Legislação

Canais

SAR - Sistema de Acompanhamento de Reservatóriosv2.1.8A- A A+ 🔊Logar no Sistema

Dados de operação dos reservatórios SIN

Início / SIN / Dados Históricos SIN

Filtros

EstadoEspírito Santo ▾

Reservatório *MASCARENHAS ▾

Período *08/08/2018 📅 a 12/08/2018 📅

🔍 Buscar

Registros

📄 Exportar ▾

Código do Reservatório	Reservatório	Cota (m)	Afluência (m³/s)	Defluência (m³/s)	Vazão Vertida (m³/s)	Vazão Turbinada (m³/s)	Vazão Natural (m³/s)	Volume Útil (%)	Vazão Incremental (m³/s)	Data da Medição
19112	MASCARENHAS	60,02	271,95	276,00	0,00	276,00	331,49		92,74	08/08/2018
19112	MASCARENHAS	59,95	268,41	271,00	0,00	271,00	343,59		91,38	09/08/2018
19112	MASCARENHAS	60,29	335,70	323,00	0,00	323,00	351,72		98,36	10/08/2018
19112	MASCARENHAS	59,99	370,79	382,00	0,00	382,00	351,01		72,38	11/08/2018
19112	MASCARENHAS	59,93	332,78	335,00	0,00	335,00	338,87		63,48	12/08/2018



- ANEXO 4 -

INVENTÁRIO DE RESTRIÇÕES OPERATIVAS: UHEs Aimorés e Mascarenhas



INVENTÁRIO DAS RESTRIÇÕES OPERATIVAS HIDRÁULICAS DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS

© 2016/ONS

Todos os direitos reservados.

Qualquer alteração é proibida sem autorização.

ONS DPP-REL - 0046/2016



36 Aimorés

Empresa: Consórcio do AHE Aimorés (participação Cemig 49 %)

Aproveitamento: Aimorés

Rio: Doce

36.1 Restrições de jusante

36.1.1 Vazões mínimas remanescentes

Restrição 1

A mínima vazão defluente remanescente é de 16 m³/s com o objetivo de evitar danos ao meio ambiente.

A barragem da UHE Aimorés foi implantada a montante da cidade de Aimorés e da foz do Rio Manhuaçu. Da barragem parte um canal lateral (canal de adução) que alimenta a casa de força e no trecho entre a barragem e a foz do Rio Manhuaçu formou-se um trecho de 10 km de extensão denominado de TVR (Trecho de Vazão Reduzida). As descargas das unidades geradoras ocorrem então a jusante da cidade de Aimorés. Logo, quando não se está vertendo, o trecho entre a barragem e a foz do Rio Manhuaçu permaneceria seco. No entender do órgão ambiental (IBAMA) tal situação traria prejuízos para o meio ambiente e para a sociedade que até então utilizava este trecho de rio para lazer. Para evitar tal situação, foi solicitada a construção de um dique transversal com crista vertente a jusante da foz do Rio Manhuaçu e em frente a cidade de Aimorés. Este dique tem então a finalidade de regularizar o perfil de escoamento das vazões mínimas, nivelar e distribuir o fluxo para evitar a formação de poças. Para a manutenção do espelho d'água junto ao dique, foi estabelecido que deverá ser defluída permanentemente, através de órgãos extravasores da barragem, uma vazão de 16 m³/s durante todo o ano, a qual denomina-se vazão remanescente.

36.1.2 Vazões máximas

Durante o período de obras tem-se um valor de vazão de restrição, referente à segurança das enseadeiras localizadas no rio Doce, da ordem de 4000 m³/s, para o período 2002/2003.

De 2003 em diante, este valor deverá ser aproximadamente 7.000 m³/s, restrição na cidade de Aimorés, localizada a jusante do barramento.

36.1.3 Vertimento Semanal Programado – 155 m³/s de 10:00 às 16:00h

Foi estabelecido que a barragem deverá praticar semanalmente descargas programadas, visando manter a qualidade da água retida no reservatório formado pelo escoamento permanente na calha fluvial, na ocorrência de vazões mínimas. Assim sendo, após testes e discussão com a comunidade, ficou definido que tais vertimentos ocorrerão prioritariamente às terças-feiras no período de 10:00 às 16:00h. Poderá haver outros vertimentos caso o sistema de monitoramento de qualidade da água indique uma baixa qualidade da mesma. Cabe destacar que normalmente este vertimento irá ocorrer apenas quando o vertedouro tiver permanecido fechado ou com apenas a vazão remanescente por um período de uma semana.



36.2 Informação Operativa Relevante - IOR

IOR 1 – Vazão mínima instantânea de 180 m³/s – captação para cidade de Colatina

Apesar de não possuir função de regularização, devido à restrição a jusante da UHE Mascarenhas (210 m³/s para atender à cidade de Colatina) e considerando a vazão incremental entre Aimorés e Mascarenhas, a menor vazão instantânea a ser defluída não pode ser inferior a 180 m³/s, sendo 164 m³/s (na turbina ou vertedouro) + 16 m³/s (no dispositivo da transposição de peixes), obtida através da relação de área de drenagem entre estes dois empreendimentos. Caso a vazão afluente esteja inferior ao valor citado acima, a vazão mínima defluente total passa a ser então a própria vazão afluente, impossibilitando o acúmulo de água para aumento de geração no horário de ponta da carga.

37 Queimado

Empresa: CEMIG
Aproveitamento: Queimado
Rio: Preto

37.1 Restrições de jusante

37.1.1 Vazões mínimas

Restrição 1 - vazão sanitária de 7,0 m³/s

Para fins ambientais, proteção da ictiofauna e visando não afetar a morfologia fluvial, deve-se garantir uma vazão a jusante do aproveitamento, de valor não menor que 70% da Q_{7,10} (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência). Assim, qualquer ocorrência que leve à parada total das unidades geradoras deve ser seguida por uma atuação nos aparelhos extravasores de forma a defluir 7,0 m³/s, até o restabelecimento da UHE.

Restrição 2 - vazão remanescente de 1,0 m³/s

Conforme condicionante ambiental (IBAMA), deverá ser defluída permanentemente uma vazão de 1 m³/s no trecho compreendido entre a barragem e a casa de força (Trecho de Vazão Reduzida).

Restrição 3 - vazão mínima de 8,8 m³/s, entre novembro e abril, e 17m³/s, entre maio e outubro – Resolução ANA Nº147, de 2 de março de 2015

Conforme estabelecido na Resolução ANA Nº147, de 2 de março de 2015, a descarga mínima a jusante do aproveitamento do Reservatório de Queimado deve respeitar os seguintes limites:

- 8,8 m³/s no período úmido, entre os meses de novembro a abril;
- 17 m³/s no período de estiagem, entre os meses de maio a outubro;
- a operação do reservatório de Queimado, para atender a vazão mínima a jusante de 17 m³/s, deverá observar um nível de partida mínimo de 10% do volume útil do



83 Mascarenhas

Empresa: Escelsa
Aproveitamento: Mascarenhas
Rio: Doce

83.1 Restrições de jusante

83.1.1 Vazões mínimas

Vazão defluente mínima 210 m³/s, restrição para captação de água/ saneamento.



- ANEXO 5 -

EVAPORAÇÕES LÍQUIDAS: UHEs Aimorés e Mascarenhas

- ESTIMATIVAS -



Operador Nacional do Sistema Elétrico



Valores de evaporação líquida anteriores ao atual estudo, utilizados para usinas do Sistema Hidrelétrico Brasileiro em operação e previstas (mm)

Código	Nome	Evap. Men. (1)	Evap. Men. (2)	Evap. Men. (3)	Evap. Men. (4)	Evap. Men. (5)	Evap. Men. (6)	Evap. Men. (7)	Evap. Men. (8)	Evap. Men. (9)	Evap. Men. (10)	Evap. Men. (11)	Evap. Men. (12)	Total Anual
15072000	GUAPORE	15	12	13	18	30	31	27	34	48	25	14	18	285
18118080	CURUA-UNA	42	32	25	10	-1	-11	-20	-25	-7	8	32	37	122
18900080	BELO MONTE	40	33	26	6	-9	-14	-11	-10	11	17	28	28	145
20920080	SERRA MESA	15	5	15	18	37	54	58	58	69	54	42	41	466
21050080	CANA BRAVA	13	7	18	14	28	45	47	43	60	51	42	37	405
21360000	SAO SALVADOR	11	7	17	9	20	38	39	36	56	48	42	34	357
22041080	PEIXE ANGIC	11	8	15	6	15	37	41	41	59	48	42	33	356
22490070	LAJEADO	13	12	13	6	17	42	62	78	81	62	44	34	464
23700080	ESTREITO TOC	18	9	28	6	9	33	43	54	55	31	35	45	366
24105080	COUTO MAGALH	18	10	13	17	33	41	38	44	52	22	7	19	314
28544080	SANTA ISABEL	11	9	34	5	-1	25	35	48	50	25	42	51	334
29680080	TUCURUI	38	33	24	3	-13	-15	-4	0	24	27	27	21	165
34450000	B. ESPERANCA	118	106	81	132	153	142	158	181	197	189	114	98	1669
40990080	TRES MARIAS	2	0	22	40	51	55	50	42	57	48	23	29	419
42459080	QUEIMADO	-1	0	13	25	44	56	60	66	75	58	42	34	472
45860080	SACOS	10	3	37	51	75	86	85	76	78	71	58	39	669
47750080	SOBRADINHO	118	106	81	132	153	142	158	181	197	189	114	98	1669
49042580	ITAPARICA	140	109	81	105	109	101	123	158	180	195	158	152	1611
49208080	MOXOTO	140	109	81	105	109	101	123	158	180	195	158	152	1611
49210080	P.AFONSO 123	140	109	81	105	109	101	123	158	180	195	158	152	1611
49210088	COMP PAF-MOX	140	109	81	105	109	101	123	158	180	195	158	152	1611
49340080	XINGO	140	109	81	105	109	101	123	158	180	195	158	152	1611
51490080	P. CAVALO	-8	0	32	55	73	60	43	12	-7	-21	-6	-3	230
54145080	IRAPE	-13	-7	23	56	72	72	63	37	37	43	31	17	431
54200080	MURTA	-17	6	45	72	80	79	67	39	57	72	41	5	546
54960080	ITAPEBI	-27	-5	27	53	62	57	39	6	-1	-3	-2	-14	192
55530000	STA CLARA MG	-33	1	30	59	64	53	34	1	9	18	7	-11	232
56337080	BAU I	-17	-6	23	47	50	44	33	15	33	35	15	4	276
56338075	CANDONGA	-14	-2	27	46	45	39	28	14	34	37	15	5	274
56675085	GUILMAN-AMOR	-17	-4	27	48	47	41	31	13	31	37	15	7	276
56688085	SA CARVALHO	-25	-19	-2	25	47	69	73	51	49	36	7	-5	306
56819085	SALTO GRANDE	18	20	22	23	27	28	34	43	48	46	26	15	350
56820075	P. ESTRELA	-19	-4	29	55	60	57	45	25	43	49	24	5	369
56861085	TRAIRA II	-19	-5	30	56	59	54	43	20	37	47	25	9	356
56990777	AIMORES	-7	16	38	41	37	33	28	19	33	30	16	5	289
56992280	MASCARENHAS	-30	-8	33	59	62	53	40	13	18	19	10	-3	266
57760080	ROSAL	-25	-8	25	46	45	35	22	-1	14	15	2	-4	166
58087780	PARAIBUNA	4	15	26	39	50	49	34	18	17	5	-7	3	253
58093080	SANTA BRANCA	7	17	28	42	52	50	35	21	20	9	-4	5	282
58128180	JAGUARI	9	17	29	43	52	52	40	28	29	17	3	12	331
58240080	FUNIL	0	10	26	45	57	52	39	23	25	19	6	8	310
58318080	STA CECILIA	6	15	21	28	29	26	25	27	34	22	12	12	257



- ANEXO 6 -

MORFOLOGIA E MORFOMETRIA DOS 4 SEGMENTOS

Variável		Segmento 1			Segmento 2			Segmento 3			Segmento 4		
		jul/77	jul/17	Dif.	jul/77	jul/17	Dif.	jul/77	jul/17	Dif.	jul/77	jul/17	Dif.
Nº de Ilhas		21	25	4	42	58	16	48	69	21	57	117	60
Nº de Bancos Arenosos		15	37	22	32	82	50	38	163	125	71	206	135
Extensão Real L (km)		35,4	35,4	0	35,4	35,4	0	35,4	35,4	0	35,4	35,4	0
Extensão em linha reta Le (km)		33,9	33,9	0	34,8	34,8	0	35	35	0	32,9	32,9	0
Sinuosidade (L/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		
Largura do Canal	Mínima (m)	36,9	85,5	48,6	311,3	346,5	35,2	541,2	528,4	-12,8	786,4	716,4	-70
	Máxima (m)	1182,4	1126,2	-56,2	1328,09	1257	-71,09	2000,8	1745,9	-254,9	1727,3	1724	-3,3
	Média (m)	609,65	605,85	-3,8	819,695	801,75	-17,94	1271	1137,15	-133,9	1256,85	1220,2	-36,65
Direção (do comprimento do eixo)		Oeste-Leste			Oeste-Leste			Sudoeste-Nordeste			Noroeste-Sul		
Rugosidade do relevo nas margens (formas predominantes)		Alta (alinhamento estutural)			Média (Relevo suave ondulado)			Baixa (Lagoas / Relevo Suave)			Muito Baixa (Planície Fluvio-Marinha)		
Maior Hierarquia na Margem Esquerda do Canal (n / Nome)		1 / Córregos Gimirim e Mutum Preto			3 / Pancas			3 / Rio São José			---		
Maior Hierarquia na Margem Direita do Canal (n / Nome)		3 / Rio Guandu			2 / Santa Maria do Rio Doce			1 / Córrego São José			---		
Predomínio de forma do leito		Sinuoso			Sinuoso a Anastomosado			Anastomosado			Anastomosado		

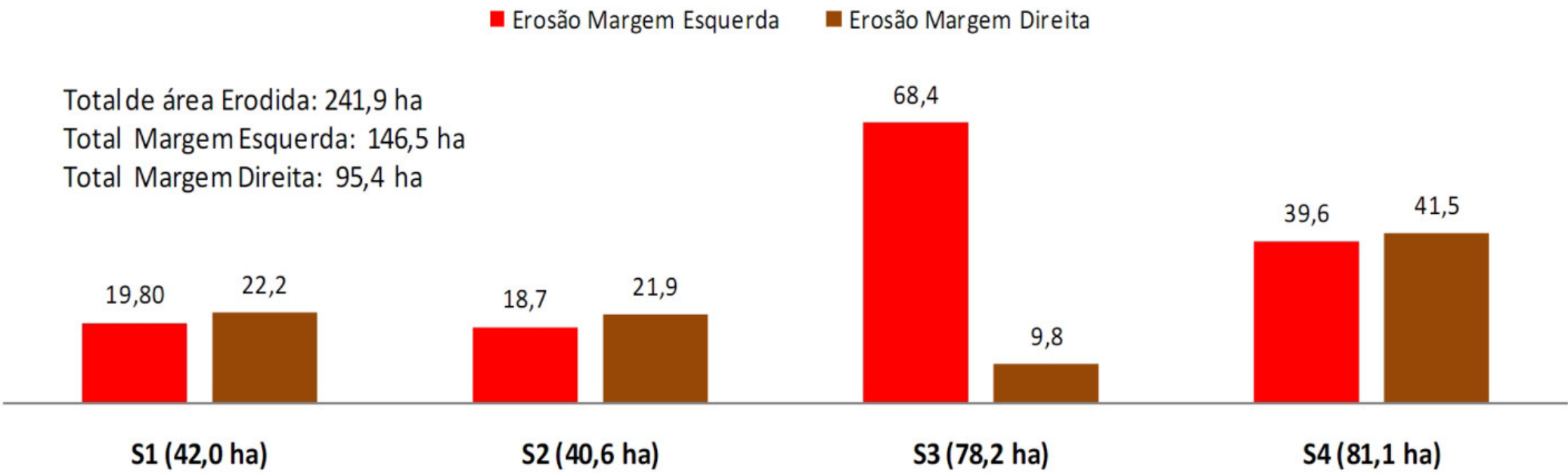


- ANEXO 7 -

PROCESSOS DE EROÇÃO E SEDIMENTAÇÃO DOS 4 SEGMENTOS

Valor Areal/Processo Ativo	Segmento 1			Segmento 2			Segmento 3			Segmento 4			TOTAIS		
	jul/77	jul/17	Dif.	jul/77	jul/17	Dif.	jul/77	jul/17	Dif.	jul/77	jul/17	Dif.	jul/77	jul/17	Dif.
Corpo D'água Superficial (ha)	1.179,1	1.042,8	-136,3	2.586,4	1.826,9	-759,5	3.481,7	2.497,9	-983,8	3.866,1	3.090,2	-775,9	11.113,3	8.457,8	-2.655,5
Ilhas (ha)	119,3	134,0	14,7	424,5	497,8	73,3	1.215,3	1.524,3	309,0	450,5	828,7	378,2	2.209,6	2.984,8	775,2
Sedimentação na Calha por Bancos de Areia (ha)	39,2	167,0	127,8	71,8	741,9	670,1	137,4	626,2	488,8	125,8	522,9	397,1	374,2	2.058,0	1.683,8
Erosão Lateral (ambas às margens) (ha)	42,0			40,6			78,2			81,1			241,9		
Erosão Lateral Margem Esquerda do Canal (ha)	19,8			18,7			68,4			39,6			146,5		
Erosão Lateral Margem Direita do Canal (ha)	22,2			21,9			9,8			41,5			95,4		
Sedimentação Lateral (ambas às margens) (ha)	34,6			55,8			155,3			57,4			303,1		
Sedimentação Lateral na Margem Esquerda do Canal (ha)	7,9			35,4			42,2			41,2			126,7		
Sedimentação Lateral na Margem Direita do Canal (ha)	26,7			20,4			113,1			16,2			176,4		
Balaço de Erosão/Sedimentação (ha)	1044,0			1827,8			2606,8			3114,5			8593,1		
Taxa de Erosão (ha/ano)	1,05			1,02			1,96			2,03			6,05		
Taxa de Sedimentação (ha/ano)	4,06			18,15			16,10			11,36			49,67		
Relação Taxa de Erosão / Taxa de Sedimentação	0,26			0,06			0,12			0,18			0,12		

Erosão Marginal por Segmentos (S1 ao S4) em hectares (ha)



MUDANÇAS HISTÓRICAS NA MORFOLOGIA FLUVIAL NO MÉDIO- BAIXO RIO DOCE POR PROCESSOS DE EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO

André Luiz Nascentes Coelho

No estado do Espírito Santo, a Bacia Hidrográfica do Rio Doce ocupa lugar de destaque com o maior volume de água superficial e de área ocupada no território. Ao longo das últimas décadas a bacia passou por um intenso processo de ocupação, transformação e degradação direta no corredor fluvial com a construção de usinas hidrelétricas, transposição de águas, potencializado pelo rompimento da barragem de rejeitos da Samarco no município de Mariana (MG), resultando em efeitos nas vazões e geoformas do canal. Nesse contexto, o presente relatório teve como objetivo realizar, a partir de produtos de sensoriamento remoto e campo, uma análise qualitativa-quantitativa do ritmo de mudanças na morfologia fluvial por processos de erosão e sedimentação no médio-baixo rio Doce entre os anos 1977 e 2017, trecho a jusante da UHE de Aimorés até a foz, partindo de uma (re)caracterização dos aspectos físicos-sociais de toda a bacia – de forma complementar/atualizar a abordagem realizada por Coelho (2007) – seguido da análise da área de estudo, valorizando o uso de dados e informações acessíveis das principais agências e órgãos de referência (ANA, ANEEL, ONS, IBGE, IJSN, INPE, USGS, entre outros), delimitação das variáveis morfométricas e morfológicas em ambiente SIG, aplicação de algoritmos, campanhas de campo, registros fotográficos e referencial bibliográfico selecionado. O emprego dos métodos e técnicas desta pesquisa permitiu apresentar um panorama/diagnóstico da relação erosão/sedimentação, através de um estudo temporal, desenvolvendo uma metodologia satisfatória possível de ser aplicada em outras bacias de médio-grande porte, especialmente, daquelas desprovidas de análises e levantamentos dessa natureza, para fins de monitoramento, recuperação e gestão. Constatou-se nos estudos das séries históricas das estações fluviométricas, o crescimento e frequência de vazões mensais abaixo da média, comprometendo no futuro próximo, o atendimento de novas demandas hídricas, a exemplo, do abastecimento e geração de energia. As imagens de satélites de 1977 e 2017 confrontadas evidenciaram mudanças aceleradas e substanciais nas formas e nos processos fluviais. Os cálculos do balanço de erosão/sedimentação, entre outros analisados, revelaram o predomínio dos processos de sedimentação e também pontos de erosões ativas desencadeadas por uma série de interferências, entre elas, a construção das barragens de UHEs em série; vazões artificiais diárias das UHEs nos horários de pico; supressão de matas ciliares; obras de engenharia com a construção de margem concretada alterando a dinâmica das águas e erosões a jusante resultando em uma dinâmica geomórfica de um rio em busca de um novo equilíbrio fluvial.

