

Camila Oliveira Lopes Abbatepaulo

**OS EFEITOS DA MINERAÇÃO DE AREIA EM LEITO DE RIO SOBRE  
O SISTEMA FLUVIAL: ANÁLISE DE IMAGENS ORBITAIS DE  
SEGMENTOS DO RIO TIJUCAS EM SÃO JOÃO BATISTA (SC)**

Florianópolis

2018



Camila Oliveira Lopes Abbatepaulo

**OS EFEITOS DA MINERAÇÃO DE AREIA EM LEITO DE RIO SOBRE O  
SISTEMA FLUVIAL:  
ANÁLISE DE IMAGENS ORBITAIS DE SEGMENTOS DO RIO TIJUCAS EM SÃO  
JOÃO BATISTA (SC)**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl

Florianópolis

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Abbatepaulo, Camila Oliveira Lopes

Os efeitos da mineração de areia em leito de rio sobre o sistema fluvial : Análise de imagens orbitais de segmentos do Rio Tijucas em São João Batista (SC) / Camila Oliveira Lopes Abbatepaulo ; orientador, Roberto Fabris Goerl, 2018. 68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geografia, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

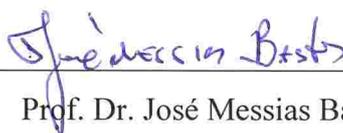
1. Geografia. 2. Geomorfologia Fluvial. 3. Mineração de Areia. 4. Análise de imagens orbitais. I. Goerl, Roberto Fabris. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geografia. III. Título.

## **Camila Oliveira Lopes Abbatepaulo**

### **Os efeitos da mineração de areia em leito de rio sob o sistema fluvial: análise de imagens orbitais de segmentos do Rio Tijucas em São João Batista(SC).**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de “Bacharela em Geografia” pela Universidade Federal de Santa Catarina e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação em Geografia.

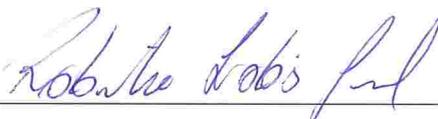
Florianópolis, 28 de novembro de 2018.



Prof. Dr. José Messias Bastos

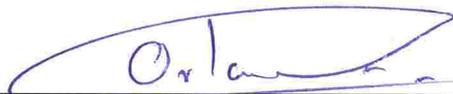
Coordenador do Curso

#### **Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl (orientador)

Universidade Federal de Santa Catarina



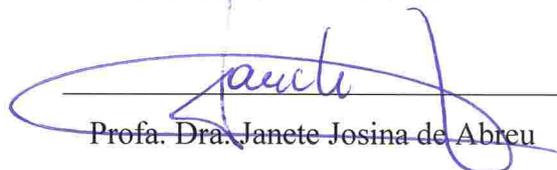
Prof. Dr. Orlando Ednei Ferretti

Universidade Federal de Santa Catarina



Profa. Dra. Michele Monguilhott

Universidade Federal de Santa Catarina



Profa. Dra. Janete Josina de Abreu

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Tijuca, que me possibilitou o contato com o tema de estudo deste trabalho através da experiência de estágio.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer ao professor Dr. Roberto Fabris Goerl pela orientação e parceria neste trabalho. Seu apoio e dedicação foram fundamentais para a motivação e elaboração desta pesquisa. Gostaria de agradecer também aos professores e professoras Dra. Angela da Veiga Beltrame, Dra. Janete Josina de Abreu, Dra. Maria Helena Lenzi, Dr. Lindberg Nascimento Junior, Dr. Orlando Ednei Ferretti e Dra. Michele Monguilhott, pelo incentivo e acompanhamento na elaboração deste trabalho

Gostaria de agradecer a Universidade Federal de Santa Catarina pelo ambiente agradável e pela estrutura física que me proporcionou durante a graduação, pela oportunidade de aprendizado e crescimento pessoal, intelectual e profissional.

Gostaria de agradecer a minha família pelo apoio incondicional, e, especialmente a meu pai Carlos Alberto Abbatepaulo pelo suporte e confiança sem o qual esta graduação e monografia não teria sido possível.

Agradeço também aos meus amigos e amigas pela força, incentivo e cumplicidade que me auxiliaram a vencer essa etapa.

Vou vendo o que o rio faz  
Quando o rio não faz nada.  
Vejo os rastros que ele traz,  
Numa sequência arrastada,  
Do que ficou para trás.

(Fernando Pessoa)

## RESUMO

A atividade de mineração de areia é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico, fomentando a indústria da construção civil. Porém a extração de areia em canais fluviais afeta diretamente o equilíbrio do sistema fluvial, produzindo impactos ambientais e efeitos geomorfológicos. Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo analisar quatro segmentos do Rio Tijucas, em São João Batista (SC), com mineração de areia em leito de rio por meio de imagens orbitais, do período de 2002 a 2017. As imagens analisadas foram obtidas por meio do software Google Earth Pro e georreferenciadas e analisadas no QGIS. A análise multitemporal das imagens baseou-se em três parâmetros: 1. zona ripária, que corresponde a porcentagem de vegetação em uma faixa de 10 metros a partir do canal; 2. feições erosivas, que designa a porcentagem das margens erodidas no segmento; e 3. a largura que é a distância de uma seção transversal do rio. A evolução temporal dos parâmetros demonstrou que: o segmento 2 apresentou um crescimento de 60% da vegetação na zona ripária; os segmentos 1A, 2 e 3 apresentaram um aumento de 48%, 29% e 44% nos trechos minerados após a instalação da mineração; e os segmentos meandantes 2 e 3 apresentaram um salto para as feições erosivas dos trechos à montante de 53% e 30% e um alargamento de 43 e 30 metros respectivamente. Com base nos resultados foi proposto um modelo conceitual dos efeitos da mineração de areia na evolução da morfologia fluvial para segmentos retilíneos e meandantes. Conclui-se de modo geral que a mineração contribuiu para o revegetamento da área de APP, acelerou os processos erosivos nas margens após a sua instalação e gerou o alargamento do canal fluvial no segmento minerado.

**Palavras-chave:** Geomorfologia fluvial. Mineração de areia. Análise de imagens orbitais.

## ABSTRACT

Sand mining activity is fundamental for socio-economic development, encouraging the civil construction industry. However, the extraction of sand in river channels directly affects the balance of the fluvial system, causing environmental impacts and geomorphological effects. To this effect, the objective of this research is to analyze four segments of the Tijucas River in São João Batista (State of Santa Catarina), with the use of orbital imaging of instream mining during the period of 2002 to 2017. The images studied were obtained through Google Earth Pro software, geo-referenced and analyzed in QGIS. The multi-temporal analysis of the images was based on three parameters: 1. riparian zone, corresponding to the percentage of vegetation in 10 meters border from the river channel; 2. erosion features, which designate the percentage of banks erosion in the segment; and 3. the width, which is the distance of one transversal section of the river. Evolution over time of the parameters showed the following: segment 2 showed a 60% increase in vegetation in the riparian zone; segments 1A, 2 and 3 showed an increase of 48%, 29% and 44% in the segments mined after the installation of mining activity; and meandering segments 2 and 3 showed a jump in erosive features of the upstream segments to the effect of 53% and 30%, and a widening of 43 and 30 meters, respectively. Based on the results of this study, a conceptual model of the effects of sand mining on the evolution of fluvial morphology for straight and meandering channels was proposed. It conclude that in general mining caused re-vegetation in the area of APP, accelerated erosive processes of the margins after its installation, and caused a widening of the fluvial channel in the mined segment.

**Keywords:** Fluvial Geomorphology. Sand mining. Orbital Image Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zonas do sistema fluvial em uma bacia hidrográfica.....	20
Figura 2 – Caracterizações de canais meandrantess .....	21
Figura 3 – Formato assimétrico da seção transversal de um meandro .....	23
Figura 4 – Processo de erosão das margens .....	23
Figura 5 – Evolução do <i>nickpoint</i> .....	25
Figura 6 – Perfil esquemático da extração de areia em leito de rio.....	29
Figura 7 – Localização da área de estudo.....	39
Figura 8 – Segmentos e seus respectivos trechos de análise .....	40
Figura 9 – Os tipos de leitos fluviais .....	43
Figura 10 – Imagens do segmento 1 do ano de 2002 e 2017.....	47
Figura 11 – Imagens do segmento 2 do ano de 2002 e 2017.....	50
Figura 12 – Imagens do segmento 3 do ano de 2002 e 2017.....	53
Figura 13 – Imagens do segmento 4 do ano de 2002 e 2017.....	56
Figura 14 – Efeitos da mineração sob a morfologia planar fluvial em segmento retilíneo.....	59
Figura 15 – Efeitos da mineração sob a morfologia planar fluvial e leito em banco de segmento meandrante .....	61

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução das feições erosivas dos segmentos 1A e 1B .....	48
Gráfico 2 – Evolução da largura do canal do segmento 1A e 1B.....	48
Gráfico 3 – Evolução das feições erosivas do segmento 2.....	51
Gráfico 4 – Evolução da largura do canal do segmento 2 .....	52
Gráfico 5 – Evolução das feições erosivas do segmento 3.....	54
Gráfico 6 – Evolução da largura do canal do segmento 3 .....	55
Gráfico 7 – Parâmetro feições erosivas do segmento 4.....	57
Gráfico 8 – Parâmetro largura do segmento 4.....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	27
Quadro 2 – Potenciais impactos ambientais gerados pela mineração de areia correlacionados às ações antrópicas e aspectos ambientais.....	34
Quadro 3 – Principais impactos ambientais negativos decorrentes das ações realizadas nas fases de implantação, operação e desativação das minas em atividade na Bacia do Rio Tijucas .....	35
Quadro 4 – Características gerais dos segmentos.....	41
Quadro 5 – Uso e cobertura do solo em APPs de rios na Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas.	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetro zona ripária dos segmentos .....	45
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APP – Áreas de Preservação Permanente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CNRH – Conselho Nacional dos Recursos Hídricos

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNPM – Departamento Nacional de Produção Minerária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

GE – Google Earth Pro

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)

MP/SC – Ministério Público de Santa Catarina

MPF/SC – Ministério Público Federal de Santa Catarina

SDS – Secretária de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina

TAC – Termo de Ajustamento de Conduta

## LISTA DE SÍMBOLOS



Mineração

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
3.1	GEOMORFOLOGIA AMBIENTAL.....	18
3.2	GEOMORFOLOGIA FLUVIAL .....	19
<b>3.2.1</b>	<b>Características geomorfológicas do médio vale do Rio Tijucas.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Efeitos da mineração de areia em leito de rio sob a geomorfologia fluvial.....</b>	<b>24</b>
3.3	MINERAÇÃO DE AREIA.....	27
<b>3.3.1</b>	<b>Legislação minerária e ambiental .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Impactos ambientais da mineração.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Histórico da mineração na bacia hidrográfica do rio Tijucas .....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	37
4.2	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS SEGMENTOS.....	38
4.3	DESCRIÇÃO DOS SEGMENTOS.....	40
4.4	PARÂMETROS DE ANÁLISE .....	42
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
5.1	PARÂMETRO APP .....	45
5.2	PARÂMETRO FEIÇÕES EROSIVAS E LARGURA DO RIO.....	46
<b>5.2.1</b>	<b>Segmento 1.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Segmento 2.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Segmento 3.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Segmento 4.....</b>	<b>55</b>
5.3	MODELO CONCEITUAL.....	58
<b>6</b>	<b>CONSLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade mineradora é de importância fundamental para o desenvolvimento socioeconômico, constituindo atualmente um dos pilares de sustentação econômica do Brasil, com uma das maiores produções do mundo neste setor (IBRAM, 2015). Dentre os diversos bens minerais, a areia corresponde a categoria de agregados da construção civil juntamente com argila, cascalho e pedra britada. A mineração de areia é importante enquanto fomentadora da indústria da construção civil, geradora de emprego, renda e tributos, assim como responsável por proporcionar o crescimento de outras atividades econômicas (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

De acordo com o “Projeto materiais de construção civil da região da grande Florianópolis” desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (ZWIRTES; HAMMES, 2016), o vale do rio Tijucas é responsável pela concentração de maior produção dentre as áreas de extração de areia constituindo a Área I de interesse mineral da região metropolitana de Florianópolis. O setor é constituído por empresas de pequeno e médio porte com destaque para os municípios de Tijucas e São João Batista. A área possui alto potencial para extração de areia através dos depósitos sedimentares de planícies aluviais e leitos fluviais (ZWIRTES; HAMMES, 2016).

Porém a mineração de areia é problemática na região. De acordo com as reclamações da sociedade civil organizada, que apontavam irregularidades nas atividades e a necessidade de licenciamento e fiscalização das mesmas, no ano de 2001, o Ministério Público do Estado de Santa Catarina (MP/SC) e Ministério Público Federal (MPF) solicitaram a realização de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e um Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da atividade na região, que culminaram, em 2005, em um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) (CARUSO JR, 2003; MPSC, 2007). Contudo, muito pouco, no que se refere a trabalhos acadêmicos, foi produzido acerca desta problemática na bacia hidrográfica do Rio Tijucas.

A exploração de depósitos em canais fluviais, a denominada mineração em leito de rio, constitui uma opção atrativa, envolvendo uma série de vantagens de produção. Entretanto, a atividade produz impactos ambientais como danos às construções vizinhas, queda de vegetação ciliar, aumento de turbidez das águas superficiais e aumento da erodibilidade, entre outros (MARINI, 2017). As alterações sob o sistema fluvial podem induzir efeitos geomorfológicos como a incisão e instabilidade lateral do canal, a criação de irregularidades

no leito, o rebaixamento do lençol freático e impacto sob a zona ripária (COLLINS; DUNNE, 1990; KONDOLF, 1994).

Neste sentido, esta pesquisa se insere no campo da Geomorfologia Ambiental ou Geomorfologia Aplicada, que consiste na aplicação dos conhecimentos geomorfológicos ao planejamento e manejo ambiental (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Com base neste cenário, esta pesquisa teve como objetivo analisar a evolução de quatro segmentos do rio Tijucas no município de São João Batista (SC) com mineração de areia em leito de rio por meio de imagens orbitais, no período de 2002 a 2017.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a evolução de quatro segmentos do rio Tijuca com mineração de areia em leito de rio por meio de imagens orbitais, no período de 2002 a 2017.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar e espacializar as alterações no sistema fluvial para os segmentos analisados;
- Propor parâmetros para análise dos efeitos da mineração de areia em leito de rio;
- Avaliar a evolução temporal dos parâmetros;
- Propor um modelo conceitual.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 GEOMORFOLOGIA AMBIENTAL

A exploração dos recursos naturais acompanha o desenvolvimento socioeconômico e tecnológico, sendo fundamental para sustentar a civilização moderna. Configura-se como uma atividade que intervêm diretamente sobre o ambiente físico, provocando transformações na paisagem. No caso da exploração mineral, o ser humano desempenha um papel enquanto agente geomorfológico, produzindo alterações diretas sobre o relevo.

A Geomorfologia é a ciência que estuda a formação e evolução do relevo. As formas, processos e suas relações constituem um **sistema geomorfológico**. O conceito de sistema é definido com base em Von Bertalanffy (1950) citado por Steavaux e Latrubesse (2017, p. 19) como um conjunto de partes que se inter-relacionam. O equilíbrio de um sistema representa o ajustamento interno do mesmo em um estado de estabilidade (*steady state*). Este estado é alcançado através do equacionamento da entrada, transferência e saída de matéria e energia do sistema e o ajustamento das formas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Considerando o sistema geomorfológico como um sistema aberto, no qual ocorrem transferências de energia e matéria com o exterior, o estado de equilíbrio não é estático e imutável, mas possui a capacidade de absorver alterações. Esta propriedade de auto-regulação define o conceito de **equilíbrio dinâmico**. Porém, a medida que as alterações ultrapassam a flexibilidade do sistema ocorre uma ruptura no equilíbrio e a transição à um novo estado de equilíbrio (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

As atividades antrópicas induzem a degradação dos sistemas geomorfológicos, desestabilizando ou rompendo o equilíbrio existente. Neste sentido, a Geomorfologia Ambiental busca equilibrar a capacidade do meio natural de responder aos distúrbios impostos pelas atividades antrópicas (GUERRA; MARÇAL, 2006).

No caso da atividade de mineração de areia, alguns estudos tem se preocupado com os efeitos da atividade sob o sistema fluvial. Como por exemplo o desenvolvimento de planos estratégicos para a mineração elaborados pelo governo da Malásia (MALASYA, 2009) e Estados Unidos (COLLINS; DUNNE, 1990), os conhecimentos dos efeitos geomorfológicos da mineração desenvolvidos por Kondolf (1994, 1997) e reunidos por Rinald, Wyzga e Surian (2005), os estudos de caso no Rio Kano na Nigéria (NABEGU, 2014) e de pequenas bacias na Índia (PADMALAL et al., 2008; SREEBHA; PADMALAL, 2011).

### 3.2 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

A Geomorfologia Fluvial se ocupa do estudo dos processos e formas de relevo relacionado ao escoamento dos rios (CHRISTOFOLETTI, 1980). Segundo Sear, Newson e Thorne (2010, p. 2) a Geomorfologia Fluvial é o estudo das fontes, fluxos e depósitos de sedimentos na bacia hidrográfica e no canal fluvial que, de acordo com as escalas de pequeno, médio e longo prazo resultam nas feições morfológicas da planície e do canal.

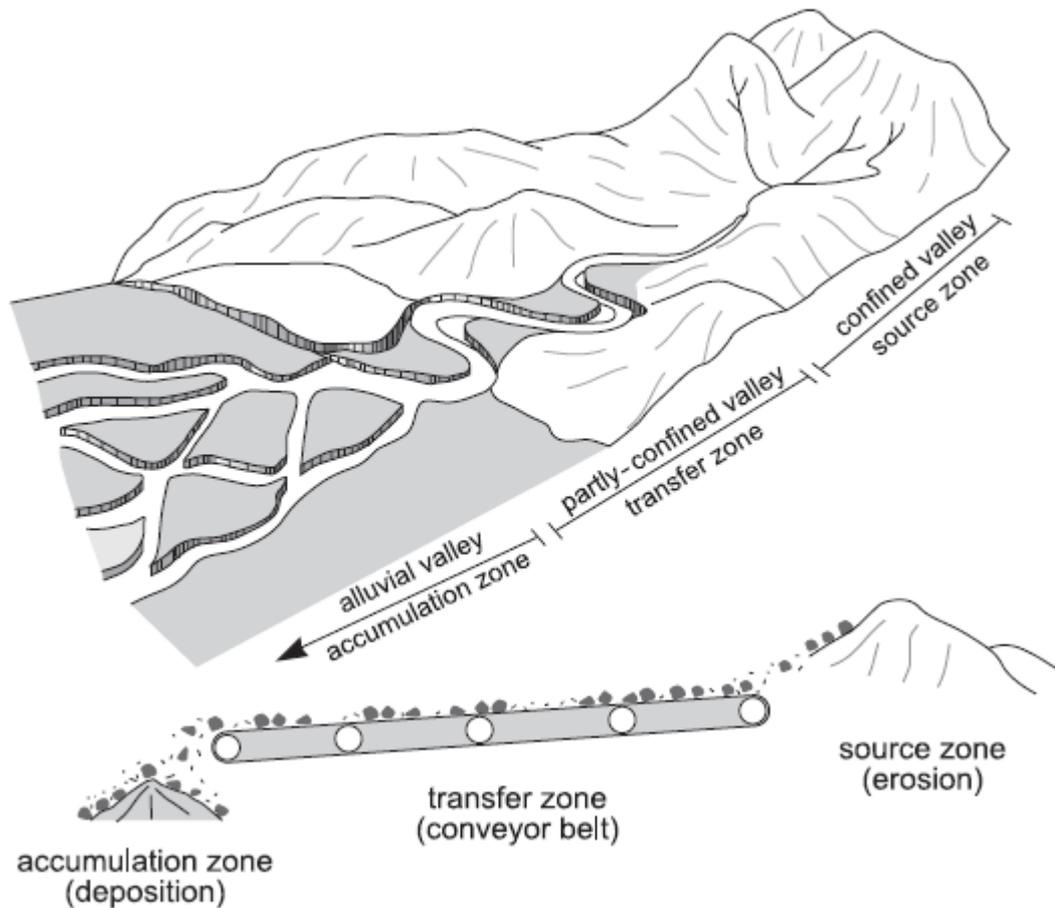
A bacia hidrográfica é a principal unidade nas análises de Geomorfologia Fluvial e consiste na área de captação de água pluvial e seu escoamento via fluxo superficial e subterrâneo (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). A unidade da bacia hidrográfica consiste em um **sistema fluvial**.

Segundo Chorley e Kennedy (1971, apud KONDOLF; WILEY, 2003, p. 105) um sistema fluvial é um sistema complexo de processo-resposta adaptativo com base em dois principais componentes físicos, o sistema morfológico de canais, planícies, vertentes, deltas e etc, e um sistema em cascata de fluxos de água e sedimentos.

O sistema de fluxo de sedimento em um canal fluvial se dá através do trabalho do rio (WALLING, 1983). O trabalho do rio consiste na transformação da energia do rio que resulta nos processos de erosão fluvial. Erosão fluvial são os processos de remoção, transporte e deposição que ocorrem simultaneamente ao longo da bacia.

Considerando o sistema de fluxos de sedimentos, Schumm (1977) dividiu o sistema fluvial em três zonas (Figura 1) de acordo com o processo de erosão fluvial na rede de drenagem: a zona 1 das nascentes e cabeceiras em domínio montanhoso, em que o processo dominante é de produção de sedimentos; a zona intermediária 2 em domínio de vales, em que o processo dominante é de transporte de sedimentos; e a zona 3 do enxutório no nível base da bacia em domínio de planície aluvial em que o processo atuante é o de agradação e acumulação de sedimentos.

Figura 1 – Zonas do sistema fluvial em uma bacia hidrográfica



Fonte: Brierley; Fryirs (2006).

A zona intermediária de transporte de sedimentos age como um *conveyor belt*, isto é, de acordo com a capacidade reduzida de transporte da carga sedimentar, derivada da declividade baixa, o transporte funciona através da agitação e degradação de materiais em depósitos temporários na planície (KONDOLF, 1994).

Desta forma, os processos de erosão fluvial modelam a morfologia do sistema fluvial, caracterizando diversos tipos de unidades geomorfológicas da paisagem, padrões de canal fluvial, tipos de leito fluviais, entre outras classificações.

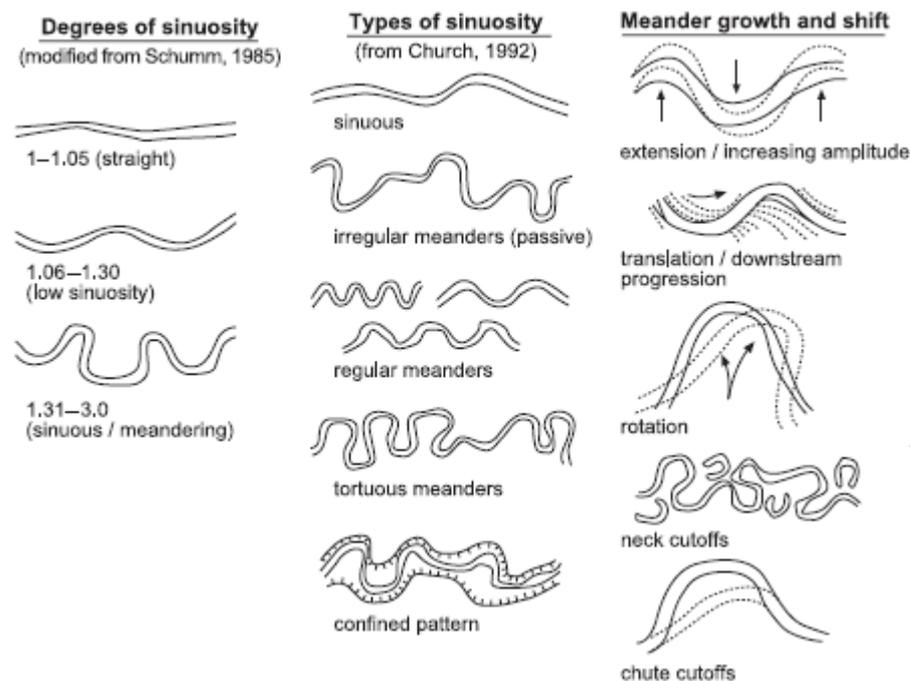
### 3.2.1 Características geomorfológicas do médio vale do Rio Tijucas

Com base na classificação proposta por Brierley e Fryirs (2006) e Vieiro e Silva (2016) a zona intermediária da bacia o rio Tijucas assume um padrão de canal fluvial meandrante, de único canal, configurado como parcialmente confinado com planícies de inundação arenosas.

O padrão de canal meandrante se desenvolve em terrenos de moderada declividade, formando sob a planície curvas sinuosas. A diferenciação entre um canal retilíneo e meandrante deriva do índice de sinuosidade (relação entre o comprimento do canal e o comprimento do eixo), que varia de 1 (retilíneo) à 3 (tortuoso), sendo que o índice superior à 1,3 configura um meandro (BRIERLEY; FRYIRS, 2006; CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os canais meandrantess podem ser classificados como (Figura 2): regulares, quando apresentam homogeneidade na morfologia; irregulares, quando se alternam meandros de diferentes tamanhos e formas; tortuosos, quando exibem alterações na morfologia e na direção do escoamento; e confinados, quando as condições antecedentes da geologia condicionam o curso do canal (BRIERLEY; FRYIRS, 2006; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Figura 2 – Caracterizações de canais meandrantess



Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2006, p. 119).

O Rio Tijucas configura-se nesse estágio de zona intermediária enquanto um padrão meandrante ativo, isto é, com capacidade de ajuste do canal. No caso de um canal parcialmente confinado, de acordo com a classificação de Brierley e Fryirs (2006) a capacidade de ajuste do canal é potencialmente local e a sensibilidade às mudanças é moderada. De acordo com o ajustamento lateral o canal pode sofrer transformações na sua morfologia através do desenvolvimento e mudança de eixo dos meandros. Dentre os processos geomorfológicos, o meandro pode aumentar sua amplitude, transladar para jusante,

rotacionar e formar os *neck cutoffs*, ou corte de colos de meandros (Figura 2) (BRIERLEY; FRYIRS, 2006).

As curvas sinuosas reduzem o gradiente e aumentam a resistência do fluxo, consumindo energia e diminuindo a capacidade de transporte. Em um rio de média energia, ocorre um decréscimo na granulometria dos sedimentos e um aumento na carga de suspensão em detrimento da carga de leito (CHRISTOFOLETTI, 1980). Neste sentido, rios de leitos arenosos respondem rapidamente a mudanças nas condições de fluxo e carga de sedimentos (BRIERLEY; FRYIRS, 2006).

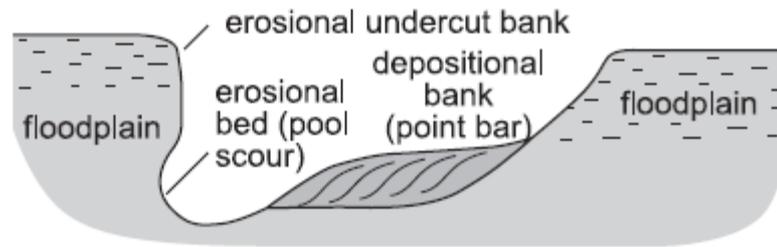
Em um rio arenoso é comum a formação de barras arenosas, que são “formas deposicionais de material do fundo do canal que emergem a superfície da água ou que se encontram parcialmente submersas” (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). A formação de barras ocorre quando a carga sedimentar supera a capacidade de transporte do rio, gerando a sedimentação. Estes depósitos interagem e influenciam nos padrões de fluxo no canal (BRIERLEY; FRYIRS, 2006).

Associada a geometria de um meandro ocorre a formação da **barra de pontal**. Com o formato de meia lua, as barras de pontal são formadas através do fluxo helicoidal pela acreção lateral de sedimentos na margem convexa. O fluxo helicoidal desenvolve-se a partir do atrito da corrente d’água e a calha do canal, caracterizando-se como uma corrente transversal que perpassa o meandro (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Sua velocidade, contudo, não é constante e apresenta um gradativo aumento na ascensão do fluxo profundo, na entrada da curva, atingindo valores máximos ao chegar na margem côncava na zona de maior curvatura do canal. [...] Ocorre também a formação de um fluxo secundário junto à região da convenção do fluxo principal (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 170).

Este processo gera uma frente erosiva na margem côncava e uma sedimentação na margem convexa, criando uma assimetria na seção transversal do canal (Figura 3). Desta forma, os fluxos se estruturam conforme a ocorrência de depressões (*pools*) nas margens côncavas (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Figura 3 – Formato assimétrico da seção transversal de um meandro

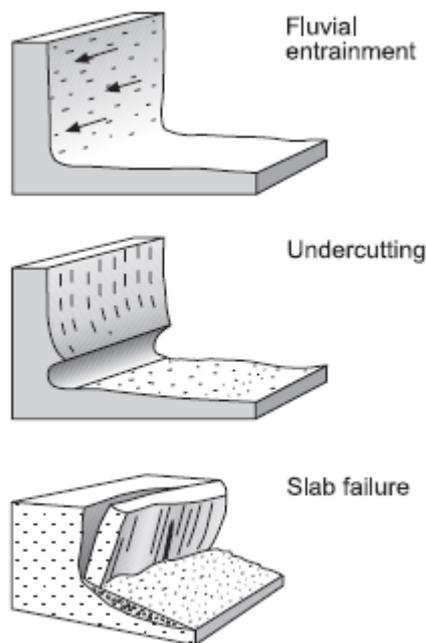


Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2006, p. 119)

A frente erosiva ocorre por meio da ação hidráulica sob os sedimentos das margens do canal, por meio da corrasão (*fluvial entrainment*) e *undercutting* (Figura 4) (BRIERLEY; FRYIRS, 2006). A corrasão é o desgaste pelo atrito mecânico através da ação da água.

O processo de erosão do sopé das margens ocorre quando a velocidade e o limite da tensão cisalhante é máxima na região mais baixa da margem. Durante o processo, o fluxo não apenas carrega material da margem, mas também erode pelo atrito, escavando a base da margem, ocasionando a queda gravitacional (BRIERLEY; FRYIRS, 2006, p. 99, tradução nossa).

Figura 4 – Processo de erosão das margens



Fonte: Adaptado de Brierley e Fryirs (2006, p. 98).

O processo de solapamento das margens (*slab failure*) ocorre com frequência em margens de baixa coesão, como é o caso de bancos arenosos. A queda das margens se dá pela

força tangencial da gravidade, geralmente associada à erosão fluvial que aumenta a altura ou ângulo das margens (BRIERLEY; FRYIRS, 2006).

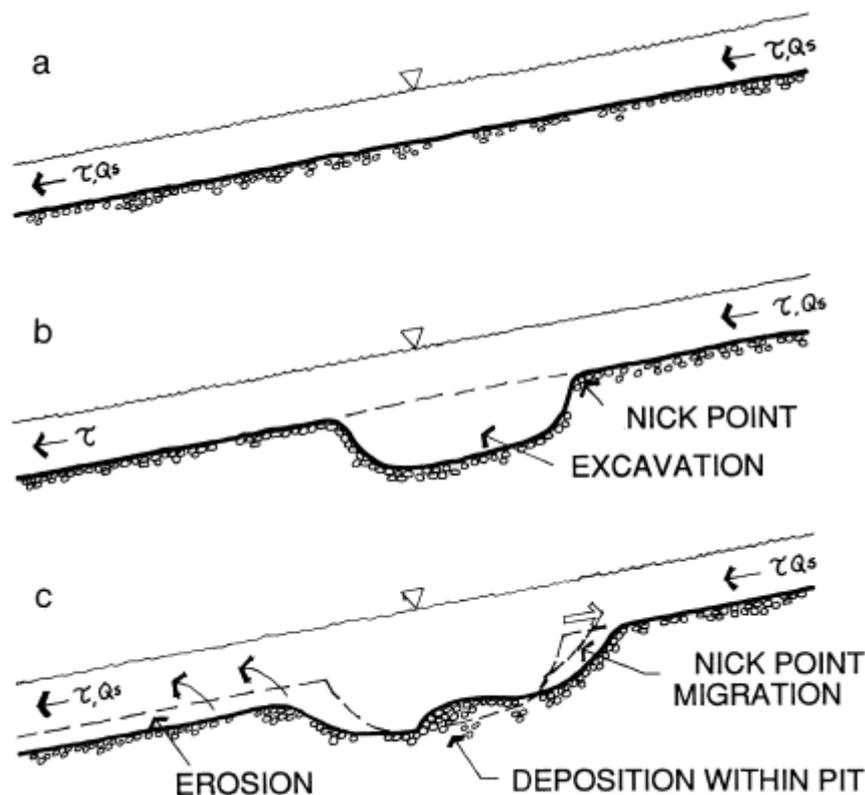
Os processos morfodinâmicos do canal estão diretamente relacionados à zona ripária. A zona ripária reflete as interações do meio físico, a periodicidade de inundações, as características do substrato e a sequência de eventos históricos caracterizando uma determinada associação bioecológica. Mudanças na zona ripária impactam diretamente as unidades geomorfológicas fluviais. A manutenção da mesma contribui para reduzir a quantidade de carga em suspensão, preservar as margens, controlar a contaminação por poluentes e preservar o habitat da mata ciliar. A presença de vegetação contribui para o aumento da resistência do rio tendo um efeito sobre o tamanho do canal, em que canais com densa vegetação tentem a ser entrincheirados e profundos em contrapartida a canais com vegetação esparsa (BRIERLEY; FRYIRS, 2006, p. 107).

### **3.2.2 Efeitos da mineração de areia em leito de rio sob a geomorfologia fluvial**

A mineração nos canais fluviais envolve a remoção de areia, reduzindo a oferta de sedimentos através da escavação do leito ou das barras arenosas. Desta forma, a mineração produz alterações no sistema fluvial dentre os quais desvios no fluxo, alterações na morfologia do canal e estocagem de sedimentos. Essas alterações induzem outros efeitos como a incisão e instabilidade lateral do canal e criação de irregularidades no leito (KONDOLF, 1994).

Ao remover sedimentos do canal, a mineração em leito de rio rompe o equilíbrio existente entre a oferta de sedimentos e a capacidade de transporte do canal, induzindo o processo de incisão à montante e à jusante do local de extração. A escavação do leito em um canal ativo altera o equilíbrio da calha fluvial criando um gradiente de profundidade no local extraído, gerando um degrau, ou *nickpoint* (Figura 5). O *nickpoint* erode a montante através de um processo conhecido como *headcutting*. O *headcutting* se propaga gerando a incisão do canal por até quilômetros à montante (KONDOLF, 1994, 1997).

Figura 5 – Evolução do *nickpoint*: a) situação inicial, anterior a escavação; b) a escavação cria o *nickpoint* que por sua vez apanha e aprisiona os sedimentos na cava interrompendo o transporte de sedimentos no canal (o canal ainda tem a capacidade de transporte porém não possui a carga sedimentar); c) o *nickpoint* migra à montante e o efeito *hungry water* erode o leito do canal sentido jusante.



Fonte: Kondolf (1997, p. 541).

Na tentativa de reposição do material extraído ocorre o efeito *hungry water*, que é quando o rio ainda possui capacidade de transporte porém não possui carga sedimentar. Desta forma, este efeito ocasiona a erosão do leito e margens do canal fluvial que se propaga a jusante, gerando também o processo de incisão neste sentido.

A incisão resulta na instabilidade do canal fluvial, erosão das margens e migração do canal. Como resultado da instabilidade, a mineração gera o alargamento e diminuição da profundidade da calha do rio, alterando os fluxos e modificando a distribuição dos umbrais e piscinas ao longo do canal. Por meio deste processo de ajustamento do canal pode ocorrer a remoção da vegetação ripária e impacto sobre a vida e habitat aquático a partir da alteração da superfície do leito. A incisão ainda pode induzir ao rebaixamento do lençol freático, a danificação de estruturas como pontes, encanamentos e outras (KONDOLF, 1994, 1997).

Ainda, de acordo com Collins e Dunne (1990), os efeitos da mineração de areia em leito de rio sob a morfologia do canal fluvial e o transporte de sedimentos são:

- O rebaixamento do leito pode danificar estruturas como pontes, canos, entre outras e expor outros substratos subjacentes aos depósitos minerais;
- A degradação do leito modifica a qualidade do habitat aquático sob o leito do canal, danificando o ecossistema aquático;
- O rebaixamento do leito pode resultar no rebaixamento do nível do lençol freático e a diminuição da capacidade de armazenamento do aquífero;
- O rebaixamento do lençol freático pode destruir a vegetação ripária, contribuindo para o aumento da erosão dos margens;
- Diminui a ocorrência de enchentes de acordo com o aprofundamento do leito e o rebaixamento do pico de cheia (vazão de pico);
- A medida que o nível d'água diminui, diminuindo a ocorrência de enchentes, há a diminuição da reposição de sedimentos do canal para a planície;
- Uma degradação súbita do leito do rio pode induzir ao solapamento e erosão das estruturas das margens;
- Em caso de rios de agradação, em que a oferta de sedimentos ocasiona acumulação, a extração de minerais pode contribuir para diminuir a agradação e manter a capacidade de transporte do rio;
- A remoção da barra de pontal abaixo da nível freático pode desestabilizar a margem oposta, pois uma maior quantidade de fluxo passa na seção aumentando a erosividade na margem côncava;
- A extração de minerais de barras arenosas pode causar a erosão de barras à jusante de acordo com a redução da oferta de sedimentos transportados.

Ainda, Malasya (2009) enumera outros efeitos como aumento da turbidez na água, efeitos ecológicos em migração de peixes e impactos nos processos na zona costeira.

### 3.3 MINERAÇÃO DE AREIA

Dentre os diversos bens minerais, a areia é um mineral não metálico, constituído enquanto um material granular, com tamanho de 2 a 0,06 mm, de composição silíática com predominância do mineral quartzo, podendo conter outros minerais como mica, zircão, ilmenita e feldspato (DNPM, 2016). É um recurso de origem natural, sendo resultado de processos de intemperismo físico, causada por agentes externos, seguido ou não de outros processos do ciclo das rochas, como erosão, transporte e deposição (DNPM, 2017; ZWIRTES; HAMMES, 2016).

A areia se enquadra na categoria de agregados da construção civil, que é o conjunto de insumos minerais não metálicos com emprego direto na indústria da construção civil, juntamente com argilas, saibro, cascalho, pedra britada, entre outros. Caracterizando-se enquanto um agregado miúdo, a areia é classificada, conforme a granulometria, como areia grossa, entre 1,2 e 2mm; média, entre 0,42 e 1,2 mm; e fina, entre 0,075 e 0,42mm (ZWIRTES; HAMMES, 2016). De acordo com a dimensão dos grãos e as características mineralógicas, a areia pode ser destinada a diferentes usos (Quadro 1).

Quadro 1 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

<b>Granulometria (mm)</b>	<b>Utilização</b>
<b>0,075 a 1,0</b>	Obras para acabamento (reboco) e alvenaria)
<b>1,00 a 2,40</b>	Concreto estrutural e acabamento (reboco)
<b>2,40 a 4,80</b>	Concretos estruturais sejam manuais em betoneiras ou centrais de concreto; usinas de asfalto (CBUQ), PMF e PMQ), fábricas de pré-moldados de concreto (lajes, blocos, tubos e pisos intertravados), utilizada como produto drenante e filtros ETE (Estação de Tratamento de Esgoto)

Fonte: ZWIRTES e HAMMES (2016).

Um material substituto a areia é a chamada areia artificial ou areia de brita, produto da transformação e beneficiamento industrial de rochas silíáticas, e além desse, os resíduos da construção e demolição (RCD) tem apresentado potencial de crescimento (DNPM, 2017; ZWIRTES; HAMMES, 2016). O uso destes materiais alternativos ocorre em locais em que o recurso *in natura* é escasso, como no caso da Região Metropolitana de São Paulo (DNPM, 2017).

Por ser um recurso natural, abundante e de baixo beneficiamento, a areia é um produto de baixo valor agregado, sendo que o transporte corresponde a cerca de 1/3 a 2/3 do valor final do produto, o que impõe a necessidade de produção próxima ao mercado consumidor, que são os aglomerados urbanos (ZWIRTES; HAMMES, 2016).

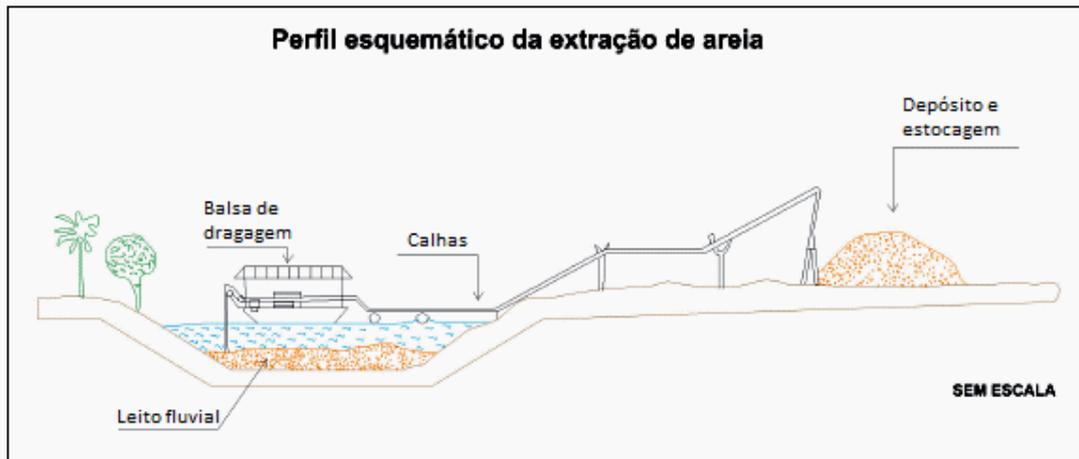
Os depósitos arenosos se localizam na zona costeira, em dunas litorâneas e depósitos praias; próximo aos corpos hídricos, em planícies aluviais e leitos fluviais; e nas formações rochosas, em rochas sedimentares e mantos de alteração de rochas cristalinas. Para efeito da mineração, as jazidas de areia da zona costeira não são exploradas, por conterem grande quantidade de sais (ZWIRTES; HAMMES, 2016).

A exploração de depósitos em canais fluviais corresponde a opção mais atrativa devido as seguintes vantagens: a qualidade do material, já selecionado naturalmente; a localização geralmente próxima ao mercado do produto, reduzindo os custos com transporte; e a facilidade da extração mineral, que requer pouco processamento (RINALDI; WYZGA; SURIAN, 2005).

Os métodos de extração de areia são: portos de areia, cavas aluvionares e desmonte hidráulico de solos residuais (ANA; IBRAM, 2006). A areia extraída pelos métodos de portos de areia e cavas aluvionares pode ser utilizada *in natura*, sem necessidade de beneficiamento do produto envolvendo adição ou eliminação de substâncias químicas ou componentes, sendo apenas classificadas pela granulometria (CARUSO JR, 2003; VIEIRA; REZENDE, 2015).

O método de portos de areia (Figura 6), ou a chamada mineração em leito de rio, consiste na extração mecânica de sedimentos arenosos inconsolidados, localizados em depósitos subaquosos do leito, através de dragas equipadas em balsas flutuantes (ANA; IBRAM, 2006). O sistema de dragagem hidráulico bombeia os sedimentos do leito fluvial para um compartimento na balsa, através de sucção ou recalque, utilizando a água como veículo, em uma proporção de 60% de água para 40% de sedimento. Em seguida, a água utilizada para o bombeamento retorna ao rio, em volume semelhante ao de entrada, porém uma pequena parcela fica retida junto aos sedimentos (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Posteriormente o material extraído é bombeado e depositado junto as margens ribeirinhas, local em que será estocado temporariamente até o carregamento por caminhões (CARUSO JR, 2003).

Figura 6 – Perfil esquemático da extração de areia em leito de rio



Fonte: Adaptado Vieira e Rezende (2015).

Considerando ainda a mineração em canais fluviais (*in-channel pit*), Kondolf (1994) detalha três tipos: *dry pit*, que é a escavação em leitos expostos de rios efêmeros; *wet pit*, consiste na extração através de dragagem hidráulica em rios perenes abaixo da linha de talvegue (ponto mais baixo da sessão transversal do rio); e *bar skimming*, que é a extração da camada superior de areia de bancos de sedimentação do canal fluvial sem atingir o lençol freático.

A extração por cavas aluvionares também ocorre a partir de exploração mecânica, por meio da abertura de cavas em terraços e planícies aluviais. A escavação progressiva amplia a exploração em área e profundidade, chegando a atingir o lençol freático e, desta forma, gera corpos d'água artificiais. A partir do momento em que atinge o lençol freático, a água subterrânea passa a ser utilizada como veículo para sucção. Em seguida, o material é depositado nas margens da cava, estocada e transportada (ANA; IBRAM, 2006; CARUSO JR, 2003).

O método de desmonte hidráulico consiste na lavagem de solos residuais, que são solos oriundos da ação do intemperismo em rochas graníticas, gnáissicas, quartzíticas ou xistosas. Após a lavagem se dá o processo de separação dos finos (argila e silte) da areia por meio de bacias de sedimentação (ANA; IBRAM, 2006).

No Brasil, todas as unidades da federação são produtoras de areia (DNPM, 2017), sendo que 70% da areia provêm da mineração em leito de rio e 30% da mineração em cavas aluvionares (DNPM, 2006). O principal destino é o abastecimento do mercado interno, sem valores significativos de exportação e importação (DNPM, 2017). O principal destino é a indústria da construção civil, motivo pelo qual pode-se inferir a importância da mineração de areia enquanto setor gerador de emprego, renda e tributos, assim como responsável por

proporcionar o crescimento de outras atividades econômicas (TEIXEIRA; CARVALHO; 2005).

De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro 2010 (DNPM, 2010), o estado de Santa Catarina foi responsável pela produção de 11.976.576 toneladas de *areia bruta* e 766.810 toneladas de *areia industrial*, dos quais 144.165 e 746,722 t do produto, respectivamente, foram beneficiados. A mão-de-obra utilizada na mineração para essas classes de substâncias no ano de 2009 foi de um total de 1205 empregados. As lavras de areia e areia industrial são da modalidade de mina a céu aberto, compondo para o estado de Santa Catarina 108 minas de *areia bruta* e 11 de *areia industrial*. Das 108 minas de *areia bruta*, 7 são porte médio com produção de 100.000 até 1 milhão de toneladas, e 101 de porte pequeno com produção de 10.000 a 100.000 toneladas. Das 11 minas de *areia industrial*, 2 são de porte médio e as outras 9 de porte pequeno. Do total de *areia bruta* produzida, 82,69% são consumidas no próprio estado de Santa Catarina, 1,24% destinadas ao mercado do Paraná e 0,41% ao Rio Grande do Sul. Do total de *areia industrial* produzida 96,78% são consumidas no próprio estado.

### 3.3.1 Legislação minerária e ambiental

Para o aproveitamento dos recursos minerais, a indústria minerária deve cumprir as legislações minerárias, ambientais, regulamentações do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), assim como respeitar diversas normas e regulamentações correlatas (ZWIRTES; HAMMES, 2016).

O Código de Mineração<sup>1</sup> dispõe sobre os preceitos institucionais da atividade minerária, partindo do princípio que: são bens da União os recursos minerais, inclusive os do subsolo (artigo 20, inciso XII); compete à União administrar os recursos minerais, a indústria de produção mineral, a distribuição, comércio e consumo de produtos minerais (artigo 1); e compete a União regular os regimes de aproveitamento desses recursos (artigo 2) (BRASIL, 2011). Tal lei regula os direitos sobre os recursos minerais, o regime de aproveitamento dos mesmos e a fiscalização de aspectos da indústria minerária (Art. 3).

O aproveitamento econômico de jazidas minerais se dá por meio da concessão da propriedade pela União, como especificado no artigo 176 parágrafo 1º em BRASIL (2011):

---

<sup>1</sup> Decreto Lei nº 277 de 28 de fevereiro de 1967 que dispõe sobre o Código de Mineração.

As jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra.

Para o aproveitamento das matérias-primas minerais a lei determina os seguintes regimes: concessão, licenciamento, autorização e extração. O regime de licenciamento constitui um processo rápido e menos oneroso ao minerador, no qual com base na autorização do proprietário do terreno para direito de aproveitamento, a lavra é concedida por um prazo definido. Já os regimes de autorização e concessão são mais demorados e exigentes, porém resultam na exploração das jazidas por prazo indeterminado, no qual são requeridos: alvará para pesquisa mineral, plano de aproveitamento econômico de jazida e relatório anual de lavra (ZWIRTES; HAMMES, 2016). O regime de extração é exclusivo para órgãos públicos para a categoria de agregados da construção civil com proibição de comercialização.

O direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, estabelecido pelo artigo 225 da Constituição Federal, sujeita a mineração, como atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, à necessidade de estudo prévio de impacto ambiental (inciso IV) e à recuperação do meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão competente (parágrafo 2º) (BRASIL, 2011). Considera-se o termo degradação da qualidade ambiental quando ocorre uma alteração adversa das características do meio ambiente (BRASIL, 1981).

A Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) institui instrumentos dos quais destaca-se a avaliação de impactos ambientais, o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras (artigo 6, incisos III e IV). Os instrumentos de avaliação de impactos ambientais instituídos pelo decreto 99.274 de 1990 são o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (BRASIL, 1990).

Ainda de acordo com a referida lei, no artigo 10, a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental (BRASIL, 1981).

O licenciamento ambiental, regulado pelo CONAMA, estabelece em seu artigo 1º que a exploração de bens minerais deverá ser precedida de licenciamento ambiental de órgão estadual do meio ambiente ou do IBAMA (BRASIL, 1990). As licenças que podem ser emitidas pelos órgãos ambientais são a licença prévia (LP), licença de instalação (LI) e licença de operação (LO).

Quanto à recuperação de áreas degradadas após o encerramento das atividades, o decreto 97.632/89 estabelece a necessidade de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração, sendo que “a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização social e visual, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente” (BRASIL, 1989).

O desenvolvimento da mineração estabelece relações com outras formas de uso do solo, na área circunvizinha à jazida, e, neste sentido, o Plano Diretor enquanto política de desenvolvimento urbano é fundamental na organização das funções sociais da cidade, assim como outros instrumentos legais (CARUSO JR, 2003; ZWIRTES; HAMMES, 2016).

Ainda é comum, no caso da mineração de areia, a atividade localizar-se no âmbito das Áreas de Preservação Permanente (APP) (ZWIRTES; HAMMES, 2016). De acordo com a Lei 12.651 de 2012, também denominada Novo Código Florestal, Área de Preservação Permanente (APP) constitui uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012). O estabelecimento das APPs está baseado em fatores geográficos, instituídos no artigo 4, englobando a vegetação natural das margens dos cursos d’água, denominadas matas ciliares, entre outras vegetações (ZWIRTES; HAMMES, 2016).

Embora a legislação sobre APP inviabilize a supressão da vegetação, o artigo 8 estabelece que em caso de utilidade pública, interesse social ou de baixo impacto ambiental é permitida a intervenção ou supressão da vegetação nativa. Deste modo, a mineração, enquanto atividade de pesquisa e extração de areia, argila, saibro e cascalho, enquadra-se na categoria de interesse social (BRASIL, 2012), estando apta a supressão de vegetação em APP.

Considerando que a atividade minerária tem especificidades de utilização e consumo de água, passíveis de provocar alterações nos regimes dos corpos hídricos, os usos e as interferências nos recursos hídricos estão sujeitos a outorga (ANA; IBRAM, 2006). No caso da mineração de areia enquadram-se os seguintes usos, de acordo com resolução do CNRH: derivação ou captação de água superficial ou extração de água subterrânea para consumo final ou insumo no processo produtivo; barramento para decantação e contenção de finos em corpos de água; aproveitamento de bens minerais em corpos de água; e captação de água e lançamento de efluentes relativos ao transporte de produtos minerais (BRASIL, 2002).

### 3.3.2 Impactos ambientais da mineração

Partindo da premissa que a mineração se caracteriza pelo aproveitamento de recursos naturais, sua natureza extrativa tende inevitavelmente a gerar impactos significativos sobre o meio ambiente (MARINI, 2017). Embora cumpra um papel importante no desenvolvimento social e econômico, sendo regulada por mecanismos legais, é comum neste cenário a falta de planejamento da atividade, para o controle e minimização dos impactos, assim como a falta de fiscalização dos órgãos responsáveis (MARINI, 2017; ZWIRTES; HAMMES, 2016).

Segundo a Resolução 01 do CONAMA, impacto ambiental é definido como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam (I) a saúde, a segurança e o bem estar da população; (II) as atividades sociais e econômicas; (III) a biota; (IV) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e (V) a qualidade dos recursos ambientais” (BRASIL, 1986).

Para Sánchez (2006), o impacto ambiental é definido como a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada pela ação humana. Este conceito parte da ótica dos processos ambientais, admitindo o meio ambiente enquanto meio dinâmico, considerando o impacto ambiental como resultado de uma ação humana que implique na supressão ou inserção de certos elementos no ambiente, assim como a sobrecarga decorrente da introdução de fatores de estresse além da capacidade do meio (SÁNCHEZ, 2006). Porém, não deve ser confundido com o conceito de aspecto ambiental, que é o mecanismo através do qual uma ação antrópica causa um impacto ambiental. Portanto, segundo Zwirtes e Hammes (2016), as ações antrópicas são as causas, os impactos ambientais são as consequências, enquanto que os aspectos ambientais são os mecanismos ou processos pelos quais ocorrem as consequências.

Desta forma, pode-se considerar que o método de mineração em canais fluviais apresenta maior complexidade de interações com o meio, do que o método de cavas aluvionares, tendo maiores desdobramentos quanto aos impactos ambientais (ZWIRTES; HAMMES, 2016). Porém, apesar das cavas localizarem-se fora do canal fluvial, devem ser consideradas potencialmente passíveis de se tornarem parte do rio. Em muitos casos, as cavas adjacentes ao canal ativo do rio, são capturadas pelo fluxo do canal, durante eventos como inundação ou migração gradual do canal (KONDOLF, 1994).

Os potenciais impactos gerados pela mineração de areia em leito de rio e em cavas aluvionares associadas as ações antrópicas e aspectos ambientais foram sistematizadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Potenciais impactos ambientais gerados pela mineração de areia correlacionados às ações antrópicas e aspectos ambientais.

Ação antrópica	Aspectos ambientais	Impactos ambientais		
		Meio físico	Meio biótico	Meio antrópico
Dragagem	Emissão de óleos e graxas	Contaminação das águas superficiais e/ou subterrâneas	Danos à fauna aquática e a mata ciliar	Uso da água para abastecimento
	Modificação da calha do rio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da erodibilidade</li> <li>• Alteração no regime de fluxo hidrológico</li> <li>• Desestabilização geotécnica</li> <li>• Aumento de turbidez das águas superficiais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da biodiversidade</li> <li>• Afugentamento da fauna</li> <li>• Queda de vegetação ciliar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto visual</li> <li>• Danos às construções vizinhas</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Zwirtes; Hammes (2016, p. 72).

### 3.3.3 Histórico da mineração na bacia hidrográfica do rio Tijucas

A mineração na bacia do Rio Tijucas tem início por volta de 1900, com a implantação de olarias no Vale do rio Tijucas. Diante da abundância de matéria-prima e facilidade de extração, a atividade ceramista prosperou, associada aos conhecimentos técnicos dos imigrantes europeus que ali se instalaram (ALMEIDA, 1992).

A partir das décadas de 1960 e 1970, com a inauguração da BR-101, a região teve um impulso econômico que propiciou o desenvolvimento de diversas cidades no centro-litoral de Santa Catarina, entre elas os polos industriais Blumenau e Joinville e a capital Florianópolis (ALMEIDA, 1992; ZWIRTES; HAMMES, 2016). A localização próxima a estes centros urbanos e a ocorrência de jazidas aproveitáveis estimulou a expansão da mineração e atividade ceramista no Vale do Rio Tijucas, de modo a atender a demanda da indústria da construção civil.

Com base neste contexto, a produção ceramista e a extração mineral passaram por um processo de modernização e em 1979 a empresa Cerâmica Portobelo se instala em Tijucas

(ALMEIDA, 1992). Atualmente, este ramo de atividade industrial se tornou uma das mais importantes atividades econômicas do Vale do Rio Tijucas, que constitui hoje um polo cerâmico do estado.

No ano de 2001, o Ministério Público do Estado de Santa Catarina (MP/SC) e Ministério Público Federal (MPF) solicitaram a realização de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e um Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) das atividades de mineração de areia e argila na região, de acordo com as reclamações da sociedade civil organizada, que apontavam irregularidades nas práticas e a necessidade de licenciamento e fiscalização das mesmas (CARUSO JR, 2003). Como resultado, o Quadro 3 apresenta os principais impactos negativos para cada fase dos empreendimentos da mineração na bacia do rio Tijucas, sistematizados por Marini (2017) a partir do levantamento do EIA/RIMA realizado pela Caruso Jr (2003).

Quadro 3 – Principais impactos ambientais negativos decorrentes das ações realizadas nas fases de implantação, operação e desativação das minas em atividade na Bacia do Rio Tijucas

	<b>Meio Físico</b>	<b>Meio Biótico</b>	<b>Meio antrópico</b>
Fase de instalação	- Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas; - Erosão; - Alteração da qualidade dos solos.	- Remoção de cobertura vegetal; - Afugentamento da fauna; - Perda de habitats.	- Comprometimento do patrimônio arqueológico.
Fase de operação	- Erosão; - Alteração do nível de base de aquíferos; - Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas; - Poluição sonora; - Geração de poeiras.	- Remoção de cobertura vegetal; - Alteração da estrutura ecológica; - Atropelamento de animais; - Aumento da pressão sobre a fauna aquática.	- Poluição sonora; - Sobrecarga da malha viária; - Proliferação de vetores; - Alteração da paisagem; - Êxodo da população de entorno.
Fase de desativação	- Redução da qualidade das águas de aquíferos.	-	-

Fonte: Marini (2017, p. 68).

Visando assegurar o desenvolvimento econômico sustentável da atividade, em 2005 foi firmado o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre as mineradoras, o MPSC o MPF e demais órgãos ambientais (MPSC, 2007; ACAT, [2012?]). O TAC estabeleceu normas de conduta para as atividades e como resultado, a Instrução normativa nº7 da FATMA (FATMA, 2015) foi reelaborada, estabelecendo critérios ambientais para as atividades de mineração.

De acordo com o “Projeto materiais de construção civil da região da grande Florianópolis” desenvolvido pelo CPRM (ZWIRTES; HAMMES, 2016), o vale do rio Tijucas é responsável pela concentração da maior parte das áreas de extração de areia e argila, tanto da modalidade de leito de rio ou por cavas, da região metropolitana de Florianópolis. O setor é constituído por empresas de pequeno porte, com produção anual de até 100.000 t, e médio porte de 100.000 a 400.000t/ano. A produção de areia aproximada do vale do rio Tijucas é de 1.389.864 t/ano, com destaque para os municípios de Tijucas e São João Batista. O preço médio praticado na região em 2014 girava em torno de 20,00 a 25,00 reais o metro cúbico de areia e R\$ 5,00 a argila (ZWIRTES; HAMMES, 2016).

O curso médio e inferior do Rio Tijucas e seus afluentes, rio do Braço, Kroeche, Galera, Moura, Dona, Oliveira e Itinga, situados nos municípios de Tijucas, Canelinha, São João Batista e Nova Trento constituem a Área I de interesse mineral com concentração de atividade exploratória (ZWIRTES; HAMMES, 2016). A área possui grande produção de agregados da construção civil e alto potencial para extrações de areia e argila. Porém considera-se necessária uma adequada fiscalização da atividade minerária na região, de modo a não permitir a continuidade da extração predatória, que contribuiria para ampliação dos danos ambientais hoje já observados.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho está localizada no médio vale da bacia hidrográfica do rio Tijucas, no município de São João Batista (SC).

A bacia pertence à Região Hidrográfica Litoral Centro do Estado de Santa Catarina (RH8) (SDS, 2018). Os principais afluentes são os rios Oliveira, Moura, Alto do Braço, Boa Esperança, Engano, Bonito e Garcia. e seu enxutório se localiza na cidade de Tijucas. A subbacia do Rio Tijucas abrange os municípios de Rancho Queimado, Angelina, Leoberto Leal, Major Gercino, Nova Trento, São João Batista, Canelinha, e Tijucas (CARUSO JR, 2003).

O baixo vale, correspondente à Tijucas, município de colonização açoriana, possui como principais economias a agricultura (arroz, fumo e maracujá), extração mineral e de madeira, avicultura e pesca, com destaque para a indústria Portobello (MEURER, 2011). O médio vale, correspondente aos municípios de Canelinha, São João Batista e Nova Trento, de colonização italiana é um importante polo industrial de calçado e cerâmica, além das atividades de agricultura. O alto vale, composto pelos municípios de Angelina, Leoberto Leal e Major Gercino, de colonização alemã tem como principal economia as atividades agrícolas com destaque para a prática da agricultura familiar (SANTOS, 2009).

O clima da região, de acordo com a classificação de Koppen é mesotérmico úmido com verão quente (Cfa). A temperatura média anual é de 20,65 °C, com moderada amplitude térmica e umidade relativa do ar de 85,20 %. O regime de chuvas é bem distribuído na região, com média de precipitação anual de 1600 mm. Apresentando índices altos de excedentes hídricos, a bacia drena uma área aproximada de 2427 km<sup>2</sup>, com vazão média de 8,42 m<sup>3</sup>/s e densidade de drenagem de 2,91 km<sup>2</sup> (SANTA CATARINA, 2005).

O arcabouço geológico da área é composto pelas unidades geológicas do Escudo Cristalino, Bacia do Paraná e Coberturas Cenozóicas. No baixo vale, predominam as unidades geológico-ambientais dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso, caracterizando os ambientes de planícies fluviais, fluviolacustres, fluviomarinhas e costeiras (VIEIRO; SILVA, 2016).

No médio vale, a unidade das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, associadas à geologia da Bacia do Paraná, caracterizam um relevo de planaltos e morros e serras baixas com predomínio de sedimentos siltico-argilosos e

arenosos (VIEIRO; SILVA, 2016). Esta unidade apresenta-se intercalada entre colinas amplas e suaves e morros e serras baixas da unidade dos complexos granitoides deformados e não deformados.

A transição ao alto vale acompanha a sequência dos complexos granitoides que evoluem para um relevo de domínio montanhoso. No alto da bacia predomina a unidade das sequências vulcanossedimentares proterozóicas dobradas metamorfozadas, com a presença de xistos e quartizitos (VIEIRO; SILVA, 2016).

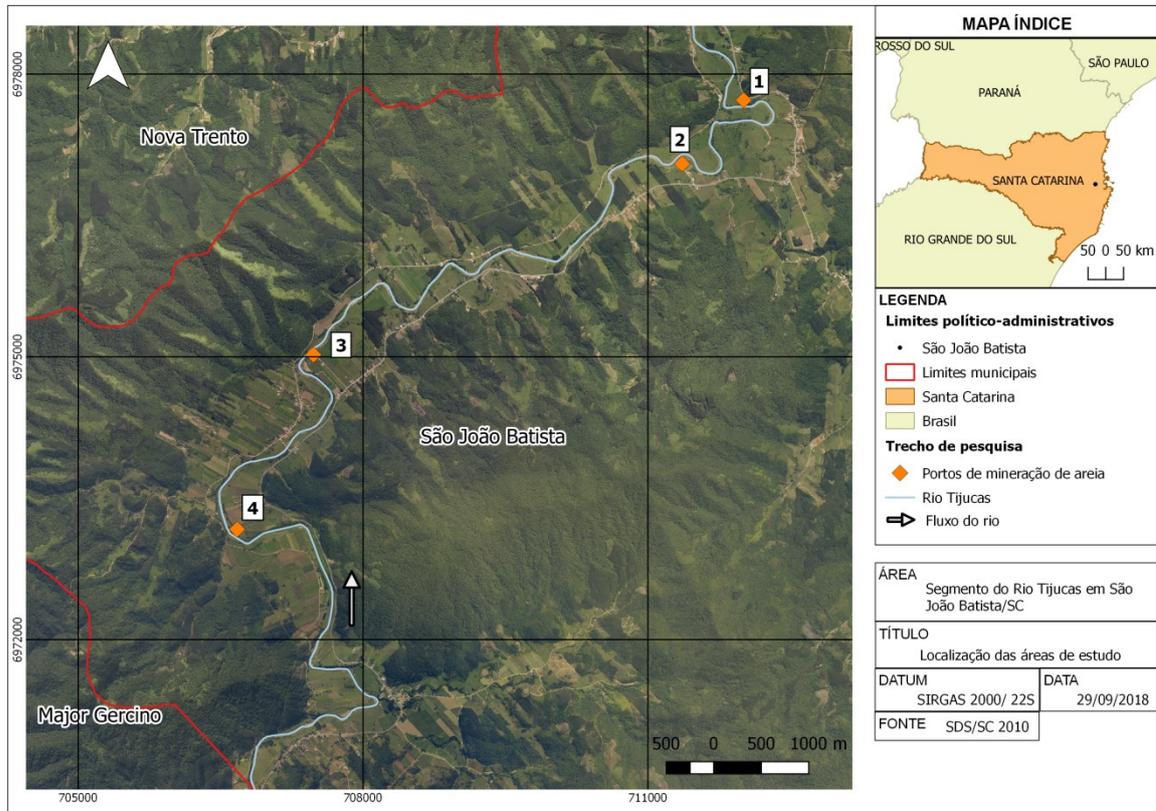
A cobertura vegetal da bacia corresponde à Floresta Tropical Atlântica (floresta ombrófila densa) e remanescentes da Floresta de Araucárias (floresta ombrófila mista) no alto vale da bacia (SANTOS, 2009). A vegetação caracteriza-se como secundária associada à atividades agropastoris (MEURER, 2011).

#### 4.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS SEGMENTOS

Considerando os métodos comumente utilizados nos estudos de geomorfologia fluvial (KONDOLF; PIÉGAY, 2003), optou-se pela metodologia de análise multitemporal de imagens orbitais, a fim de identificar e representar as alterações do sistema fluvial nos segmentos de mineração de areia em leito de rio. Considerando o estudo geomorfológico a partir das perspectivas histórica e funcionais (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017), busca-se nesta pesquisa identificar os processos atuantes no sistema fluvial como resultantes das condições atuais do sistema fluvial, mas especificamente os efeitos da mineração de areia em leito de rio em pequena escala espaçotemporal.

Com base no critério da presença da atividade de mineração de areia em leito de rio foram selecionados quatro segmentos do Rio Tijucas localizados na área rural do município de São João Batista (Figura 7). O trecho de rio em que as áreas de estudo se inserem percorre uma extensão de aproximadamente 12 km sob a planície fluvial.

Figura 7 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A primeira etapa da pesquisa consistiu no levantamento e pré-processamento das imagens. Como fonte de imagens orbitais gratuitas, acessíveis e de qualidade optou-se pelo uso do software Google Earth Pro (GE).

O recorte espacial das áreas de estudo definiu como critério a abrangência do pátio dos portos de mineração e do segmento do canal fluvial adjacente aos mesmos. Embora a área total de extração concedida pelo DNPM às mineradoras (disponível em DNPM 2018) se estenda ao longo canal fluvial, para os efeitos dessa pesquisa a delimitação dos segmentos considerou somente a área circunvizinha aos portos de areia. O recorte temporal selecionado de 2002 a 2017 foi definido conforme o período disponibilizado pelo GE através da ferramenta “linha do tempo”, atendendo aos objetivos desta pesquisa.

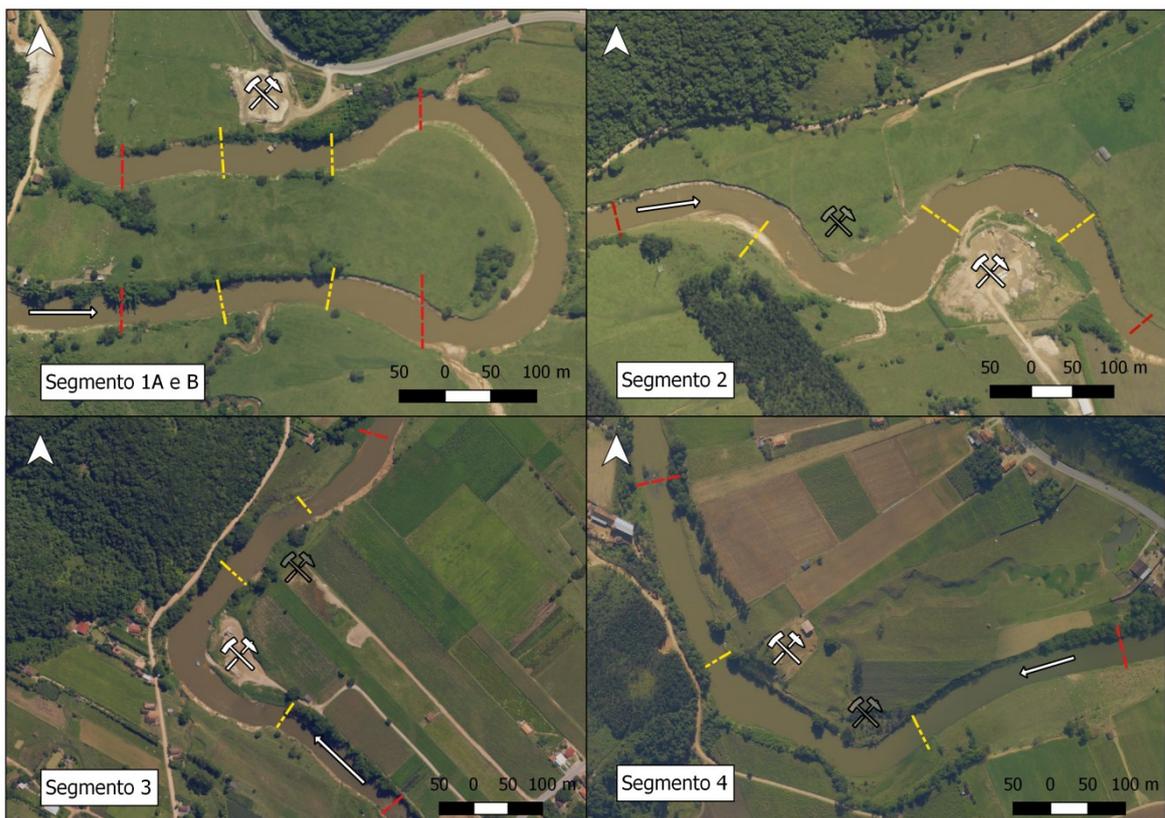
Após selecionados os quatro segmentos de análise e escolha das imagens, as mesmas foram georreferenciadas. Nesta pesquisa tal procedimento foi realizado através do software QGIS, referenciados ao Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) e ao Sistema Geodésico de referência SIRGAS 2000 Zona 22S como sistema de projeção cartográfica e georreferenciadas a partir do mapa-base do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) do ano de 2010, acessado via WMS (Web Map Service). Para o

georreferenciamento foram utilizados 5 pontos de controle, mantendo um erro médio abaixo de 5 metros, com valores de pixels residuais inferior à 3.

### 4.3 DESCRIÇÃO DOS SEGMENTOS

Os **segmentos** foram divididos em **trechos**, representados na Figura 8, no qual as linhas vermelhas indicam os limites dos segmentos e as linhas amarelas indicam as subdivisões em trechos. A subdivisão dos trechos considerou a área central de mineração e os trechos a montante e a jusante da mesma. Ainda, com base nas características do canal fluvial (Quadro 4), os trechos foram delimitados conforme a identificação dos padrões de canal de acordo com a classificação de Brierley e Fryirs (2006).

Figura 8 – Segmentos e seus respectivos trechos de análise



Fonte: Elaborado pela autora, 2018. Imagens SDS 2010.

Quadro 4 – Características gerais dos segmentos

<b>Características</b>	<b>Largura média</b>	<b>Comprimento aproximado</b>	<b>Coordenadas ponto central</b>	<b>Padrão de canal</b>
<b>Segmento 1</b>	30 metros	340 metros	27°18'25,94"S 48°51'27,55"O	Meandrante tortuoso
<b>Segmento 2</b>	40 metros	795 metros	27°18'48,23"S 48°51'49,79"O	Meandrante regular
<b>Segmento 3</b>	40 metros	825 metros	27°19'56,47"S 48°54'10,14"O	Meandrante irregular e retilíneo
<b>Segmento 4</b>	40 metros	880 metros	27°20'56,70"S 48°54'38,69"O	Meandrante irregular e retilíneo

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O segmento 1 foi desmembrado em A e B, no qual o segmento 1A corresponde ao segmento em que há a presença da mineração e o segmento 1B é espelhado sem a presença da mineração. Essa divisão foi adotada com o intuito de comparar os resultados entre os segmentos 1A e 1B, estabelecendo o segmento 1B como controle.

Apesar do aspecto meandrante, os segmentos 1A e 1B foram demarcados em trechos retilíneos do canal, excluindo-se assim a curva do meandro da análise. Os segmentos foram subdivididos em três trechos que são *montante*, *área da mineração/espelhado* e *jusante*.

Segundo os dados do DNPM (2018), a mineração de areia ocorre no segmento 1A desde 2003 pela empresa *Extração de Areia Coleoni Ltd*, em uma área de 3,27 ha. Porém, de acordo com as imagens disponíveis no Google Earth, verifica-se que já havia atividade de extração no local desde o ano de 2002.

O segmento 2, caracterizado por uma sequência de meandros regulares de sinuosidade média, foi desmembrado em quatro trechos, que são *montante*, *meandro 1*, *meandro 2* e *jusante*, conforme a direção do fluxo do rio.

Segundo os dados do DNPM (2018) a mineração de areia ocorre no segmento 2 desde 2009 pela empresa *Única Mineração, Transportes e Comércio Eireli*, em uma área de 4,19 ha. Porém, de acordo com as imagens disponíveis no Google Earth, verifica-se que a atividade de extração teve início em 2002 atuando sob a barra de pontal do meandro, sinalizado na Figura 8 pelo símbolo . Posteriormente em 2010, o porto de areia foi transferido para outra barra de pontal, passível de visualização na imagem, porém a extração de areia se manteve no leito do *meandro 1* durante os anos seguintes.

O segmento 3, caracterizado como meandrante irregular de sinuosidade baixa entre fragmentos retilíneos, foi dividido em quatro trechos, que seguindo a direção do fluxo do rio são, respectivamente, *montante*, *meandro*, *mineração* e *jusante*.

A mineração de areia ocorre no segmento 3 desde 2009 pela empresa *Única Mineração, Transportes e Comércio Eireli*, em uma área de 24,81 ha (DNPM, 2018). Excepcionalmente, no ano de 2010 a mineração atuou de forma simultânea sobre a barra de pontal do meandro, extraíndo areia da mesma em local explícito na imagem. Posteriormente a mineração no meandro foi abandonada e o porto de areia fixou-se no local representado na Figura 8 pelo símbolo , à montante do meandro.

O segmento 4 caracteriza-se, assim como o segmento 3, como meandrante de sinuosidade baixa, cujo meandro está localizado entre fragmentos retilíneos. Este segmento foi dividido em três trechos que são *montante*, *meandro* e *jusante*, seguindo a direção do fluxo do rio.

No segmento 4 a mineração de areia tem início em 2012 pela empresa *Zunical Calçados Ltda*, em uma área de 24,81 ha (DNPM, 2018). Porém verifica-se que já havia atividade de extração no local desde o ano de 2002, segundo as imagens disponíveis no Google Earth, podendo corresponder a períodos de extração por outras empresas ou de extração irregular. De 2005 a 2007 a barra de pontal do meandro foi utilizada como local de estocagem da areia extraída, simbolizada na Figura 8 pelo símbolo , sendo posteriormente alocado em local aparente da imagem.

#### 4.4 PARÂMETROS DE ANÁLISE

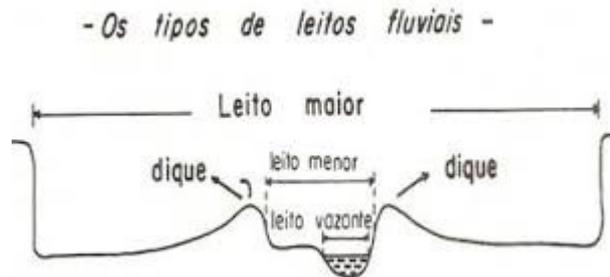
Na perspectiva de obter informações que pudessem subsidiar a pesquisa, de forma a interpretar e reconhecer possíveis efeitos da mineração sob o sistema fluvial, foi necessário propor parâmetros para análise. Deste modo, na segunda etapa da pesquisa foram definidos os seguintes parâmetros passíveis de serem medidos pelas imagens: feições erosivas, largura do rio e zona ripária.

O termo **feições erosivas** foi utilizado como descritor da morfologia das margens fluviais que indicam processos de erosão. Por meio da análise planar da morfologia através das imagens orbitais foi possível a identificação das margens fluviais e das feições erosivas.

A demarcação das margens fluviais teve como critério a identificação dos limites do leito vazante. O leito vazante corresponde ao tipo de leito fluvial utilizado para o escoamento

das águas baixas que acompanha o talvegue principal (CHRISTOFOLETTI, 1980). Já a identificação das feições erosivas assumiu como margens fluviais aquelas relativas ao leito menor. Segundo Christofolletti (1980), o leito menor refere-se ao leito encaixado entre margens bem definidas que inclui o leito vazante (Figura 9).

Figura 9 – Os tipos de leitos fluviais



Fonte: Christofolletti (1980, p. 83)

A seleção desses tipos de leitos fluviais teve como critérios: a facilidade de identificação dos leitos; a delimitação dos limites do curso d'água independente das variações das condições hidrológicas; e a característica das feições erosivas se darem sob a crista das margens do leito menor.

Desta maneira, para o mapeamento e análise das feições erosivas foi utilizada uma relação de proporção, adotada para facilitar a comparação dos dados para a análise temporal. Assim, as **feições erosivas**, em porcentagem, trata da relação entre o comprimento total das margens do trecho escolhido e o comprimento da erosão (Equação 1).

$$Feições\ erosivas(\%) = \frac{erosão\ (m) \times 100}{comprimento\ total\ margens\ (m)} \quad (1)$$

O *comprimento das margens* corresponde à metragem longitudinal de ambas as margens do canal fluvial do segmento analisado. O comprimento da erosão consiste na soma da metragem das feições erosivas identificadas no segmento em ambas as margens.

O parâmetro de **largura do rio** representa a distância em metros de uma seção transversal do rio. A seção transversal corresponde a uma reta perpendicular às margens que atravessa o canal fluvial de uma margem à outra. Para este parâmetro considera-se como margem aquelas delimitadas pelo leito menor devido à instabilidade do leito vazante enquanto parâmetro dependente das variáveis hidrológicas.

O parâmetro **zona ripária** designa a porcentagem da presença de vegetação em uma faixa de 10 metros de largura da planície a partir dos limites do leito menor para cada segmento analisado. Considerando o Rio Tijucas enquanto um curso d'água natural perene, de um porte médio de 35 metros neste curso do rio, assume-se conforme a Lei Florestal (BRASIL, 2012), que a área de APP corresponde a faixa marginal de 50 metros desde a borda da calha do leito regular. Porém, para os efeitos desta pesquisa, foi estabelecida a faixa de 10 metros, considerando esta como área de zona ripária de conectividade entre os compartimentos da paisagem do canal fluvial e da planície (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006).

A produção dos indicadores foi realizada por meio da análise de imagens em ambiente SIG por procedimentos de identificação, vetorização e cálculo geométrico. Todas as análises espaciais foram realizadas no QGIS 2.18, por ser gratuito e possuir ferramentas e funções que se adequam aos procedimentos necessários para esta pesquisa. Os dados coletados foram organizados em planilhas para cada segmento, conforme evolução temporal e indicadores. Posteriormente estes dados foram sistematizados em gráficos e tabelas para análise dos resultados.

A partir da análise temporal dos parâmetros para os segmentos e trechos e da observação das alterações na morfologia do canal fluvial nos segmentos minerados, buscou-se conhecer os fenômenos atuantes no sistema fluvial e os possíveis efeitos sob o mesmo decorrentes da instalação e atividade da mineração. De modo a explicar os fenômenos observados esta pesquisa elaborou um modelo conceitual para explicar os efeitos da mineração de areia na evolução da morfologia fluvial.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 PARÂMETRO Zona Ripária

Analisando a zona ripária (Tabela 1) de 2002 a 2017, o segmento em média mais florestado corresponde ao segmento 4, que variou 31% ao longo do período, em uma ascendência gradativa da vegetação. O segmento 1B apresenta um mínimo de 50% das margens preservadas durante todo o período. O segmento 3 e 4 alcançam mais de 75% das margens vegetadas, com crescimento gradativo dos índices.

Tabela 1 – Parâmetro zona ripária dos segmentos (%)

	2002	2005	2007	2009	2010	2014	2015	2016	2017
Segmento 1A	<b>16</b>	13	<u>28</u>	43	44	58	61	-	59
Segmento 1B	56	51	70	49	53	57	61	-	56
Segmento 2	<b>14</b>	16	12	4	<u>10</u>	52	59	-	64
Segmento 3	41	52	53	<b>53</b>	66	54	60	-	72
Segmento 4	<b>45</b>	58	65	64	62	<u>61</u>	-	69	76

Fonte: Elaborado pela autora, 2018. Em negrito o início da mineração para cada segmento e em itálico e sublinhado o início do revegetamento.

O segmento com maior variação é o segmento 2, apresentando aumento de 60% e o segmento 1A, com 48% de aumento para todo o período analisado. Este fenômeno se explica devido ao implemento de reflorestamento pela mineradora ao redor do porto de areia e nas margens fluviais adjacentes ao mesmo. O revegetamento foi comum em todos os casos.

Entende-se o revegetamento enquanto medida de mitigação ambiental executada mediante às diretrizes para a mineração de areia em leito de rio. De acordo com FATMA (2015) é definido que: nas APP serão permitidas somente as instalações para transbordo do minério; a mesma deverá situar-se a uma distância não inferior a 15 metros desde a borda da calha do leito regular; e o porto de estocagem do material deve, obrigatoriamente situar-se fora da APP; assim como as margens no ponto de atracação das dragas e portos de descarga devem ser dotadas de obras e/ou medidas de proteção. Por meio das imagens não foi possível identificar nenhuma obra ou medida de proteção no início das atividades mineradoras. Contudo, o aumento da vegetação na zona ripária pode indicar a implementação de uma medida protetiva das margens.

A vegetação da zona ripária é importante para a preservação da mata ciliar, garantindo a proteção ao meio ambiente, de modo a atenuar processos erosivos, lixiviação e assoreamento, contribuindo para regularizar o fluxo de drenagem e a formação de corredores ecológicos para a conservação da biodiversidade (Meurer, 2011). O estudo de Meurer (2011) revelou conflito de uso da terra na bacia (Quadro 5), no qual 46,64% da área de APP possui uso inadequado, isto é, corresponde às áreas ocupadas com cultura, urbanização, vegetação exótica, pastagem e campos irrigados.

Quadro 5 – Uso e cobertura do solo em APPs de rios na Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas

Uso e Cobertura do Solo	Margens de 30m Área (ha)	Margens de 50m Área (ha)
Floresta	16791.8400	332.8200
Vegetação Exótica	7161.9300	355.5000
Urbanização	3156.3900	165.8700
Culturas	7930.3500	813.1500
Água	913.3200	189.9000
Campos Irrigados	1072.7100	179.6400
Estágio Médio Avançado	7294.6800	230.7600
Pastagem	2535.2100	424.9800
Estágio Inicial/Campo de Altitude	-	488.5200

Fonte: Meurer (2011, p. 55).

Neste sentido, a instalação das mineradoras contribuiu na revegetação das áreas da zona ripária e faixa de APP, que nos casos estudados, em sua maioria, não retrataram um uso adequado mesmo antes do início da extração de areia. Considerando que a vegetação tem um efeito inibidor e atenuante sobre a erosão superficial e fluvial (SUGUIO; BIGARELLA, 1990), supõe-se que o revegetamento da zona ripária contribuiu para a estabilização das margens, sendo um fator que influencia nos resultados dos outros parâmetros deste estudo.

## 5.2 PARÂMETRO FEIÇÕES EROSIVAS E LARGURA DO RIO

### 5.2.1 Segmento 1

Na análise dos parâmetros para o segmento 1 é possível comparar os resultados entre os fragmentos minerado e espelhado durante o período de 2002 a 2017 (Figura 10).

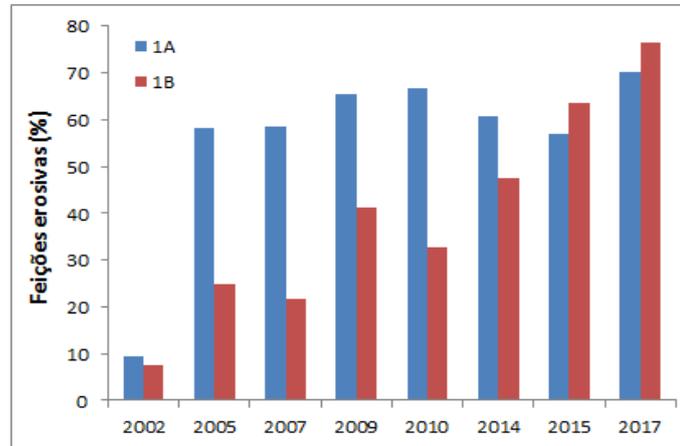
Figura 10 – Imagens do segmento 1 do ano de 2002 e 2017, em que: a) trecho montante, b) minerado e c) espelhado do segmento 1A e d) montante, e) espelhado e f) jusante do segmento 1B



Fonte: Elaborado pela autora, 2018. Imagens Google Earth Pro.

Analisando o gráfico das feições erosivas (Gráfico 1) entre os anos de 2002 e 2005, houve um salto de 10% para 58% no segmento 1A, coincidindo este aumento com o período de instalação da mineração. Por outro lado, o trecho 1B apresenta um padrão de aumento gradual das feições erosivas ao longo do período analisado, alcançando em 2015 os valores do trecho 1A.

Gráfico 1 – Evolução das feições erosivas dos segmentos 1A e 1B

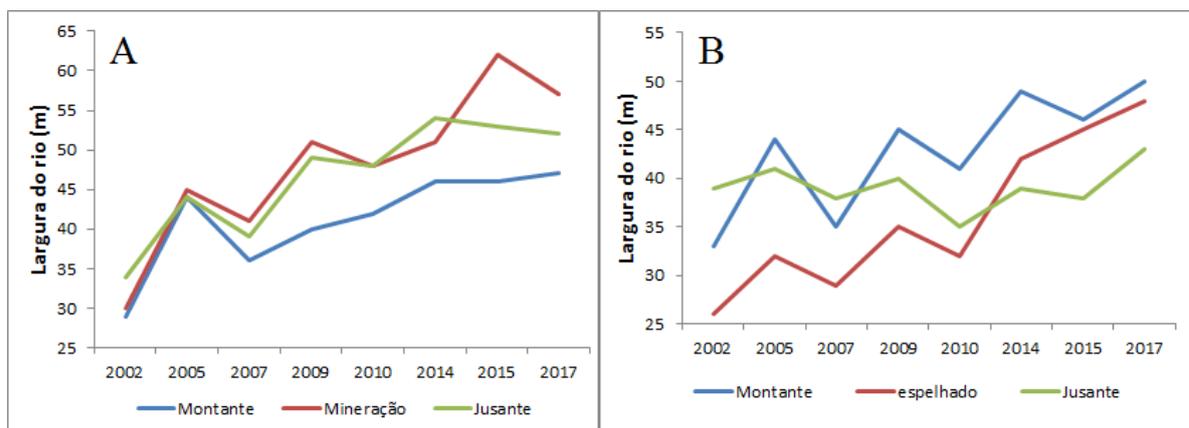


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Supõe-se que a mineração teve influência local e direta sob os processos erosivos provocando uma aceleração dos mesmos em comparação com o trecho 1B, que não sofreu influência direta da mineração. Pode-se ainda assumir que o desequilíbrio gerado pela atividade mineradora equivaleria a um período “natural” de evolução de cerca de 13 anos.

O Gráfico 2 apresenta a largura do rio de seções transversais para os trechos *montante* e *jusante* em relação ao trecho de *mineração* ou *espelhado*, no caso do trecho 1A e 1B respectivamente. É possível notar um processo de alargamento do canal fluvial em ambas áreas, com maior variação para o trecho de *mineração* e para o trecho *espelhado*.

Gráfico 2 – Evolução da largura do canal: A) segmento com mineração e B) segmento sem mineração



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Em termos numéricos, no segmento 1A apresentou um crescimento de 32 metros no local de mineração e de 20m e 18m nos trechos *jusante* e *montante*, respectivamente. Já no

segmento 1B, os crescimentos foram de 17, 22 e 8 metros para os trechos *montante*, *espelhado* e *jusante*, respectivamente.

Pode-se observar no Gráfico 2A que houve um alargamento do canal tanto no local da mineração, como a montante e jusante do mesmo, havendo uma tendência de crescimento similar para todo o segmento analisado, mas levemente menor a montante do que a jusante do local de mineração. Por outro lado, o segmento 1B (Gráfico 2B), onde não há mineração, apresentou um comportamento mais caótico, mas com tendência positiva de alargamento. O trecho montante do segmento 1B possui mata ciliar e está condicionado estruturalmente pelo domínio montanhoso, que podem ser fatores de controle da erosão. Já o trecho jusante está mais próximo da curva do meandro, podendo sofrer tanto processo de acreção como de erosão. Uma hipótese é que, de acordo com seu posicionamento entre locais minerados no canal (segmento 2 à montante e segmento 1A à jusante) o padrão de alternância pode indicar um equilíbrio dinâmico do sistema fluvial, de ajuste às condições fluviais.

### **5.2.2 Segmento 2**

A análise dos parâmetros do segmento 2 demonstram as alterações ocorridas durante o período de 2002 a 2017 (Figura 11).

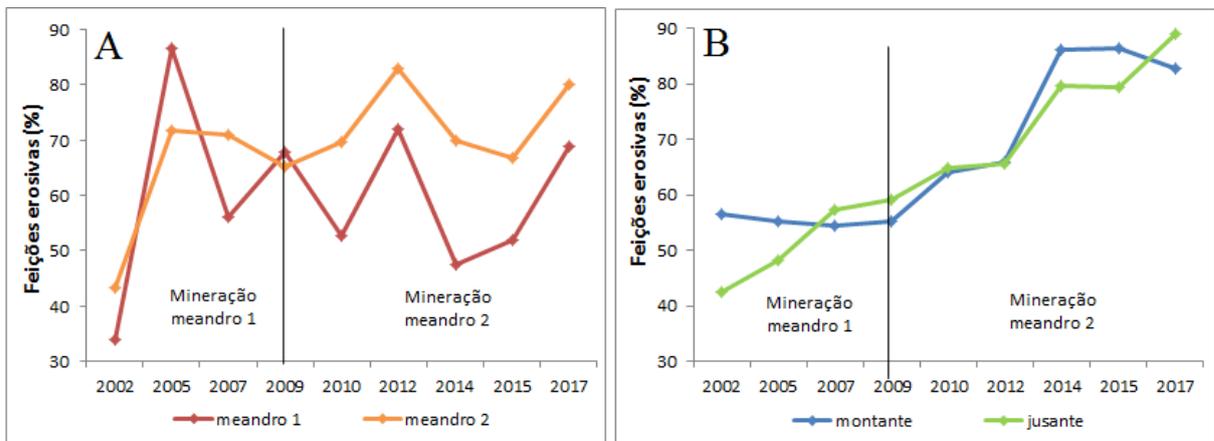
Figura 11 – Imagens do segmento 2 do ano de 2002 e 2017, em que: a) trecho montante, b) meandro 1, c) meandro 2 e d) jusante



Fonte: Elaborado pela autora, 2018. Imagens Google Earth Pro.

No período analisado de 2002 a 2009 a mineração se dá no trecho do *meandro 1* e posteriormente a mineração muda sua localização para o *meandro 2*, porém mantêm a extração no leito do *meandro 1*. Em 2010 ocorre a extração de areia sob a barra de pontal do *meandro 2* e em 2012 foi possível observar que esta cava foi capturada pelo fluxo do canal fluvial. O Gráfico 3 apresenta a porcentagem de feições erosivas para cada trecho do segmento 2.

Gráfico 3 – Evolução das feições erosivas do segmento 2: A) trechos *meandro 1* e *meandro 2* e B) trechos *montante* e *jusante*



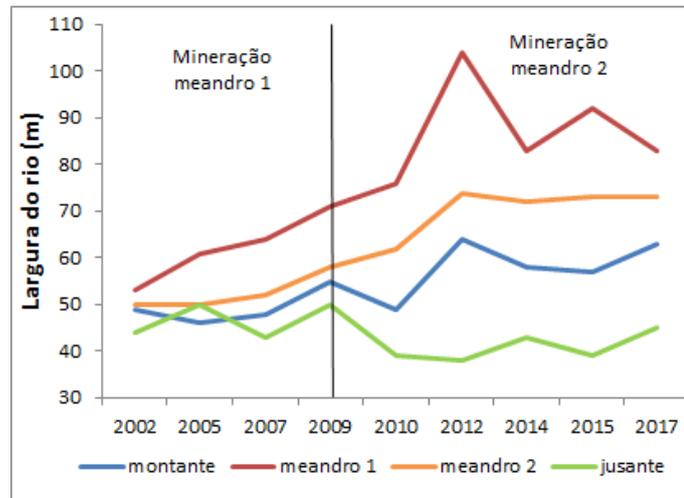
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Em termos numéricos as feições erosivas do Segmento 2 (Gráfico 3) apresentaram crescimento de 54% e 43% nos trechos de mineração *meandro 1* e *meandro 2*, respectivamente, e de 32% e 46% para os trechos *montante* e *jusante*. Apesar de apresentar uma tendência positiva entre os anos de 2002 e 2017, as feições erosivas dos trechos meandricos (Gráfico 3A) apresentaram um comportamento irregular, sugerindo processos de erosão e acreção e ajuste dos processos geomorfológicos ao longo do período.

Nota-se, para estes trechos, o mesmo salto apresentado no Segmento 1A, relacionado à implementação da mineração de 2002 para 2005 de 53% no *meandro 1* e um aumento de 13% no *meandro 2* após a abertura da cava de 2010 para 2012. De acordo com as características de meandros regulares, verifica-se que os trechos meandricos respondem de forma similar indicando um ajustamento entre os trechos aos processos erosivos. Em relação ao trecho *jusante* e *montante* (Gráfico 3B), ambos apresentaram tendência de crescimento gradual.

De acordo com o Gráfico 4, nas seções longitudinais dos trechos minerados a largura do canal fluvial cresceu consideravelmente, chegando a variar até 43 metros para o *meandro 1* e 24 metros para o *meandro 2*. Somente o trecho *jusante* manteve-se relativamente estável ao longo do período, e o trecho *montante* sofreu um alargamento de 18 metros.

Gráfico 4 – Evolução da largura do canal do segmento 2



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Após o evento citado de 2010 é possível observar que o dado subsequente de 2012 apresenta uma alteração que se sobressai à tendência geral, com alargamento do canal fluvial, principalmente nos trechos minerados, de 28 metros no *meandro 1* e de 12 metros no *meandro 2*. Apesar da cava ter ocorrido no *meandro 2*, o Gráfico 4 aponta para um salto na largura do *meandro 1*. Considerando a conexão dos processos geomorfológicos entre os meandros, o crescimento expressivo do *meandro 1* pode ser explicado, além da mineração ainda em curso neste trecho, pela localização à montante do *meandro 2*, sugerindo a reposição de sedimentos da cava através da erosão das margens côncavas. Posteriormente em 2014, os dados retornam à tendência geral, indicando uma estabilização dos fatores alterados em 2010.

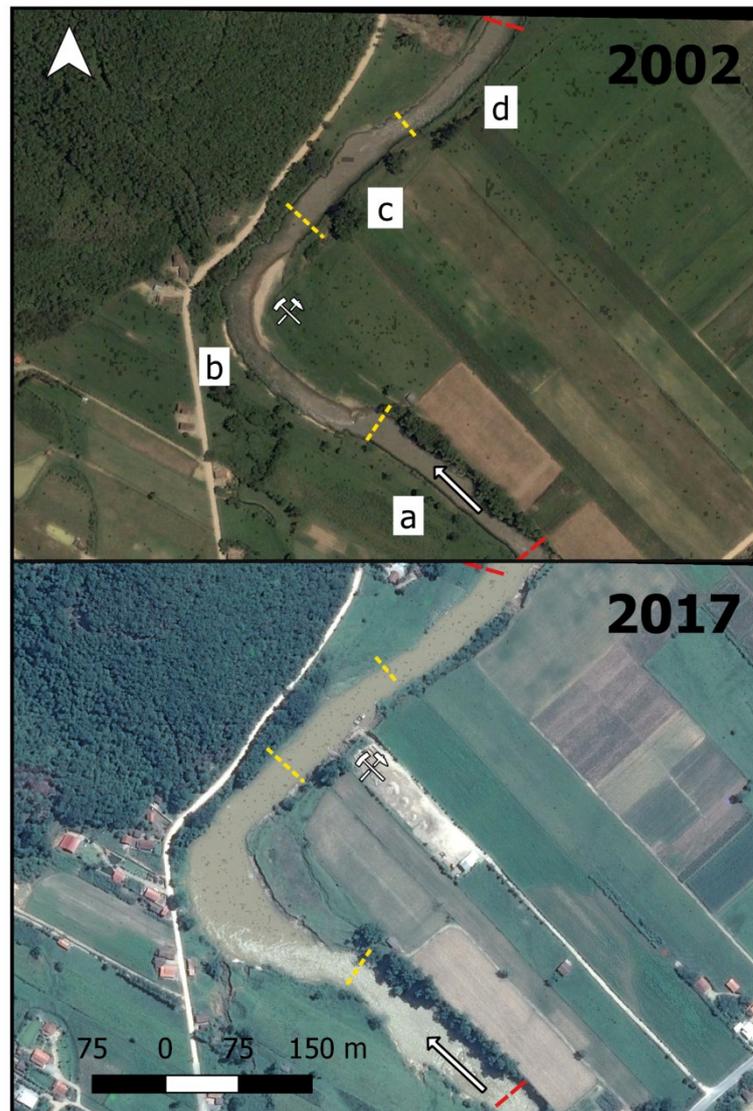
A partir de 2014, ano em que a revegetação ocorre em 52% das margens, concentrando-se principalmente no trecho *meandro 2*, local de instalação do porto de areia, verifica-se uma estabilização da largura no mesmo. Deste modo, assume-se que a revegetação contribuiu para a estabilização das margens no trecho minerado.

### 5.2.3 Segmento 3

No segmento 3 (Figura 12) é possível notar o comportamento dos parâmetros estudados sob condições sem a influência da mineração, no período de 2002 a 2007 (P1). Em um segundo momento de 2009 a 2010 (P2), a atividade de mineração tem início na região do meandro, e assim como na área 2, no ano de 2010 ocorre a escavação da barra de pontal, formando uma cava que posteriormente é captada pelo canal fluvial principal. A partir de

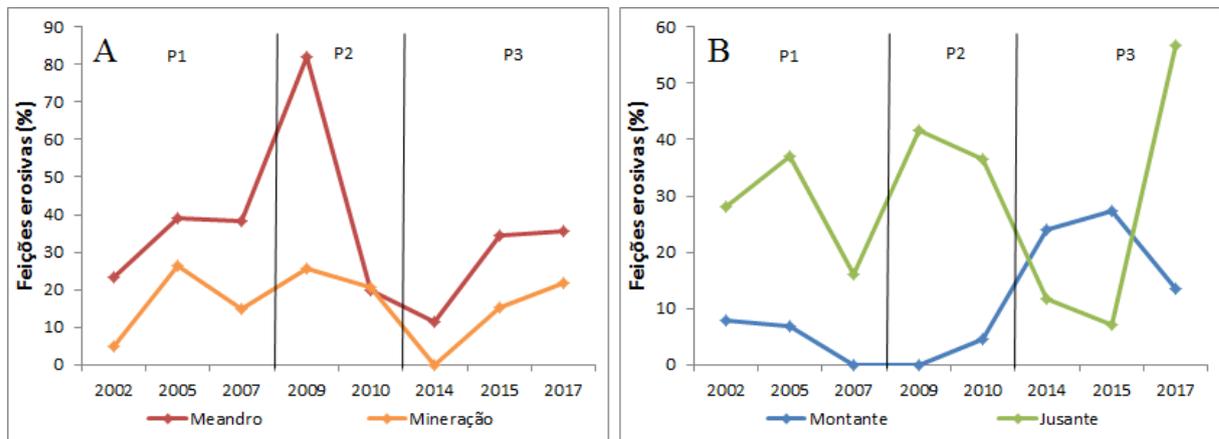
2010 (P3) a mineração muda de local para à jusante do meandro, em um trecho retilíneo. O Gráfico 5 apresenta o parâmetro feições erosivas para os trechos do segmento 3.

Figura 12 – Imagens do segmento 3 do ano de 2002 e 2017, em que: a) trecho montante, b) meandro, c) minerado e d) jusante.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018. Imagens Google Earth Pro.

Gráfico 5 – Evolução das feições erosivas do segmento 3: (A) trechos *meandro* e *mineração* e (B) trechos *montante* e *jusante*



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Considerando P1 enquanto um período controle, em que os processos geomorfológicos atuantes não estavam sob a influência direta da mineração, os trechos apresentam relativa estabilidade das feições erosivas, sendo que estas são praticamente nulas para o trecho retilíneo *montante*.

Com o início da mineração no período P2, no trecho *meandro*, há um aumento abrupto dos processos erosivos no local da mineração de 38 a 82% das margens, semelhante ao que foi observado nos segmentos 1A e 2.

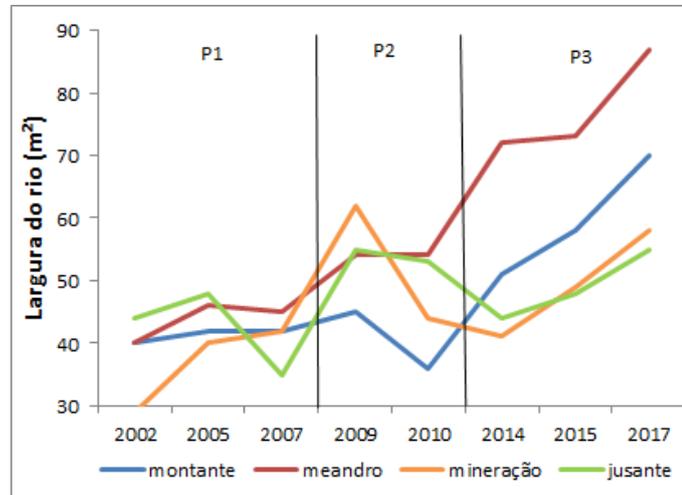
Após 2010, com a abertura da cava no meandro, é possível observar um crescimento das feições erosivas para o trecho a *montante*, sugerindo a reposição dos sedimentos da cava pela dinâmica fluvial, da mesma forma que no caso do segmento 2. Porém não se observa crescimento para os trechos *meandro* e *mineração*.

Em P3, com a mudança da mineração para o trecho retilíneo, os trechos *meandro* e *minerado* apresentam certa estabilidade. Uma possível explicação é a presença de vegetação arbórea e de um maciço rochoso que delimita o canal fluvial conformando parte da margem esquerda dos trechos, auxiliando na contenção dos processos erosivos.

Quanto as feições erosivas do trecho *jusante* e *montante* neste período observa-se que respondem de forma antagônica, de 2014 para 2015 ocorre o crescimento do trecho *montante* e de 2015 para 2017 um crescimento de 29% do trecho *jusante*. Pode-se supor que primeiramente o efeito dominante da mineração é o da incisão em sentido *montante* e em um segundo momento a dominância do efeito *hungry water* à *jusante* que influem sobre os processos de erosão fluvial.

O Gráfico 6 representa as variações da largura nas seções longitudinais do segmento 3 para cada um dos trechos de análise.

Gráfico 6 – Evolução da largura do canal do segmento 3



Fonte: Elaborado pela autora, 2018. P1 indica período sem mineração, P2, início da mineração no *meandro* e P3 instalação no trecho *mineração*.

Em P1 os trechos apresentam relativa estabilidade da largura. A partir do início da mineração em P2, verifica-se um aumento da largura para os trechos *meandro*, *mineração* e *jusante* de 9, 20 e 20 metros respectivamente, e uma diminuição de 9 metros para o trecho *montante*, com variações entre este intervalo.

No período P3, após a abertura da cava na barra de pontal do meandro em 2010, verifica-se um aumento da largura do trecho meandro de 18 metros e de 30 metros no trecho *montante*, assim como foi observado no segmento 2. A partir de 2014 todos os trechos apresentam um crescimento gradual da largura.

#### 5.2.4 Segmento 4

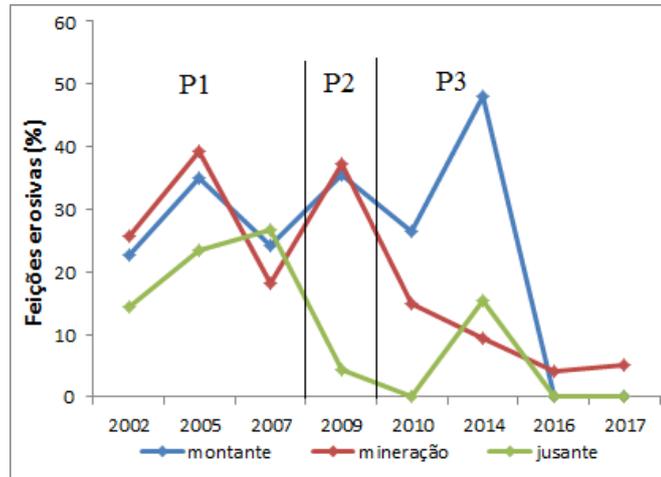
O segmento 4 (Figura 13) apresentou a mineração em dois locais (*meandro 1* e *meandro 2*) localizados no trecho *mineração*, até 2010 (P1). Excepcionalmente no ano de 2009 (P2) não ocorre mineração. A partir de 2014 (P3) a mineração fixa-se no *meandro 2*. O Gráfico 7 apresenta o parâmetro feições erosivas para os trechos do segmento 4.

Figura 13 – Imagens do segmento 4 do ano de 2002 e 2017, em que: a) trecho montante, b) meandro e c) jusante.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018. Imagens Google Earth Pro.

Gráfico 7 – Parâmetro feições erosivas do segmento 4



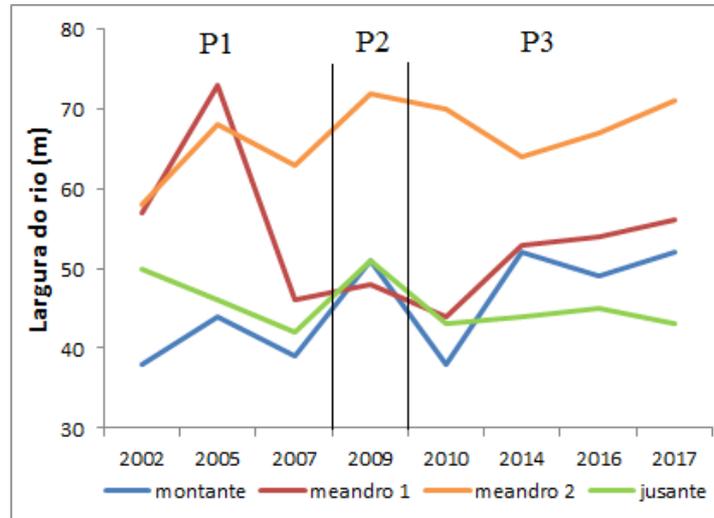
Fonte: Elaborado pela autora, 2018. P1 indica atividade de mineração, P2 período sem mineração e P3 reinício da mineração

Em P1 é possível observar que os trechos *montante* e *mineração* apresentam uma tendência semelhante de leve oscilação, sugerindo processos de erosão e acresção, que se mantêm em P2. Em P2, momento sem a influência da mineração, as feições erosivas do trecho *jusante* diminuem 23%. Do ano de 2009 para 2010 há uma queda nos parâmetros de feições erosivas para todos os trechos, correspondendo ao período sem a influência da mineração.

Em P3, com a reinstalação da mineração, o trecho minerado apresenta uma tendência de diminuição gradual das feições erosivas de 10 %. Uma possível explicação é a presença de vegetação nas margens do trecho *mineração* que podem contribuir na estabilização das mesmas. Porém, verifica-se um salto das feições erosivas para os trechos *montante* e *jusante* de 21% e 15% respectivamente. Em concordância aos segmentos 2 e 3 este crescimento ocorre também para o trecho à montante da mineração. O trecho *montante* caracteriza-se como o mais vulnerável sem condicionante estrutural do maciço rochoso e com menor presença de vegetação na zona ripária.

O Gráfico 8 demonstra a evolução da largura para os trechos do segmento 4.

Gráfico 8 – Parâmetro largura do segmento 4



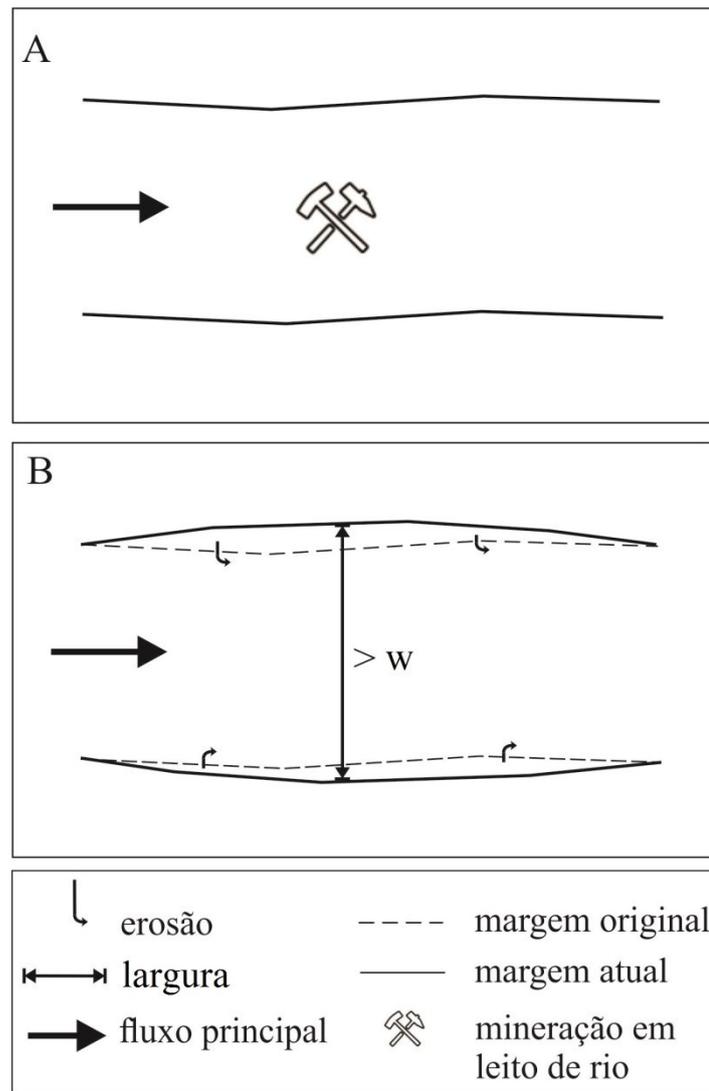
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Analisando o Gráfico 8 do parâmetro largura, o trecho *meandro 2* corresponde ao de maior largura. No período 1 o trecho minerado *meandro 1* varia 29 metros. Em P2, sem a influência da mineração, a largura mantém-se relativamente estável para todos os trechos. Em P3, com a fixação da mineração no *meandro 2* a largura dos trechos *montante* e *jusante* se estabilizam e o *meandro 1* acompanha a tendência de crescimento gradual do *meandro 2*.

### 5.3 MODELO CONCEITUAL

De acordo com a interpretação visual das imagens e da análise e discussão dos parâmetros, foi possível constatar que nos casos dos trechos de mineração houve um aumento expressivo do parâmetro de largura do rio, associado à erosão das margens de acordo com a propagação do *nickpoint* à montante e *hungry water* à jusante. Afim de representar os efeitos da mineração de areia na evolução da morfologia fluvial foi proposto um modelo conceitual para os segmentos retilíneo (Figura 14) e meandrante (Figura 15).

Figura 14 – Efeitos da mineração sob a morfologia planar fluvial em segmento retilíneo



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O modelo dos efeitos da mineração sob a morfologia fluvial em segmento retilíneo demonstra na Figura 14A o momento de início da mineração em leito de rio, em que o canal fluvial, ainda em estágio de equilíbrio, é perturbado pela atividade de extração.

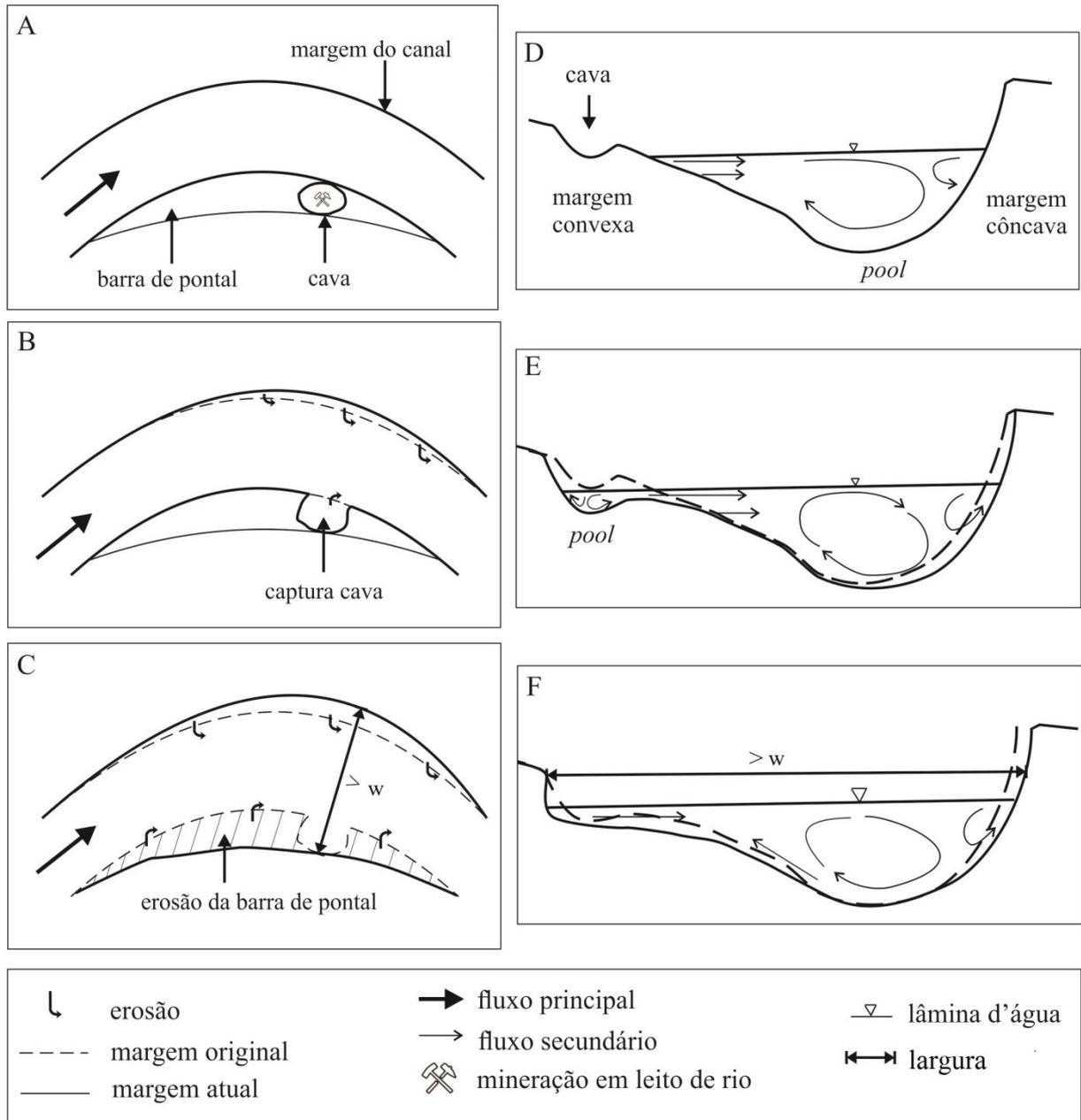
A partir da escavação do leito é criado um *nickpoint* que migra para à montante. Associado ao mesmo se dá efeito *hungry water* no sentido à jusante. (KONDOLF, 1994, 1997). A extração de sedimentos em canal ativo resulta na erosão do leito, iniciando um processo de a propagação de incisão no canal à montante e à jusante (Figura 5). A migração da incisão altera o equilíbrio pré-existente da morfologia fluvial, ocasionando a desestruturação do sopé das margens desencadeando o solapamento das mesmas. Dessa

maneira, o efeito da mineração pode se propagar não apenas no local da mineração, mas também longitudinalmente ao local de escavação.

Em um segundo momento, representado na Figura 14B, o sistema fluvial sofre os efeitos da mineração de erosão lateral de ambas as margens do canal fluvial e consequente alargamento, principalmente no trecho minerado. Este comportamento foi observado no segmento retilíneo 1A.

O modelo dos efeitos da mineração sob a morfologia fluvial (Figura 15) em um segmento meandrante considerou o caso em que a extração ocorre sob a barra de pontal do meandro.

Figura 15 – Efeitos da mineração sob a morfologia planar fluvial e leito em banco de segmento meandrante



Fonte: Elaborado pela autora, 2018, com base em Stevaux; Latrubesse (2017, p. 172).

Conforme demonstrado na Figura 15A ocorre a abertura da cava na barra de pontal do meandro, ainda separada da calha do canal fluvial principal. De forma complementar, a Figura 15D demonstra a seção transversal do meandro no eixo da cava (STEVAX; LATRUBESSE, 2017, p.172). As setas ilustram os fluxos secundários. Verifica-se um fluxo turbulento no *pool* direcionado à margem convexa que, pelo processo de acreção lateral, forma o banco de areia. Há o transporte de sedimentos via os pequenos fluxos que se

direcionam da barra para o canal. Na margem côncava, há um pequeno fluxo em direção à mesma, originado a partir do fluxo turbulento central, que estabelece uma frente erosiva.

Posteriormente, de acordo com as modificações observadas nas feições dos segmentos 2 e 3, a cava é capturada pelo fluxo do rio e verifica-se a erosão da margem côncava na direção diagonal à montante do local minerado (Figura 15B). Na seção transversal (Figura 15E), verifica-se a formação de um pequeno *pool* no local da cava inicial devido ao aprofundamento da cava. A retirada de sedimentos do banco de areia altera o equilíbrio pré-existente alterando os fluxos, que na tentativa de reposição dos sedimentos, aumenta a turbulência do fluxo helicoidal – de acordo com o aumento da rugosidade do leito - gerando um aprofundamento do *pool* central e o aumento da erosão da margem côncava.

Ao final, conforme observado nos segmentos 2 e 3, verifica-se a continuação da erosão da margem côncava, em sentido diagonal à montante da cava inicial, e o desaparecimento da barra de pontal na margem convexa (Figura 15C). Como resultado ocorre o aumento da largura na seção da cava inicial. Na Figura 15F, o leito equilibra sua condição morfológica, em que o *pool* da cava desaparece e os sedimentos da barra arenosa ficam submersos e a margem convexa apresentam-se na forma de cristas. O canal fluvial sofre um alargamento de acordo a supressão da barra de pontal e erosão das margens convexas. Contudo, com o reestabelecimento da nova condição de equilíbrio, espera-se a formação de uma nova barra de pontal.

## 6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise temporal do parâmetro **zona ripária** para os segmentos demonstrou que o segmento 2 apresentou o maior crescimento, de 60%, durante o período analisado. De forma geral, todos os trechos indicaram um crescimento no parâmetro, associados à implementação do revegetamento no entorno da área do porto de areia, como forma de mitigação ambiental. Conclui-se que a mineração contribuiu no revegetamento da zona ripária do canal fluvial, que por sua vez, auxilia na manutenção das margens fluviais reduzindo os processos erosivos nos trechos vegetados e estabilizando a largura do canal.

Com base na análise temporal do parâmetro **feições erosivas** foi possível averiguar que os segmentos 1A, 2 e 3 apresentaram saltos de 48%, 29% e 44% respectivamente, após a instalação da mineração nos trechos minerados. Nos segmentos 2 e 3, em que ocorreu a escavação da barra de pontal dos meandros, também foi observado um salto das feições erosivas no trecho à montante do local minerado de 53% e 20% respectivamente. Desta forma, é possível concluir que a mineração perturbou o equilíbrio pré-existente do sistema fluvial provocando uma aceleração dos processos erosivos logo após o implemento da mesma.

A análise temporal do parâmetro **largura** demonstrou o alargamento em todos os segmentos, exceto o segmento 4. O segmento 1A apresentou um alargamento do próprio trecho minerado, de 32 metros. O segmento 2 e 3 também apresentaram um alargamento no local minerado, porém demonstraram um alargamento mais expressivo no trecho à montante do minerado, de 43 e 30 metros respectivamente. Conclui-se que de modo geral o aumento da largura em trecho retilíneo ocorre localmente e de forma tênue longitudinalmente do local minerado. Quanto aos segmentos meandantes conclui-se que o aumento da largura ocorre no local minerado, com o desaparecimento da barra de pontal, e de forma mais relevante nos trechos à montante do mesmo.

O segmento 4 comportou-se de modo atípico em comparação aos demais segmentos, configurando-se como um trecho mais estável. Uma possível explicação deriva da sua localização à montante da bacia próximo ao alto vale e sem a influência de outros trechos minerados próximos.

Com base nos resultados observados foi proposto um modelo conceitual dos efeitos da mineração de areia na evolução da morfologia fluvial para segmentos retilíneo e meandrante.

Com base no modelo de Kondolf (1994, 1997), supõe-se que nos segmentos retilíneo a propagação do *nickpoint* contribui para o aumento dos processos erosivos que resultam na desestruturação e solapamento das margens do canal. Conclui-se que esse processo deriva nos efeitos observados de aceleração dos processos erosivos e alargamento do canal, principalmente no trecho minerado.

Nos segmentos meandantes, com a escavação da barra de pontal, assume-se que as mudanças na morfologia influem nos fluxos e no sistema de transporte de sedimentos, alterando o equilíbrio existente. O ajustamento às novas condições do sistema resultam nos efeitos observados de salto das feições erosivas e alargamento do trecho minerado e, de forma mais relevante, do trecho à montante do mesmo.

Considera-se que esta pesquisa atendeu aos objetivos levantados e apresentou resultados. Porém a metodologia por análise de imagens orbitais se mostra insuficiente para conferir confiabilidade aos resultados obtidos, pois pode apresentar falhas técnicas e de interpretação. Portanto se faz necessário outros estudos de campo afim verificar com mais precisão a evolução da morfologia fluvial.

Os parâmetros escolhidos se mostraram viáveis e apresentaram os resultados esperados, conforme a observação das imagens. A análise dos parâmetros conferiu bons índices porém não foi possível estabelecer a correlação entre os parâmetros. Nesse sentido, é interessante a aplicação de outros métodos buscando compreender de modo mais complexo as interações entre as variáveis geomorfológicas.

Acredita-se que esta pesquisa contribuiu para o levantamento de conhecimentos acerca da realidade da mineração de areia na Bacia do Rio Tijucas. Contribuiu também ao tratar de um tema ainda pouco estudado no Brasil dos efeitos da mineração de areia na geomorfologia fluvial.

## REFERÊNCIAS

- ACAT. **Laudo Técnico de Identificação e Caracterização dos Processos Erosivos dos Taludes Ripários no Município de São João Batista/SC**. Tijucas: ACAT, [2012?].
- ALMEIDA, E. S. **O pólo cerâmico do Vale do Rio Tijucas: Análise da exploração mineral e da degradação ambiental**. Florianópolis: UFSC, 1992.
- ANA; IBRAM. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração** ANA Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/a-gestao-dos-recursos-hidricos-e-a-mineracao.pdf>>
- BRASIL. **Lei 6.938/1981 - Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>
- BRASIL. **Resolução CONAMA 001/86 - Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação de impacto ambiental**. Brasília, 1986.
- BRASIL. **Decreto 97.632/89 - Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei 6.938/81, e dá outras providências**. Brasília, 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D97632.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm)>
- BRASIL. **Decreto 99.274/90 - Regulamenta a Lei 6.902/81, e a Lei 6.938/81, que dispõe respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências**. Brasília, 1990.
- BRASIL. **Resolução CONAMA 010/90 - Dispõe sobre as normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classe II**. Brasília, 1990.
- BRASIL. **Resolução CNRH 29/2002 - Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais**. Brasília, 2002.
- BRASIL. **Código de mineração e legislação correlata**. Brasília, 2011. Disponível em: <<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/496300/000961769.pdf>>
- BRASIL. **Lei 12.651/12 - Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis 6.938/81, e 9.393/96, e 7.754/89, e a Medida Provisória 2.166-67/01; e dá outras providências**. Brasília, 2012.
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. *Area*, v. 38.2, p. 165–174, 2006.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the river styles framework**. 2. ed., Blackwell, 2006.
- CARUSO JR. **Estudo de Impacto Ambiental da Atividade de Mineração de Areia, Argila e Saibro na Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas – Santa Catarina**, 2003.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1980.

COLLINS, B.; DUNNE, T. **Fluvial Geomorphology and river-gravel mining: A guide for planners, case studies included**. California Department of Conservation Division of Mines and Geology, 1990..

DNPM. **Sumário mineral** Brasília DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, , 2006. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2006>>

DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.anm.gov.br/assuntos/ao-publico/anuario-mineral/arquivos/ANUARIO\\_MINERAL\\_2010.pdf](http://www.anm.gov.br/assuntos/ao-publico/anuario-mineral/arquivos/ANUARIO_MINERAL_2010.pdf)>.

DNPM. **Sumário Mineral**. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2016>>.

DNPM. **SIGMINE**. Disponível em: <<http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>>.

FATMA. **Instrução normativa 7: Atividades de mineração**, 2015.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. DOS S. **Geomorfologia Ambiental**. Bertrand Brasil, 2006.

IBRAM. **Informações sobre a Economia Mineral Brasileira**. Brasília, 2015. Disponível em: < <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf> >.

KONDOLF, G. M. Geomorphic and Environmental-Effects of Instream Gravel Mining. **Landscape and Urban Planning**, v. 28, n. 93, p. 225–243, 1994.

KONDOLF, G. M. Hungry water: effects of dams and gravel mining\ron river channels\r. **Environmental Management** , v. 21, n. 4, p. 533–551, 1997.

KONDOLF, M.; PIEGAY, H. **Tools in Fluvial Geomorphology**. John Wiley & Sons, 2003.

MALASYA. **River Sand Mining Management Guideline**. Department of Irrigation and Drainage Malaysia, 2009.

MARINI, M. **Controle Geológico e Caracterização Legal e Ambiental da Atividade de Mineração de Areia na Bacia do Rio da Madre (SC)**. Florianópolis: UFSC, 2017.

MEURER, C. C. B. DE S. **Análise da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas , SC : Proposta de Áreas Prioritárias para um Sistema de Unidades de Conservação** **Análise da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas : Proposta de Áreas Prioritárias para um Sistema de Unidades**. Itajaí: UNIVALE, 2011.

MPSC. **TAC**, 2007.

NABEGU, A. B. Morphologic Response of a Stream Channel to Extensive Sand Mining. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 6, n. 2, p. 96–101, 2014.

PADMALAL, D. et al. Environmental effects of river sand mining: A case from the river catchments of Vembanad lake, Southwest coast of India. **Environmental Geology**, v. 54, n. 4, p. 879–889, 2008.

RINALDI, M.; WYZGA, B.; SURIAN, N. Sediment mining in alluvial channels: Physical effects and management perspectives. **River Research and Applications**, v. 21, n. 7, p. 805–828, 2005.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTA CATARINA. **Estudos dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos para o Estado de Santa Catarina e Apoio para sua Implementação - Panorama dos Recursos Hídricos em Santa Catarina**. Santa Catarina, 2015.

SANTOS, J. S. M. **Governança da água e tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a construção de cenários ambientais na bacia hidrográfica do Rio Tijucas, Santa Catarina, Brasil**. Florianópolis, UFSC, 2009.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. New York: Wiley, 1977.

SDS. **Recursos Hídricos de Santa Catarina**. Santa Catarina, [2010?]. Disponível em: <<http://www.aguas.sc.gov.br/base-documental/bacias-hidrograficas-do-estado>>.

SEAR, D. A.; NEWSON, M. D.; THORNE, C. R. **Guidebook of applied fluvial geomorphology**. Londres: Thomas Telford, 2010.

SREEBHA, S.; PADMALAL, D. Environmental impact assessment of sand mining from the small catchment rivers in the Southwestern Coast of India: A case study. **Environmental Management**, v. 47, n. 1, p. 130–140, 2011.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: UFPR, 1990.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. . A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n. 109, p. 9–26, 2005.

VIEIRA, E. G.; REZENDE, E. N. Exploração Mineral de Areia e Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: É possível conciliar? **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 2, p. 171, 2015.

VIEIRO, A. C.; SILVA, D. R. A. **Geodiversidade do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2016.

WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of hydrology**, v. 65, n. 1–3, p. 209–237, 1983.

ZWIRTES, S.; HAMMES, D. F. **Projeto materiais de construção civil da região da grande Florianópolis**. Porto Alegre: CPRM, 2016.