



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GEOLOGIA

Juliano de Oliveira Neves da Fontoura

**Análise Multitemporal do Potencial Erosivo na Calha do Rio Biguaçu,
Município de Biguaçu – SC**

Florianópolis

2023

Juliano de Oliveira Neves da Fontoura

**Análise Multitemporal do Potencial Erosivo na Calha do Rio Biguaçu,
Município de Biguaçu – SC**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Geologia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Carlos Antônio Oliveira Vieira, Dr.

Florianópolis

2023

Fontoura, Juliano de Oliveira Neves da
Análise Multitemporal do Potencial Erosivo na Calha do Rio
Biguaçu, Município de Biguaçu - SC / Juliano de Oliveira Neves
da Fontoura ; orientador, Carlos Antônio Oliveira Vieira, 2023.
106 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências
Humanas, Graduação em Geologia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Geologia Sedimentar. 3. Geomorfologia. 4.
Sensoriamento Remoto. I. Vieira, Carlos Antônio Oliveira. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia.
III. Título.

Juliano de Oliveira Neves da Fontoura

Análise Multitemporal do Potencial Erosivo na Calha do Rio Biguaçu, Município de Biguaçu – SC

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Geologia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Geologia.

Florianópolis, 12 de julho de 2023.



Prof.^a Manoela Bettarel Bállico, Dr.^a
Coordenação do Curso


Banca examinadora



Prof. Carlos Antônio Oliveira Vieira, Dr.
Orientador



Prof.^a Liliana Sayuri Osako, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.^a Luana Moreira Florisbal, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2023

Dedico este trabalho ao meu avô Achylles Brazil de Oliveira Brito (*in
memorian*).

AGRADECIMENTOS

Aos meus professores da Geologia, que dedicaram seu tempo a passar conhecimentos científicos e experiencias de vida.

Ao meu orientador, prof. Carlos Vieira, ao dedicar seu tempo para me auxiliar na execução e finalização deste trabalho, tirando dúvidas e aconselhando.

Aos meus colegas de curso, que me acompanharam e ajudaram nesta jornada mútua.

A todos os meus amigos que estiveram comigo, em especial a Leonardo Machado de Aguiar, Daniel Vicente Campos, Luiz Fernando Schiestl Alexandre e Jessica Rodrigues Silva, pelo carinho, paciência, compreensão e apoio ao longo de muito tempo.

A Fernando da Fontoura Xavier, que primeiro despertou em mim o amor pela Geologia, me abrindo os olhos para uma nova visão de mundo.

E a minha família, especialmente aos meus pais, Márcia Inês de Oliveira Brito e João Neves da Fontoura Júnior, que me apoiaram e abrigaram ao longo de toda a minha vida, sem os quais nada disso seria possível.

“The result, therefore, of this physical inquiry is, that we find no vestige of a beginning, no prospect of an end.”
(James Hutton, 1778)

RESUMO

A bacia do Rio Biguaçu, localizada na porção central do litoral do estado de Santa Catarina (SC), possui longo histórico de cheias e enchentes, especialmente em períodos do verão devido a maior pluviosidade. O embasamento geológico da área é composto por rochas metamórficas Neoproterozóicas do Ciclo Orogênico Brasileiro e rochas vulcânicas cretáceas da Formação Serra Geral, recoberto por sedimentos inconsolidados fluviais e marinhos recentes na porção junto ao Oceano Atlântico. A rede de drenagem da bacia apresenta uma desembocadura principal que concentra aproximadamente 97% do escoamento superficial e que está em processo ativo de assoreamento há mais de 1 século, com o mais antigo registro sendo de 1916. Tendo como objetivo delimitar as áreas mais susceptíveis a erosão e contribuir para a sedimentação da calha fluvial, provendo ao poder público municipal uma base cartográfica para o planejamento e implementação de políticas de mitigação e restauração, foi realizada análise do potencial de perda de solos por erosão para a toda a bacia através do método da Equação Universal de Perda de Solos (USLE), análise de supressão vegetal nas áreas marginais à rede hidrográfica e correlação destes dados com análise da variação sazonal entre setembro de 2019 e abril de 2020 da assembleia granulométrica em diversos pontos do trecho navegável do Rio Biguaçu, no município homônimo. Os critérios utilizados para a quantificação do potencial de perda de solo por erosão deste método são características intrínsecas naturais e das modificações antrópicas ao meio. Foram empregadas neste trabalho a pluviosidade média mensal e anual, a declividade do relevo, a cobertura sedimentar e o uso e cobertura de terra obtido pela classificação supervisionada de imagens dos satélites SENTINEL-2. Com resultados desta análise, foram elaborados dois mapas do potencial vulnerabilidade à erosão. Para o inverno de 2019, foram identificadas taxas mínimas e máximas de erosão entre 0 e 5 toneladas por hectare ao ano, com valores médios de 0,7 ton/ha.ano. Para o verão de 2020, as taxas mínimas e máximas foram entre 0 e 7,5 ton/ha.ano e média de 0,9 ton/ha.ano. Estas taxas de erosão, quando correlacionadas aos dados da variação da assembleia granulométrica, evidenciam a concentração de áreas com grau elevado de vulnerabilidade erosiva em porções próximas a foz do Rio Biguaçu, sendo também estas as áreas com maior urbanização, degradação dos ambientes marginais e alterações antrópicas aos canais fluviais, indicando a necessidade de intervenção pública para recuperação destas regiões.

Palavras-chave: Geomorfologia; Geologia Sedimentar; Sensoriamento Remoto; Assoreamento Fluvial; Rio Biguaçu.

ABSTRACT

The Biguaçu River basin, located in the central coastline of the state of Santa Catarina (SC), has a long history of floods and inundations, especially in summer periods due to higher rainfall. The geological basement of the area is composed of Neoproterozoic metamorphic rocks from the Brasiliano Orogenic Cycle and Cretaceous volcanic rocks from the Serra Geral Formation, covered by recent fluvial and marine unconsolidated sediments adjacent to the Atlantic Ocean. The basin's drainage network has a main outlet that concentrates approximately 97% of the surface runoff and has been in active process of silting up for over a century, with records dating back to at least 1916. Aiming to delimit the most susceptible areas to erosion and sedimentary contribution to the river channel, providing local government with a cartographic base for planning and implementing mitigation and restoration policies, an analysis of soil loss potential due to erosion was carried out for the entire basin through the Universal Soil Loss Equation (USLE) method, followed by correlation of these data with the seasonal variation between September 2019 and April 2020 of the granulometric assembly in several points of the navigable stretch of the Biguaçu River, in the homonymous municipality. The criteria used to quantify soil loss in this method are intrinsic natural characteristics of the area and anthropogenic modifications to the environment. Were employed in this study monthly and annual average rainfall, slope of the terrain, sediment cover, and land use cover obtained through supervised classification of images from the SENTINEL-2 satellites. Based on the results of this analysis, two maps of potential erosion vulnerability were developed. For the winter of 2019, minimum and maximum erosion rates identified were between 0 and 5 tons per hectare per year, with average values of 0.7 tons/ha.year. For the summer of 2020, minimum and maximum rates were between 0 and 7.5 tons/ha.year, with an average of 0.9 tons/ha.year. These erosion rates, when correlated with the data on granulometric assemblage distribution variation along the river, highlight a concentration of areas with high degree of erosive vulnerability in portions near the mouth of the Biguaçu River, which are also the areas with the highest urbanization, degradation of marginal environments and anthropogenic alterations to the river channels, indicating the need for public intervention to restore these regions.

Keywords: Geomorphology; Sedimentary Geology; Remote Sensing; River Siltation; Biguaçu River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Localização da bacia estudada neste trabalho.....	19
Figura 2 Margem norte do rio	20
Figura 3 Margem sul do Rio Biguaçu, início de canal retificado	22
Figura 4 Margem sul do Rio Biguaçu, fim de canal retificado.....	23
Figura 5 Cinturão Dom Feliciano e seus domínios	24
Figura 6 Mapa Geológico da Bacia do Rio Biguaçu	26
Figura 7 Mapa do relevo da bacia	35
Figura 8 Mapa pedológico da bacia.....	37
Figura 9 Fluxograma das etapas deste trabalho.	51
Figura 10 Vistas do amostrador confeccionado.....	53
Figura 11 Peneiras utilizadas para separação das areias	54
Figura 12 MDEHC e rede de drenagem	57
Figura 13 Mapa de NDVI, inverno de 2019	59
Figura 14 Mapa de NDVI, verão de 2020	59
Figura 15 Mapa de EVI, inverno de 2019	60
Figura 16 Mapa de EVI, verão de 2020	60
Figura 17 Mapa de GNDVI, inverno de 2019.....	61
Figura 18 Mapa de GNDVI, verão de 2020	61
Figura 19 Mapa de NDII, inverno de 2019.....	62
Figura 20 Mapa de NDII, verão de 2020.....	62
Figura 21 Composição RGB das medianas, inverno de 2019.....	63
Figura 22 Composição RGB das medianas, verão de 2020.....	63
Figura 23 Mapa do Fator K.....	66
Figura 24 Mapa do Fator LS.....	67
Figura 25 Mapa de pontos amostrais	68
Figura 26 Aproximação aos pontos amostrais.....	69
Figura 27 Amostragem de sedimentos	70
Figura 28 Provetas com sedimentos	73
Figura 29 Alíquotas de pipetagem.....	73
Figura 30 Mapa de cobertura, inverno de 2019.....	75
Figura 31 Mapa de cobertura, verão de 2020.....	75
Figura 32 Variação da cobertura entre inverno de 2019 e verão de 2020....	76

Figura 33 Cobertura de Solo até 100 metros das margens no trecho navegável.....	79
Figura 34 Cobertura de Solo até 100 metros das margens no em toda a rede de canais da bacia	80
Figura 35 Mapa do potencial de perda de solos, inverno de 2019	81
Figura 36 Mapa do potencial de perda de solos, verão de 2020	81
Figura 37 Potencial de perda de solos, com divisões de cobertura sedimentar, inverno de 2019.....	82
Figura 38 Potencial de perda de solos, com divisão de cobertura sedimentar, verão de 2020	83
Figura 39 Localização dos Pontos Amostrais.....	85
Figura 40 Apresentação da distribuição estatística de conformação granulométrica entre os pontos amostrais ao longo do trecho navegável do rio, referente a setembro de 2019	86
Figura 41 Variação da profundidade ao leito fluvial nos pontos de coleta de amostra sedimentar – setembro de 2019.....	86
Figura 42 Apresentação da distribuição estatística de conformação granulométrica entre os pontos amostrais ao longo do trecho navegável do rio, referente a abril de 2020	87
Figura 43 Variação da profundidade ao leito fluvial nos pontos de coleta de amostra sedimentar – abril de 2020.....	87
Figura 44 Mapa das áreas de contribuição específica por escoamento superficial até os pontos de coleta das amostras sedimentares	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição das classes de relevo da bacia do Rio Biguaçu, seguindo critério de classificação proposto no SiBCS (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018).....	35
Tabela 2. Matriz de Confusão resultante do treinamento de SVM para o inverno de 2019.....	74
Tabela 3. Matriz de Confusão resultante do treinamento de SVM para o verão de 2020.	74
Tabela 4. Quantificação por área aproximada em metros quadrados, hectares e percentual das classes de modificação de cobertura, elencadas em ordem decrescente.....	77
Tabela 5. Colunas representam os tipos de cobertura de solo, linhas as classes de solo. As áreas são referentes a 2019, dadas em hectares.....	77
Tabela 6. Colunas representam os tipos de cobertura de solo, linhas as classes de solo. As áreas são referentes a 2019, dadas em percentual.....	78
Tabela 7. Colunas representam os tipos de cobertura de solo, linhas as classes de solo. As áreas são referentes a 2020, dadas em hectares.....	78
Tabela 8. Colunas representam os tipos de cobertura de solo, linhas as classes de solo. As áreas são referentes a 2020, dadas em percentual.....	78
Tabela 9. Valores máximos, mínimos e médios em t/ha.ano referentes ao ano de 2019, de perda de solo para cada classe de solo encontrada na região.....	82
Tabela 10. Valores máximos, mínimos e médios em t/ha.ano referentes ao ano de 2020, de perda de solo para cada classe de solo encontrada na região.....	83
Tabela 11. Valores de incremento do potencial de perda de solos entre os anos de 2019 e 2020, em t/ha.ano.....	84
Tabela 12. Percentuais de incremento no potencial de perda de solos entre os anos de 2019 e 2020.....	84
Tabela 13. Percentuais encontradas nas 4 classes granulométricas da primeira investigação em campo.....	88
Tabela 14. Percentuais encontradas nas 4 classes granulométricas da segunda investigação em campo.....	88
Tabela 15. Classificação granulométrica média das amostras coletadas no primeiro levantamento de campo, junto de grau de seleção identificado.....	89

Tabela 16. Classificação granulométrica média de cada ponto do segundo campo, junto de grau de seleção apresentado.....	89
Tabela 17. Áreas de contribuição por escoamento superficial específicas e acumuladas, em hectares e percentuais.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
- EVI – *Enhanced Vegetation Index*, Índice de Vegetação Aprimorado
- GNDVI – *Green Normalized Difference Vegetation Index*, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada de Verde
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MDE – Modelo Digital de Elevação
- MDEHC - Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado
- NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
- NVII – *Normalized Difference Infrared Index*, Índice Infravermelho por Diferença Normalizada
- SAGA – *System for Automated Geoscientific Analyses*, Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado
- SDS-SC – Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina
- SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
- SIE-SC – Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Santa Catarina
- SIG – Sistema de Informações Geográficas
- SVM – Support Vector Machine
- USLE – *Universal Soil Loss Equation*, Equação Universal de Perda de Solos
- ZCMG – Zona de Cisalhamento Major Gercino
- ZCIP – Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbó

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	17
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
2.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	19
2.2	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	19
2.3	HISTÓRICO DE ENCHENTES	21
2.4	HISTÓRICO DE OBRAS FLUVIAIS.....	21
2.5	GEOLOGIA	24
2.6	RELEVO	34
2.7	PEDOLOGIA.....	35
2.7.1	Cambissolos	37
2.7.2	Argissolos	39
2.7.3	Gleissolos	40
2.7.4	Neossolos	41
3	REVISÃO CONCEITUAL	43
3.1	SISTEMAS FLUVIAIS	43
3.2	SIG.....	44
3.3	MDE	45
3.4	USLE.....	45
3.5	SVM	47
3.6	INDICES EM IMAGENS ORBITAIS.....	48
4	MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1	MATERIAIS.....	52
4.1.1	Revisão Bibliográfica	52
4.1.2	Equipamentos para Coleta de Dados em Campo	52
4.1.3	Análises Granulométricas	53
4.1.4	Programas e Plataformas	55
4.1.5	Arquivos Vetoriais e Raster	55
4.2	MÉTODOS	56

4.2.1	Ambiente SIG.....	56
4.2.2	Geração de MDEHC	56
4.2.3	Aquisição de Imagens Orbitais.....	57
4.2.4	Classificação da cobertura de solo	64
4.2.5	Determinação da cobertura de solo às margens dos rios	64
4.2.6	Determinação do Potencial de Perda de Solos por Erosão	65
4.2.7	Definição de pontos para coleta de amostras	67
4.2.8	Levantamento de Amostras Sedimentares em Campo	69
4.2.9	Escoamento Superficial	70
4.2.10	Análise Granulométrica.....	71
5	RESULTADOS	74
5.1	MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO	74
5.2	POTENCIAL DE PERDA DE SOLO.....	80
5.3	GRANULOMETRIA.....	84
6	DISCUSSÕES	91
7	CONCLUSÕES	93
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE A – SCRIPT PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS SENTINEL-2 NA PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE.	100

1 INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas do litoral de Santa Catarina apresentam ciclo natural de erosão, transporte de sedimentos pelo fluxo fluvial e deposição destes materiais em desembocaduras junto ao Oceano Atlântico, gerando barras de acreção que podem eventualmente resultar no assoreamento da foz, dependendo do balanço hídrico e sedimentar intrínseco (ALMEIDA, 1948).

Quando estas desembocaduras em processo de assoreamento atingem um certo nível de bloqueio, longos períodos de chuvas ou eventos de pluviosidade muito intensa podem resultar em cheias ou enchentes, por não haver um canal que comporte o escoamento eficiente do volume elevado de água (SOUZA, 1998). Quando o nível da água ultrapassa o comportado pela calha normal dos rios, estes passam a fluir pela planície fluvial adjacente até encontrar novos caminhos de escoamento ao mar, caracterizando uma enchente (TAVARES; SILVA, 2008).

Quando as enchentes ocorrem em regiões habitadas, elas podem causar danos materiais e sociais a população local, como o desabrigo de famílias, a destruição de edificações e infraestrutura, com os casos mais severos podendo resultar em mortes e desaparecimentos (TAVARES; SILVA, 2008).

Na bacia do Rio Biguaçu, área do foco deste trabalho, em especial no município homônimo, há registro de enchentes desde o fim do século XVIII, com intensificação gradual da recorrência ao longo dos séculos XIX e XX (KREMER, 1993; REITZ, 1988), atingindo níveis alarmantes no meio deste.

Pela falta de estudos adequados, além do parco entendimento quanto aos impactos ambientais por parte das entidades governamentais da época, durante a década de 60 foram realizadas extensas obras de canalização e retificação em diversos rios da bacia, objetivando a mitigação das enchentes. A precariedade dos estudos quanto aos efeitos da obra teve resultados desastrosos, culminando na intensificação acelerada do processo de assoreamento e por consequência, da possibilidade e frequência de enchentes (FORTES, 1997).

Após estas obras, foram realizadas diversas investidas para o controle das enchentes, pela mitigação do assoreamento da foz do Rio Biguaçu por dragagem e através da escavação de drenagens e galerias para aumentar a capacidade de escoamento das águas. Porém estas medidas apresentam caráter paliativo, visando a atenuação dos sintomas e não a resolução do problema.

O presente estudo busca identificar as áreas com maior susceptibilidade a erosão e delimitar as porções dos canais fluviais da bacia do Rio Biguaçu que se encontram mais degradadas e vulneráveis, utilizando uma abordagem multicritérios e multitemporal, utilizando dados de elevação e pedologia, junto das variações sazonais da pluviosidade regional, uso e cobertura da terra e granulometria de sedimentos presentes na calha fluvial próxima a foz do rio.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Determinar áreas de maior erosão e degradação das margens, além de caracterizar a contribuição de sedimentos no processo de assoreamento da bacia do Rio Biguaçu.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Análise temporal da cobertura vegetal e uso da terra na bacia do Rio Biguaçu;
- Caracterização sazonal da granulometria dos sedimentos no leito do rio;
- Identificar as áreas de maior susceptibilidade a erosão.

1.2 JUSTIFICATIVA

Desde o início da colonização portuguesa no estado de Santa Catarina, há registros de que as bacias fluviais litorâneas sofrem com cheias e enchentes recorrentes (LAYTANO, 1959), incorrendo em extensos danos materiais e imateriais aos habitantes locais, atingindo especialmente as populações ribeirinhas.

O processo de ocupação destas áreas foi realizado de forma altamente desordenada, com desmatamento indiscriminado de grandes extensões, com a madeira sendo utilizada principalmente para a construção civil e indústria naval, sendo as áreas desmatadas substituídas por pastagens, lavouras e habitações (LAYTANO, 1959).

A remoção da cobertura vegetal original, especialmente da mata ciliar junto aos rios e córregos, inibe um importante mecanismo natural de retenção sedimentar e preservação dos solos, ao mesmo tempo permitindo maior desmanche erosivo das margens e maior aporte de sedimentos aos canais dos rios (ROSS, 2001).

Uma vez dentro dos canais, estes sedimentos adicionais seguem o fluxo do sistema de transporte e sedimentação em vigor, resultando na intensificação do processo de assoreamento da foz do Rio Biguaçu e conseqüentemente no aumento do risco de ocorrência de enchentes.

Desta forma, este trabalho visa identificar e delimitar as regiões ao longo da rede fluvial da bacia, em especial próximo ao Rio Biguaçu, que possam estar sob regime erosivo de maior intensidade, bem como a definição das porções das margens que estejam mais degradadas.

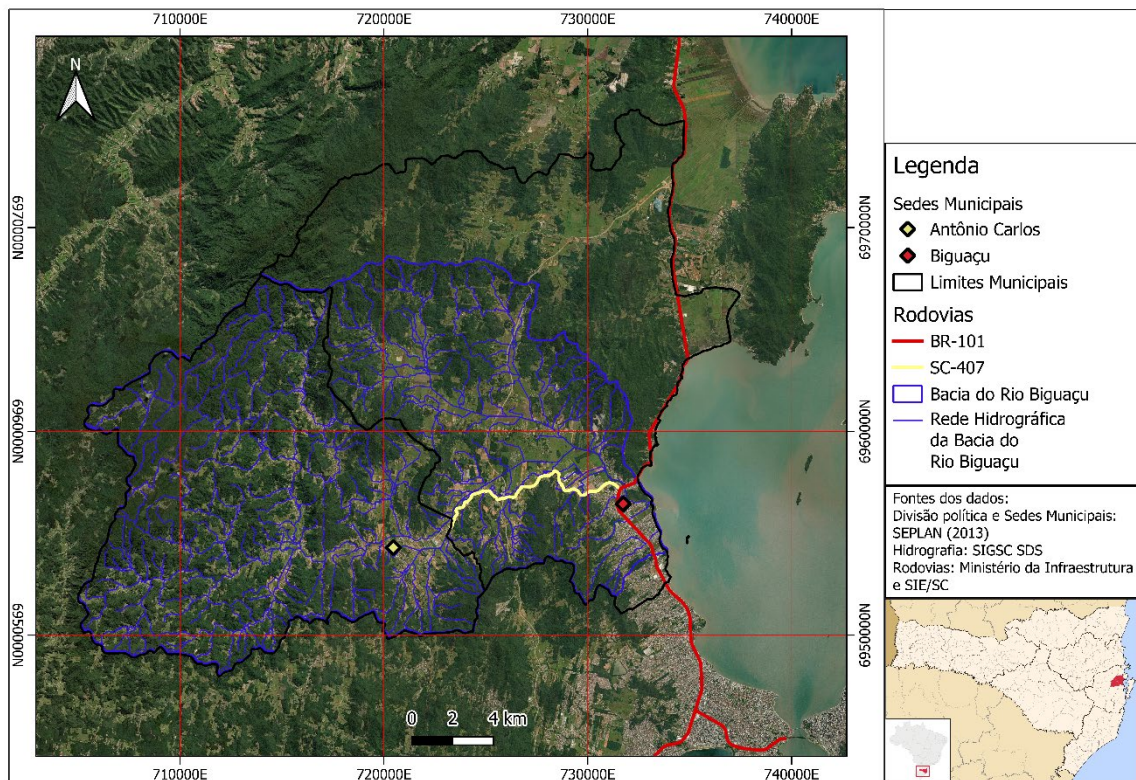
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudos está situada no Sul do Brasil, nos municípios de Biguaçu-SC e Antônio Carlos-SC, como apresentado na

Figura 1. O município de Biguaçu se encontra na região metropolitana de Florianópolis, disto cerca de 21km do centro da capital. O acesso se dá pela BR-101. Já o município de Antônio Carlos, também parte da região metropolitana, fica disto cerca de 36km da capital, e o acesso se dá pela rodovia SC-407.

Figura 1 Mapa de Localização da bacia estudada neste trabalho.



Fonte: elaborado pelo autor.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

A bacia apresenta extensão de 389,7 km² e abrange a totalidade do município de Antônio Carlos, e grande parte do município de Biguaçu. O rio principal

da bacia é o Rio Biguaçu, principal alvo deste estudo, tendo como afluentes primários os rios Três Riachos, Saudade, Rachadel, Farias e Braço do Norte. O Rio Biguaçu tem extensão total de cerca de 40km e fluxo Oeste-Leste em direção ao Atlântico Sul. Suas nascentes se encontram na Serra de Congonhas a altitude de 778m e sua foz na Baía Norte, de frente para a Ilha de Santa Catarina (FORTES, 1996).

A região próxima a foz do rio apresenta o maior processo de antropização, com canais retificados, descaracterização das margens por retirada da mata ciliar e depósitos de diques marginais, sendo substituídos por edificações (Figura 2), campos de pastagem e lavouras (SILVA, 2007).

O Rio Biguaçu é de fácil acesso a navegação em sua porção próxima a foz, com diversas rampas públicas, estaleiros e marina. O trecho navegável tem aproximadamente 7,5 km, sendo interrompido por uma pequena ponte de concreto com baixo vão.

Figura 2 Margem norte do rio



Fonte: autor.

2.3 HISTÓRICO DE ENCHENTES

O Rio Biguaçu apresenta enchentes recorrentes e de magnitudes variadas, desde os primeiros registros da ocupação portuguesa na região, com o primeiro evento relatado sendo de 1797, 50 anos após a fundação da Freguesia de São Miguel, pelo tenente-coronel João Alberto de Miranda Ribeiro, que realizava levantamento das condições naturais, demográficas e econômicas da Capitania de Santa Catarina (LAYTANO, 1959).

Após o início da expansão urbana, que ocorreu em meados de 1890 com os primeiros imigrantes alemães, as margens do rio foram intensamente degradadas. A vegetação e os depósitos de diques marginais foram removidos por atividade madeireira intensiva e substituídos pela implantação de pecuária, lavoura e habitações. Em 1916, houve uma enchente de elevada magnitude, na qual houve grande modificação do trajeto do rio, reduzindo drasticamente a navegabilidade, e fechando parcialmente a foz com matéria orgânica e sedimentos misturados (REITZ, 1988).

Nos séculos XX e XXI, há registro de grandes enchentes nos anos de 1916 (REITZ, 1988), 1927, 1932, 1937, 1957, 1972, 1983, 1984, 1991 (KREMER, 1993), 1995 (DAMIÃO, 2015) e 2008 (SILVA, 2008). Estas enchentes geralmente ocorrem nos períodos de primavera e verão, em função da elevada pluviosidade.

2.4 HISTÓRICO DE OBRAS FLUVIAIS

Entre 1966 e 1977, o extinto DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento) executou as primeiras obras visando mitigar os efeitos das enchentes, realizando a retificação dos canais fluviais. Nestas obras, vários trechos do rio principal e dos tributários Três Riachos, Saudade, Guiomar, Rachadel, Vermelho e Caveiras, foram alterados e retificados. Estas obras reduziram substancialmente a sinuosidade dos principais canais fluviais da bacia, porém com pouco impacto no regime de cheias do Rio Biguaçu. Os trechos retificados passaram a apresentar energia hidráulica muito maior, possibilitando maior desmonte das margens e capacidade de transporte de sedimentos, intensificando o processo de assoreamento e formação de extensa barra junto a foz. Esta barra dificulta ainda

mais o escoamento das águas do rio para a Baía Norte, dando continuidade as cheias e enchentes na área (FORTES, 1997; SILVA, 2008).

As retificações tinham como objetivo principal, o aumento da declividade do canal, porém, em função do baixo desnível entre os trechos retificados e o nível marinho, não foi possível um aumento significativo. Além disso, os novos canais cortaram espessas camadas arenosas de depósitos fluviais que passaram a contribuir de forma expressiva para a carga de sedimentos em transporte, favorecendo ainda mais o bloqueio da foz e a redução do fluxo de águas (FORTES, 1997). A Figura 3 mostra parte inicial de um dos trechos retificados do Rio Biguaçu, com intenso processo de desmonte erosivo das margens, evidenciado por árvores caídas e raízes a mostra. A Figura 4 mostra trecho a montante da figura anterior após uma curva, ainda no canal retificado, em que também é possível observar desmonte erosivo das bancadas, porém em menor escala, e maior presença de vegetação.

Figura 3 Margem sul do Rio Biguaçu, início de canal retificado



Fonte: autor.

Figura 4 Margem sul do Rio Biguaçu, fim de canal retificado



Fonte: autor.

A primeira dragagem para desobstrução da foz foi realizada em 1994, movimentando cerca de 350.000 m² de material, atingindo 2 metros de profundidade média no canal. Estes sedimentos foram realocados a cerca de 200 metros a sul da foz, na margem esquerda, soterrando uma área de mangue e paleocanais fluviais. Após esta dragagem inicial, foi constatado a necessidade permanente de esforços para a manutenção da foz, uma vez que os rios continuam transportando material sedimentar, originado pela erosão ao longo das vertentes (FORTES, 2000).

Já em 2012, a prefeitura de Biguaçu, em parceria com o Governo Federal, iniciou novas obras de mitigação, desta vez com a abertura de canais de drenagens e construção de galerias, de forma a criar caminhos preferenciais para o escoamento das águas pluviais em direção ao rio e ao mar, além de criar maiores áreas de infiltração para estas águas (“Obras do Sistema de Macrodrenagem Urbana de Biguaçu iniciam hoje”, 2012). Em 2016, já com as obras de drenagem concluídas, outro projeto foi implementado, em parceria com o Governo Estadual, para a aquisição e operação de uma draga de sucção e recalque, visando a desassoreamento e manutenção de profundidade do canal principal da foz, possibilitando maior vazão para as águas fluviais (Portal da Ilha, 2016).

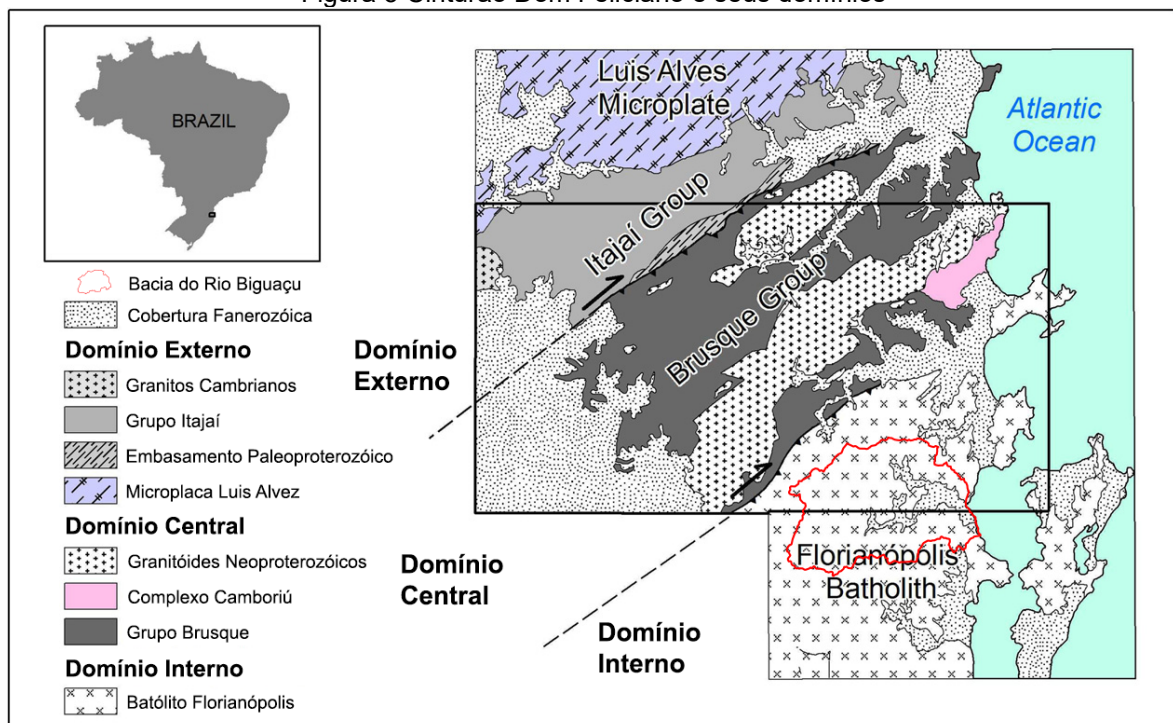
2.5 GEOLOGIA

A área de estudo se encontra ligeiramente a sul da Zona de Cisalhamento Major Gercino, inserida no Batólito Florianópolis, parte do Domínio Interno do Cinturão Dom Feliciano (BASEI, 1985) (Figura 5), membro da porção meridional da Província Mantiqueira (ALMEIDA et al., 1977).

O Cinturão Dom Feliciano é uma unidade litoestrutural, que se estende do sul do Brasil até o Uruguai por cerca de 1400 Km (SILVA et al., 2005), e está organizado em três domínios principais, separados por zonas de cisalhamento dúcteis regionais, denominados Domínio Externo, Domínio Central e Domínio Interno (BASEI, 1985). As separações entre os domínios externo e central se dão pela Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbó (ZCIP) (SILVA, 1991), e entre os domínios central e interno, pela Zona de Cisalhamento Major Gercino (ZCMG) (BITENCOURT et al., 1989).

O Domínio Interno é composto principalmente por um cinturão granítico com idades entre 580 e 650 Ma, tendo como principais membros os Batólitos Florianópolis em Santa Catarina, Pelotas no Rio Grande do Sul e Aiguá no Uruguai (BASEI et al., 2000).

Figura 5 Cinturão Dom Feliciano e seus domínios



Fonte: adaptado de Basei et al. (2011)

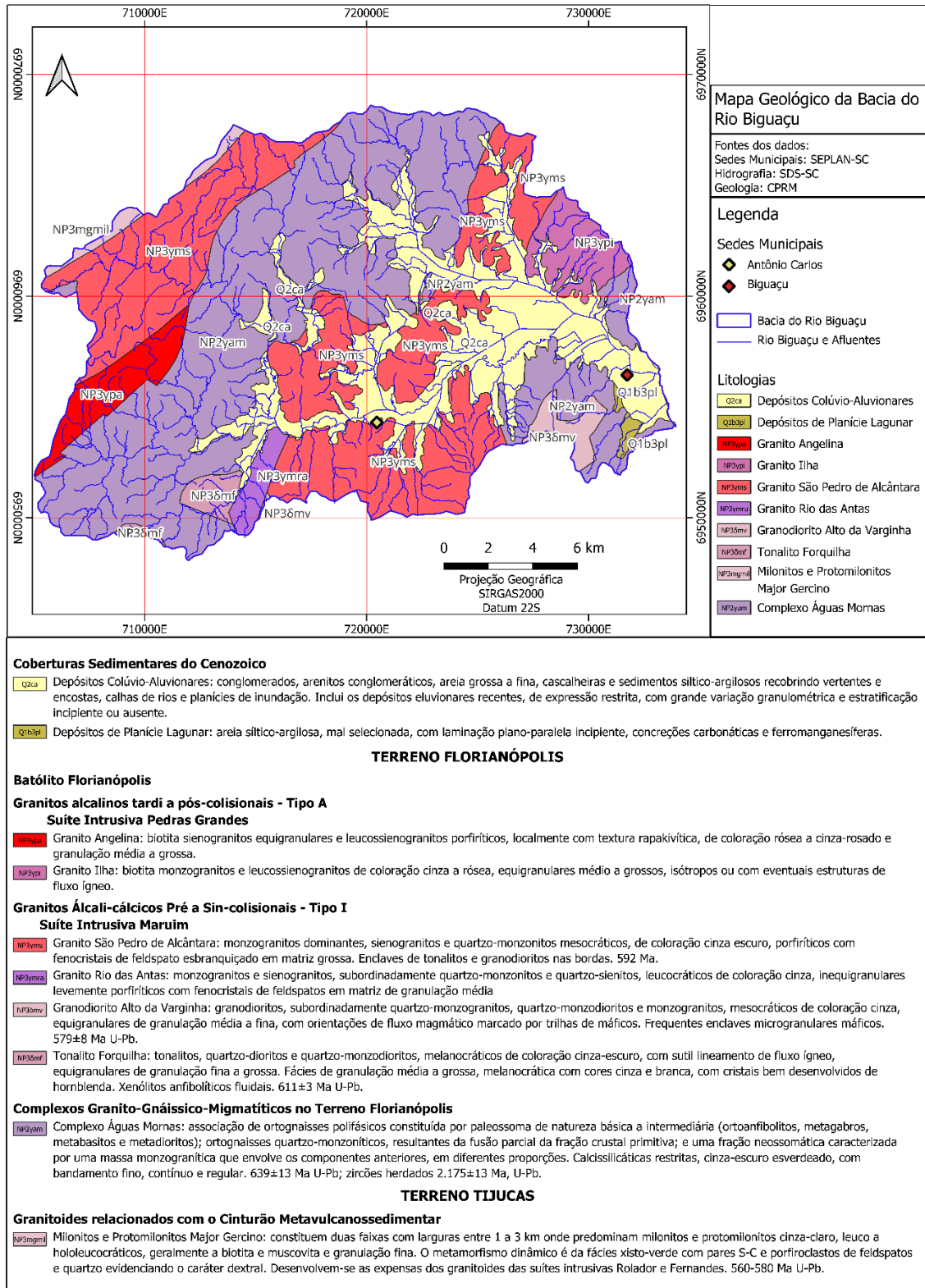
A porção norte da bacia do Rio Biguaçu teve sua geologia abordada como parte da Carta Geológica Folha Brusque SG 22-ZD-II (BASEI et al., 2014) e a porção sul pela Carta Geológica Florianópolis-Lagoa: Folhas SG 22-ZD-V e SG 22-ZD-VI (ZANINI et al., 1997).

A Figura 6 apresenta a geologia da área da bacia do Rio Biguaçu, retirada do Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina (WILDNER et al., 2014). As litologias encontradas na região são majoritariamente associadas ao Batólito Florianópolis, com uma pequena faixa no limite noroeste da bacia sendo associada a Zona de Cisalhamento Major Gercino, compreendendo os Milonitos e Protomilonitos Major Gercino (WILDNER et al., 2014).

As rochas relacionadas ao Batólito Florianópolis são divididas em três grandes grupos, sendo eles os Complexos Granito-Gnáissico-Migmatíticos, representado pelo Complexo Águas Mornas; a Suíte Intrusiva Maruim, representada pelo Tonalito Forquilha, Granodiorito Alto da Varginha, Granito Rio das Antas e Granito São Pedro de Alcântara; e a Suíte Intrusiva Pedras Grandes, representada pelo Granito Ilha e Granito Angelina. Estas litologias se encontram recobertas em grande parte por solos e Coberturas Sedimentares Cenozóicas, representadas por Depósitos Colúvio-Aluvionares e Depósitos de Planície Lagunar (WILDNER et al., 2014).

As unidades de maior expressão são o Complexo Águas Mornas, abrangendo cerca de 15,5 mil hectares, aproximadamente 39% da área total, seguido pelo Granito São Pedro de Alcântara com 11,3 mil hectares, 29% da área e Depósitos Colúvio-Aluvionares com 8,3 mil hectares, 21% da área. Os Granitos Ilha e Angelina abrangem cerca de 1,2 mil hectares cada um, cerca de 3% da área, seguidos pelo Granodiorito Alto da Varginha, Granodiorito Rio das Antas, Tonalito Forquilha com aproximadamente 500 hectares cada, e a faixa de Milonitos e Protomilonitos Major Gercino com 350 hectares, todos respondendo por aproximadamente 1% da área. Por fim, os Depósitos de Planície Lagunar abrangem 140 hectares, correspondendo a 0,4% da área da bacia.

Figura 6 Mapa Geológico da Bacia do Rio Biguaçu



Fonte: elaborado pelo autor.

2.5.1 Complexo Águas Mornas

O embasamento cristalino da região é representado pelo Complexo Águas Mornas, uma faixa descontínua de granitóides deformados, em que frequentemente podem ser identificadas estruturas gnáissicas e em alguns locais migmatíticas (ZANINI et al., 1997).

São compreendidos pelo Complexo Águas Mornas, uma associação composicionalmente muito diversificada de ortognaisses polifásicos, com indicativos de que foram derivados de uma sequência pretérita gnáissico-migmatítica, representada por paleossomas básicos a intermediários, como ortoanfibolito, metagabro, metabasito e metadioritos, além de gnaisses quartzo-dioríticos e granodioríticos (ZANINI et al., 1997).

As datações de rocha total por Rb/Sr apresentam idades de $624 \pm 21\text{Ma}$ e $650 \pm 24\text{Ma}$, e as de U/Pb em zircões apresentam idade de $624 \pm 16\text{Ma}$ (ZANINI et al., 1997). Foram também estabelecidas em gnaisses graníticos da região do Morro do Boi, análogos a porções de paleossomas do Complexo Águas Mornas, idade isocrônica Rb/Sr de $2590 \pm 350\text{Ma}$ (BASEI; TEIXEIRA, 1987).

Na região da bacia do Rio Biguaçu, o Complexo Águas Mornas foi delimitado em 4 porções com alinhamento aproximadamente Sudoeste-Nordeste. A maior, forma uma faixa ininterrupta do extremo sul ao extremo norte da bacia, e as outras 3 porções menores formam uma faixa no extremo leste da bacia, interrompida por sedimentos cenozóicos. Os litotipos predominantes são Ortognaisses com ocorrência de enclaves arredondados de anfibolito e angulosos de diorito (ZANINI et al., 1997).

2.5.2 Milonitos e Protomilonitos Major Gercino

Os milonitos e protomilonitos encontrados no extremo noroeste da bacia fazem parte do *Southeastern Mylonite Belt* (Cinturão Milonítico Sudeste) definido por Passarelli et al. (2010) como o limite sudeste da Zona de Cisalhamento Major Gercino. Datações por K/Ar em biotitas e muscovitas dos milonitos da ZCMG indicam idades de resfriamento de 570 Ma para a porção noroeste e 540 Ma para a porção sudeste (PASSARELLI et al., 2010).

São rochas foliadas, gradando de protomilonitos a ultramilonitos, com cinemática majoritariamente dextral (PASSARELLI; BASEI; CAMPOS NETO, 1993). São caracterizadas como rochas relacionadas a falha, com alto ângulo de mergulho e direção das camadas para NW e foliação milonítica apresentando *strike* preferencial N50E. A lineação de estiramento é definida por quartzos fitados e porfiroclastos alongados de feldspatos, sendo paralela ao alinhamento de biotitas e muscovitas, com mergulho S50W (PASSARELLI et al., 2010).

Estes milonitos são derivados de granitóides que sofreram processos dinâmicos de recristalização de quartzo e fraturamento de plagioclásio e K-feldspato durante a deformação. A milonitização em condições de fácies Xisto Verde promoveu a neoformação de sericita, clorita, biotita, albita, clinozoisita e epidoto (PASSARELLI et al., 2010).

2.5.3 Suíte intrusiva Maruim

Zanini et al. (1997) caracterizou na porção norte da Folha Florianópolis, uma associação de rochas granitóides calcialcalinas constituindo um batólito polidiapírico com zonação razoavelmente concêntrica, com termos tonalíticos e quartzo-dioríticos nas porções marginais, até termos monzograníticos na porção central.

A maior parte destas rochas haviam sido cartografadas por Trainini et al. (1978) como diatexitos do Complexo Metamórfico-Migmatítico, a exceção do Granito Alto da Varginha, que havia sido incluído como parte da Suíte Intrusiva Valsungana por estes autores. Basei (1985) designou de Suíte Intrusiva São Pedro de Alcântara os granitóides aflorantes desta região.

Zanini et al. (1997) definiu esta associação de Suíte Intrusiva Maruim, correspondendo em parte a Suíte São Pedro de Alcântara de Basei (1985), excluindo o Granito Angelina e incluindo os tonalitos e dioritos registrados por Issler (1983).

As litologias compreendidas pela Suíte Intrusiva Maruim são o Tonalito Forquilha, o Granodiorito Alto da Varginha, o Granito Rio das Antas e o Granito São Pedro de Alcântara (ZANINI et al., 1997).

Datações por Rb/Sr em duas amostras do Tonalito Forquilha resultaram idades de 659 e 688 Ma, indicando que estes fazem parte do processo inicial da evolução magmática da Suíte Intrusiva Maruim (ZANINI et al., 1997). Datações por

Rb/Sr realizadas por Basei (1985) em granitóides da região de Santa Luzia, que podem corresponder tanto ao Granodiorito Alto da Varginha quanto ao Granito São Pedro de Alcântara, resultaram em idades de 566 ± 93 Ma, enquanto datação por U/Pb de um quartzo-monzonito da mesma região resultaram em idade de 600 ± 7 Ma. A datação por Rb/Sr de amostra de anfibólio-biotita monzogranito pertencente ao Granito São Pedro de Alcântara resultou em idade de 693 Ma (ZANINI et al., 1997).

Zanini et al. (1997) aponta que as diferentes idades e razões iniciais nas datações realizadas, seriam sugestivas de origem crustal para estes granitóides, com alguma contribuição mantélica, tendo o fracionamento ocorrido no Proterozóico Superior, entre 700 e 600 Ma.

2.5.3.1 *Tonalito Forquilha*

A denominação Tonalito Forquilha inclui tonalitos, quartzo-dioritos e quartzo-monzodioritos, sendo considerados por Trainini et al. (1978) como o paleossoma dos migmatitos do Complexo Metamórfico-Migmatítico, sendo posteriormente incluído como parte da Suíte Granitóide São Pedro de Alcântara por Basei (1985).

Compreende rochas equigranulares finas a grossas, melanocráticas, de coloração cinza escuro e com lineamento sutil, aflorando sempre como pequenos matacões arredondados, com saliências alongadas nas superfícies devido a concentração de plagioclásios (ZANINI et al., 1997).

Ocorrem no sul da bacia do Rio Biguaçu, apresentando características ligeiramente distintas, com granulação média a grossa, mesocráticos, com coloração cinza escuro e branco, ricos em hornblenda gerando cristais bem definidos. É comum a ocorrência de hipoxenólitos anfibolíticos fluidais, com 5 a 10 cm de comprimento, parcialmente assimilados (ZANINI et al., 1997).

2.5.3.2 *Granodiorito Alto da Varginha*

Trainini et al. (1978), utilizaram o termo Granito Alto da Varginha para descrever “uma rocha granítica com variações entre quartzo-monzonito e granodiorito, de cor cinza-claro a amarelada quando intemperizada, normalmente

leucocrática, mostrando caráter mesocrático em seu contato com as rochas diatexiticas do embasamento”. Zanini et al. (1997) modificou a designação para Granodiorito Alto da Varginha, refletindo a predominância de granodiorito nesta litologia.

É uma rocha mesocrática, com coloração cinza, equigranular média a fina, ocasionalmente com orientação de fluxo marcada por constituintes máficos. Apresenta enclaves básicos microgranulares, centimétricos a decimétricos, com formato ovalado a fusiforme (ZANINI et al., 1997).

Na região sudeste da bacia do Rio Biguaçu, ocorre de forma intrusiva em gnaisses do Complexo Águas Mornas, e na região sudoeste, ocorre em contato com o Granito Rio das Antas (ZANINI et al., 1997).

2.5.3.3 *Granito Rio das Antas*

A designação Granito Rio das Antas foi utilizada para denominar granitos expostos na região oeste da Folha Florianópolis, ao longo do rio homônimo e na porção centro-norte. Estas rochas haviam sido incluídas por Trainini et al. (1978) como parte dos diatexitos do Complexo Metamórfico-Migmatítico.

Representa uma rocha leucocrática, de coloração cinza, textura levemente porfirítica em que fenocristais de feldspato, nem sempre desenvolvidos, se destacam em matriz de granulação média. Esta textura não é uniforme, com porções equigranulares ao lado de porções porfiríticas em um mesmo afloramento, sem limites definidos ou regulares (ZANINI et al., 1997).

Na Folha Florianópolis, ocorre na porção oeste da em contato por falha com o Complexo Águas Mornas e com o Tonalito Forquilha, e na porção centro-norte circundado pelo Granodiorito Alto da Varginha, sendo o contato definido pelo aparecimento da textura porfirítica característica do Granito Rio das Antas (ZANINI et al., 1997).

Na região sul da bacia do Rio Biguaçu, ocorre como uma faixa orientada NE-SW, entre o Tonalito Forquilha e Granodiorito Alto da Varginha.

2.5.3.4 *Granito São Pedro de Alcântara*

O Granito São Pedro de Alcântara é o membro da Suíte Intrusiva Maruim de maior expressão. É uma rocha mesocrática, com coloração cinza escuro, granulação grossa, em que se destacam fenocristais esbranquiçados de feldspato alcalino ou por vezes plagioclásio com 1 a 1,5 cm no eixo maior. A textura porfirítica apresenta distribuição homogênea, embora frequentemente com enclaves não assimilados do Tonalito Forquilha e do Granodiorito Alto da Varginha (ZANINI et al., 1997).

Na área da bacia do Rio Biguaçu é representado por duas faixas alinhada aproximadamente NE-SW. A primeira, no extremo oeste da bacia, faz divisa entre os Milonitos e Protomilonitos Major Gercino e o Complexo Águas Mornas. A segunda, ocorre na região central da bacia sendo a porção sul com maior expressão, separa duas faixas do Complexo Águas Mornas e apresenta grandes trechos de cobertura sedimentar.

2.5.4 Suíte Intrusiva Pedras Grandes

Trainini et al. (1978) agrupou sob a denominação Suíte Intrusiva Pedras Grandes os diversos corpos graníticos alcalinos da porção centro sul do estado de Santa Catarina.

São compreendidos por esta Suíte Intrusiva, granitos Isótopos, equigranulares médios a grossos, por vezes porfiríticos, de coloração rósea a avermelhada, constituindo corpos de dimensão de *stocks* ou batólitos. Estes granitos são homogêneos, leucocráticos e variam de monzogranitos a sienogranitos (ZANINI et al., 1997).

Os granitos que formam a Suíte Intrusiva Pedras Grandes foram designados de Granito Ilha, Granito Serra do Tabuleiro, Granito Capivari, Granito São Bonifácio e Granito Angelina (ZANINI et al., 1997). Destes, apenas o Granito Ilha e o Granito Angelina são encontrados na área da bacia do Rio Biguaçu.

Basei (1985) realizou datações por Rb/Sr em diversas rochas da Suíte Intrusiva Pedras Grandes, obtendo idade de 524 ± 68 Ma para o Granito Ilha, 584 ± 16 Ma para o Granito Angelina.

2.5.4.1 *Granito Ilha*

O Granito Ilha corresponde ao “Granito Grosseiro Ilha” cartografado por Scheibe e Teixeira (1970), e constitui a maior parte das rochas aflorantes na Ilha de Santa Catarina e ilhas próximas, ocorrendo também em porções restritas no continente ao longo do litoral catarinense entre Florianópolis e Paulo Lopes (ZANINI et al., 1997).

O Granito Ilha é intrusivo as rochas do Complexo Águas Mornas e da Suíte Intrusiva Maruim, atestado por xenólitos destas rochas encontrados no seu interior. Em alguns locais, é cortado por diques riolíticos e apófises graníticas relacionadas a Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela e diques de diabásio relacionados ao Evento Serra Geral (ZANINI et al., 1997).

É uma rocha equigranular média a grossa, com coloração cinza a rósea, isotrópica ou eventualmente com texturas de fluxo magmático, com predominância de monzogranitos, seguido por sienogranitos e subordinadamente, quartzo-monzonitos e quartzo-sienitos (ZANINI et al., 1997).

Na área da bacia do Rio Biguaçu, ocorre na porção nordeste, próximo ao mar, entre o Complexo Águas Mornas e o Granito São Pedro de Alcântara.

2.5.4.2 *Granito Angelina*

Trainini et al. (1978) inicialmente utilizou o termo Granito Angelina para designar “uma rocha granítica com variações a termos quartzo-monzoníticos, leucocrática, mostrando caráter mesocrático...”. Zanini et al. (1997) incluiu nesta unidade o Granito Congonhas, também descrito por Trainini et al. (1978) que ocorre a leste do Granito Angelina, na serra de Congonhas, onde estão localizadas as nascentes do Rio Biguaçu.

As rochas do Granito Angelina encaixam-se em rochas do Complexo Águas Mornas, o contato entre elas sendo limitado por falhas e desenvolvimento de faixas cataclásticas (ZANINI et al., 1997).

É uma rocha equigranular a porfírica, granulação média a grossa, de coloração rósea a cinza rosado, leucocrática, variando entre sienogranito a monzogranito. Pode desenvolver localmente fácies com cristais de K-feldspato com manto de plagioclásio em texturas rapakivíticas (ZANINI et al., 1997).

Na bacia do Rio Biguaçu, ocorre no extremo oeste da área como uma faixa orientada NE-SW entre o Complexo Águas Mornas e o Granito São Pedro de Alcântara.

2.5.5 Depósitos Quaternários

Os depósitos de sedimentos do quaternário representam sedimentos inconsolidados, gerados pela erosão de rochas pretéritas. Na região da bacia do Rio Biguaçu, dominam os sedimentos do sistema continental, com destaque para os Depósitos Colúvio-Aluvionares, havendo também pequenas expressões de depósitos do sistema transicional, caracterizado por Depósitos de Planície Lagunar (ZANINI et al., 1997).

2.5.5.1 Depósitos de Planície Lagunar

Os depósitos de Planície Lagunar encontrados na região foram caracterizados como sendo de idade Pleistocênica. Estes ambientes lagunares apresentam características muito semelhantes aos ambientes lagunares do Holocênio, porém se encontram em cotas mais elevadas, e a maior distância da linha de costa (HORN FILHO et al., 2014).

São formados em ambientes de baixa dinâmica e baixa energia de deposição, favorecendo granulometrias finas, havendo predomínio de siltes, argilas e areias finas a muito finas. Apresentam coloração cinza escuro à negra, com enriquecimento em matéria orgânica em decomposição. Por vezes, podem ser encontrados fragmentos de conchas calcáreas de bivalves, na forma de lençóis de conchas associados a antigos fundos rasos de planícies de maré (HORN FILHO et al., 2014).

2.5.5.2 Depósitos Colúvio-Aluvionares

Os depósitos Colúvio-Aluvionares são formados por material sedimentar transportado principalmente por processos gravitacionais e hidráulicos.

As porções coluvionares ocorrem geralmente encaixadas em drenagens dos maciços rochosos, se desenvolvendo na forma de rampas e tálus (FERNANDES; AMARAL, 2003), sendo constituídos por mistura de sedimentos arenosos, siltosos e argilosos, com grãos imaturos e angulosos, além de clastos de maior tamanho, variando de grãos a matacões. Na região, os clastos maiores são predominantemente formados por fragmentos de granitos e gnaisses (HORN FILHO et al., 2014).

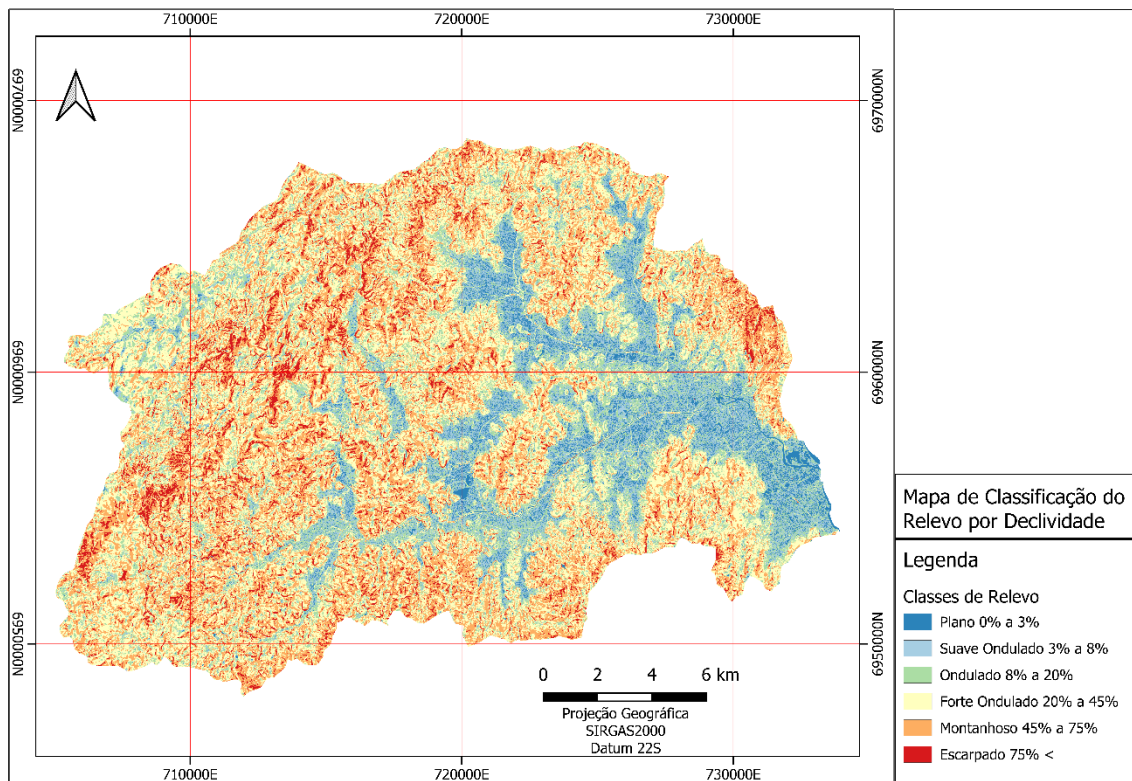
As rampas são resultantes de sedimentos mais bem selecionados sendo transportados e depositados em ambientes de menor energia, enquanto os tálus são formados por fragmentos mal selecionados sendo transportados e depositados em ambientes de alta energia (FERNANDES; AMARAL, 2003).

As porções aluvionares são formadas pelo transporte de sedimentos em cursos fluviais, e depositados as margens ou em áreas de transbordo destes cursos. Tipicamente, no curso superior dos rios é formado por sedimentos de granulometria mais grossa, como areias, seixos e matacões. Pode ser identificado também como depósitos de barra de meandros, com predomínio de granulometrias médias e grossas, sendo as areias transportadas por saltação e clastos maiores por tração. Já no curso inferior dos rios, nas planícies de inundação, há predomínio de sedimentos arenosos e siltico-arenosos provenientes da carga por suspensão em períodos de enchentes (HORN FILHO et al., 2014).

2.6 RELEVO

Utilizando dados de elevação fornecidos pela Secretaria do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina (SDS-SC) (2010), e aplicando o critério de classificação do relevo por declividade percentual proposto pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018), foi gerado o Mapa de relevo da bacia (Figura 7). Neste, o relevo predominante é o “forte ondulado”, abrangendo cerca de 36% da área da bacia, seguido por “montanhoso” e “ondulado”, com aproximadamente 28% e 15% da área, respectivamente. A Tabela 1 apresenta a distribuição obtida neste mapa das classes de declividade por área em hectares e percentual da bacia.

Figura 7 Mapa do relevo da bacia



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 1. Distribuição das classes de relevo da bacia do Rio Biguaçu, segundo critério de classificação proposto no SiBCS (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018).

Classe de Relevo	Declividade (%)	Área (ha)	Percentual de Área da bacia
Plano	0 a 3	1998,79	5,04%
Suave Ondulado	3 a 8	3928,27	9,90%
Ondulado	8 a 20	5828,12	14,68%
Forte Ondulado	20 a 45	14323,89	36,09%
Montanhoso	45 a 75	11188,73	28,19%
Escarpado	Maior que 75	2421,78	6,10%

Fonte: elaborado pelo autor

2.7 PEDOLOGIA

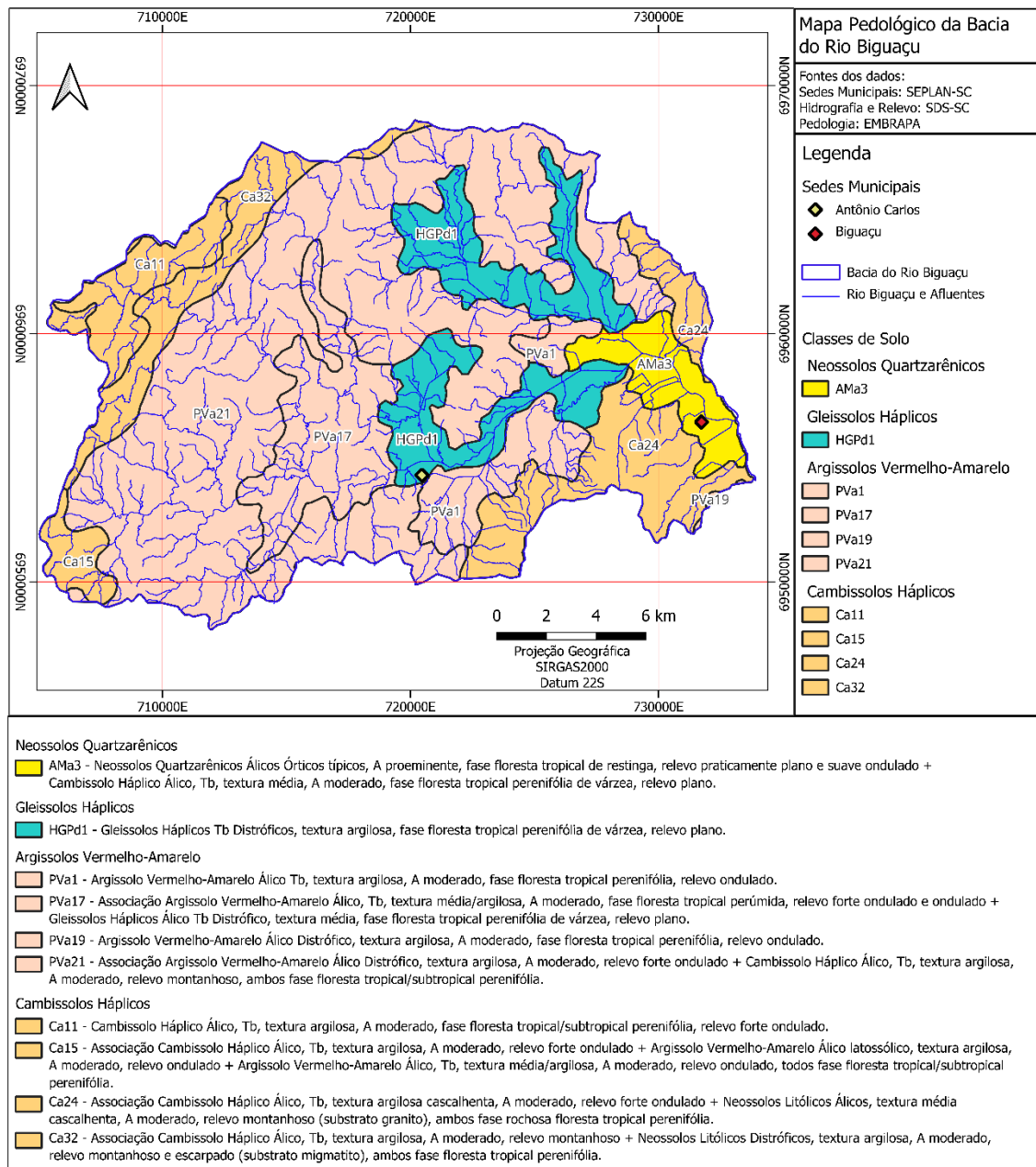
Segundo o Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina (POTTER et al., 2004), na região da bacia do Rio Biguaçu os solos são expressos em 4 classes principais e 1 classe subordinada. A nomenclatura utilizada no referido levantamento segue regra anterior ao atual SiBCS (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018), desta

forma, são apresentadas as legendas como publicadas, seguido de aproximação a nomenclatura atualizada no para pelo menos os dois primeiros níveis categóricos.

Os Podzólicos Vermelho-Amarelos, renomeados para Argissolos Vermelho-Amarelo apresentam maior expressão, cobrindo 24 mil hectares, cerca de 61% da área total. Os Cambissolos Háplicos representam o segundo grupo mais extenso com 8,6 mil hectares, aproximadamente 22% da área. O terceiro grupo é composto por Glei Pouco Húmico, renomeado para Gleissolos Háplicos, com 5 mil hectares, sendo 12% da área. O quarto grupo corresponde as Areias Quartzosas Marinhas, renomeada para Neossolos Quartzarênicos, com 1,6 mil hectares, cobrindo 4% dá área da bacia. Em associação subordinada à algumas porções de Cambissolos e com expressão reduzida, são encontrados também Solos Litólicos, renomeados para Neossolos Litólicos.

A Figura 8 apresenta o excerto representativo da bacia, retirado do Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina (POTTER et al., 2004). Nele, é possível observar que os Cambissolos Háplicos (Ca11, Ca15, Ca24 e Ca32) aparecem como faixas nas porções limítrofes leste e oeste da bacia, dentre estas, nas classes Ca24 e Ca32 é possível encontrar Neossolos Litólicos associados. Os Argissolos Vermelho-Amarelo (PVa1, PVa17, PVa19 e PVa21) formam uma faixa central. Ambos estes solos têm orientação geral nordeste-sudoeste. Em meio aos Argissolos, na parte leste destes, são encontrados Gleissolos (HGPd1), encaixados nos vales formados pela sub bacia do Rio Três Riachos na parte norte, e sub bacias Rio Rachadel, Antônio Carlos e Ribeirão Vermelho na parte sul. Por fim, os Neossolos (AMa3) representam a porção terminal da bacia, cobrindo a planície de inundação próxima a foz do rio e regiões adjacentes.

Figura 8 Mapa pedológico da bacia



Fonte: elaborado pelo autor.

2.7.1 Cambissolos

Segundo o SiBCS (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018), os Cambissolos são definidos como “solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura) ou horizonte A chernozêmico quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta. Plintita e/ou

petroplintita, horizonte glei ou horizonte vértico, se presentes, não satisfazem os requisitos para Plintossolos, Gleissolos ou Vertissolos, respectivamente.”

Na região de estudo, aparecem como Cambissolos Háplicos e foram identificadas quatro fases deste solo, sendo apresentados na nomenclatura original como:

- Ca11 - Cambissolo Álico Tb podzólico A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical/subtropical perenifólia, relevo forte ondulado.
- Ca15 - Associação Cambissolo Álico Tb A moderado, textura argilosa, relevo forte ondulado + Podzólico Vermelho-Amarelo Álico latossólico A moderado, textura argilosa, relevo ondulado + Podzólico Vermelho-Amarelo Álico Tb A moderado, textura média/argilosa, relevo ondulado, todos fase floresta tropical/subtropical perenifólia.
- Ca24 – Associação Cambissolo Álico Tb A moderado, textura argilosa cascalhenta, relevo forte ondulado + Solos Litólicos Álicos A moderado, textura média cascalhenta, relevo montanhoso (substrato granito), ambos fase rochosa floresta tropical perenifólia.
- Ca32 – Associação Cambissolo Álico Tb A moderado, textura argilosa, relevo montanhoso + Solos Litólicos Distróficos A moderado, textura argilosa, relevo montanhoso e escarpado (substrato migmatito), ambos fase floresta tropical perenifólia.

E na nomenclatura atualizada como:

- CX11 – Cambissolo Háplico Álico, Tb, textura argilosa, A moderado, fase floresta tropical/subtropical perenifólia, relevo forte ondulado.
- CX15 – Associação Cambissolo Háplico Álico, Tb, textura argilosa, A moderado, relevo forte ondulado + Argissolo Vermelho-Amarelo Álico latossólico, textura argilosa, A moderado, relevo ondulado + Argissolo Vermelho-Amarelo Álico, Tb, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado, todos fase floresta tropical/subtropical perenifólia.
- CX24 – Associação Cambissolo Háplico Álico, Tb, textura argilosa cascalhenta, A moderado, relevo forte ondulado + Neossolos Litólicos Álicos, textura média cascalhenta, A moderado, relevo montanhoso (substrato granito), ambos fase rochosa floresta tropical perenifólia.

- CX32 – Associação Cambissolo Háplico Álico, Tb, textura argilosa, A moderado, relevo montanhoso + Neossolos Litólicos Distróficos, textura argilosa, A moderado, relevo montanhoso e escarpado (substrato migmatito), ambos fase floresta tropical perenifólia.

2.7.2 Argissolos

Segundo o SiBCS (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018), os Argissolos são definidos como “solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico na maior parte do horizonte B, e satisfazendo ainda aos seguintes requisitos:

- a) Horizonte plíntico, se presente, não satisfaz aos critérios para Plintossolos;
- b) Horizonte glei, se presente, não satisfaz aos critérios para Gleissolos.”

Na região de estudo, aparecem como Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos, tendo sido identificadas quatro fases deste solo, sendo apresentados na nomenclatura original como:

- PVa1 – Podzólico Vermelho-Amarelo Álico Tb A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical perenifólia, relevo ondulado.
- PVa17 – Associação Podzólico Vermelho-Amarelo Álico Tb A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical perúmida, relevo forte ondulado e ondulado + Glei Pouco Húmico Álico e Distrófico Tb, textura média, fase floresta tropical perenifólia de várzea, relevo plano.
- PVa19 – Podzólico Vermelho-Amarelo Álico latossólico A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical perenifólia, relevo ondulado.
- PVa21 – Associação Podzólico Vermelho-Amarelo Álico latossólico A moderado, textura argilosa, relevo forte ondulado + Cambissolo Álico Tb A moderado, textura argilosa, relevo montanhoso, ambos fase floresta tropical/subtropical perenifólia.

E na nomenclatura atualizada como:

- PVA1 – Argissolo Vermelho-Amarelo Álico Tb, textura argilosa, A moderado, fase floresta tropical perenifólia, relevo ondulado.
- PVA17 – Associação Argissolo Vermelho-Amarelo Álico, Tb, textura média/argilosa, A moderado, fase floresta tropical perúmida, relevo forte ondulado e ondulado + Gleissolos Háplicos Álico Tb Distrófico, textura média, fase floresta tropical perenifólia de várzea, relevo plano.
- PVA19 – Argissolo Vermelho-Amarelo Álico Distrófico, textura argilosa, A moderado, fase floresta tropical perenifólia, relevo ondulado.
- PVA21 – Associação Argissolo Vermelho-Amarelo Álico Distrófico, textura argilosa, A moderado, relevo forte ondulado + Cambissolo Háplico Álico, Tb, textura argilosa, A moderado, relevo montanhoso, ambos fase floresta tropical/subtropical perenifólia.

2.7.3 Gleissolos

Segundo o SiBCS (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018), os Gleissolos são definidos como “solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 50 cm a partir da superfície do solo, ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos. Não apresentam horizonte vértico em posição diagnóstica para Vertissolos ou textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico ou lítico fragmentário. Horizonte plânico, horizonte plíntico, horizonte concrecionário ou horizonte litoplíntico, se presentes, devem estar à profundidade maior que 200 cm a partir da superfície do solo.”

Na região de estudo, se apresentam como Gleissolos Háplicos Tb Distróficos e foi identificado apenas uma fase deste tipo de solo, apresentada na nomenclatura original como:

- HGPd1 - Gleis Pouco Húmico Distrófico Tb, textura argilosa, fase floresta tropical perenifólia de várzea, relevo plano.

E na nomenclatura atualizada como:

- GX1 – Gleissolos Háplicos Tb Distróficos, textura argilosa, fase floresta tropical perenifólia de várzea, relevo plano.

2.7.4 Neossolos

Segundo o SiBCS (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018), os Neossolos são definidos como “solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico. Horizontes gleis, plíntico, vértico e A chernozêmico, quando presentes, não ocorrem em condição diagnóstica para as classes Gleissolos, Plintossolos, Vertissolos e Chernossolos, respectivamente.”

Na região de estudo, os Neossolos se expressam primariamente como Neossolos Quartzarênicos e como Neossolos Litólicos subordinados a Cambissolos.

Os Neossolos Quartzarênicos são definidos como solos sem contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm da superfície, com horizontes A e C, porém com textura areia ou areia franca em todos os horizontes até no mínimo 150 cm de profundidade ou um contato lítico. Essencialmente quartzosos, apresentando no mínimo 95% de quartzo, calcedônia e opala nas frações de areia fina a areia grossa (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018).

Já os Neossolos Litólicos são definidos como solos com contato lítico ou lítico fragmentário, horizonte A ou hístico assentado diretamente sobre rocha, horizonte C ou Cr ou sobre material com pelo menos 90% de sua massa constituída por fragmentos grossos com mais de 2 mm de diâmetro, como cascalhos, calhaus e matacões. Admitem ainda horizonte B em início de formação (SANTOS; EMBRAPA SOLOS, 2018).

Na região de estudo, foi identificado uma fase principal deste tipo de solo, apresentada na nomenclatura original como:

- A_{Ma3} - Associação Areias Quartzosas Marinhas Álicas A proeminente, fase floresta tropical de restinga, relevo praticamente plano e suave ondulado + Cambissolo Álico Tb A moderado, textura média, fase floresta tropical perenifólia de várzea, relevo plano.

E na nomenclatura atualizada como:

- RQ3 – Neossolos Quartzarênicos Álicos Órticos típicos, A proeminente, fase floresta tropical de restinga, relevo praticamente plano e suave ondulado + Cambissolo Háplico Álico, Tb, textura média, A moderado, fase floresta tropical perenifólia de várzea, relevo plano.

Já as fases subordinadas aparecem na nomenclatura original como:

- Ca24 – Associação Cambissolo ... + Solos Litólicos Álicos A moderado, textura média cascalhenta, relevo montanhoso (substrato granito), ambos fase rochosa floresta tropical perenifólia.
- Ca32 – Associação Cambissolo ... + Neossolos Litólicos Distróficos A moderado, textura argilosa, relevo montanhoso e escarpado (substrato migmatito), ambos fase floresta tropical perenifólia.

E na nomenclatura atualizada como:

- Ca24 – Associação Cambissolo Háplico ... + Neossolos Litólicos Álicos, textura média cascalhenta, A moderado, relevo montanhoso (substrato granito), ambos fase rochosa floresta tropical perenifólia.
- Ca32 – Associação Cambissolo Háplico ... + Solos Litólicos Distróficos, textura argilosa, A moderado, relevo montanhoso e escarpado (substrato migmatito), ambos fase floresta tropical perenifólia.

3 REVISÃO CONCEITUAL

3.1 SISTEMAS FLUVIAIS

Segundo Miall (2013), os ambientes de formação para rios são altamente variados, e dependem das condições climáticas locais. Estes rios por sua vez, podem correr durante milhões de anos em uma única região, alinhados a geologia e local, e modificando e moldando a paisagem ao longo do tempo, gerando uma identidade única. O relevo e o volume de água influenciam diretamente esta identidade, refletindo também no tipo de sedimento transportado e na morfologia do leito e planície circundante.

Os processos fluviais podem ser separados em dois grandes grupos, os Erosivos e os Depositionais. A interação entre estes processos é responsável pelas características gerais de um determinado sistema, assim como a sua morfologia. Os eventos erosivos correspondem a retirada de material, seja das margens ou do leito, e os processos deposicionais ocorrem após a erosão, depositando o sedimento previamente erodido, quando a energia de transporte do sistema não é mais suficiente para manter o sedimento em movimento (MIALL, 2013).

A erosão ocorre através de dois mecanismos principais, a incisão fluvial, no qual o fluxo hídrico atua diretamente nas rochas do substrato, e a migração lateral, na qual o fluxo hídrico remove material de uma das margens, localmente aumentando o diâmetro ou seção transversal do rio. Já a deposição acontece após o transporte dos sedimentos erodidos, sendo os principais agentes de transporte, o fluxo de detritos, a carga de fundo e a carga em suspensão (WRIGHT, 1977).

Os fluxos de detritos geram depósitos mal selecionados, com clastos podendo variar de grânulo a bloco, separados geralmente por uma matriz mais fina, e por vezes com orientação insipiente nos clastos maiores. A carga de fundo é compreendida por sedimentos transportados por correntes de tração, em que grãos maiores são arrastados e rolados, e grãos menores são saltados. E por fim, a carga suspensa compreende grãos de argila e silte, que se mantem suspensos na coluna de água até uma região de baixa energia, onde ocorre a sua deposição (MIALL, 2013).

Miall (1977) divide os sistemas fluviais em 4 estilos principais, de acordo com as características e padrões dos canais, vistos em planta: Retilíneos,

Meandrantes, Entrelaçados e Anastomosados. Estes padrões também são caracterizados em função de parâmetros da morfologia do canal, como a sinuosidade, o grau de entrelaçamento e a razão entre a largura e a profundidade do leito. Rust (1977) define também, que a razão entre largura e profundidade pode ser utilizado como um bom parâmetro discriminatório, com rios meandrantes tendo razões tipicamente maiores que 40, enquanto outros tipos de rios apresentam razões menores que 40.

Na natureza, os rios geralmente não se conformam dentro de um único padrão de classificação, sendo mais recorrente a observação de padrões intermediários. É também normal a observação de mudança gradativa das características ao longo de um mesmo rio, variando de um padrão para outro. Variações de regime pluviométrico, como épocas de chuva ou estiagem, que alteram a descarga hídrica também podem alterar os padrões de um rio, podendo estas mudanças serem permanentes ou durarem apenas durante o período com descarga fora do normal (RUST, 1977).

Schumm (1981) propôs outro sistema de classificação, baseado no regime principal de transporte sedimentar: por suspensão, por tração ou misto. Esta classificação desmembra os padrões propostos por Miall em tipos intermediários.

3.2 SIG

Sistema de Informações Geográficas (SIG), são sistemas computacionais criados para gerenciar, capturar, armazenar, manipular e analisar dados geográficos. Combinam informações geográficas, que são dados espacializados, e dados de atributo, não espacializados, de forma a possibilitar uma visão integrada e abrangente de um determinado local ou região (LONGLEY et al., 2015).

Estas combinações podem ser representadas como mapas, facilitando a análise e identificação de padrões, tendências e relações, podendo ser utilizados ampla variedade de setores, como o planejamento urbano, gestão ambiental, manejo agrícola e geologia.

Dois tipos de dados espaciais comumente utilizados são “Vetor” e “Raster”.

Vetores são elementos geométricos discretos, como pontos, linhas e polígonos, representados por um par de coordenadas geográficas definindo a

posição do elemento no espaço. Além da informação espacial, cada objeto pode ainda ter atributos não espaciais associados, como nomes, categorias e valores.

Já o Raster representa dados contínuos, dividindo o espaço em uma grade regular de células retangulares. Cada célula desta grade é denominada pixel, e armazena um único valor, representativo de uma medida ou propriedade. O arquivo raster pode ter seus dados apresentados em uma única banda, como os dados de elevação, ou divididos em diversas bandas, cada uma representando um atributo diferente, como faixas do espectro eletromagnético.

Realizando operações de manipulação e análises com os dados espaciais e atributivos, o SIG permite a exploração, caracterização e reconhecimento de características do meio físico, auxiliando a tomada de decisões através da visualização de padrões e processos previamente tidos como não correlatos (BOLSTAD, 2019).

3.3 MDE

Um Modelo Digital de Elevação (MDE), é uma representação digital da superfície da Terra, descrevendo a variação altimétrica de determinado local ou região. Geralmente utilizado em ambientes SIG, apresenta grande gama de aplicações, como análises topográficas, planejamento urbano, caracterizações de bacias hidrográficas e análises de risco, entre outros.

Geralmente é armazenado como arquivos raster, vetoriais ou *Triangulated Irregular Network* (TIN), dependendo das necessidades de análise e visualização. Suas duas principais características são a resolução espacial, que representa a densidade de pontos de dados e o detalhamento visual, e a precisão, indicativo da exatidão dos valores de elevação apresentados (BURROUGH; MCDONNELL; LLOYD, 2015).

3.4 USLE

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE, *Universal Soil Loss Equation*) é um modelo amplamente utilizado para estimar a erosão do solo em uma determinada área. Foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) fornecendo

informações sobre áreas suscetíveis a erosão e servindo como orientação de práticas de conservação e planejamento do uso e ocupação da terra.

É uma abordagem empírica, matematicamente definida pela equação:

$$A = R * K * LS * CP \quad (1)$$

onde A é a perda média de solo em toneladas por hectare ao ano; R é o fator de erosividade da chuva; K é o fator de erodibilidade do solo; LS é o fator de comprimento e declividade do terreno; CP é o fator de cobertura vegetal, manejo e uso do solo, junto de práticas conservacionistas.

O fator R apresenta diversas formas de ser calculado, dependendo do tipo de dados disponíveis para a área de estudo, tendo sido escolhido o método baseado na relação entre a pluviometria média mensal e anual da área, multiplicado por uma constante que reflete a energia cinética média da precipitação. O fator K é calculado a partir de ensaios experimentais com diferentes tipos de solo, refletindo o potencial de perda de massa do solo. O fator LS é a composição entre a declividade e o comprimento de rampa dos declives, podendo ser gerado baseado em modelos digitais de elevação e cartas topográficas. O fator CP é a composição entre os fatores C , que mede a relação entre a perda de solo e o tipo de uso e cobertura de uma área, e o fator P , que mede a relação entre perda de solo e as práticas de conservação e estabilização implementadas na área, como plantio em terraços e contornos. Estes dois fatores apresentam correlação elevada, podendo ser analisados em conjunto. Ambos dispõem de pouca disponibilidade na literatura, sendo obtidos experimentalmente através de ensaios em que os outros fatores são controlados, isolando suas variações (RENARD et al., 1997).

O Fator R , erosividade das chuvas foi calculado utilizando a equação:

$$R = -96,735 + 81,967 * \sum_1^{12} \left(\frac{r^2}{P} \right) \quad (2)$$

em que r é a média pluviométrica mensal e P a média pluviométrica anual.

O Fator LS , ou fator de declividade do terreno, foi calculado com a equação:

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \quad (3)$$

em que C é o comprimento de rampas em metros e D o grau de declive em porcentagem.

Para a determinação da componente C do Fator CP , foi elaborado um mapa de cobertura do solo, e pela ausência de dados quanto a práticas conservacionistas, a componente P foi desconsiderada.

É importante ressaltar que a USLE possui algumas limitações, como a simplificação de processos erosivos complexos, a não consideração de agentes erosivos além da chuva e a sensibilidade a variações espaciais e temporais dos fatores utilizados.

3.5 SVM

Um *Support Vector Machine* (SVM) (CORTES; VAPNIK, 1995), é um conceito utilizado na ciência da computação para descrever um conjunto de técnicas de aprendizado supervisionado, comumente utilizado para classificação de imagens e análise de regressão. O modelo resultante tem como objetivo o reconhecimento de padrões a partir de um conjunto de dados previamente classificado, criando um hiperplano ideal de fronteira entre as diferentes classes empregadas.

Uma das principais vantagens do SVM é a capacidade de lidar com dados de alta dimensionalidade e problemas complexos de classificação, apresentando menos *overfitting* em comparação com outros algoritmos de aprendizado. No entanto, o SVM pode ser computacionalmente custoso para conjuntos de dados muito grandes e requer uma escolha adequada do kernel e dos parâmetros (VAPNIK, 2000).

Existem três aspectos principais no SVM, o hiperplano de fronteira, os vetores de suporte e a margem. O hiperplano é definido como a fronteira de decisão, dividindo o espaço de dados em regiões que representam as diferentes classes, os vetores de suporte são os pontos de dados que estão mais próximos da fronteira de decisão, e a margem é a distância entre o hiperplano de separação e os vetores de suporte mais próximos à fronteira (HASTIE; TIBSHIRANI; FRIEDMAN, 2009).

Para uma boa classificação, é necessário encontrar o hiperplano que separa as classes de dados da forma mais ampla possível, e que minimize o erro de classificação e maximize a margem entre as classes. Uma margem bem definida reduz erros de *overfitting* e amplia a capacidade generalista de classificação do modelo (VAPNIK, 2000).

Os parâmetros gerais que podem ser modificados na etapa de treinamento do modelo são C e Γ . O parâmetro C , ou *Custo*, define a penalização por erros e controla o equilíbrio entre a maximização das margens entre as classes e minimização do erro, de forma que um valor elevado gera uma fronteira de decisão

mais rígida, e valores menores geram uma fronteira de decisão mais flexível. Já o parâmetro *Gamma*, define a influência de cada amostra durante o treinamento, afetando a suavidade e a complexidade da fronteira de decisão, de forma que valores elevados resultam em influência localizada, em que apenas pontos próximos a fronteira de decisão tem impacto significativo, enquanto valores baixos resultam em influência ampla e mais pontos apresentam impacto na definição da fronteira (BURGES, 1998).

Em problemas de classificação de imagens de satélite, um Kernel comumente utilizado é o RBF gaussiano - *Radial Basis Function* ou Função de Base Radial – que utiliza apenas os parâmetros C e Gamma (MATHER; TSO, 2009).

3.6 INDICES EM IMAGENS ORBITAIS

Os índices em imagens orbitais, são medidas derivadas dos valores das bandas da imagem, podendo ser utilizados espectros da luz na zona visível, variando do violeta, com comprimento de onda de 400nm, ao vermelho, com comprimento de onda até 700nm, assim como também espectros de luz que ultrapassam a faixa visível, como o ultravioleta (comprimento de onda menor que 400nm), infravermelho (comprimento de onda entre 700nm e 1000nm) e infravermelho de onda curta (comprimento de onda entre 1000nm e 2500nm).

São utilizados para quantificar e caracterizar diferentes propriedades e fenômenos presentes em uma área geográfica, como conteúdo de água em plantas, atividade fotossintética, predominância de determinados tipos de vegetação, presença de corpos hídricos, áreas recentemente desflorestadas ou queimadas, entre diversos outros.

Alguns exemplos de índices utilizados são o *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI), *Enhanced Vegetation Index* (Índice de Vegetação Aprimorado - EVI), *Green Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada de Verde - GNDVI) e *Normalized Difference Infrared Index* (Índice Infravermelho por Diferença Normalizada - NDII).

O NDVI (ROUSE et al., 1974) é calculado pela normalização e subtração entre as bandas do espectro vermelho e infravermelho com a equação:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (4)$$

em que *NIR* é a banda do infravermelho próximo, com comprimento de onda de 865nm e *RED* a banda do vermelho, com comprimento de onda de 490nm. Geralmente é utilizado para averiguar a condição e densidade de vegetação, com boa sensibilidade e resposta para identificação de corpos d'água.

O EVI (HUETE et al., 1997) é um aperfeiçoamento do NDVI, adicionando a banda do espectro azul ao denominador, além de aplicar ponderação entre as bandas vermelha e azul. É calculado com a equação:

$$EVI = 2.5 * \left(\frac{(NIR - RED)}{(NIR + C_1 * RED - C_2 * BLUE + L)} \right) \quad (5)$$

em que *NIR* corresponde ao espectro de luz do infravermelho próximo, *RED* a região da luz no espectro vermelho, *BLUE* a banda do azul, com comprimento de onda de 490nm. C_1 e C_2 são coeficientes de correção atmosférica, geralmente empregando os valores 6 e 7,5 respectivamente, L é um fator de correção para o dossel de árvores e geralmente é utilizado o valor 1. Apresenta melhor sensibilidade a vegetação densa quando comparado ao NDVI, além de suprimir interferências atmosféricas.

O GNDVI (GITELSON; KAUFMAN; MERZLYAK, 1996) é uma modificação do NDVI, substituindo o espectro de luz vermelha pela verde, com a equação:

$$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)} \quad (6)$$

em que *NIR* corresponde ao espectro de luz do infravermelho próximo, e *GREEN* ao espectro da luz visível verde, com comprimento de onda de 560nm. Apresenta melhor sensibilidade a presença de água e vegetação de baixo porte como pastagens e culturas agrícolas, em relação ao NDVI.

NDII (HUNT; ROCK, 1989) é outra modificação do NDVI, sendo calculado pela diferença normalizada entre o infravermelho próximo e infravermelho de onda curta, sendo obtido pela equação:

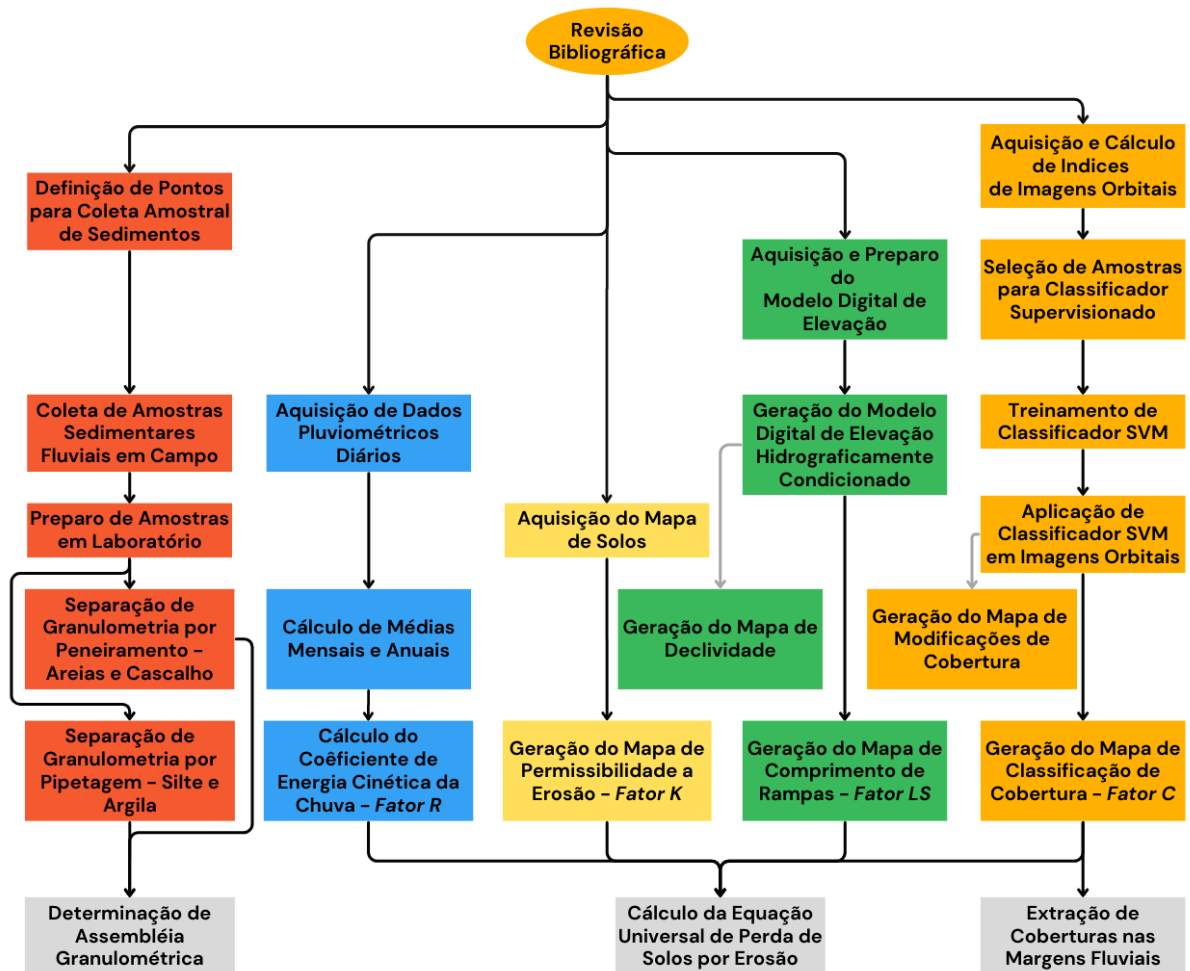
$$NDII = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (7)$$

em que *NIR* representa o infravermelho próximo, e *SWIR* a banda da luz não visível do infravermelho de onda curta, com comprimento de onda entre 940nm e 2500nm. Apresenta grande sensibilidade a variação da quantidade de água na vegetação e solo, podendo ser utilizado para identificação de regiões recentemente queimadas ou expostas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi executado em diversas etapas, iniciando com a revisão bibliográfica, seguida da aquisição, preparo e processamento dos dados digitais e levantamento de amostras sedimentares em campo, terminando com a geração de mapas temáticos e dados da distribuição da assembleia granulométrica no leito fluvial. A Figura 9 apresenta fluxograma com a ordem de execução de cada etapa.

Figura 9 Fluxograma das etapas deste trabalho.



Fonte: elaborado pelo autor

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica teve como foco pesquisar os trabalhos já realizados na região da bacia, especialmente levantamentos geológicos e geomorfológicos, ocupação da área, registros de enchentes e obras de mitigação. Também foram revisados outros trabalhos realizados no Brasil e mundo, quanto a metodologias para análises multitemporais de ambientes fluviais em processo de assoreamento.

4.1.2 Equipamentos para Coleta de Dados em Campo

De forma a coletar as amostras de sedimentos do leito do rio, uma draga manual foi confeccionada pelo autor, utilizando como exemplo de funcionamento as dragas manuais dos tipos Birge-Ekman e Petite Ponar. A draga foi feita exclusivamente em aço inox, de maneira a reduzir possíveis contaminações por óxidos metálicos nas amostras.

O amostrador confeccionado possui bitola de 7 cm, e altura máxima de amostragem de 13 cm, resultando em um volume máximo amostral de aproximadamente 500 cm³ ou 0,5 L.

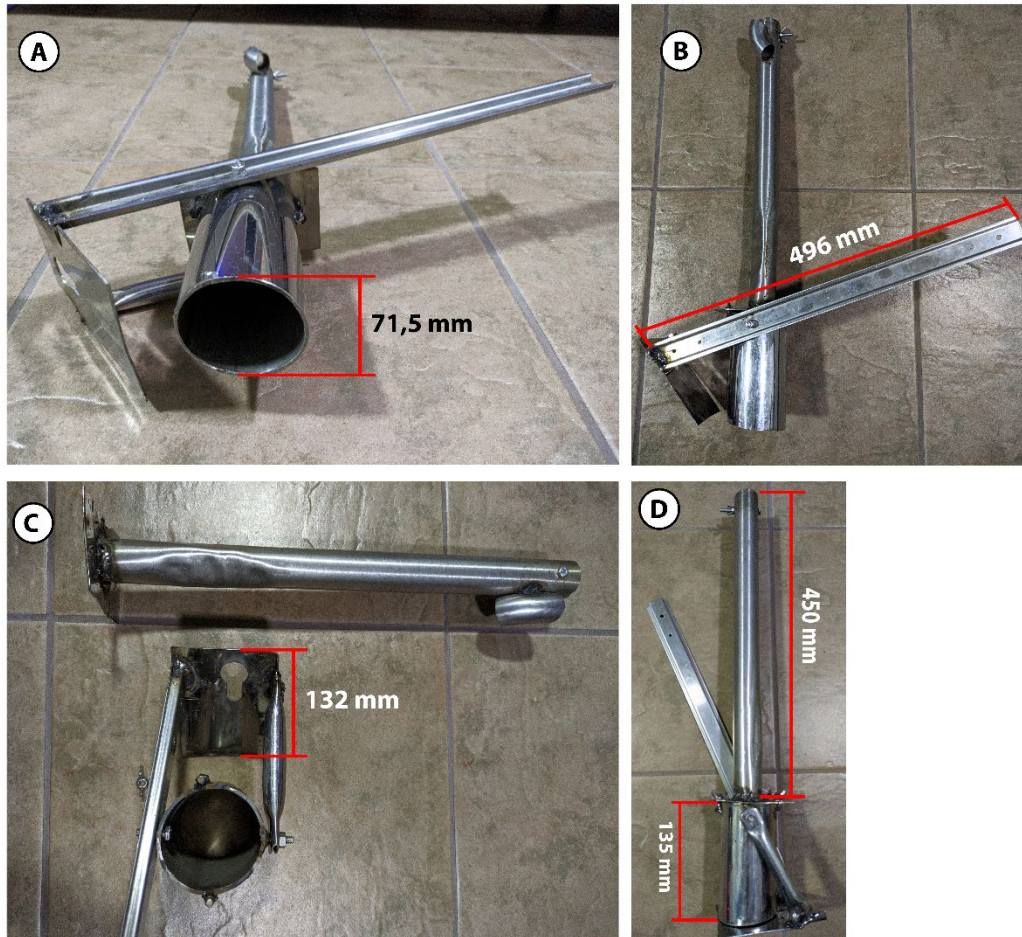
O ecobatímetro empregado para a aquisição de dados batimétricos e morfologia geral do leito do rio, foi um Garmin EchoMap 54dv, equipado com transdutor de feixe duplo (77 e 200 kHz e ângulo de feixe entre 15° e 45°) também fabricado pela Garmin.

A embarcação utilizada para a coleta de sedimentos e execução da batimetria, foi um bote de casco rígido e flutuadores infláveis, marca Zephyr, de 16 pés, motor Yamaha 90HP quatro tempos.

A Figura 10 apresenta vistas do amostrador confeccionado, bem como as dimensões principais associadas a ele. As fotos mostram, da esquerda para a direita, de cima para baixo: A) Vista da abertura da cápsula do amostrador. B) Vista da lateral do amostrador em que está apoiado o mecanismo que fecha a cápsula, com o mecanismo na posição aberta. C) Vista superior da cápsula do amostrador,

separada do braço de suporte. D) Vista da lateral oposta ao braço do mecanismo do amostrador, com o mecanismo na posição fechada.

Figura 10 Vistas do amostrador confeccionado



Fonte: autor

4.1.3 Análises Granulométricas

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia (DGL) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Com exceção dos reagentes químicos e refratômetro ótico, todos os equipamentos e vidrarias utilizados para as análises foram fornecidos pelo laboratório.

Os equipamentos utilizados foram:

- Bacias de alumínio

- Balança Analítica Shimadzu AUY220, com precisão de 0,0001g
- Estufa com controle analógico de temperatura
- Estufa com ventilação forçada e controle digital de temperatura
- Peneirador Eletromagnético
- Peneiras com malha de inox (Figura 11) com aberturas de 4 mm, 2,83 mm, 2 mm, 1 mm, 0,500 mm, 0,250 mm, 0,125 mm e 0,063 mm.
- Quarteador manual de sedimentos
- Refratômetro ótico calibrado para salinidade
- Termômetro infravermelho portátil
- Bastão de vidro
- Beckers de 50 mL e 500 mL
- Erlenmeyers de 250 mL e 1L
- Funil de vidro
- Pipetas de 10 mL e 25mL
- Provetas de 1 L

Os reagentes químicos utilizados foram:

- Hidróxido de Sódio P.A. – NaOH
- Hexametáfosfato de Sódio P.A. – Na₆O₁₈P₆
- Carbonato de Sódio Anidro P.A. – Na₂CO₃

Figura 11 Peneiras utilizadas para separação das areias



Fonte: autor

4.1.4 Programas e Plataformas

- QGIS versão 3.30.3
- SAGA versão 9.0.2
- Orfeo ToolBox versão 8.1.1
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Garmin BaseCamp
- Google Earth Engine

Os programas QGIS, SAGA e Orfeo Toolbox são distribuídos gratuitamente sob licença Open-Source. Os programas Microsoft Excel e Microsoft Word são parte do Pacote Office, com licença oferecida em parceria com a UFSC. O programa Garmin BaseCamp é distribuído de forma gratuita pela Garmin para uso com seus aparelhos de GPS náutico. A plataforma Google Earth Engine foi utilizada na modalidade gratuita para pesquisa acadêmica.

4.1.5 Arquivos Vetoriais e Raster

Os arquivos vetoriais com os limites administrativos e localização das sedes municipais foram extraídos da base cartográfica digital disponibilizada na Mapoteca Digital da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

O arquivo raster do Modelo Digital de Elevação (MDE), bem como os arquivos vetoriais dos limites e rede hidrográfica da Bacia do Rio Biguaçu, foram obtidos através do serviço SIG-SC, mantido pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina (SDS-SC), sendo os dados hidrográficos gerados pela Agência Nacional de Águas (ANA). O MDE disponibilizado apresenta resoluções horizontal e vertical de 1 m, tendo sido gerado através de levantamento aerofotogramétrico realizado no ano de 2010 pelo Governo do Estado de Santa Catarina. A região de estudo abrange 4 folhas deste levantamento, SG-22-Z-D-II-3, SG-22-Z-D-V-1, SG-22-Z-D-V-2 e SG-22-Z-D-II-4.

Os arquivos vetoriais das rodovias estaduais foram adquiridos pelos serviços de informações digitais da Secretária de Estado da Infraestrutura e Mobilidade de Santa Catarina (SIE-SC) e das rodovias federais através do Ministério de Infraestrutura.

Os dados pluviométricos foram obtidos junto a ANA, através do Portal HidroWeb, parte da Rede Hidrometeorológica Nacional.

Os arquivos raster de imagens orbitais e os respectivos índices, foram gerados através da plataforma Google Earth Engine, utilizando séries temporais da constelação Sentinel-2, operado pela *European Space Agency* (Agência Espacial Europeia - ESA).

Os dados de pedologia da bacia do rio Biguaçu foram obtidos do Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina, elaborado e disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

4.2 MÉTODOS

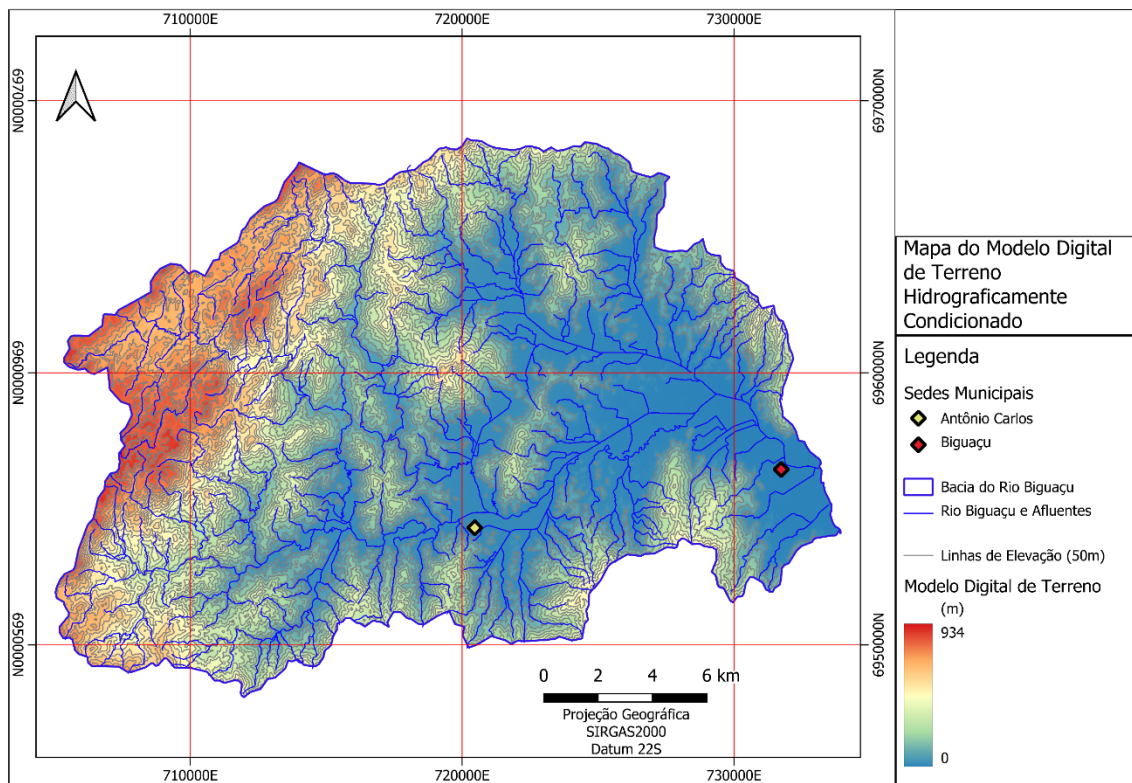
4.2.1 Ambiente SIG

A primeira etapa prática deste trabalho consistiu na aquisição de arquivos vetoriais e raster significativos da área, seguido da criação de um banco de dados em ambiente SIG, utilizando o programa QGIS, para facilitar a concentração, gerenciamento e manipulação dos dados raster e vetoriais previamente adquiridos e gerados ao longo do trabalho.

4.2.2 Geração de MDEHC

O arquivo do MDE inicialmente se encontrava dividido em 4 folhas abrangendo a área de estudo. Utilizando a ferramenta “Raster Merge” do QGIS, estas cenas foram unidas em um único arquivo. Após a união, o MDE teve sua extensão recortada, utilizando a ferramenta “*Clip Raster by Mask*”, sendo o arquivo com a extensão da bacia hidrográfica utilizado como máscara de limites. Uma vez recortado, o MDE foi refinado utilizando o programa *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA, ou Sistema para Análises Geocientíficas Automatizadas) realizando o preenchimento de depressões espúrias através do módulo “*Fill Sinks (Wang & Liu)*”, resultando em um Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) (Figura 12) e gerando a rede de direções de fluxo.

Figura 12 MDEHC e rede de drenagem



Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados de elevação da Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (2010) e rede hidrográfica da Agência Nacional de Águas (2023).

Utilizando o MDEHC como base, foram derivados e interpolados alguns outros produtos intermediários, como o mapa de declividades, a rede de acumulação e os limites de sub-bacias.

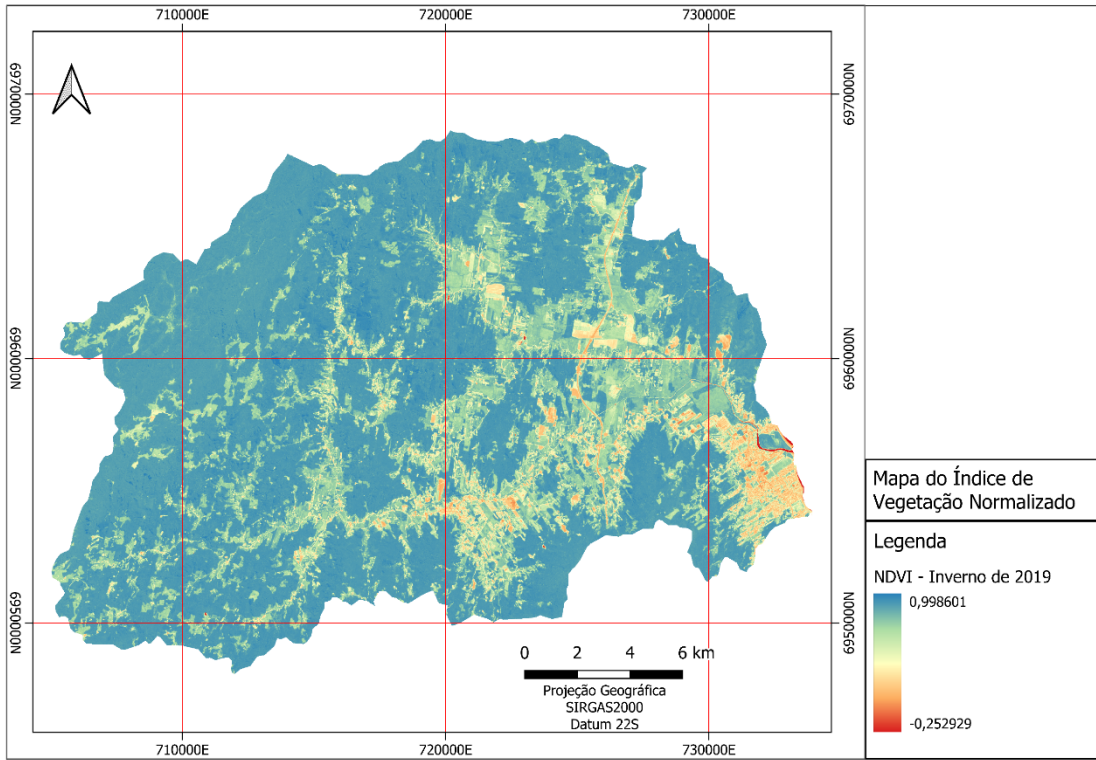
4.2.3 Aquisição de Imagens Orbitais

Em função da gratuidade, alta resolução disponível, com as bandas vermelho (665 nm), verde (560 nm), azul (490 nm) e infravermelho próximo (842 nm) disponíveis em resolução de 10 metros, mais 4 bandas de infravermelho próximo (705 nm, 740 nm, 783 nm e 865nm) e 2 bandas de infravermelho de onda curta (1610 nm e 2190 nm) disponíveis em resolução de 20 metros, aliado ao curto intervalo para revisitação de apenas 5 dias, foi escolhido a utilização de imagens do satélite Sentinel-2.

As imagens foram adquiridas através da plataforma Google Earth Engine, utilizando a coleção "*Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A*" que já apresenta as imagens de superfície com correção radiométrica e atmosférica, e script inicial padronizado oferecido nativamente pela plataforma como base, seguido de alterações a fim de melhor atender o escopo deste trabalho. O script, transcrito no Apêndice A, agrega e analisa as cenas que abrangem a área de estudo em um intervalo de tempo definido pelo operador, selecionando as imagens com índice de nuvens inferior ao valor informado, calcula os índices e os adiciona como bandas à coleção, prosseguindo para agrupar as imagens por mês e estação.

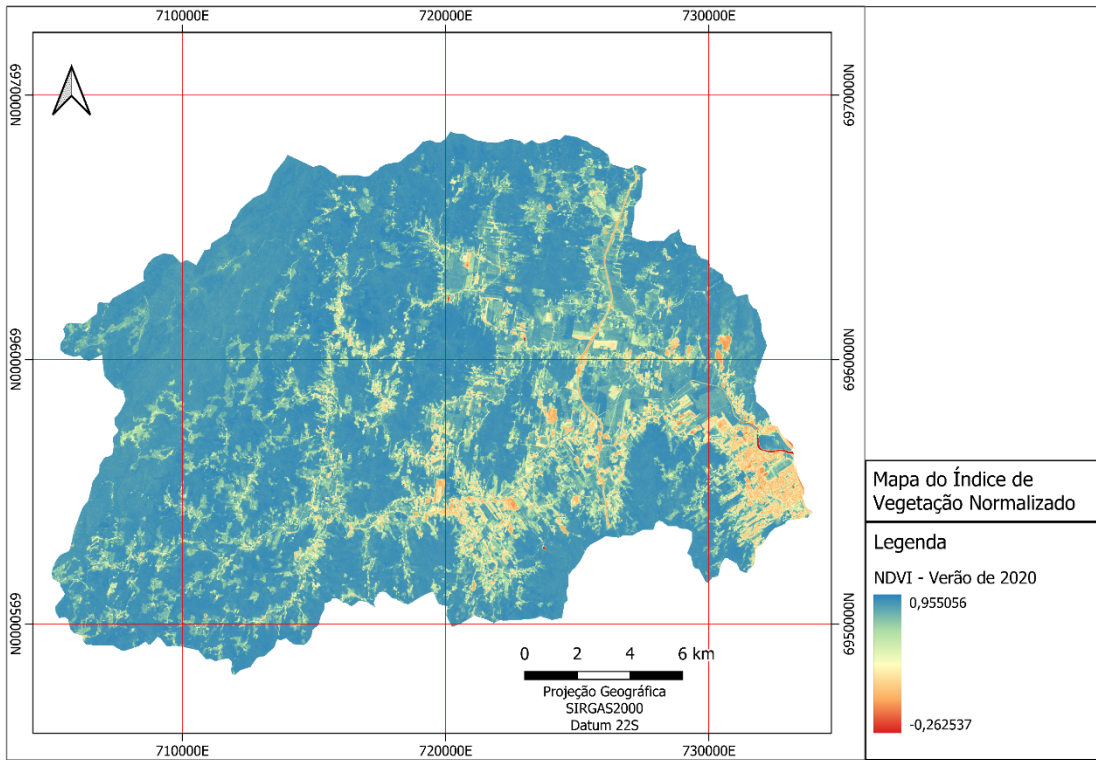
O intervalo temporal utilizado foi do dia 01/07/2019 a 30/06/2020 e índice de nuvens inferior a 1,01. Após a seleção das imagens, foram calculados os índices NDVI (Figura 13 e Figura 14) utilizando a Equação 4, EVI (Figura 15 e Figura 16) utilizando a Equação 5, GNDVI (Figura 17 e Figura 18) utilizando a Equação 6 e NDII (Figura 19 e Figura 20) utilizando a Equação 7, empregados para auxiliar as classificações de cobertura e análises das imagens. As imagens referentes ao inverno foram selecionadas dentro do período do dia 01/07/2019 a 30/09/2019, e as referentes ao verão, no período do dia 01/01/2020 a 31/03/2020.

Figura 13 Mapa de NDVI, inverno de 2019



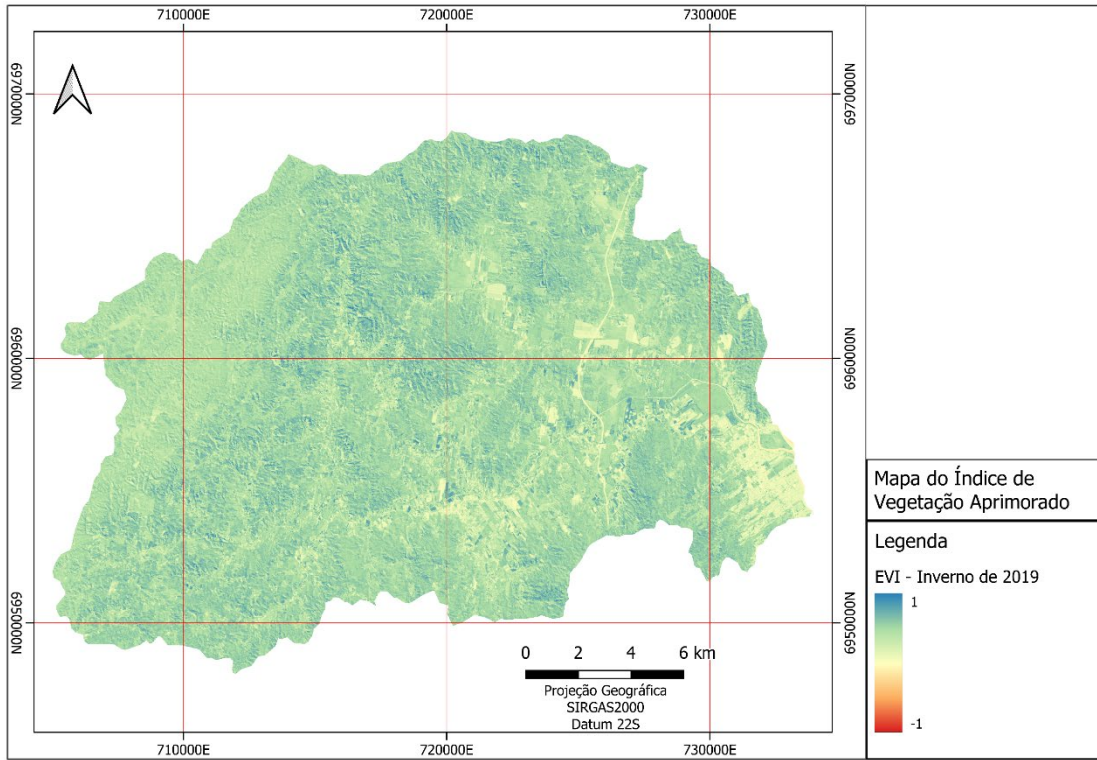
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 14 Mapa de NDVI, verão de 2020



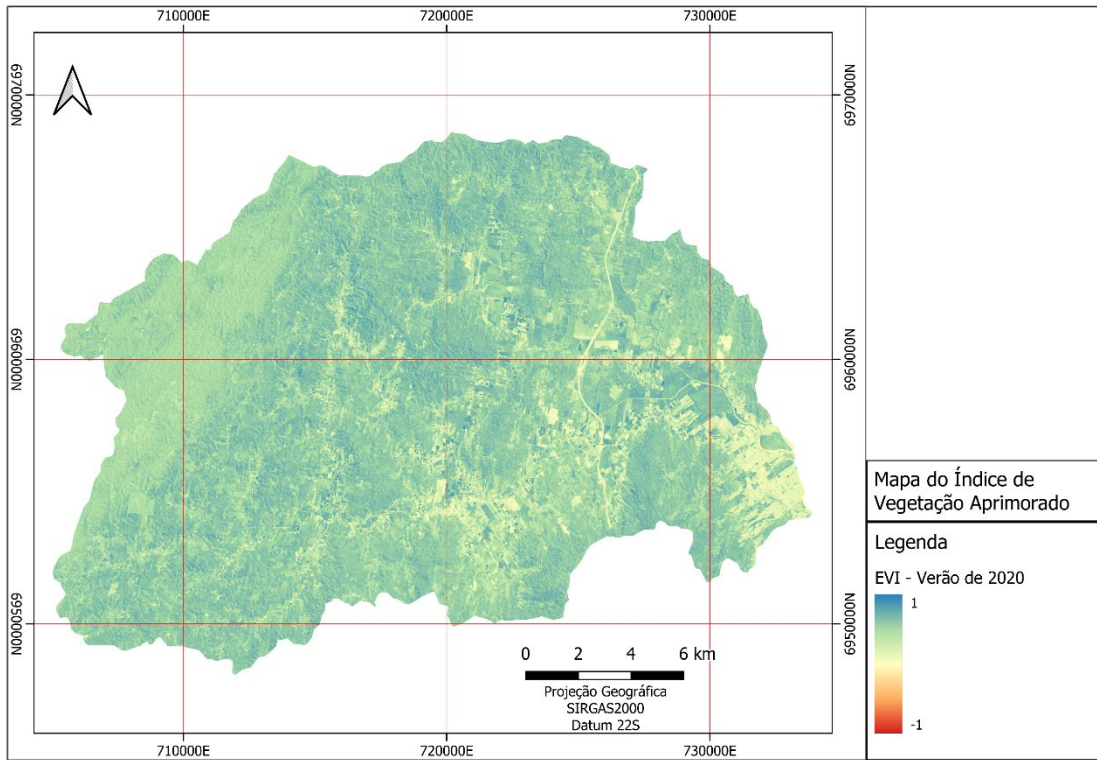
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 15 Mapa de EVI, inverno de 2019



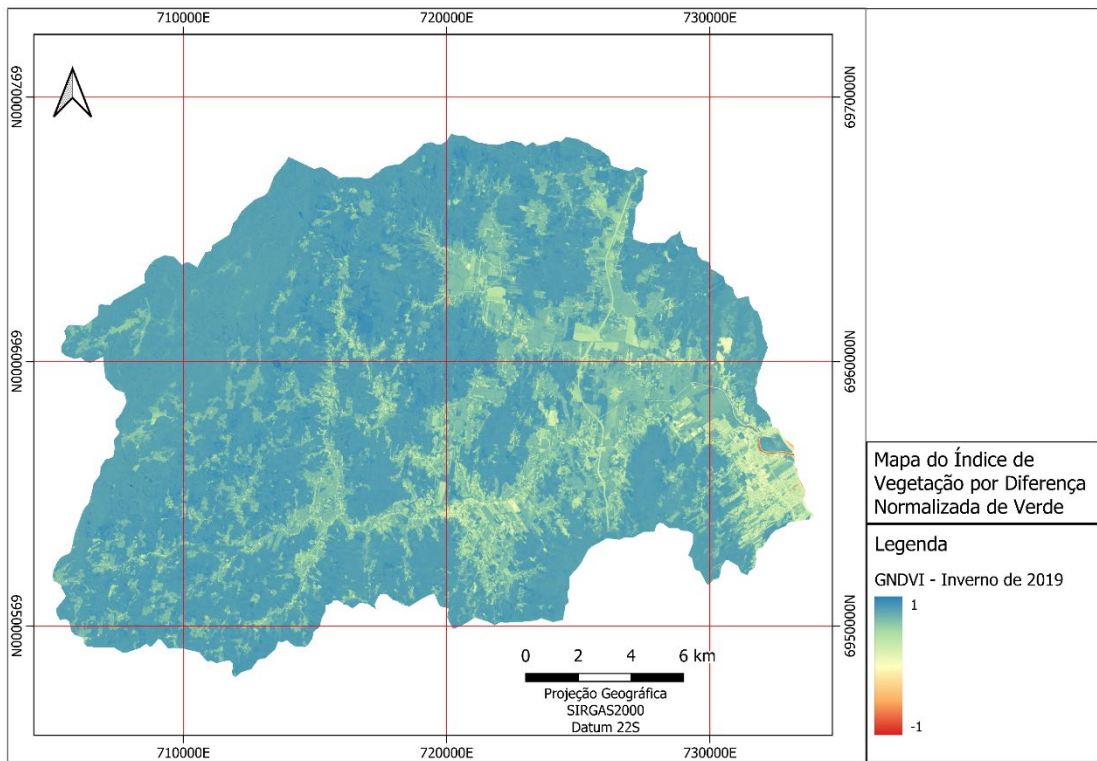
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 16 Mapa de EVI, verão de 2020



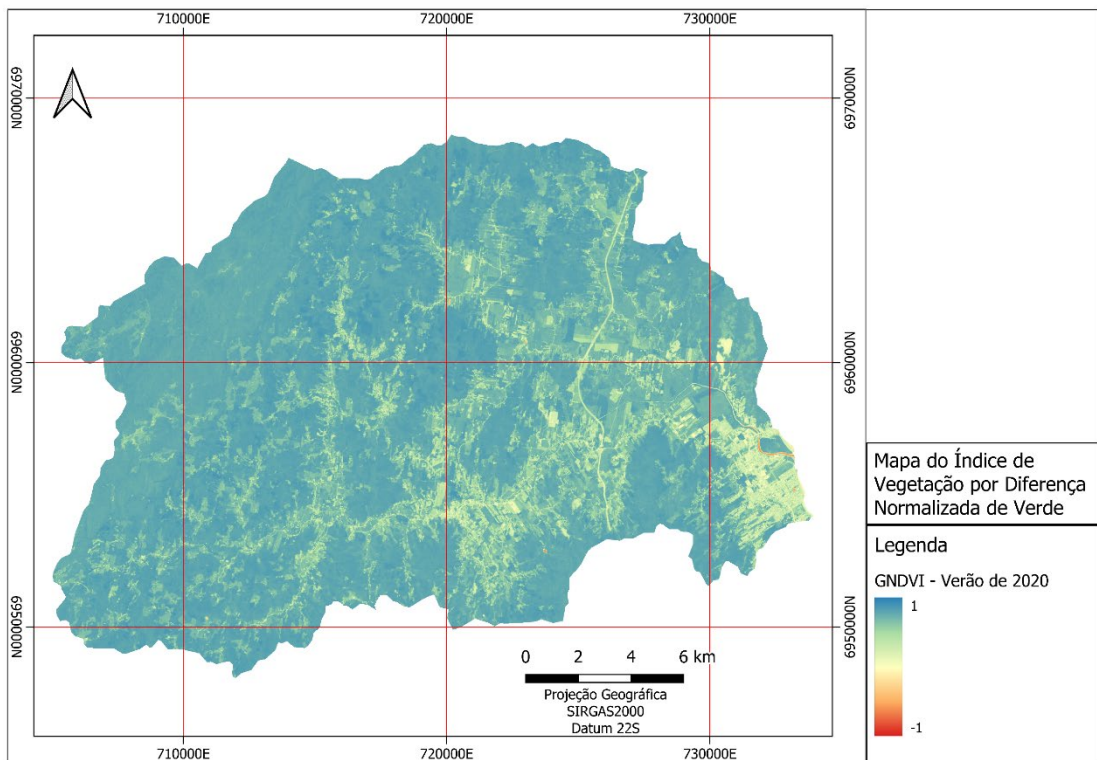
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 17 Mapa de GNDVI, inverno de 2019



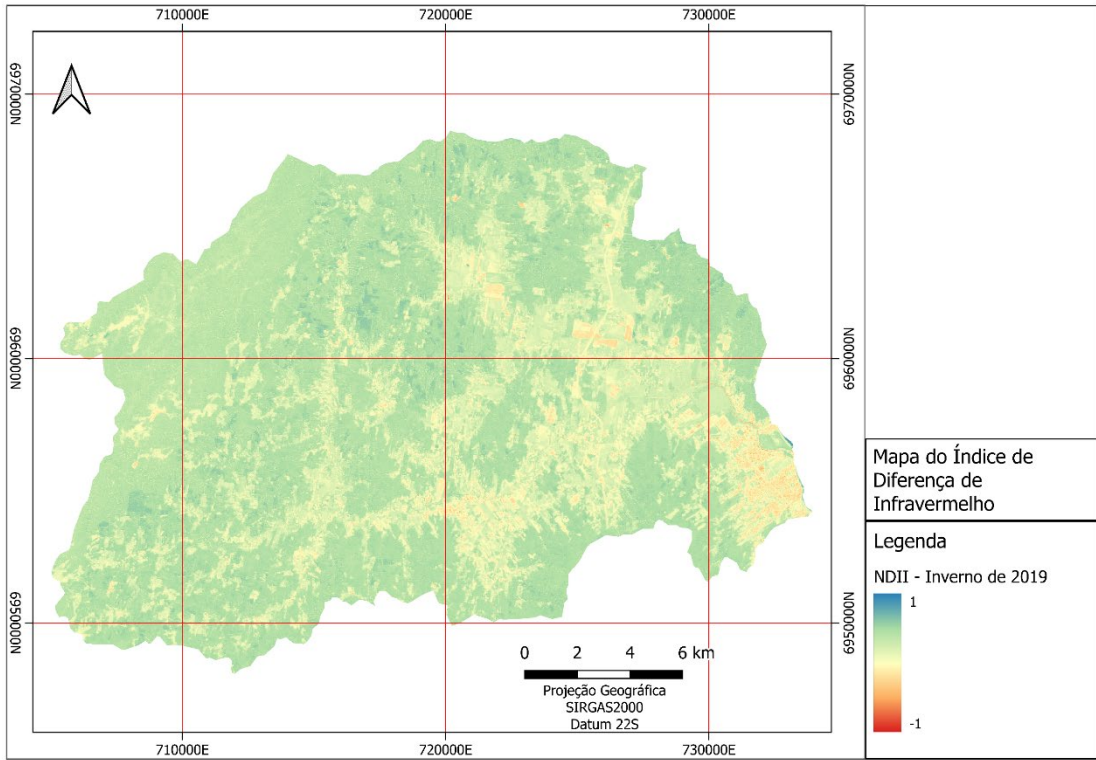
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18 Mapa de GNDVI, verão de 2020



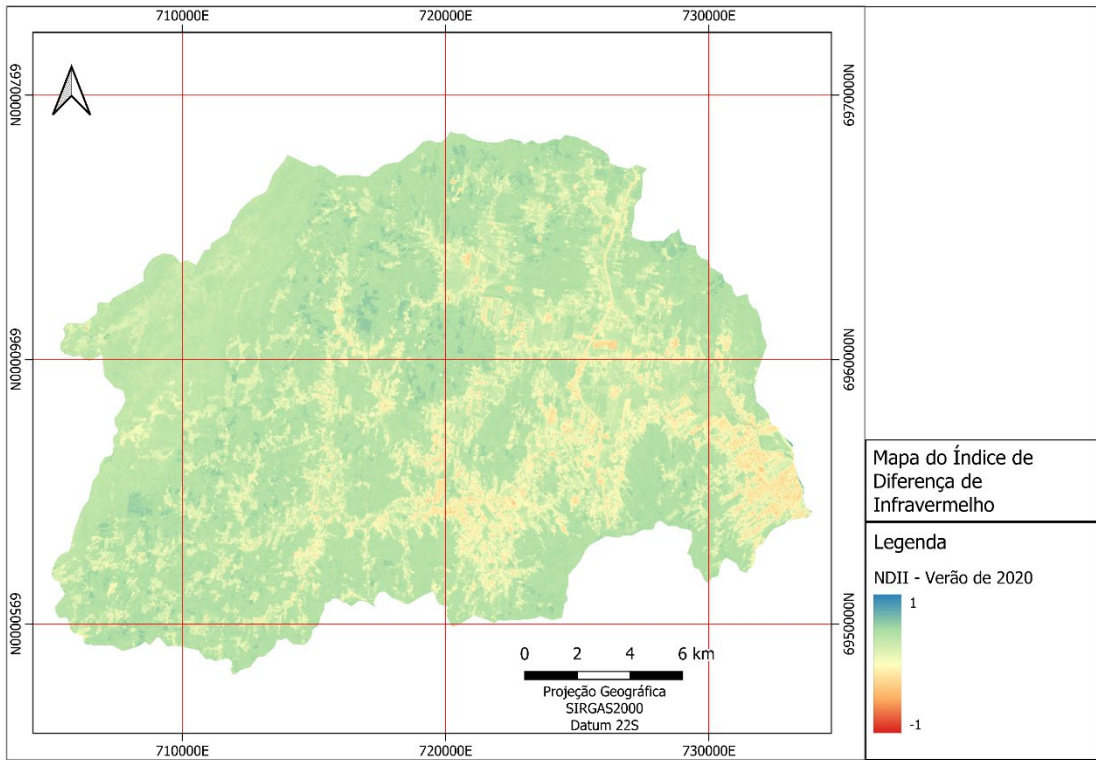
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 19 Mapa de NDII, inverno de 2019



Fonte: elaborado pelo autor

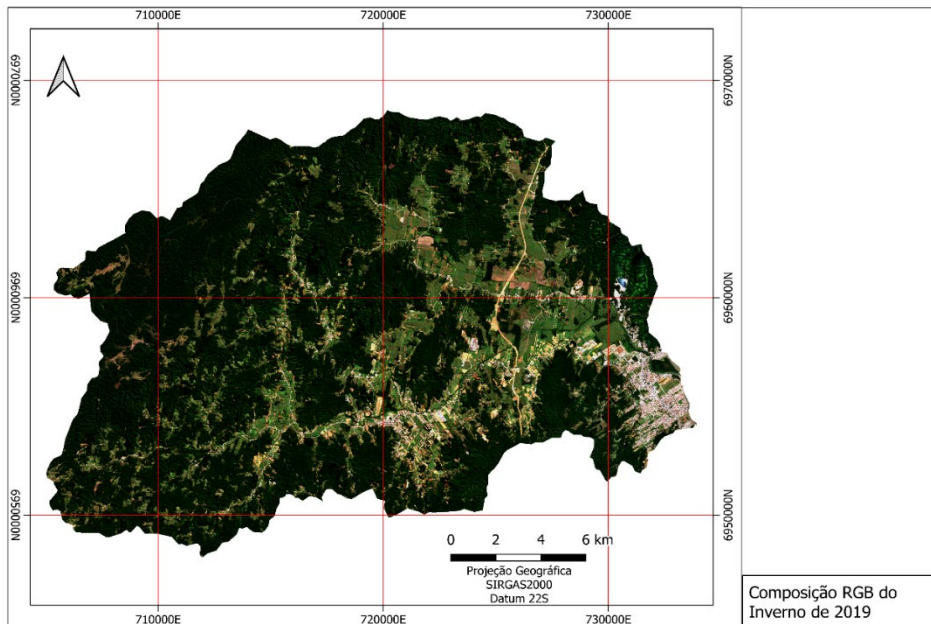
Figura 20 Mapa de NDII, verão de 2020



Fonte: elaborado pelo autor

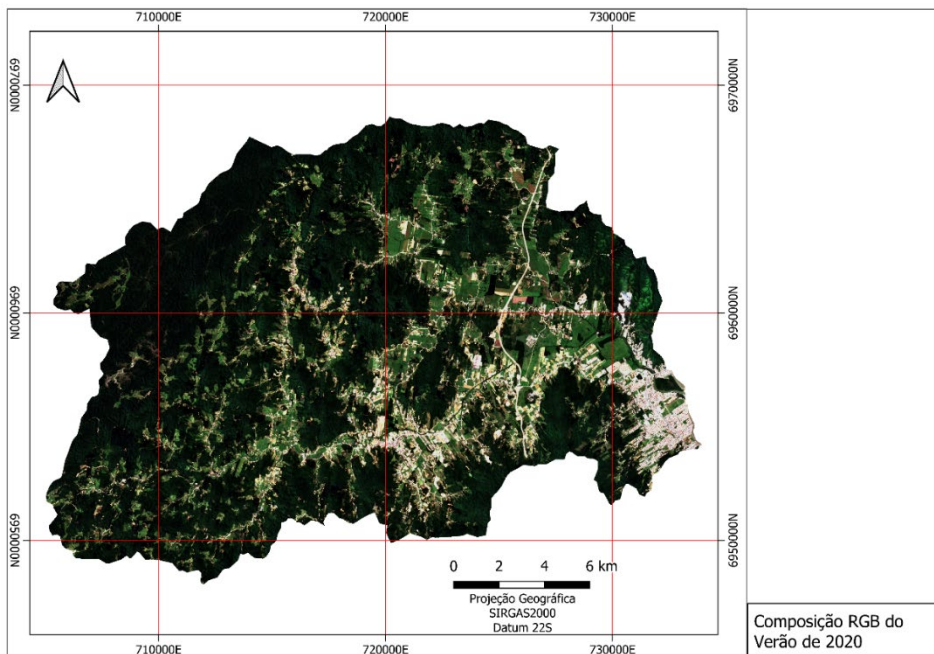
Com os índices calculados, foi criada uma série temporal, unindo as imagens obtidas em um mesmo mês. Esta serie foi então agrupada de acordo com as estações do ano, e por fim, calculadas e exportadas as medianas referentes ao inverno de 2019 (Figura 21) e verão de 2020 (Figura 22).

Figura 21 Composição RGB das medianas, inverno de 2019



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 22 Composição RGB das medianas, verão de 2020



Fonte: elaborado pelo autor

4.2.4 Classificação da cobertura de solo

Para a classificação da cobertura de solo (MATHER; TSO, 2009) na região da bacia, foi realizado o treinamento de um modelo SVM utilizando o plugin OTB no QGIS. As classes definidas foram: 1) Vegetação Densa; 2) Vegetação Rasteira; 3) Área Impermeabilizada, incluindo edifícios e estradas pavimentadas; 4) Solo exposto, incluindo estradas não pavimentadas, campos de cultivo em período de espera e regiões sem cobertura vegetal; 5) Corpo D'Água, incluindo rios, lagos e canais, naturais e artificiais. A delimitação destas classes se deu pela geração de um arquivo shapefile com 90 polígonos amostrais divididos entre as 5 classes.

Os parâmetros utilizados para o treinamento foram iterados diversas vezes, com o objetivo de atingir os melhores resultados na classificação. Ao fim deste processo as opções de classificador utilizados que atingiram o melhor resultado foram: Até 15000 amostras por classe para treinamento e validação; razão entre amostragem para treinamento e validação em 0,5; classificador “libsvm” (CHANG; LIN, 2011) com kernel do tipo RBF. Já os parâmetros do classificador foram: Custo em 9.75 e Gamma em 3.6.

As imagens já classificadas quanto à cobertura de solo foram reclassificadas, utilizando a ferramenta do QGIS “Reclassificar raster por tabela”, atribuindo os valores 1, 10, 100, 1000 e 10000 para as classes de Vegetação Densa, Vegetação Rasteira, Área Impermeabilizada, Solo Exposto e Corpo D'Água, respectivamente. Utilizando a ferramenta “Calculadora Raster”, a diferença entre as classificações das duas estações foi obtida, resultando em um mapa de mudança de cobertura do uso da terra.

4.2.5 Determinação da cobertura de solo às margens dos rios

Para determinar a condição de degradação e supressão vegetal junto as margens dos rios da bacia do Rio Biguaçu, foram criados dois arquivos vetoriais de *buffer* com 100 metros de largura para ambos os lados, o primeiro centrado no arquivo vetorial da rede hidrográfica da bacia adquirido junto a ANA, e o segundo, centrado em excerto deste arquivo, abrangendo apenas o trecho navegável do rio onde foram coletadas amostras sedimentares.

Estes arquivos de *buffer* foram então utilizados como limites para a extração de dados oriundos da classificação de cobertura realizada para a totalidade da bacia.

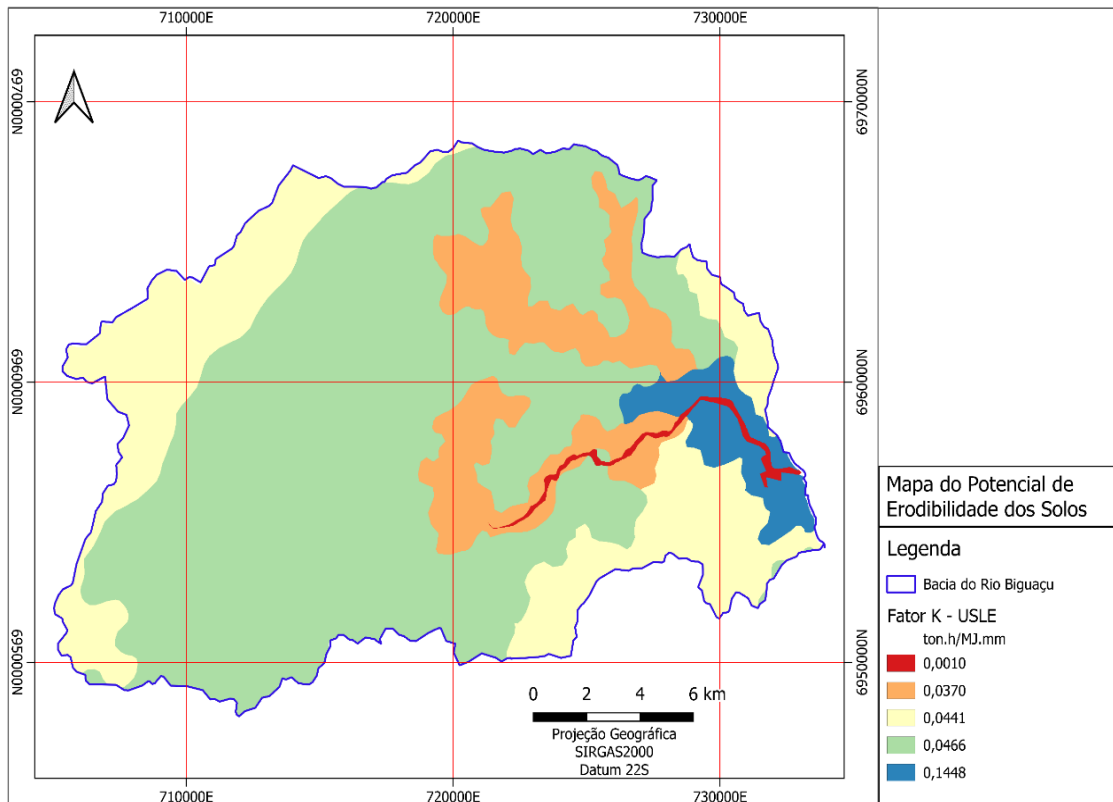
4.2.6 Determinação do Potencial de Perda de Solos por Erosão

Para determinar a perda potencial de solos por erosão na região da bacia do Rio Biguaçu, a Equação Universal de Perda de Solos (USLE) (1) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) foi calculada de forma aproximada, utilizando valores de referência ou aproximados para os fatores quando necessário.

Os dados utilizados para determinação do Fator *K* (Figura 23), erodibilidade do solo, foram as aproximações realizadas por Mannigel et al. (2008), que caracterizou os solos do estado de São Paulo. As classificações dos solos da região de estudo foram extraídas do Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina (POTTER et al., 2004).

Bertol e Almeida (2000) realizaram levantamento quantificando a tolerância a perda de solo por erosão dos solos de Santa Catarina, porém estes autores comentam que os valores são aplicados apenas a manutenção de capacidade agrícola, por não haver critérios bem definidos para estabelecimento de limites quanto a contaminação hídrica por erosão e aporte de sedimentos em sistemas de assoreamento, mas que devem ser menores que os valores apresentados. Os valores de tolerância definidos para os solos presentes na região da bacia de estudo foram 7,25 toneladas por hectare ao ano (t/ha.ano) para os Argissolos Vermelho-Amarelo (PVa), 7,87 t/ha.ano para os Cambissolos Háplicos (CX), 5,80 t/ha.ano para os Gleissolos Háplicos (GX) e 2,25 t/ha.ano para os Neossolos Quartzarênicos (RQ).

Figura 23 Mapa do Fator K

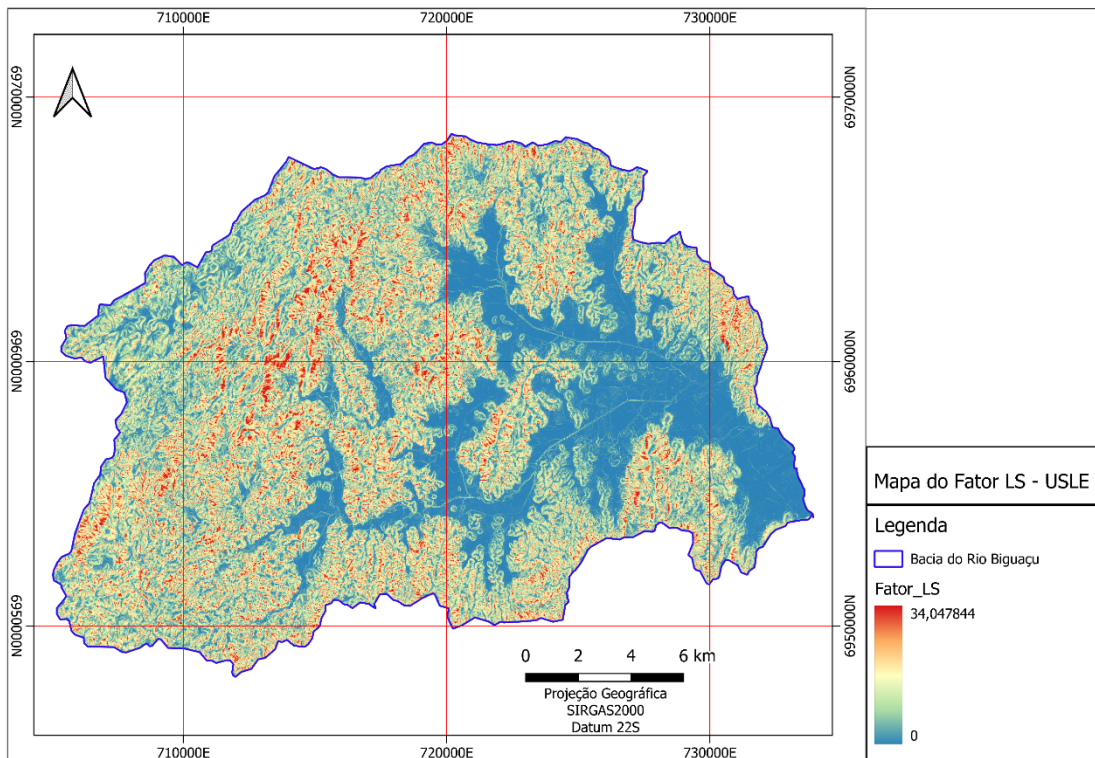


Fonte: elaborado pelo autor com base em dados pedológicos da EMBRAPA (2014)

O Fator *R*, potencial de erodibilidade da chuva, foi calculado utilizando os dados pluviométricos da estação pluviométrica 2748033, operada pela EPAGRI – SC, localizada no bairro Centro do município de Antônio Carlos – SC. A equação (2) utilizada relaciona a pluviosidade média mensal e a pluviosidade média anual, multiplicadas por uma constante de energia cinética do pingo de chuva. Foram realizadas duas iterações desta equação, uma para o inverno de 2019 e outra para o verão de 2020. Os valores resultantes destas iterações da equação foram utilizados para a geração de dois arquivos *raster* de valor fixo com a extensão da bacia, através da ferramenta “*Create Constant Raster Layer*” do *Software* QGIS.

O Fator *LS* (Figura 24), composição entre a declividade e o comprimento das rampas, foi calculado utilizando o software SAGA, com ferramenta interna específica, com base no MDE-HC previamente gerado.

Figura 24 Mapa do Fator LS



Fonte: elaborado pelo autor com base em dados de elevação da SDS-SC (2010)

O Fator *CP* foi calculado utilizando aproximações, tendo as áreas e tipos de cobertura obtidas através das imagens classificadas por SVM previamente geradas para cada estação, e os pesos de importância relativos obtidos por pesquisa Delphi com professores do departamento de Geologia – UFSC. Através desta pesquisa, os valores definidos foram: Vegetação Densa 0,27; Vegetação Rasteira 0,13; Áreas Impermeabilizadas 0,20; Solo Exposto 0,83; Corpos D'Água 0,73.

Após todos os fatores da USLE terem sido gerados para o inverno de 2019 e verão de 2020, utilizando a ferramenta “Calculadora Raster” do *Software* QGIS, foi realizado a multiplicação entre os quatro arquivos raster referentes a cada uma das duas estações, resultando nos dois Mapas do Potencial de Perda de Solos por Erosão.

4.2.7 Definição de pontos para coleta de amostras

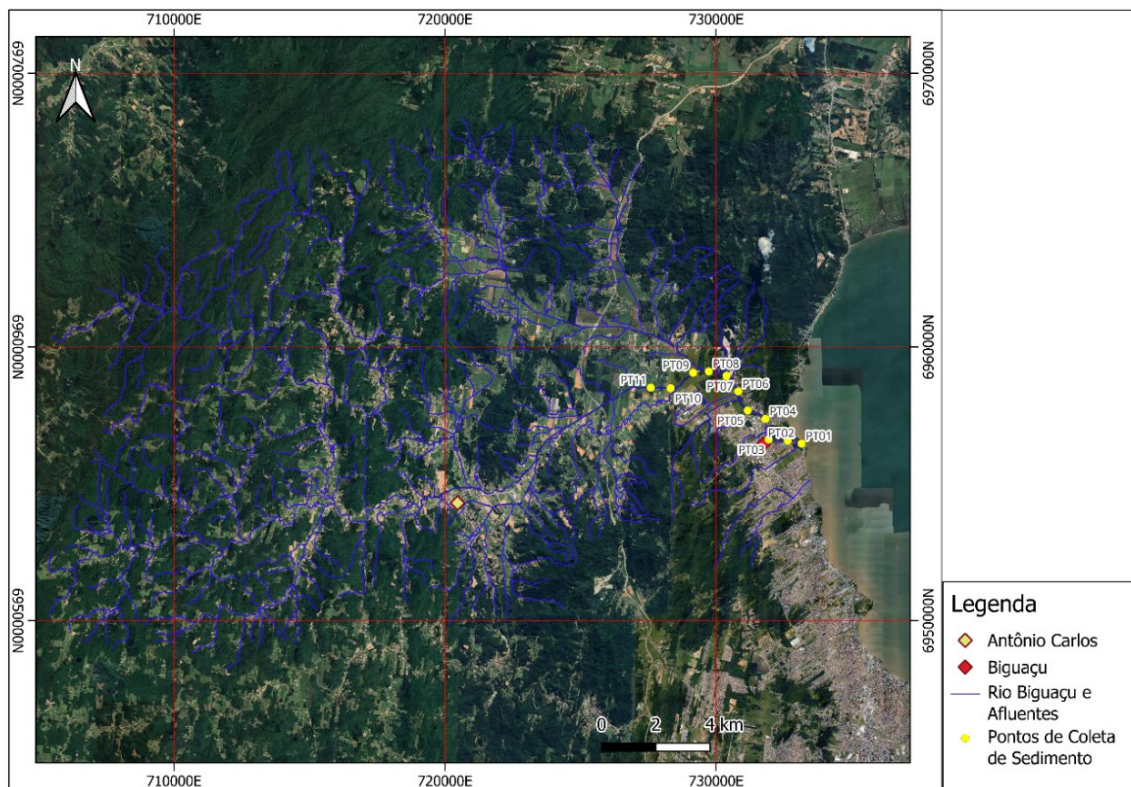
Tendo em vista que este trabalho foca no assoreamento da desembocadura da bacia do Rio Biguaçu, e baseado na extensão esperada de aproximadamente 7

km do trecho navegável partindo da foz, após a análise preliminar dos dados em ambiente SIG foi definido um intervalo de amostragem no Rio Biguaçu, o principal da bacia.

Com objetivo de 10 amostras, foi definido espaçamento aproximado de 700 metros entre cada coleta, caracterizando a escala do levantamento em 1:70000. O levantamento foi iniciado junto a foz e seguindo a montante pelo trecho navegável do rio, de modo a reduzir a influência entre cada amostragem.

A Figura 25 mostra o mapa da área da bacia e rede hidrográfica do Rio Biguaçu, com os pontos efetivos onde foram realizadas as coletas amostrais. A Figura 26 mostra uma aproximação do mapa da bacia, focando na região em que foram realizadas as coletas de amostras.

Figura 25 Mapa de pontos amostrais



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 26 Aproximação aos pontos amostrais



Fonte: elaborado pelo autor

4.2.8 Levantamento de Amostras Sedimentares em Campo

O primeiro campo foi executado no dia 02 de setembro de 2021, no período da manhã, sob regime de maré 0.0 reportado para a região de Florianópolis (CIRAM/EPAGRI). A primeira amostragem foi realizada junto a foz do rio, e as coletas posteriores seguiram o intervalo definido de aproximadamente 700 m. O rio apresentou navegabilidade acima do esperado, sendo realizada 1 coleta a mais, cerca de 500 m além da última amostra prevista. A Figura 27 mostra parte do procedimento de amostragem, com o amostrador preso a haste de PVC rígido de 3 metros, havendo uma segunda haste disponível para extensão quando necessário, e a posição média de coleta, próxima ao centro do canal.

Figura 27 Amostragem de sedimentos



Fonte: autor

O segundo campo foi executado no dia 09 de abril de 2022, no período da manhã, sob regime de maré 0.5 reportado para a região de Florianópolis (CIRAM/EPAGRI), seguindo a mesma metodologia do campo anterior, com a primeira coleta junto a foz do rio e coletas subsequentes com espaçamento aproximado de 700 metros, com o objetivo de que as coletas fossem próximas nos dois campos. Novamente foi possível realizar a coleta em 11 pontos. Após as coletas, foi realizado o segundo registro batimétrico.

4.2.9 Escoamento Superficial

Após a coleta de sedimentos, foram calculadas as áreas de escoamento superficial contribuintes a cada ponto de coleta utilizando a ferramenta “*Watershed Basins (Extended)*” do *Software SAGA*, utilizando o MDE-HC, a rede de drenagem e definindo os pontos de descarga como sendo os pontos em que foram realizadas as coletas.

4.2.10 Análise Granulométrica

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Santa Catarina, tendo início no dia 24 de abril de 2023 e fim no dia 07 de junho de 2023, seguindo metodologia apresentada no Manual de Métodos de Análise de Solo - 3ª Edição revista e ampliada – EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017).

Inicialmente, as amostras foram lavadas em água corrente e água destilada, com período de decantação de 12 horas entre cada lavagem a fim de não haver perda de sedimentos finos. Após as lavagens, as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada com temperatura em 40 °C. As amostras apresentam teores variados de materiais finos e grossos, o que resultou em períodos diversos para a secagem.

Durante a lavagem das amostras foi observado a presença de sais dissolvidos no solo, pela geração de espuma, e confirmado por análise da água em refratômetro ótico calibrado para salinidade. Tendo em vista a proximidade da foz do rio, e a forte influência da cunha salina (CAMPOS, 2003), a presença de sal nos sedimentos já era esperada.

As amostras secas foram destorroadas manualmente, e peneiradas nas malhas de 4 mm, 2,83 mm e 2 mm utilizando peneirador eletromagnético, separando as frações finas e grossas. Após o peneiramento, as frações foram pesadas em balança analítica com 4 casas decimais de precisão. Nesta etapa também foram quantificadas separadamente as frações de material vegetal como galhos, folhas e sementes.

Para a dispersão de sedimentos finos presos nas frações grossas e suspensão das frações finas, foram preparadas duas soluções químicas. A primeira, solução de hidróxido de sódio a 1 Mol/L⁻¹, foi preparada dissolvendo 40 gramas de NaOH em Erlenmeyer de 1 litro, completando o volume com água destilada. A segunda, solução de hexametáfosfato de sódio 0,058 Mol/L⁻¹ tamponada com carbonato de sódio 0,075 Mol/L⁻¹, foi preparada dissolvendo 35,7 gramas de (NaPO₃)₆, também em Erlenmeyer de 1 litro, seguido da adição de 7,94 gramas de Na₂CO₃ e completando o volume com água destilada.

Com as amostras separadas em frações finas e grossas, foi realizado processamento nas frações grossas com solução de NaOH a 1 Mol/L⁻¹, adicionando

10 ml de solução em cada amostra e completando volume com água destilada até a cobertura completa da amostra, deixando as amostras em repouso por um dia. Após o tratamento, as amostras foram despejadas em peneira de 2 mm e lavadas com água corrente, sendo transferidas para béquer seco e identificado após a lavagem, seguindo para secagem em estufa a 105 °C por 24 horas.

As porções com granulometria inferior a 2 mm foram homogeneizadas e quarteadas com quarteador mecânico, sendo separado frações com 20 g a 30 g. As frações quarteadas foram colocadas em Erlenmeyer de 250 ml, com a adição de 10 ml da solução de hexametáfosfato de sódio + carbonato de sódio, sendo completado com água destilada até a marca de 150 ml. Estas amostras foram agitadas manualmente, seguido de repouso por 16h. Após o repouso, foram novamente agitadas manualmente e despejadas sob peneira de malha 0.063 mm montada sob funil de vidro em proveta de 1L (Figura 28), previamente limpa e seca.

Após serem despejadas, as amostras foram lavadas com água deionizada até completar a marca de 1L na proveta. Imediatamente foi coletado 25 ml, a 5 cm de profundidade, e passado para béquer de 50ml, previamente limpo, seco, identificado e tarado.

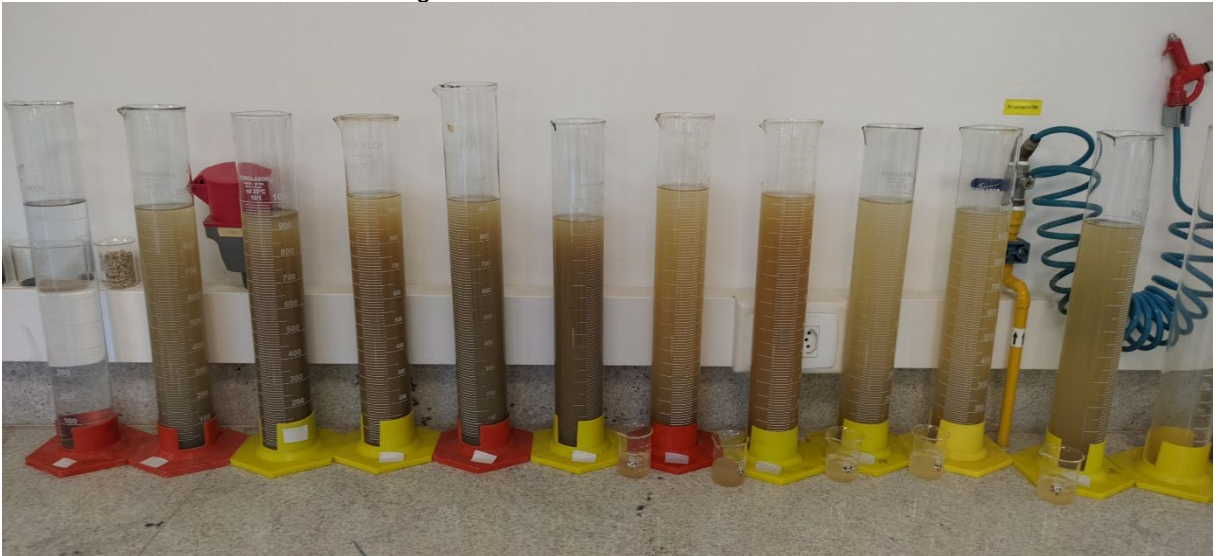
Os sedimentos retidos na peneira também foram transferidos para béquer identificado e tarado.

Controlando a temperatura do líquido na proveta, foi estabelecido tempo de 3 horas e 46 minutos para decantação da fração silte, de acordo com o manual de metodologia. Após o período de decantação, foram coletados mais 25 ml a 5 cm de profundidade em cada uma das provetas, transferidos para outro béquer identificado e tarado.

Todos os béqueres foram colocados em estufa a 105 °C por pelo menos 24 horas. Após o tempo de estufa, os béqueres ainda quentes foram passados para dessecador à vácuo com sílica gel anidra, e deixados em repouso até estabilização com a temperatura ambiente (Figura 29).

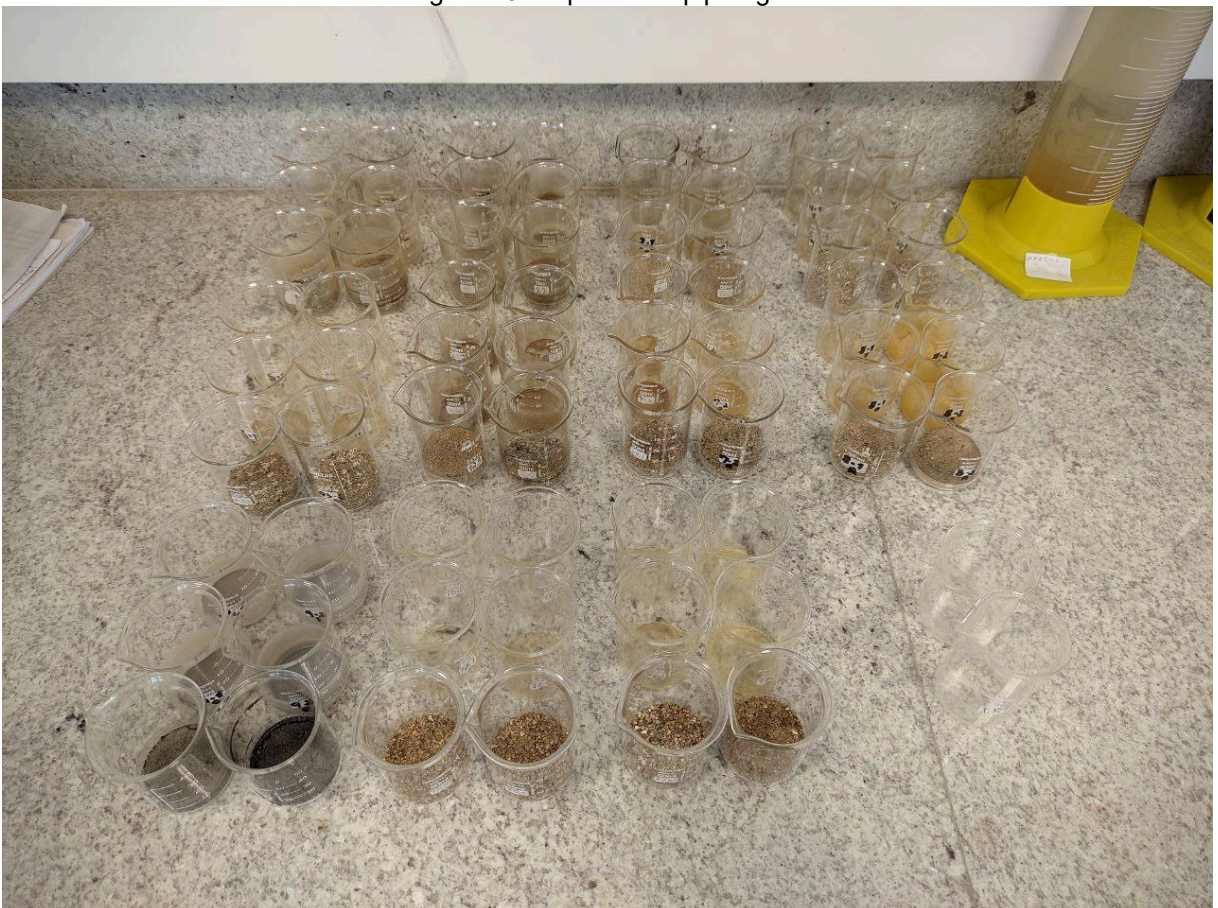
As frações que haviam sido retidas em peneira de 0.063mm foram peneiradas novamente, utilizando as peneiras de 1 mm, 0,500 mm, 0,250 mm, 0,125 mm e 0.063mm. Cada parcela foi pesada individualmente em béqueres identificados e tarados.

Figura 28 Provetas com sedimentos



Fonte: autor

Figura 29 Alíquotas de pipetagem



Fonte: autor

5 RESULTADOS

5.1 MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO

As matrizes de confusão geradas na etapa de validação do treinamento do classificador SVM para a imagem do inverno de 2019 e para a imagem do verão de 2020 são apresentadas nas Tabela 2 e Tabela 3 respectivamente. Em ambas as tabelas, o número 1 representa a classe de cobertura “Vegetação Densa”, 2 a classe de “Vegetação Rasteira”, 3 a classe de “Áreas Impermeabilizadas”, 4 a classe de “Solos Expostos” e 5 a classe “Corpos Hídricos”.

Nestas tabelas, as linhas indicam a classe esperada em um determinado pixel, e as colunas indicam as classes que foram efetivamente geradas. A relação entre pixels gerados corretamente e pixels gerados incorretamente reflete o índice *Kappa* de confiabilidade do classificador. Os classificadores atingiram índices *Kappa* global de 0.95 para o inverno de 2019 e 0.96 para o verão de 2020.

Tabela 2. Matriz de Confusão resultante do treinamento de SVM para o inverno de 2019.

Gerada Esperada	1	2	3	4	5
1	1270	7	0	0	1
2	21	1227	0	24	6
3	0	5	1225	37	11
4	0	26	34	1210	8
5	0	19	3	8	1248

Fonte: elaborado pelo autor

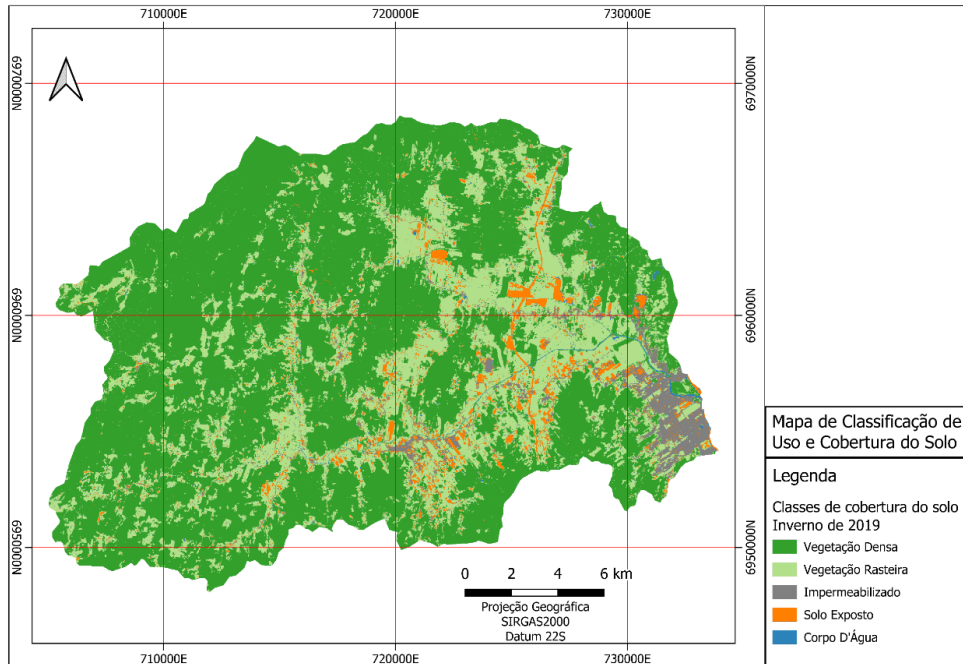
Tabela 3. Matriz de Confusão resultante do treinamento de SVM para o verão de 2020.

Gerada Esperada	1	2	3	4	5
1	1294	5	0	0	2
2	4	1292	0	0	5
3	0	0	1238	62	1
4	0	13	57	1228	3
5	1	3	1	4	1292

Fonte: elaborado pelo autor

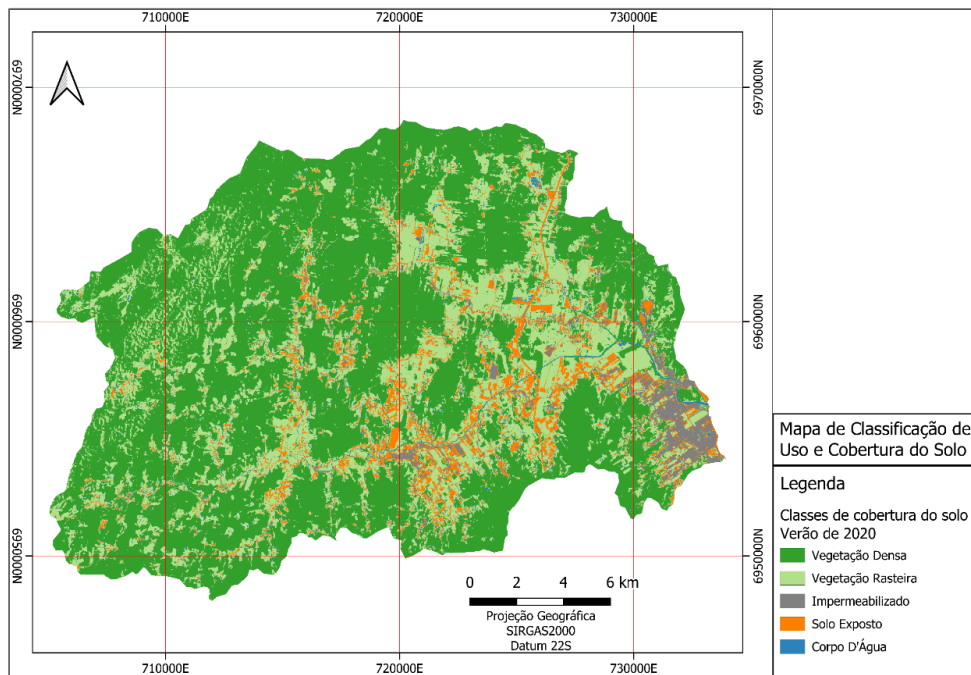
A Figura 30 apresenta o mapa de coberturas resultado da classificação da imagem de satélite do inverno de 2019, enquanto a Figura 31 apresenta o mapa de coberturas resultado da classificação da imagem do verão de 2020.

Figura 30 Mapa de cobertura, inverno de 2019



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 31 Mapa de cobertura, verão de 2020

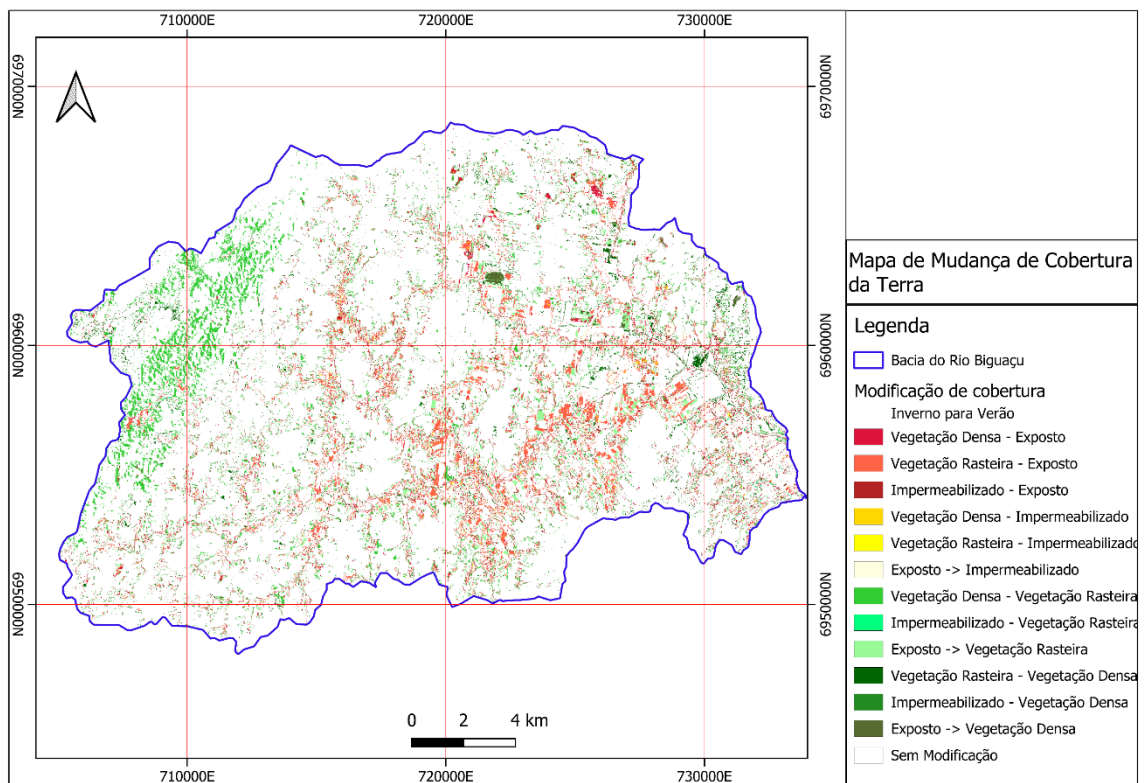


Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 32 apresenta o mapa de variação entre as coberturas de solo entre o inverno de 2019 e o verão de 2020.

A Tabela 4 apresenta a quantificação em metros quadrados e percentual das áreas do mapa de modificações, ordenada da maior área para a menor. Considerando os somatórios dos tipos de modificações, houve incremento aproximado de 3,93% na área coberta por vegetação rasteira, 2,70% na área sem cobertura, 1,11% na área com cobertura densa e 0,29% nas áreas impermeabilizadas, bem como decréscimo de 3,30% da vegetação densa, 3,28% da vegetação rasteira, 0,87% da área exposta e 0,58% da área impermeabilizada.

Figura 32 Variação da cobertura entre inverno de 2019 e verão de 2020



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 4. Quantificação por área aproximada em metros quadrados, hectares e percentual das classes de modificação de cobertura, elencadas em ordem decrescente.

Tipo de modificação	Área (m ²)	Área (ha)	Área (%)
Sem Modificação	537600500	53760,05	91,97%
Vegetação Densa - Vegetação Rasteira	18739900	1873,99	3,21%
Vegetação Rasteira - Exposto	12509000	1250,90	2,14%
Vegetação Rasteira - Vegetação Densa	6034000	603,40	1,03%
Exposto - Vegetação Rasteira	3595700	359,57	0,62%
Impermeabilizado - Exposto	2726600	272,66	0,47%
Exposto - Impermeabilizado	1056800	105,68	0,18%
Vegetação Rasteira - Impermeabilizado	648600	64,86	0,11%
Impermeabilizado - Vegetação Rasteira	628800	62,88	0,11%
Vegetação Densa - Exposto	527000	52,70	0,09%
Exposto - Vegetação Densa	448300	44,83	0,08%
Impermeabilizado - Vegetação Densa	27200	2,72	0,00%
Vegetação Densa - Impermeabilizado	18600	1,86	0,00%

Fonte: elaborado pelo autor

As imagens classificadas por cobertura foram subdividas de acordo com o tipo de solo presente no local (PVA representando os Argissolos Vermelho-Amarelos, CX representando os Cambissolos Háplicos, GX representando os Gleissolos Háplicos e RQ representando os Neossolos Quartzarênicos), gerando as tabelas Tabela 5 e Tabela 6 com as áreas em hectares e com os percentuais para o ano de 2019, respectivamente, e as tabelas Tabela 7 e Tabela 8 com as áreas em hectares e percentuais para o ano de 2020, respectivamente.

Tabela 5. Colunas representam os tipos de cobertura de solo, linhas as classes de solo. As áreas são referentes a 2019, dadas em hectares.

	Veg. Densa	Veg. Rasteira	Impermeável	Exposto
PVA	17218,43	5983,61	265,22	670,31
CX	6926,17	1274,12	259,69	129,02
GX	1454,71	2722,82	133,24	486,55
RQ	278,12	734,32	493,67	115,88
Total	25877,43	10714,87	1151,82	1401,76

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 6. Colunas representam os tipos de cobertura de solo, linhas as classes de solo. As áreas são referentes a 2019, dadas em percentual

	Veg. Densa	Veg. Rasteira	Impermeável	Exposto
Pva	66,54%	55,84%	23,03%	47,82%
CX	26,77%	11,89%	22,55%	9,20%
GX	5,62%	25,41%	11,57%	34,71%
RQ	1,07%	6,85%	42,86%	8,27%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 7. Colunas representam os tipos de cobertura de solo, linhas as classes de solo. As áreas são referentes a 2020, dadas em hectares.

	Veg. Densa	Veg. Rasteira	Impermeável	Exposto
Pva	16387,72	5899,49	209,84	1320,9
CX	6360,74	1715,21	205,48	237,53
GX	1410,52	2469,06	108,96	724,6
RQ	302,7	654,67	445,32	200,93
Total	24461,68	10738,43	969,6	2483,96

Fonte: elaborado pelo autor

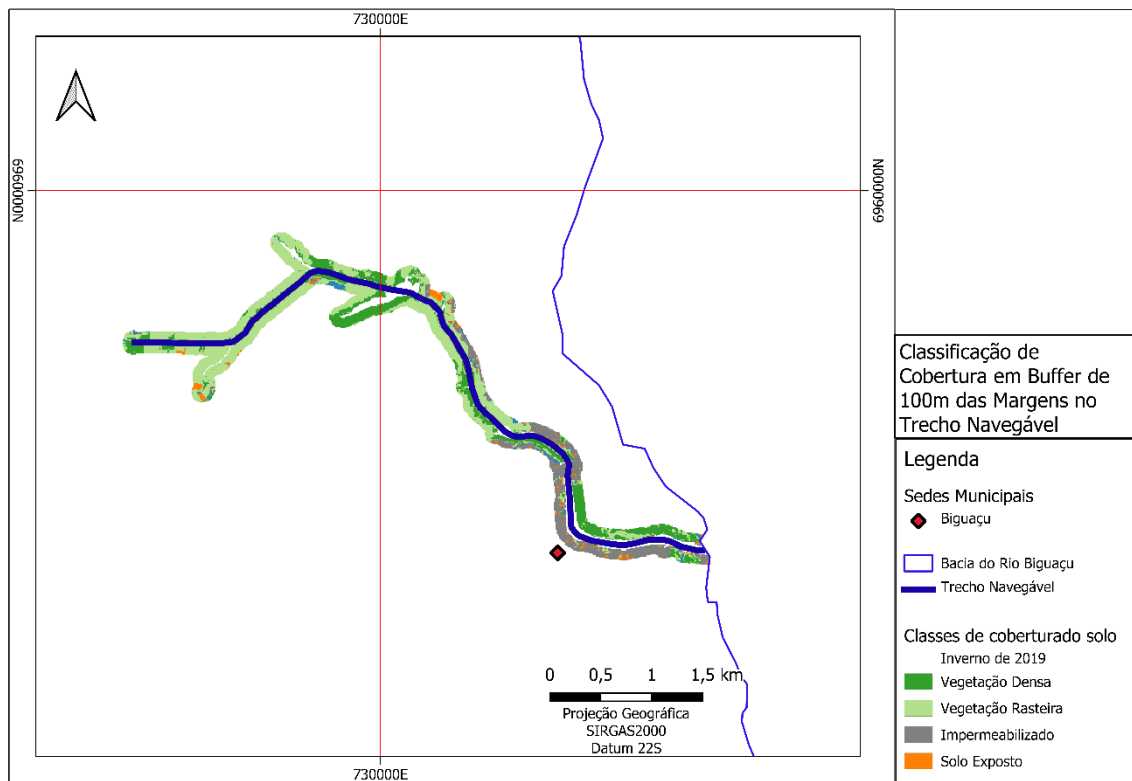
Tabela 8. Colunas representam os tipos de cobertura de solo, linhas as classes de solo. As áreas são referentes a 2020, dadas em percentual

	Veg. Densa	Veg. Rasteira	Impermeável	Exposto
Pva	66,99%	54,94%	21,64%	53,18%
CX	26,00%	15,97%	21,19%	9,56%
GX	5,77%	22,99%	11,24%	29,17%
RQ	1,24%	6,10%	45,93%	8,09%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor

Ao ser aplicado um buffer de 100 metros no trecho navegável do rio (Figura 33), foi possível extrair as classes de cobertura mais próximas as margens. A área das margens apresentou entre 27% para 2019 e 32% para 2020 de cobertura vegetal densa, 52% e 46% de cobertura vegetal rasteira, 4% e 8% de áreas expostas finalizando com 17% e 14% de áreas impermeabilizadas.

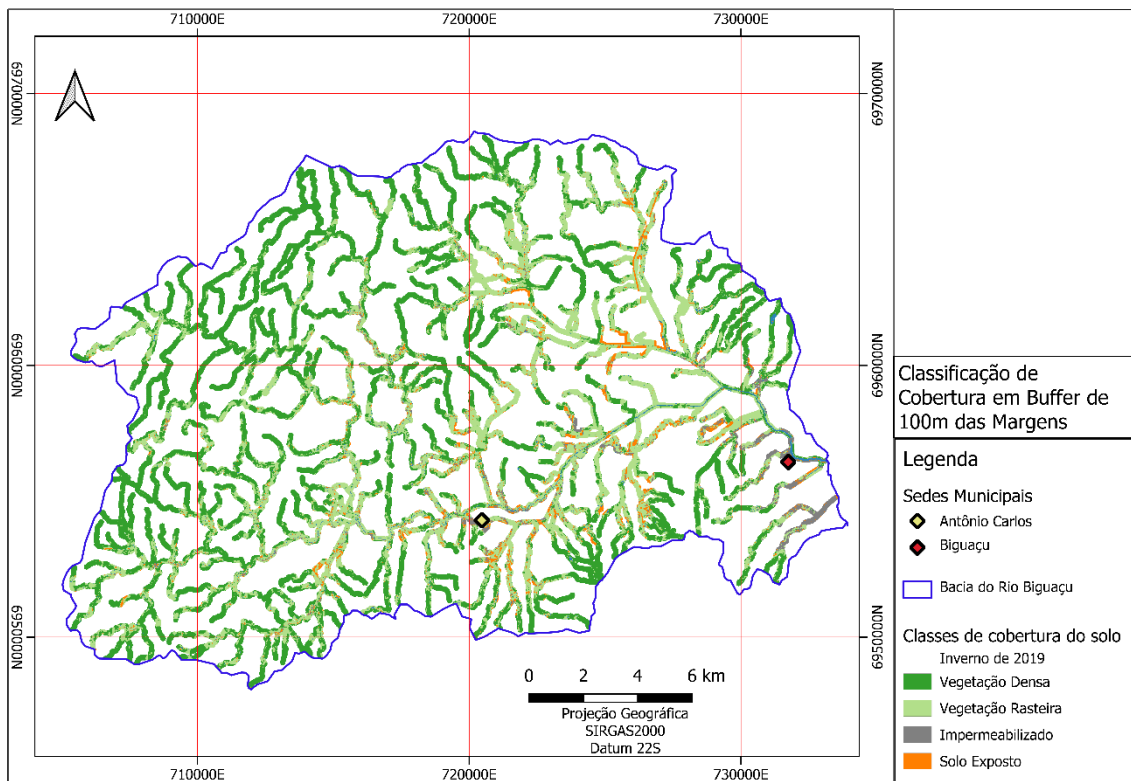
Figura 33 Cobertura de Solo até 100 metros das margens no trecho navegável



Fonte: elaborado pelo autor

Sendo aplicado um segundo buffer de 100 metros, desta vez em toda a rede de drenagem da bacia (Figura 34), foram identificados que em 2019 e 2020, 55% e 52% das margens apresentam cobertura vegetal densa, 37% de cobertura vegetal rasteira em ambos os anos, 4% e 9% de áreas expostas, e apenas 2% e 3% de áreas impermeabilizadas.

Figura 34 Cobertura de Solo até 100 metros das margens no em toda a rede de canais da bacia

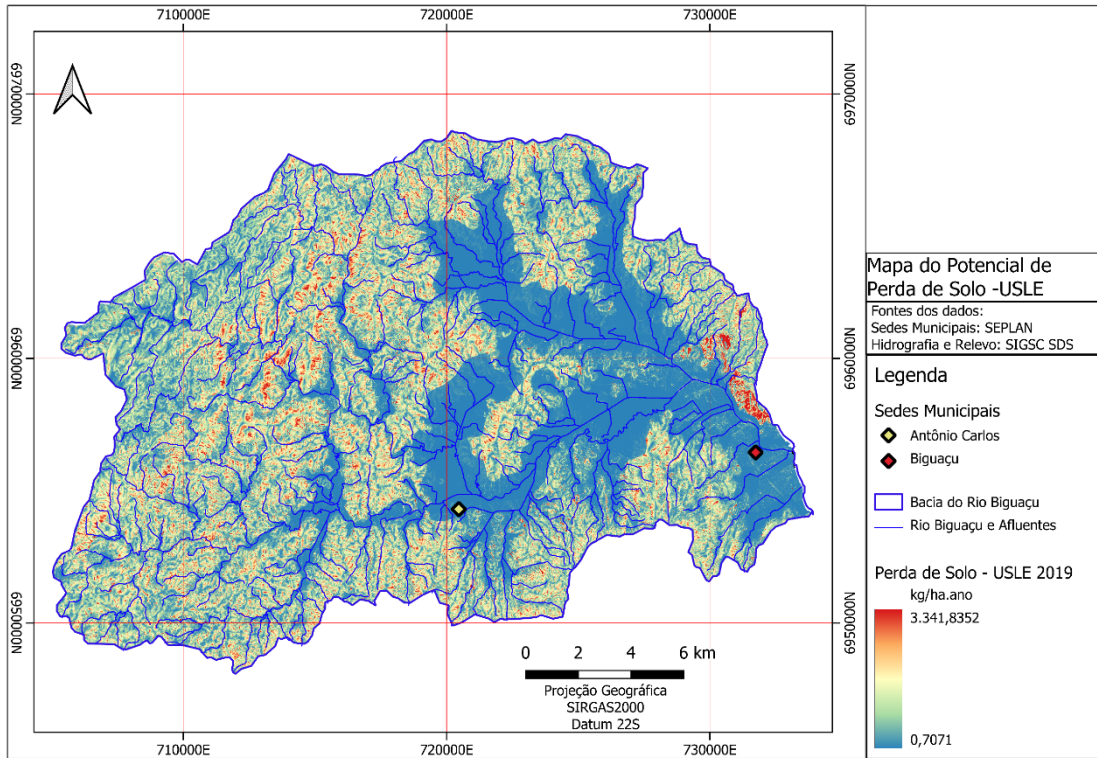


Fonte: elaborado pelo autor

5.2 POTENCIAL DE PERDA DE SOLO

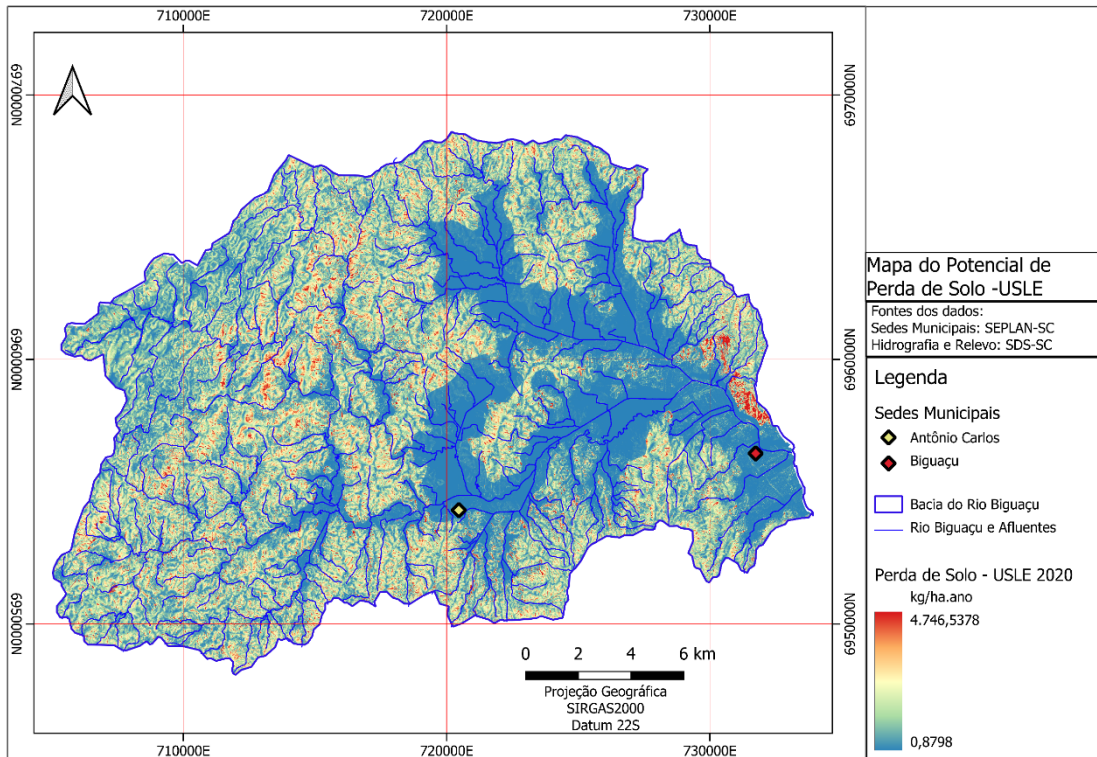
Aplicando a equação (1) da USLE foram gerados os mapas do potencial de perda de solos, dado em quilogramas por hectare ao ano, para os anos de 2019 (Figura 35) e 2020 (Figura 36).

Figura 35 Mapa do potencial de perda de solos, inverno de 2019



Fonte: elaborado pelo autor

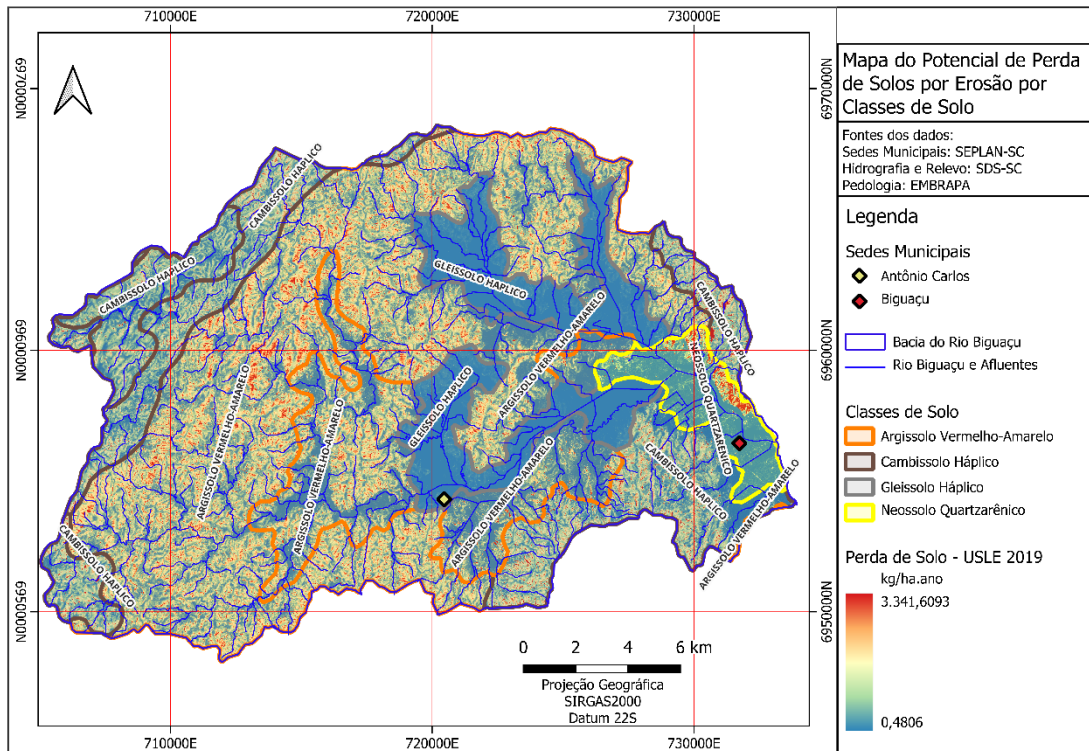
Figura 36 Mapa do potencial de perda de solos, verão de 2020



Fonte: elaborado pelo autor

A análise da curva normal (entre 2% e 98% da distribuição de frequência) dos valores da USLE para 2019 indicam perdas gerais variando entre 0,0007 t/ha.ano e 3,3418 t/ha.ano com média de 0,8621 t/ha.ano. Utilizando as classes de solo presentes na região como delimitadores (Figura 37), foram identificadas perdas de 0,0075 t/ha.ano a 3,5206 t/ha.ano para os Argissolos (PVA), 0,0128 t/ha.ano a 2,9355 t/ha.ano para os Cambissolos (CX), 0,0001 t/ha.ano a 0,2185 t/ha.ano para os Gleissolos (GX) e 0 t/ha.ano a 4,9656 t/ha.ano para os Neossolos (RQ). A Tabela 9 apresenta os valores máximos, mínimos e médios referentes ao ano de 2019.

Figura 37 Potencial de perda de solos, com divisões de cobertura sedimentar, inverno de 2019



Fonte: elaborado pelo autor

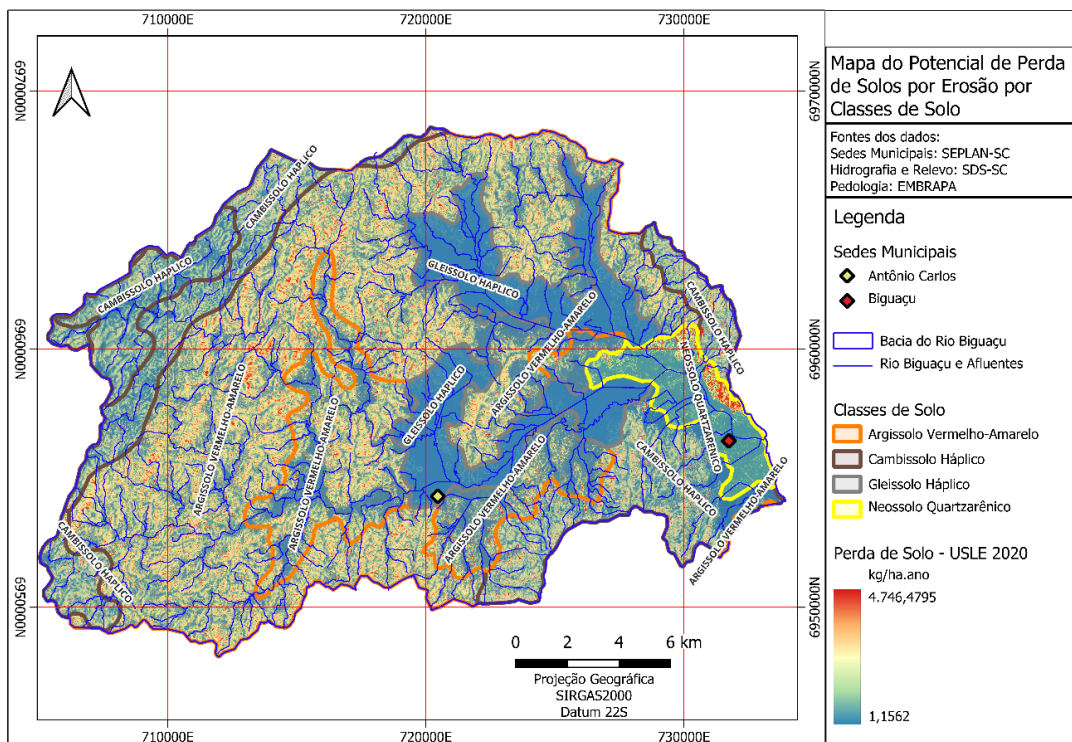
Tabela 9. Valores máximos, mínimos e médios em t/ha.ano referentes ao ano de 2019, de perda de solo para cada classe de solo encontrada na região.

Classe de Solo	Máximo	Mínima	Média
PVA	3,5206	0,0075	1,0226
CX	2,9355	0,0128	0,9175
GX	0,2185	0,0001	0,0381
RQ	4,9656	0,0000	0,5465

Fonte: elaborado pelo autor

A análise dos *valores* da curva normal resultantes da USLE para o ano de 2020 mostra valores maiores que os de 2019, com variação geral entre 0,0009 t/ha.ano a 4,7465 t/ha.ano e média de 1,1572 t/ha.ano. Utilizando novamente as áreas dos solos regionais como delimitadores (Figura 38), foi possível identificar perdas variando entre 0,0112 t/ha.ano a 5,1113 t/ha.ano para os Argissolos (PVA), 0,018 t/ha.ano a 4,1104 t/ha.ano para os Cambissolos (CX), 0,0002 t/ha.ano a 0,3264 t/ha.ano para os Gleissolos (GX) e 0,0006 t/ha.ano a 7,4325 t/ha.ano para os Neossolos (RQ). A Tabela 10 apresenta os valores máximos, mínimos e médios referentes ao ano de 2020.

Figura 38 Potencial de perda de solos, com divisão de cobertura sedimentar, verão de 2020



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 10. Valores máximos, mínimos e médios em t/ha.ano referentes ao ano de 2020, de perda de solo para cada classe de solo encontrada na região.

Classe de Solo	Máximo	Mínima	Média
PVA	5,1113	0,0112	1,3828
CX	4,1104	0,0180	1,1976
GX	0,3264	0,0002	0,0540
RQ	7,4325	0,0006	0,8236

Fonte: elaborado pelo autor

Entre 2019 e 2020, todas as coberturas de solo apresentaram incrementos no potencial de perdas, embora não tão intensos quanto os Neossolos. A Tabela 11 mostra a variação dos valores máximos, mínimos e médios para cada classe de solo, e a variação de toda a região. A Tabela 12 mostra as variações percentuais das taxas de perda de solos entre os anos. Desconsiderando o percentual de modificação das taxas mínimas dos Neossolos, em função de serem valores extremamente baixos, a média de variação global foi um incremento de 41% entre o inverno de 2019 e o verão de 2020.

Tabela 11. Valores de incremento do potencial de perda de solos entre os anos de 2019 e 2020, em t/ha.ano.

Classe de Solo	Máximo	Mínima	Média
PVa	1,5906	0,0038	0,3602
CX	1,1749	0,0053	0,2801
GX	0,1079	0,0000	0,0159
RQ	2,4669	0,0006	0,2770
Geral	1,4047	0,0002	0,2951

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 12. Percentuais de incremento no potencial de perda de solos entre os anos de 2019 e 2020.

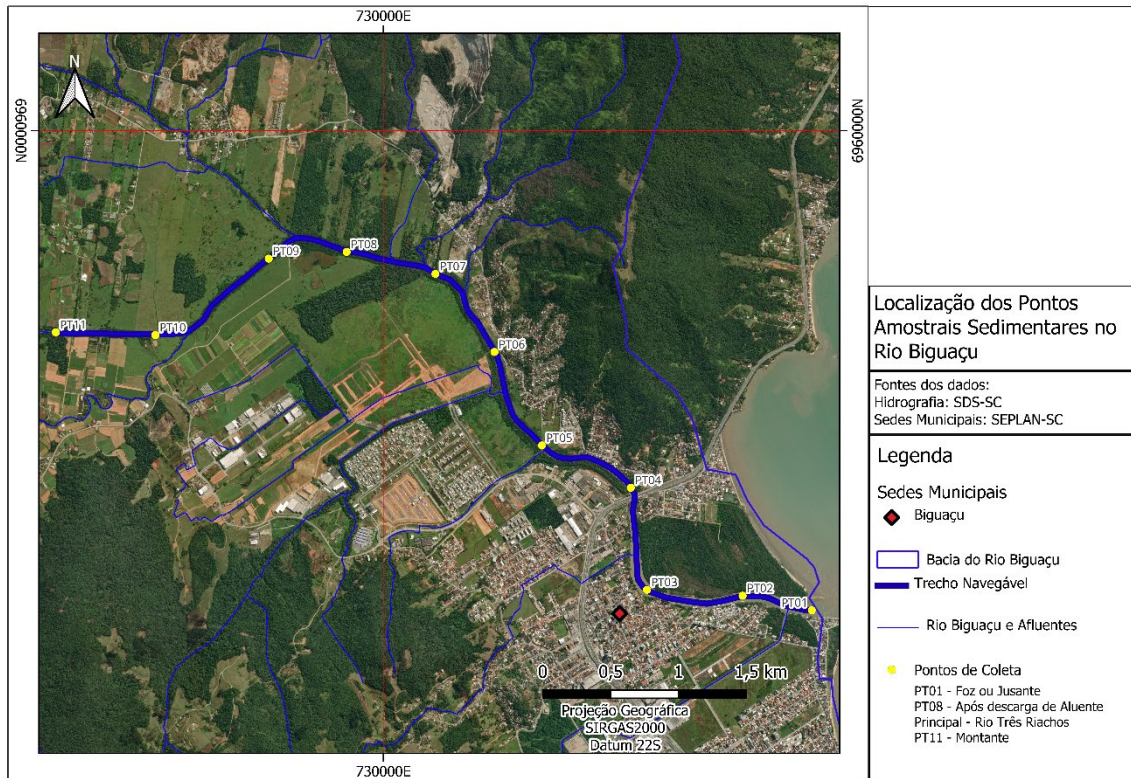
Classe de Solo	Máximo	Mínima	Média
PVa	45,18%	50,51%	35,22%
CX	40,03%	41,35%	30,53%
GX	49,35%	39,04%	41,84%
RQ	49,68%	497,13%	50,69%
Geral	42,03%	24,41%	34,23%

Fonte: elaborado pelo autor

5.3 GRANULOMETRIA

A Figura 39 apresenta novamente as posições dos pontos em que foram realizadas as coletas de amostras sedimentares no leito fluvial. De acordo com o MDE-HC gerado a partir dos dados de elevação fornecidos pela SDS-SC (2010), no meio do canal não há variação significativa de cota entre o primeiro e o último ponto amostral, estando todos ao nível do mar em cota 0 m.

Figura 39 Localização dos Pontos Amostrais

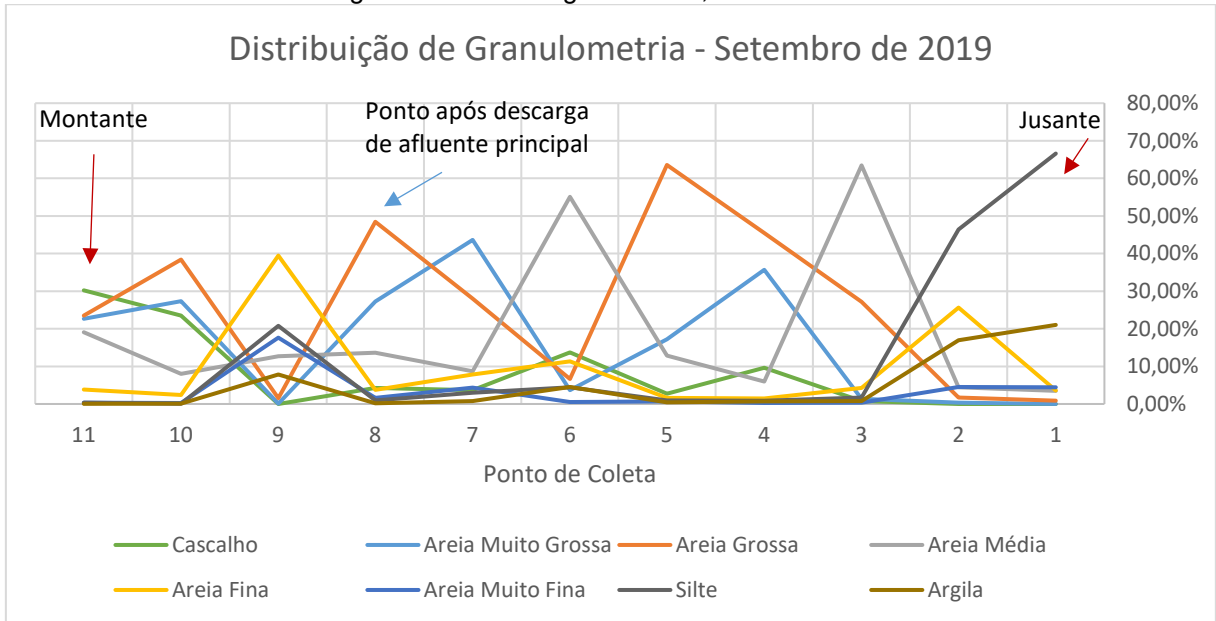


Fonte: elaborado pelo autor

Na análise realizada nos sedimentos coletados em setembro de 2019 (Figura 40), foi identificada intercalação entre as frações granulométricas predominantes, bem como um *trend* de redução da seleção subindo o rio, iniciando com areias médias no ponto 3 e 5, seguida por areias grossas nos pontos 4, 5, 8 e 10. Notáveis exceções são observadas nos pontos junto a foz do rio e adjacente, 1 e 2, com um incremento muito elevado de silte e argila subordinada, e no ponto 9, após a desembocadura de um afluente secundário, em que há expressivo aumento de areia fina, seguida de silte e areia muito fina.

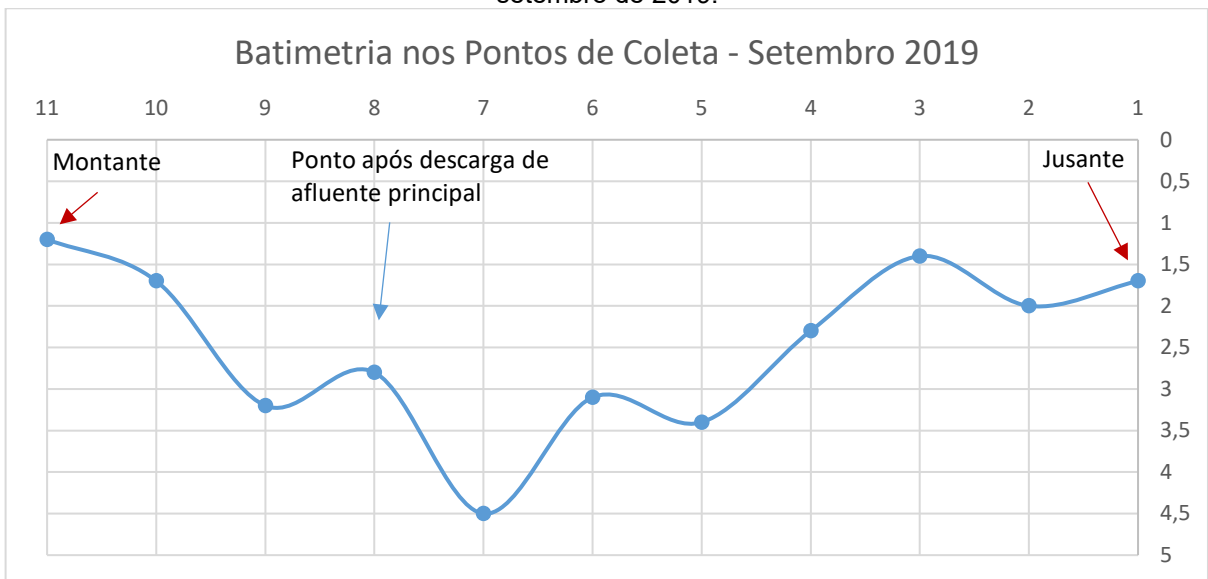
A Figura 41 apresenta gráfico com a variação de profundidade entre superfície da água e leito fluvial nos pontos onde foram realizadas as coletas de amostras sedimentares de setembro de 2019.

Figura 40 Apresentação da distribuição estatística de conformação granulométrica entre os pontos amostrais ao longo do trecho navegável do rio, referente a setembro de 2019



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 41 Variação da profundidade ao leito fluvial nos pontos de coleta de amostra sedimentar – setembro de 2019.



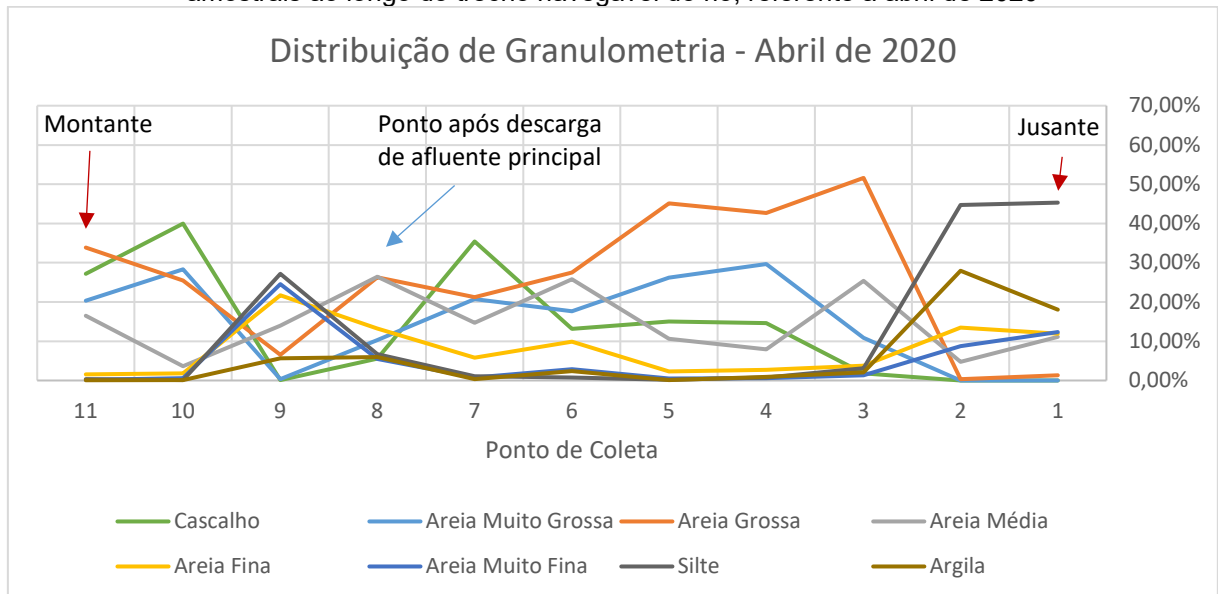
Fonte: elaborado pelo autor

A análise realizada nos sedimentos coletados em abril de 2020 (Figura 42), apresentou distribuição mais homogênea, sem grandes picos de concentração em uma única classe. Novamente os dois pontos mais próximos da foz apresentam elevados teores de silte, porém com maior mistura de argila. As areias grossas apresentam pico no ponto 3, dominando a distribuição até o ponto 6, mas com redução da seleção. O ponto 9 mostra redução da quantidade de areias finas em

comparação ao inverno, com silte sendo a granulometria mais abundante, seguida de areias muito finas. O cascalho apresenta substancial incremento, sendo a fração dominante nos pontos 7 e 10.

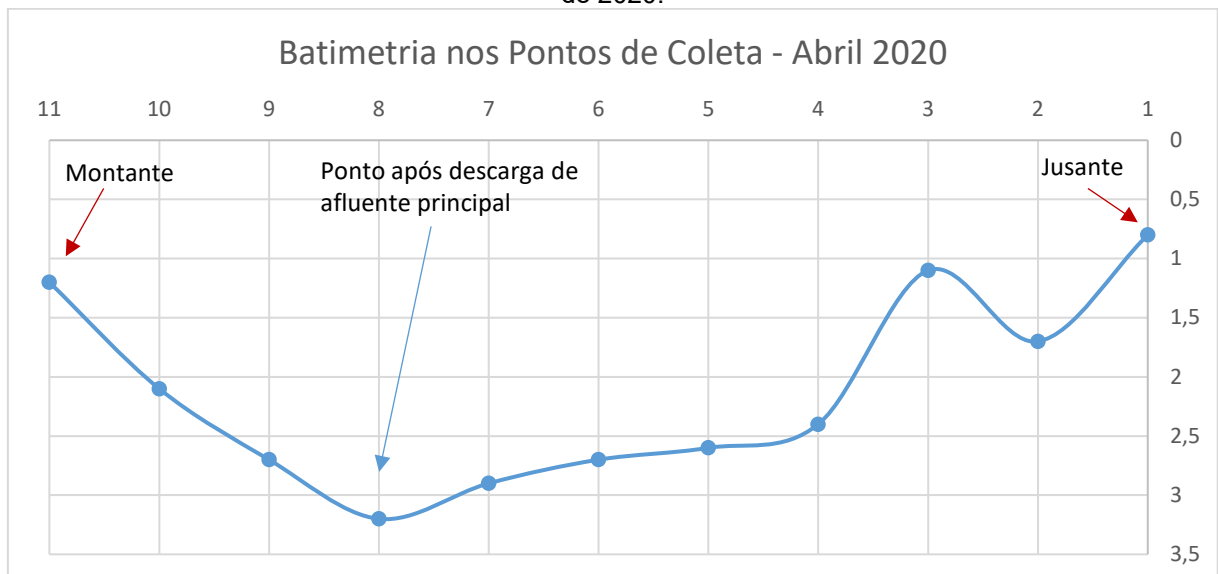
A Figura 43 apresenta gráfico com a variação de profundidade entre superfície da água e leito fluvial nos pontos onde foram realizadas as coletas de amostras sedimentares de abril de 2020.

Figura 42 Apresentação da distribuição estatística de conformação granulométrica entre os pontos amostrais ao longo do trecho navegável do rio, referente a abril de 2020



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 43 Variação da profundidade ao leito fluvial nos pontos de coleta de amostra sedimentar – abril de 2020.



Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 13 e a Tabela 14 apresentam os valores percentuais efetivos da composição granulométrica de cada uma das amostras coletadas em 2019 e 2020, respectivamente.

Tabela 13. Percentuais encontradas nas 4 classes granulométricas da primeira investigação em campo.

Ponto de Coleta	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
1 - 1	0,000	12,370	66,600	21,030
2 - 1	0,000	36,570	46,450	16,970
3 - 1	0,794	96,660	1,744	0,805
4 - 1	9,626	88,870	0,843	0,664
5 - 1	2,765	95,870	0,959	0,406
6 - 1	13,720	77,300	4,416	4,564
7 - 1	3,678	92,550	2,961	0,813
8 - 1	4,261	94,660	0,928	0,152
9 - 1	0,000	71,380	20,800	7,818
10 - 1	23,500	76,330	0,058	0,115
11 - 1	30,220	69,420	0,318	0,038

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 14. Percentuais encontradas nas 4 classes granulométricas da segunda investigação em campo.

Ponto de coleta	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
1 - 1	0,000	36,690	45,310	18,010
2 - 1	0,000	27,330	44,720	27,950
3 - 1	1,841	93,010	3,095	2,057
4 - 1	14,660	83,640	0,774	0,929
5 - 1	15,020	84,690	0,184	0,107
6 - 1	13,160	83,690	0,779	2,375
7 - 1	35,400	63,170	1,081	0,352
8 - 1	5,552	81,740	6,692	6,012
9 - 1	0,136	67,080	27,150	5,638
10 - 1	39,970	59,840	0,105	0,081
11 - 1	27,160	72,440	0,336	0,065

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 15 mostra a classificação geral da conformação granulométrica, bem como o grau de seleção apresentado por cada amostra coletada no inverno de 2019. Há uma tendência no grau de seleção das amostras analisadas, pendendo para seleções pobres e muito pobres contra as moderadas, bem como predomínio de areias grossas e subordinadamente areias finas.

Tabela 15. Classificação granulométrica média das amostras coletadas no primeiro levantamento de campo, junto de grau de seleção identificado.

Ponto de Coleta	Média	Granulometria Predominante	Mediana	Seleção	Classificação Quanto ao Grau de Seleção
1 - 1	6,239	Silte fino	6,26	2,004	Muito pobremente selecionado
2 - 1	5,195	Silte médio	5,156	2,486	Muito pobremente selecionado
3 - 1	1,232	Areia média	1,325	0,7026	Moderadamente selecionado
4 - 1	0,04441	Areia grossa	0,1032	0,8868	Moderadamente selecionado
5 - 1	0,4266	Areia grossa	0,4727	0,7357	Moderadamente selecionado
6 - 1	1,174	Areia média	1,472	2,068	Muito pobremente selecionado
7 - 1	0,4574	Areia grossa	0,09587	1,388	Pobremente selecionado
8 - 1	0,3712	Areia grossa	0,3824	0,9765	Moderadamente selecionado
9 - 1	3,792	Areia muito fina	2,905	2,17	Muito pobremente selecionado
10 - 1	-0,157	Areia muito grossa	-0,03058	1,096	Pobremente selecionado
11 - 1	-0,12	Areia muito grossa	-0,1266	1,218	Pobremente selecionado

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 16 apresenta a classificação geral granulométrica e grau de seleção das amostras referentes ao verão de 2020. As areias grossas se tornam ainda mais dominantes, com maior frequência de areias muito grossas, além de seleção ainda mais pobre.

Tabela 16. Classificação granulométrica média de cada ponto do segundo campo, junto de grau de seleção apresentado.

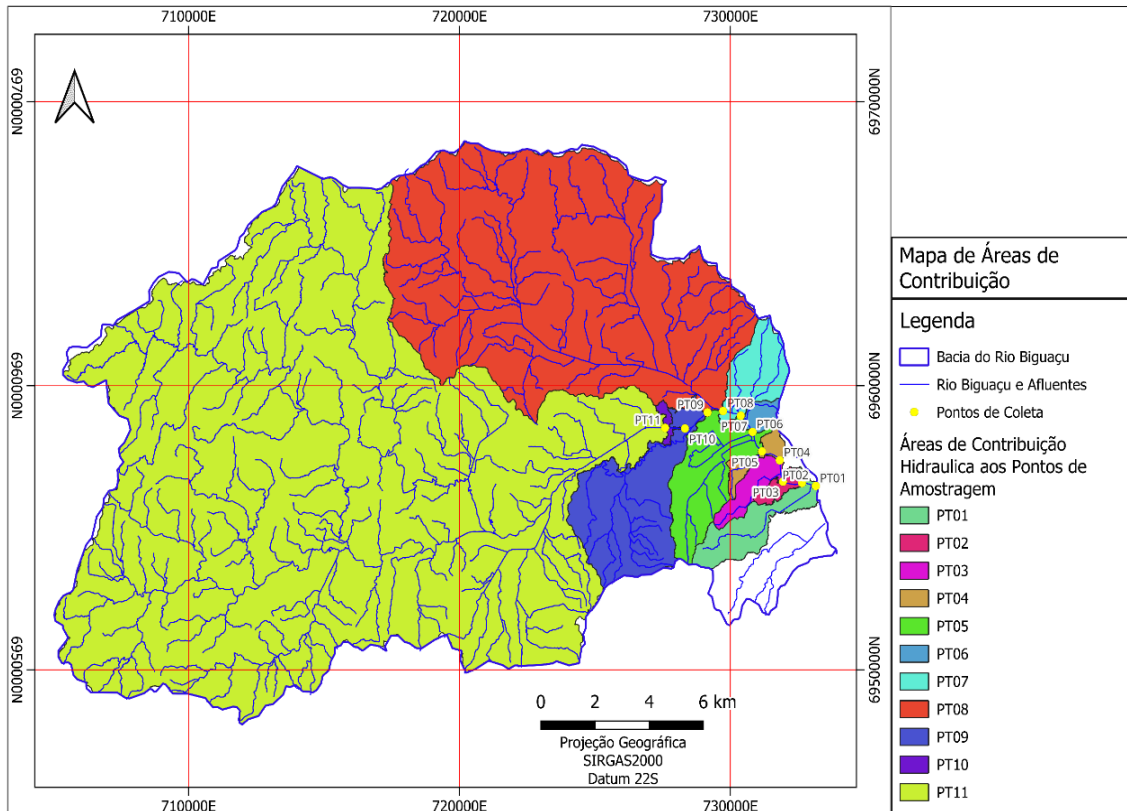
Ponto de Coleta	Média	Granulometria Predominante	Mediana	Seleção	Classificação Quanto ao Grau de Seleção
1 - 2	5,196	Silte médio	5,175	2,572	Muito pobremente selecionado
2 - 2	5,754	Silte médio	6,028	2,442	Muito pobremente selecionado
3 - 2	0,8529	Areia grossa	0,7221	1,171	Pobremente selecionado
4 - 2	0,03584	Areia grossa	0,133	1,014	Pobremente selecionado
5 - 2	0,05982	Areia grossa	0,1941	1,003	Pobremente selecionado
6 - 2	0,6184	Areia grossa	0,6974	1,462	Pobremente selecionado
7 - 2	-0,203	Areia muito grossa	-0,2944	1,315	Pobremente selecionado
8 - 2	1,567	Areia média	1,296	2,257	Muito pobremente selecionado
9 - 2	3,805	Areia muito fina	3,299	2,332	Muito pobremente selecionado
10 - 2	-0,6111	Areia muito grossa	-0,6462	0,9359	Moderadamente selecionado
11 - 2	-0,2034	Areia muito grossa	0,07437	1,131	Pobremente selecionado

Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 44 mostra a divisão das áreas da bacia, em respeito a contribuição de fluxo hídrico por escoamento superficial específica a cada ponto onde foram realizadas as coletas de amostras sedimentares da calha fluvial. A Tabela 17 discretiza os valores das áreas de contribuição específicas e acumuladas, dadas em hectares e percentuais.

O ponto de coleta PT11 apresenta a maior área específica por ser o ponto mais a montante no trecho em que foram realizadas as coletas, não sendo necessariamente o que apresenta maior representatividade da bacia.

Figura 44 Mapa das áreas de contribuição específica por escoamento superficial até os pontos de coleta das amostras sedimentares



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 17. Áreas de contribuição por escoamento superficial específicas e acumuladas, em hectares e percentuais.

Ponto de Coleta	Área (ha)	Área Acumulada (ha)	Área (%)	Área Acumulada (%)
1	514,39	38354,59	1,34%	100,00%
2	115,69	37840,20	0,30%	98,66%
3	247,70	37724,51	0,65%	98,36%
4	148,59	37476,81	0,39%	97,71%
5	940,43	37328,22	2,45%	97,32%
6	115,49	36387,79	0,30%	94,87%
7	532,37	36272,29	1,39%	94,57%
8	9301,90	35739,93	24,25%	93,18%
9	1584,38	26438,03	4,13%	68,93%
10	47,05	24853,65	0,12%	64,80%
11	24806,60	24806,60	64,68%	64,68%

Fonte: elaborado pelo autor

6 DISCUSSÕES

As maiores taxas do potencial de perda de solos por erosão foram identificadas nas regiões dos Neossolos Quartzarênicos em ambos os anos analisados, porém com valores médios não elevados, e grandes extensões sem perda ou perda inconsequente. As máximas encontradas nesta porção da bacia foram as únicas que ultrapassaram os limites previamente estabelecidos, baseados em Bertol e Almeida (2000).

No período do inverno de 2019, o valor máximo de perda de solos por erosão encontrado nos Neossolos Quartzarênicos foi de 4,96 t/ha.ano, cerca de 2,7 toneladas a mais que o limite. Já no verão de 2020, foi identificada taxa de 7,43 t/ha.ano, 5,5 toneladas acima do limite, sendo um incremento de 2,5 t/ha.ano em relação a 2019.

Já os Argissolos apresentaram as maiores taxas médias de perda, e a segunda posição quanto as taxas máximas, além de poucas áreas com valores baixos. Entre os Cambissolos e Argissolos, não houve diferenças muito pronunciadas em 2019, havendo maior diferença quanto aos potenciais máximos em 2020. Por fim, em ambos os anos, os Gleissolos se mostraram como os solos mais estáveis e protegidos, com taxas de perda substancialmente menores que os outros solos.

A porção da bacia constituída pelos Neossolos é a que possui a menor cobertura vegetal arbórea, variando em 2019 e 2020 entre 17% e 19% de sua área com este tipo de cobertura, respectivamente. Tem a segunda maior taxa de áreas de terra exposta, totalizando 7% e 12,5%. Apresenta a maior concentração de áreas urbanizadas, 30% e 28% de sua área sendo cobertas por edifícios e vias pavimentadas, respondendo sozinha por cerca de 45% destas áreas em toda a bacia.

Aproximadamente 6,2 km do trecho navegável do rio, cerca de 83%, cruzam os Neossolos, com apenas 1,2 km dos 7,5 km totais cortando os Gleissolos. As coletas de amostras foram também concentradas nesta porção, sendo 9 coletas realizadas em regiões de Neossolos e 2 em Gleissolos.

O relevo na região de Neossolos é majoritariamente plano, com 63% da área tendo elevação de 0 m a 5 m e 16% de 5 m a 10 m, totalizando 79% com até 10 m de elevação ao nível do mar. A área até 100 metros de distância do rio principal é

especialmente plana, com 56% da área tendo elevação de até 3 metros, e 91% tendo elevações de até 5 metros em relação ao nível do mar.

Apesar da baixa declividade, a distribuição da assembleia granulométrica indica elevado potencial de transporte hidráulico, evidenciado pela presença e domínio de areias grossas e médias na maior parte da porção amostrada do rio. Apenas no quilômetro mais próximo a foz, com a ação de marés e da cunha de água marinha que a energia de transporte sofre redução significativa, evidenciada pela mudança súbita da assembleia granulométrica, com as areias dando lugar a sedimentos finos, especialmente silte.

Os resultados obtidos por esta abordagem de análise utilizando produtos de sensoriamento remoto voltado ao diagnóstico e acompanhamento de áreas de risco erosivo são satisfatórios em caráter regional, porém ficam aquém das expectativas em um nível de detalhe. Porém, por utilizar materiais base disponibilizados gratuitamente, é uma boa abordagem para auxiliar tomadas de decisões regionais e guiar estudos de maior detalhe em menores áreas, que poderiam utilizar produtos de sensores mais avançados e com melhores resoluções.

O classificador de pixels utilizado para a classificação das imagens orbitais apresentou excelentes resultados, embora seja um mecanismo com custo computacional elevado, e apresentar algumas restrições de replicabilidade e expansão quando utilizado com as imagens dos satélites Sentinel-2, sendo necessário o treinamento de um novo modelo para cada imagem orbital utilizada em função da variação dos equilíbrios de cores e incidência solar entre imagens. Uma possível melhoria para esta implementação, seria a utilização de algoritmos de classificação por redes neurais.

Os resultados da USLE também poderiam ser melhorados, através da definição experimental das características locais dos Fatores K , a permissibilidade a erosão dos solos, e CP , a relação entre perda de solos e a cobertura vegetal e uso da terra, de forma a utilizar valores mais próximos da realidade local para estas características.

7 CONCLUSÕES

Diversos fatores foram identificados em situação alarmante na região da planície fluvial próxima a foz, como o elevado potencial de perda de solos por erosão, canais fluviais retificados em extensos trechos, entorno das margens intensamente antropizadas, com a vegetação ciliar em estado precário ou completamente ausente, depósitos de diques marginais removidos, e com a substituição destas áreas marginais por pastagens, lavouras de hortaliças, plantações de grama para comércio, abandono de porções de terra exposta ou instalação de residências.

Estes fatores, aliados a baixa variação de elevação do relevo e relativa proximidade a foz, indicam que as regiões adjacentes aos canais fornecem grande quantidade de sedimentos ao sistema, e que estes sedimentos são transportados diretamente ao canal principal, havendo pouca amortização e retenção nas margens. Uma vez dentro do rio, a elevada energia de transporte os carrega sem muita dificuldade até a foz, onde há súbita queda de energia, possivelmente associada a forte influência da cunha salina contrapondo o fluxo fluvial.

Esta redução brusca de energia por sua vez seria responsável pela rápida sedimentação de grande parte da carga em transporte, evidenciada pela presença de grande quantidade de sedimentos finos, e aumento em grande escala da barra de acreção na foz do rio em direção a Baía Norte.

Apesar de ter sido possível identificar as regiões com maior risco erosivo e quantificar valores aproximados a este risco, a escala dos materiais que foram utilizados como base neste trabalho não permitiram a delimitação detalhada e o acompanhamento das mudanças que ocorrem nas margens dos canais fluviais e regiões adjacentes, que deveriam ser foco de intervenções públicas para a reestruturação e restauração dos ambientes fragilizados.

A bacia do Rio Biguaçu merece estudos mais aprofundados e de maior detalhe quanto ao sistema de assoreamento presentemente ativo, especialmente considerando os registros de que este sistema já está em atividade desde 1916, e que teve seus efeitos exacerbados a níveis alarmantes após as obras de retificação em diversos canais da bacia, realizadas entre 1966 e 1977, com grande desperdício de verbas públicas, além de danos ambientais, pessoais e materiais a população que ali reside.

Dito isto, os resultados deste trabalho já possibilitam a observação e seleção prévia de regiões que poderiam ser beneficiadas por futuros estudos direcionados, em escalas de maior detalhe, além de já permitir implementação de políticas públicas focadas na solução do problema, e não apenas obras paliativas e de custos contínuos, como as dragagens que já foram executadas.

Diversos pesquisadores (FRYIRS; BRIERLEY, 2016; LI; SHAO, 2006; LIU et al., 2014; MARTINS, 2007; ROSS, 2001; SILVA; RIOS, 2020) já estudaram e continuam estudando métodos e ferramentas para a recuperação de áreas degradadas em ambientes vicinais a corpos hídricos, havendo consenso que toda iniciativa de intervenção para recuperação deve ser analisada cuidadosamente, considerando as características e sistema único de cada bacia hidrográfica. Contudo, estes estudos também indicam que a adequação das margens em terraços, bem como o plantio e estímulo da vegetação ciliar nativa, geralmente apresentam resultados positivos no controle da erosão.

As metodologias necessárias para a recuperação de longo prazo deste ambiente necessitam ser estudada com maior atenção, com abordagem interdisciplinar integrando o caráter sistêmico entre o assoreamento, a erosão, a supressão vegetal nos ambientes marginais aos rios, e sobretudo, a expansão e divulgação de informação científica pertinente junto a sociedade, estimulando maior consciência ecológica sobre nossos impactos.

Dada a natureza e magnitude do problema, que envolve a bacia hidrográfica como um todo, é improvável a implementação de medidas rápidas que venham a resolver o assoreamento, sendo necessário o estudo de quais abordagens de longo prazo terão melhores impactos na recuperação das margens e ambientes vicinais, concomitantes a manutenção do canal de escoamento da foz.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. DE. Contribuição à geomorfologia da região oriental de Santa Catarina. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 10, p. 3–32, nov. 1948.

ALMEIDA, F. F. M. DE et al. Províncias estruturais brasileiras. **Simpósio de Geologia do Nordeste**, v. 8, n. 1977, p. 363–391, 1977.

BASEI, M. et al. **The Dom Feliciano belt (Brazil-Uruguay) and its fore land (Rio de la Plata Craton): framework, tectonic evolution and correlations with similar terranes of southwestern Africa**. Uruguay: [s.n.]. Disponível em: <http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:47087247>.

BASEI, M. A. S. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 30 dez. 1985.

BASEI, M. Â. S. et al. Carta geológica: folha Brusque, SG. 22-ZD-II. 2014.

BASEI, M. A. S.; TEIXEIRA, W. Geocronologia do pre-cambriano / eopaleozoico de Santa Catarina. Em: **Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina - 1:500.000**. [s.l.] Secretaria da Ciência e Tecnologia, Minas e Energia, 1987.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 657–668, set. 2000.

BITENCOURT, M. F.; HACKSPACHER, P. C.; NARDI, L. V. S. A Zona de Cisalhamento Major Gercino - Santa Catarina. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTRUTURAL E TECTÔNICA, 2., Fortaleza, 1989, **Atas**. Fortaleza, SBG, p. 214-216.

BOLSTAD, P. **GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems**. [s.l.] XanEdu, 2019.

BURGES, C. J. C. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. **Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 2, n. 2, p. 121–167, 1998.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A.; LLOYD, C. D. **Principles of Geographical Information Systems**. [s.l.] OUP Oxford, 2015.

CAMPOS, A. V. **Variabilidade espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos da zona estuarina do rio Biguaçu, SC**. Graduação—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CHANG, C.-C.; LIN, C.-J. LIBSVM: A Library for Support Vector Machines. **ACM Trans. Intell. Syst. Technol.**, v. 2, n. 3, maio 2011.

CORTES, C.; VAPNIK, V. Support-vector networks. **Machine Learning**, v. 20, n. 3, p. 273–297, set. 1995.

DAMIÃO, C. **MEMÓRIA DE FLORIANÓPOLIS: vinte anos da maior enchente**. Disponível em: <<https://ndmais.com.br/noticias/memoria-de-florianopolis-vinte-anos-da-maior-enchente/>>. Acesso em: 4 set. 2021.

DRAGA será utilizada no desassoreamento do Rio Biguaçu. Disponível em: <<https://www.portaldailha.com.br/noticias/lernoticia.php?id=39945>>. Acesso em: 4 set. 2021.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. DO. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. Em: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Eds.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003. p. 123–194.

FORTES, E. **A planície costeira da região de Biguaçu - SC: abordagens dos aspectos ambientais da bacia hidrográfica do rio Biguaçu**. 1996.

FORTES, E. **Impactos ambientais de obras de retificação de canais fluviais da bacia hidrográfica do rio Biguaçu**. VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada. **Anais...**Curitiba: UFPR, 1997.

FORTES, E. Condicionantes históricos do processo de degradação do ambiente natural na bacia hidrográfica do rio Biguaçu-SC. **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 5, p. 1413–1419, 2000.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. Assessing the geomorphic recovery potential of rivers: forecasting future trajectories of adjustment for use in management. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 3, n. 5, p. 727–748, set. 2016.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 289–298, 1996.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. **The Elements of Statistical Learning**. New York, NY: Springer New York, 2009.

HORN FILHO, N. O. et al. Estudo geológico dos depósitos clásticos quaternários superficiais da planície costeira de Santa Catarina, Brasil. **Gravel**, v. 12, n. 1, p. 41–107, 2014.

HUETE, A. R. et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440–451, 1997.

HUNT, E. R.; ROCK, B. N. Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances. **Remote Sensing of Environment**, v. 30, n. 1, p. 43–54, 1 out. 1989.

ISSLER, R. S. Evolução crustal da faixa arco-fossa Tijucas e faixa magmática Pedras Grandes: Cráton Dom Feliciano. **Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia**, v. 1, n. 1983, p. 19–36, 1983.

KREMER, R. **Datas Históricas de Antônio Carlos: 1830 – 1992**. Florianópolis: Papa-Livro, 1993.

LAYTANO, D. DE. Corografia da capitania de Santa Catarina. **Revista Trimestral do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro**, p. 3–187, 1959.

LI, Y. Y.; SHAO, M. A. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. **Journal of Arid Environments**, v. 64, n. 1, p. 77–96, 1 jan. 2006.

LIU, X. et al. Response of sediment yield to vegetation restoration at a large spatial scale in the Loess Plateau. **Science China Technological Sciences**, v. 57, n. 8, p. 1482–1489, 11 ago. 2014.

LONGLEY, P. A. et al. **Geographic Information Science and Systems**. [s.l.] Wiley, 2015.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum-agronomy**, v. 24, p. 1335–1340, 2008.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. [s.l.] Aprenda Fácil Editora, 2007.

MATHER, P.; TSO, B. **Classification Methods for Remotely Sensed Data, Second Edition**. [s.l.] Taylor & Francis, 2009.

MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. **Earth-Science Reviews**, v. 13, n. 1, p. 1–62, maio 1977.

MIALL, A. D. **The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology**. [s.l.] Springer, 2013.

Obras do Sistema de Macrodrenagem Urbana de Biguaçu iniciam hoje. **SDE-SC**, 11 jan. 2012.

PASSARELLI, C. R. et al. Deformation and geochronology of syntectonic granitoids emplaced in the Major Gercino Shear Zone, southeastern South America. **Gondwana Research**, v. 17, n. 4, p. 688–703, 1 maio 2010.

PASSARELLI, C. R.; BASEI, M. A. S.; CAMPOS NETO, M. DA C. Caracterização geométrica e cinemática da zona de cisalhamento Major Gercino e sua importância na compartimentação dos terrenos Pré-cambrianos de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 3, p. 234–41, 1993.

POTTER, R. O. et al. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

REITZ, R. **Alto Biguaçu: narrativa cultural tetrarracial**. [s.l.] Editora Lunardelli, 1988.

RENARD, K. G. et al. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. 1997.

ROSS, J. L. S. Inundações e deslizamentos em São Paulo. Riscos da relação inadequada sociedade-natureza. **Territorium**, n. 8, p. 15–23, 15 set. 2001.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, v. 351, n. 1, p. 309, 1974.

RUST, B. R. **A Classification of Alluvial Channel Systems**. 1977.

SANTOS, H. G. DOS; EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. [s.l: s.n.].

SCHEIBE, L. F.; TEIXEIRA, V. H. **Mapa topogeológico da ilha de Santa Catarina**. Porto Alegre. DNPM, 1970.

SCHUMM, S. A. Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications. 1981.

SILVA, A. J. P. DA; RIOS, M. L. Terracing Recovers the Quality of a Riverbank Soil Degraded by Water Erosion in Brazilian Semiarid. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, 2020.

SILVA, L. C. DA. O cinturão metavulcanossedimentar Brusque e a evolução policíclica das faixas dobradas proterozóicas no sul do Brasil: uma revisão. **Rev Bras Geociênc**, v. 21, p. 60–73, 1991.

SILVA, L. C. DA et al. The neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. **Precambrian Research**, v. 136, n. 3–4, p. 203–240, 22 fev. 2005.

SILVA, V. R. **Análise sócio-ambiental da bacia do rio Biguaçu-SC: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2007.

SILVA, V. R. **Fragilidade ambiental da bacia do Rio Biguaçu na região metropolitana de Florianópolis – SC**. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...**Belo Horizonte: UFMG/UGB, 2008.

SOUZA, C. R. DE G. Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. **Anais-Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 353–366, 1998.

TAVARES, A. C.; SILVA, A. C. F. Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. **CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 3, n. 1, 2008.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, , 2017.

TRAININI, D. R. et al. Projeto Vidal Ramos/Biguaçu: relatório final. 1978.

VAPNIK, V. N. **The Nature of Statistical Learning Theory**. New York, NY: Springer New York, 2000.

WILDNER, W.; CAMOZZATO, E.; TONIOLO, J.A.; BINOTTO, R.B.; IGLESIAS, C.M.F.; LAUX, J .H. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil. Subprograma de Cartografia Geológica Regional.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. [s.l.] Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

WRIGHT, L. D. Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis. **Geological Society of America Bulletin**, v. 88, n. 6, p. 857–868, 1977.

ZANINI, L. F. P. et al. **Florianópolis-Lagoa: folha SG. 22-ZDV-folha SG. 22-ZD-VI**. [s.l.] CPRM, 1997.

APÊNDICE A – Script para obtenção de imagens Sentinel-2 na plataforma Google Earth Engine.

Aqui transcrito integralmente e disponível na plataforma Google Earth Engine pelo endereço <https://code.earthengine.google.com/6265112b66cf3d13e051b88ea170043c>

```
//Importar os limites da área de estudo, ou desenhar polígono da área, e definir o nome como Plot
```

```
//Definir as datas de início e fim da série temporal
```

```
var START = ee.Date('2019-07-01');
```

```
var FINISH = ee.Date('2020-06-30');
```

```
//Criar a Coleção de imagens inicial, selecionando as imagens por taxa de nuvens
```

```
var ImageCollection = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
```

```
.filterDate(START,FINISH)
```

```
.filterBounds(Plot)
```

```
.filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'less_than', 1.01)
```

```
.map(function(image){return image.clip(Plot)});
```

```
//Calcular índices e adicionar como bandas a imagem composta//
```

```
//Calcular EVI (Enhance Vegetation Index) utilizando NIR, Vermelho e Azul
```

```
var EVI = function(S2L2A){
```

```
var EVIndex = S2L2A.expression(
```

```
  '2.5 * ((NIR - RED) / (NIR + 6 * RED - 7.5 * BLUE + 1))', {
```

```
    'NIR': S2L2A.select('B8'),
```

```
    'RED': S2L2A.select('B4'),
```

```
    'BLUE': S2L2A.select('B2')
```

```
}
```

```
).rename('EVI');
```

```
return S2L2A.addBands(EVIndex);
```

```
};
```

```
//Adicionar EVI como uma banda separada para cada imagem da coleção
```

```

var ImageCollection2 = ImageCollection.map(EVI);
//print(ImageCollection2, 'Image Collection + EVI');

//Calcular NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) utilizando NIR e Vermelho
var addNDVI = function(S2L2A){
var NDVI = S2L2A.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI');
return S2L2A.addBands(NDVI);
};
//Adicionar NDVI como uma banda separada para cada imagem da coleção
var ImageCollection3 = ImageCollection2.map(addNDVI);
//print (ImageCollection3, 'Image Collection + EVI + NDVI');

//Calcular GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) utilizando NIR e Verde
var addGNDVI = function(S2L2A){
var GNDVI = S2L2A.normalizedDifference(['B8', 'B3']).rename('GNDVI');
return S2L2A.addBands(GNDVI);
};
//Adicionar GNDVI como uma banda separada para cada imagem da coleção
var ImageCollection4 = ImageCollection3.map(addGNDVI);
//print (ImageCollection4, 'Image Collection + EVI + NDVI + GNDVI');

//Calcular NDII (Normalized Difference Infrared Index) utilizando NIR e SWIR
var addNDII = function(S2L2A){
var NDII = S2L2A.normalizedDifference(['B8', 'B11']).rename('NDII');
return S2L2A.addBands(NDII);
};
//Adicionar NDII como uma banda separada para cada imagem da coleção
var ImageCollection5 = ImageCollection4.map(addNDII);
//print (ImageCollection6, 'ImageCollection + EVI + NDVI + GNDVI + NBR + NDII');

//Selecionar as bandas desejadas
var selected_bands = ImageCollection5.select(['B1', 'B2', 'B3', 'B4','B5','B6','B7', 'B8',
'B8A', 'B9', 'B11', 'B12','NDVI', 'EVI', 'GNDVI', 'NDII'],

```

```

['B1', 'B2', 'B3', 'B4','B5','B6','B7', 'B8', 'B8A', 'B9', 'B11', 'B12','NDVI', 'EVI', 'GNDVI',
'NDII']);
//print(selected_bands, 'Selected Bands');

//Classificar as imagens e índices por mês e estação//
//Elencar os elementos da coleção como uma lista
var listOfImages = selected_bands.toList(selected_bands.size());
//print(listOfImages, 'list Of All Images');

//Gerar uma sequência de números, do valor inicial ao final, em incrementos de 1
var monthsequence = ee.List.sequence(1, 12);
//print(monthsequence, 'Month Sequence');

//Criar um filtro que seleciona as imagens cuja estampa temporal cai dentro de um
determinado campo de calendário
var monthsubsets = monthsequence.map(function (month) {
  return listOfImages.filter(ee.Filter.calendarRange(month, month, 'month'));
});
//Lista opcional, que mostra o número de imagens em cada mês
//print(monthsubsets, 'Monthly Subsets List');

//Criar uma coleção de imagens para cada mês do ano
var JAN_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthsubsets.get(0));
//print(JAN_IC, 'January');

var FEB_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthsubsets.get(1));
//print(FEB_IC, 'February');

var MAR_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthsubsets.get(2));
//print(MAR_IC, 'March');

var APR_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthsubsets.get(3));
//print(APR_IC, 'April');

```

```
var MAY_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthlysubsets.get(4));
//print(MAY_IC, 'May');

var JUN_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthlysubsets.get(5));
//print(JUN_IC, 'June');

var JUL_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthlysubsets.get(6));
//print(JUL_IC, 'July');

var AUG_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthlysubsets.get(7));
//print(AUG_IC, 'August');

var SEP_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthlysubsets.get(8));
//print(SEP_IC, 'September');

var OCT_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthlysubsets.get(9));
//print(OCT_IC, 'October');

var NOV_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthlysubsets.get(10));
//print(NOV_IC, 'November');

var DEC_IC = ee.ImageCollection.fromImages(monthlysubsets.get(11));
//print(DEC_IC, 'December');

//Unir as coleções mensais baseada em estações do ano
var Summer_IC = JAN_IC.merge(FEB_IC).merge(MAR_IC);
//print(Summer_IC, 'Summer');

var Autumn_IC = APR_IC.merge(MAY_IC).merge(JUN_IC);
//print(Autumn_IC, 'Autumn');

var Winter_IC = JUL_IC.merge(AUG_IC).merge(SEP_IC);
//print(Winter_IC, 'Winter');
```



```

var Spring_IC = OCT_IC.merge(NOV_IC).merge(DEC_IC);
//print(Spring_IC, 'Spring');

//Calcular a Mediana das coleções e exportar as imagens finais//
//Reduzir as coleções de imagens de cada estação a uma única imagem, utilizando
a operação estatística de mediana
var median_Winter_IC = Winter_IC.median();
print(median_Winter_IC, 'MEDIAN_Winter_IC');
Map.addLayer(median_Winter_IC,{min:0,max:3000,bands:"B4,B3,B2"},
"MEDIAN_Winter_IC");

var median_Spring_IC = Spring_IC.median();
print(median_Spring_IC, 'MEDIAN_Spring_IC');
Map.addLayer(median_Spring_IC,{min:0,max:3000,bands:"B4,B3,B2"},
"MEDIAN_Spring_IC");

var median_Summer_IC = Summer_IC.median();
print(median_Summer_IC, 'MEDIAN_Summer_IC');
Map.addLayer(median_Summer_IC,{min:0,max:3000,bands:"B4,B3,B2"},
"MEDIAN_Summer_IC");

var median_Autumn_IC = Autumn_IC.median();
print(median_Autumn_IC, 'MEDIAN_Autumn_IC');
Map.addLayer(median_Autumn_IC,{min:0,max:3000,bands:"B4,B3,B2"},
"MEDIAN_Autumn_IC");

// Exportar cada imagem ao Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: median_Winter_IC.toDouble(),
  description: 'sentinel2_composite_inverno',
  folder: 'Sentinel2_SR',
  scale: 10,
  maxPixels: 1e13,
  crs: 'EPSG:31982',

```

```
    region: Plot  
});
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: median_Spring_IC.toDouble(),  
  description: 'sentinel2_composite_primavera',  
  folder: 'Sentinel2_SR',  
  scale: 10,  
  maxPixels: 1e13,  
  crs: 'EPSG:31982',  
  region: Plot  
});
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: median_Summer_IC.toDouble(),  
  description: 'sentinel2_composite_verao',  
  folder: 'Sentinel2_SR',  
  scale: 10,  
  maxPixels: 1e13,  
  crs: 'EPSG:31982',  
  region: Plot  
});
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: median_Autumn_IC.toDouble(),  
  description: 'sentinel2_composite_outono',  
  folder: 'Sentinel2_SR',  
  scale: 10,  
  maxPixels: 1e13,  
  crs: 'EPSG:31982',  
  region: Plot  
});
```