

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**  
**LINHA DE PESQUISA: ANÁLISE AMBIENTAL**

**ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO  
SAPUCAIA, MUNICÍPIO DE GRAVATAÍ (RS)**

**WAGNER COSTA CATTANEO**

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup> DR<sup>a</sup> NINA SIMONE VILAVERDE MOURA**

**PORTO ALEGRE**  
**2019**

WAGNER COSTA CATTANEO

**ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO  
SAPUCAIA, MUNICÍPIO DE GRAVATAÍ (RS)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup> DR<sup>a</sup> NINA SIMONE VILAVERDE MOURA

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Luis Alberto Basso (POSGEA/UFRGS)

Prof. Dr. Rualdo Menegat (IGEO/UFRGS)

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer (POSGEA/UFRGS)

Porto Alegre  
2019

### CIP - Catalogação na Publicação

Cattaneo, Wagner Costa  
Alterações antrópicas na bacia hidrográfica do  
arroio Sapucaia, município de Gravataí (RS) / Wagner  
Costa Cattaneo. -- 2019.  
116 f.  
Orientadora: Nina Simone Vilaverde Moura.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, , Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia. 2. Uso e  
Ocupação da Terra. 3. Depósitos Tecnogênicos. 4.  
Ambiente. 5. Geomorfologia. I. Moura, Nina Simone  
Vilaverde, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a querida orientadora e amiga Nina Simone Vilaverde Moura pelo suporte e dedicação até a chegada deste momento. Foram as conversas de amiga e as instruções firmes e diretas de orientadora que ajudaram no desenvolvimento da dissertação e permitiram que fosse concluída, não podendo deixar de ressaltar, também, um grande amor materno que lhe é peculiar, o que ajuda muito no crescimento pessoal discente.

Meu forte agradecimento aos demais professores com os quais tive a oportunidade de enriquecer a pesquisa através do conhecimento adquirido nas disciplinas cursadas. Agradeço, especialmente, o funcionário técnico Gilberto Silveira dos Santos, o Giba, que me deu todo apoio durante os trabalhos no Laboratório de sedimentologia do CECO, com respaldo e experiência de um viajante que honra a ciência. Agradecido, da mesma forma, ao colega Jean Carlo Gessi Caneppele pela dedicação e zelo profissional em que empregou no auxílio da produção cartográfica.

Agradecido aos amigos que a graduação me trouxe, Alexandre e Fábio, que ascenderam ao mestrado antes e sempre me incentivaram na busca por essa conquista, irmãos de Pucrs e ProUni.

Minha retribuição aos familiares próximos, meu irmão Emerson, o amado filho Adrian e o sobrinho Fernando que me acompanharam e ajudaram nas empreitadas de campo durante a dissertação com grande dose de diversão e aventura.

Agradeço, ainda, a estimada prima Lúcia S. de Souza por me auxiliar com seu impecável conhecimento na língua inglesa.

Eternamente grato, como jamais poderia deixar de ser, à minha falecida mãe. Sempre valorizou o estudo e a educação, nos passou esse valor com muito incentivo e persistência. Lutou por nós. Dona Sônia, aqui estou, concluindo mais uma etapa!

Agradeço, também, ao meu pai por ter me permitido os estudos.

Para finalizar, agradeço ao Governo Lula por fomentar e aplicar políticas afirmativas de acesso às universidades aos filhos da classe trabalhadora, tornando o ensino superior mais enriquecido e diversificado como jamais antes havia acontecido.

## RESUMO

A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia possui extensão territorial de 129,7 km<sup>2</sup> e abrange seis municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre. A área de estudo possui duas situações distintas no que se refere ao uso e ocupação da terra, podendo-se observar o predomínio rural numa densa área de nascentes e ampla superfície urbana próximo ao exutório. A presente pesquisa tem a proposta de analisar como as intervenções antrópicas, através do uso da terra, interagem com os processos naturais no setor de nascentes da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, localizada no município de Gravataí (RS), com possíveis registros depositados em setores de topografia plana onde o acúmulo de água dos cursos fluviais, oriundos de cheias ou alagamentos, sedimentam produtos do uso e ocupação da terra. Como suporte metodológico, aplicam-se conhecimentos das ciências geológica e geomorfológica em sua abordagem ambiental conforme os pressupostos de Chemekov (1983) e Oliveira (1990) na aplicação do conceito de depósitos tecnogênicos de origem fluvial, o emprego de técnicas de análise granulométrica com base na escala de Wentworth e a Lei de Stokes, bem como o uso de ferramentas de sensoriamento remoto para o reconhecimento do terreno, além de constituir as classes de uso e ocupação da terra. Dessa forma, compreendeu-se que algumas classes de uso da terra exercem maior pressão sobre o ambiente no setor composto de nascentes, com desdobramentos na densa rede de drenagem. Pode-se constatar, através de análise sedimentológica em laboratório especializado e observações em trabalhos de campo, a influência da atividade mineradora na disponibilidade de sedimentos ao ambiente e seu reflexo no leito dos arroios, sobretudo na sub-bacia do arroio Santa Tecla, induzindo o assoreamento dos canais.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia. Uso e ocupação da terra. Depósitos tecnogênicos.

## ABSTRACT

The watershed of Arroio Sapucaia has a territorial extension of 129.7 km<sup>2</sup> that covers six counties in the metropolitan region of Porto Alegre. The study area has two distinct situations regarding land use and occupation, and it is possible to observe the rural predominance in a dense area of springs and a large urban surface near the exutory. The present research proposes to analyze how anthropic interventions, through land use, interact with natural processes in the area of springs of the watershed of Arroio Sapucaia, located in Gravataí - RS, with possible records deposited in sectors of flat topography where the accumulation of water from fluvial streams, originating from floods or flooding, sediments products of land use and occupation. As methodological support, apply knowledge of geological and geomorphological sciences in their environmental approach according to the assumptions of Chemekov (1983) and Oliveira (1990) in the application of the concept of technogenic deposits of fluvial origin, the Use of granulometric analysis techniques based on the Wentworth scale and Stokes law and using remote sensing tools to recognize the terrain and constitute the classes of land use and occupation. Thus, it was understood that some classes of land use exert greater pressure on the environment in the sector composed of springs, with developments in the dense drainage network. It can be verified, through sedimentological analysis in specialized laboratory and observations in fieldwork, the influence of mining activity on the availability of sediment to the environment and its reflection in the stream bed, especially in the sub-basin of Arroio Santa Tecla, inducing the siltation of the canals.

**Keywords:** watershed of Arroio Sapucaia. Land use and occupation. Technogenic deposits.

## **LISTA DE ABREVIACOES**

CECO – Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

CNES – Centre National d'Études Spatiales

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ER - Espectroscopia de Reflectância

FDH – Fator de desenvolvimento Humano

FFP – Fator de Fragilidade Potencial

FUS – Fator de Uso do Solo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM – Índice de desenvolvimento Humano Municipal

IS – Índice de Sustentabilidade

RMPA – Região Metropolitana de Porto Alegre

RS – Rio Grande do Sul

SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ZMT – Zandoná Mineração e Terraplanagem LTDA

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Localização da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	18
Figura 02 - Graus de proteção associado à cobertura vegetal.....	26
Figura 03 - Ordem de comandos para extração da bacia hidrográfica.....	29
Figura 04 - Classes vetorizadas.....	33
Figura 05 - Transbordamento do arroio após precipitação com grande volume acumulado.....	36
Figura 06 - Características do ambiente no ponto de coleta 1.....	37
Figura 07 - Testemunho introduzido no terreno no ponto de coleta 1 (P1T2).....	38
Figura 08 - Superfície plana, arenosa e vegetada no ponto de coleta 2.....	39
Figura 09 - Características do ambiente no ponto de coleta 2.....	40
Figura 10 - Testemunho introduzido no terreno no ponto de coleta 3.....	42
Figura 11 - Abertura dos canos de PVC com material coletado à mostra.....	43
Figura 12 - Amostras desagregadas após secagem em estufa.....	45
Figura 13 - Materiais tecnogênicos encontrados nos testemunhos após secagem na estufa.....	46
Figura 14 - Provetas de decantação de 1000 ml contendo materiais finos suspensos e copos de Becker com sedimentos grossos.....	47
Figura 15 - Fracionamento conforme diâmetros dos sedimentos das amostras entre cascalho e areia.....	48
Figura 16 - Mapa das formações geológicas na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	51
Figura 17 - Padrão em forma de morros e áreas deprimidas e planas.....	53
Figura 18 - Predominância de morros ao norte da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	54

Figura 19 - Depósitos fluviais com formação de barra arenosa em canal assoreado do arroio Santa Tecla.....	55
Figura 20 - Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	56
Figura 21 - Mapa clinográfica da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	57
Figura 22 - Características do ambiente em área de nascente na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	58
Figura 23 - Mapa das formações pedológicas da área de estudo.....	60
Figura 24 - Mapa identificando mancha urbana na área de estudo.....	63
Figura 25 - Densidade demográfica por município da RMPA.....	64
Figura 26 - Localização dos pontos onde foram coletados os testemunhos sedimentares superficiais.....	68
Figura 27 - Valores em porcentagens conforme classificação textural de Shepard...70	70
Figura 28 - Pequeno fragmento plástico.....	71
Figura 29 - Valores em porcentagem por classificação textural de Shepard .....	72
Figura 30 - Fragmentos de material antropogênico.....	72
Figura 31 - Comparativo de valores percentuais.....	74
Figura 32 - Totalidade do testemunho 2 (P2T2) .....	76
Figura 33 - Valores percentuais conforme classificação textural de Shepard referentes ao topo de P2T2.....	77
Figura 34 - Testemunho 1 referente ao ponto de coleta 3 (P3T1) após abertura.....	78
Figura 35 - Níveis deposicionais em cor cinza entre as camadas predominantes de cor laranja revelados em P3T2.....	79
Figura 36 - Distribuição das classes de uso e ocupação da terra na área de estudo.....	82

Figura 37 - Mapa de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	85
Figura 38 - Afloramento Rochoso: corresponde a 0,08% de área da bacia.....	86
Figura 39 - Corpos de Água: Identificados 127 fragmentos representando açudes na área rural.....	86
Figura 40 - Indústria/Comércio/Serviço: ocupam superfície de 8,4 km <sup>2</sup> , ou 6,3% de área na bacia.....	87
Figura 41 - Solo Exposto: áreas com solo desnudo, desprovido de vegetação. Ocorrem em apenas 0,8% em toda a bacia.....	87
Figura 42 - Localização das cicatrizes de mineração na área de estudo.....	88
Figura 43 - Aterro: na área de estudo foram identificados quatro fragmentos que correspondem 0,4% da superfície total da bacia.....	89
Figura 44 - Cicatrizes da Mineração: cobrem 0,95% de área (1,5 km <sup>2</sup> ) .....	89
Figura 45 - Distribuição da classe de lavouras na área de estudo.....	91
Figura 46 - Lavoura: áreas totais de 20,3 km <sup>2</sup> (15,6%) que englobam terrenos usados para o cultivo agrícola.....	92
Figura 47 - Silvicultura: distribuídos em 74 fragmentos que somam 4,2 km <sup>2</sup> .....	92
Figura 48 - Vegetação Arbórea: classe que representa a maior área ocupada na bacia hidrográfica .....	94
Figura 49 - Campos: predomina em 13,7 % da área de estudo e estão distribuídos em vários fragmentos concentrados à leste.....	94
Figura 50 - Banhados: correspondem a 0,3 km <sup>2</sup> frente aos 129,7 km <sup>2</sup> de área total da bacia.....	95
Figura 51 - Ocupação Rarefeita: ocorre em 10,6% e consome um total de 13,7 km <sup>2</sup> concentradas à leste.....	96

Figura 52 - Urbano Consolidado: ocupa 24 km <sup>2</sup> e está concentrado no setor oeste.....	97
Figura 53 - Rodovias e estradas na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	98
Figura 54 - Erosão nas bordas da estrada Henrique Closs.....	99
Figura 55 - Erosão hídrica nas bordas da estrada Quebra Dente.....	100
Figura 56 - Erosão hídrica paralela à estrada Quebra Dente.....	101
Figura 57 - Erosão hídrica perpendicular à estrada Quebra Dente.....	102
Figura 58 - Setores ao norte da bacia hidrográfica.....	104
Figura 59 - Processo de assoreamento em banhado.....	105
Figura 60 - Arroio Santa Tecla no município de Gravataí (RS).....	106

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tabela granulométrica de material coletado em campo e analisados em laboratório .....	69
Tabela 02 - Dados quantitativos referentes às treze classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	83

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	TEMA DE PESQUISA.....	14
1.2	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	15
1.3	JUSTIFICATIVA.....	15
1.4	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO</b> .....	19
2.1	O AMBIENTE NOS ESTUDOS GEOGRÁFICOS.....	19
2.2	BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO.....	20
2.3	GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS .....	21
2.4	DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS NOS ESTUDOS AMBIENTAIS .....	23
2.5	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	25
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III - PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS</b> .....	29
3.1	CONFECÇÃO DE MAPAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.1.1	Localização.....	29
3.1.2	Geologia e pedologia.....	29
3.1.3	Hipsometria.....	30
3.1.4	Declividade.....	31
3.1.5	Mapa de uso e ocupação da terra.....	32
3.2	COLETA DE MATERIAIS EM CAMPO E SEPARAÇÃO EM LABORATÓRIO .....	35
3.2.1	Etapa em campo: escolha dos pontos e coleta de testemunhos.....	35
3.2.2	Etapa em laboratório: separação das amostras.....	43
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV - CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS E AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	50
4.1	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA.....	50
4.2	CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA.....	59
4.3	CARACTERIZAÇÃO POPULACIONAL E SOCIOECONÔMICA .....	61
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO V - ANÁLISE DAS AMOSTRAS NOS TESTEMUNHOS EM LABORATÓRIO</b> .....	68
5.1	PONTO DE COLETA 1: PLANÍCIE DE TRANSBORDAMENTO DO ARROIO SAPUCAIA .....	69

5.2 PONTO DE COLETA 2: SETOR DEPOSICIONAL FLUVIAL DO ARROIO SANTA TECLA.....	73
5.3 PONTO DE COLETA 3: PROXIMIDADES DA NASCENTE DO ARROIO SANTA TECLA.....	77
<b>6 CAPÍTULO VI - ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BH DO ARROIO SAPUCAIA.....</b>	<b>81</b>
6.1 OS ATERROS E AS CICATRIZES DE MINERAÇÃO.....	87
6.2 AS LAVOURAS E A SILVICULTURA.....	90
6.3 VEGETAÇÃO ARBÓREA, CAMPOS E BANHADOS.....	92
6.4 OCUPAÇÃO RAREFEITA.....	95
6.5 URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA.....	96
6.6 VIAS DE ACESSO E REDE DRENAGEM, GERAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS E ASSOREAMENTO, AMBIENTE DEGRADADO.....	97
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>108</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>116</b>

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUÇÃO**

#### **1.1 TEMA DE PESQUISA**

Estudar o ambiente é fundamental na análise geográfica. Na perspectiva geográfica, pensar o ambiente revela a relação/conexão entre o uso da natureza e a organização social que dela se apropria. Investigar o ambiente sob um panorama de relação natureza e sociedade revela o quão o homem está inserido e depende dos recursos naturais para o seu sustento, ao mesmo tempo em que cria novas condicionantes para as gerações futuras, ou seja, uma natureza transformada, um ambiente. A questão ambiental traz a discussão sobre a finitude dos recursos naturais, faz menção à sua degradação cada vez maior e, também, revela a condição de externalidade em que o homem, principalmente na sociedade ocidental, se colocou em relação à natureza, ao ponto de deixar marcas em registros estratigráficos, indícios da aurora do Antropoceno. Os traçados das relações humano-ambientais ocorrem de maneira significativa e se materializam na paisagem, evidenciando desdobramentos horizontais no espaço, deixando, também, assinaturas verticais estratigráficas destas mudanças no tempo. Desta maneira, torna-se cada vez mais importante pensar o ambiente como resultado da articulação entre o natural e o social no tempo e espaço.

Inevitavelmente o homem prepara um ambiente ao se estabelecer em uma área para construir sua moradia, seu lazer e as atividades produtivas. Nesse cenário, a unidade espacial que favorece a análise integrada entre o meio físico e o social é a bacia hidrográfica, fundamentalmente por constituir um sistema natural bem delimitado geograficamente onde há constante troca de matéria e energia (CHRISTOFOLETTI, 1980). Os diferentes usos que o homem faz dentro dos limites da unidade de bacia possivelmente têm respostas nas águas que a drenam, sejam superficiais ou subterrâneas, além dos reflexos nos demais elementos que compõem o sistema hidrológico como o relevo, o solo, o ar e a vegetação. Por se tratar de uma unidade espacial integradora, há pontos específicos da bacia hidrográfica que podem revelar informações de como e com que intensidade ocorrem intervenções no meio físico e são transferidas para os corpos líquidos que a drenam.

Os sedimentos que são transportados pelas águas em superfície e abandonados nas planícies podem conter assinaturas do que ocorre com o uso da

terra numa bacia hidrográfica, principalmente em se tratando de fatos como exploração de recursos minerais, agricultura e estabelecimento de moradias. Materiais de rejeito e as perdas no transporte dos minérios podem ser transferidos para o sistema hidrológico após eventos seguidos de chuvas. A qualidade das águas superficiais detecta alterações de caráter físico e químico como resíduo de uso agrícola e depósitos de lixo urbano. A presente pesquisa tem como proposta analisar como as intervenções antrópicas, através do uso da terra, interferem nos processos naturais na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia no município de Gravataí (RS) com possíveis registros físicos em setores onde o acúmulo de água dos cursos fluviais, oriundos de cheias ou alagamentos, sedimentam produtos do uso e ocupação da terra, deixando traços estratigráficos.

## 1.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar as alterações antrópicas na bacia hidrográfica do Arroio Sapucaia com ênfase na formação dos depósitos tecnogênicos.

Como objetivos específicos são necessários:

- Contextualizar as características do meio físico e socioeconômico da área de estudo no âmbito regional na perspectiva geológica, geomorfológica, pedológica, populacional e econômica;
- Analisar as características texturais dos depósitos flúvio-tecnogênicos nas nascentes do arroio Sapucaia;
- Analisar e mapear o uso e ocupação da terra atual na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

## 1.3 JUSTIFICATIVAS

A Geografia tem importante atuação na análise ambiental por conter um caráter integrador, pois procura compreender a evolução espaço-temporal dos processos do modelado terrestre na relação entre meio físico e sociedade. A área escolhida para pesquisa é composta por nascentes de arroios da bacia hidrográfica do Arroio Sapucaia em ambiente rural, porém localizada próxima ao tecido urbano da Região Metropolitana de Porto Alegre – RMPA, convivendo com a possibilidade da expansão urbana. A presente pesquisa pode contribuir em despertar a atenção e o debate para o uso do solo em áreas próximas de nascentes e, no caso específico, numa área de

enclave rural cercado pela grande urbe do Rio Grande do Sul. Através de análises da composição dos sedimentos foi possível identificar materiais residuais provenientes das atividades ligadas ao uso da terra, obtendo assim um diagnóstico das condições ambientais.

O estudo consiste em analisar as intervenções antrópicas na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, nos setores das cabeceiras ou nascentes. É uma análise geográfica e o conceito de ambiente consiste em avaliar a integração dos elementos naturais com aqueles transformados ou induzidos por meio de ações dos agentes sociais. O ambiente representa a conexão das dinâmicas naturais com o uso humano e, através da extração e beneficiamento dos recursos naturais, sociedades se territorializam sobre uma superfície de diferentes estruturas geológicas, diversas formas e contínuos processos geomorfológicos, além da heterogeneidade dos sistemas biológicos, construindo ambientes a partir de interações com espaços concretos. A produção de conhecimento sobre esse meio físico torna-se componente básico da existência social e, com isso, produz conhecimento sobre as intervenções antrópicas em ambientes naturais e a construção do espaço geográfico.

As observações em trabalhos de campo, a coleta de materiais e o mapeamento de uso e ocupação da terra mostram que o ambiente na área de estudo convive com acelerado processo de degradação com importante contribuição da atividade mineradora, empreendimento que exerce considerável pressão sobre a sub-bacia hidrográfica do arroio Santa Tecla, uma vez que induz a redistribuição de sedimentos ao longo desta, comprometendo o equilíbrio dos cursos fluviais, formadores de importantes nascentes do arroio Sapucaia, ambiente situado em borda de bacia sedimentar composto de rochas areníticas e, portanto, área de recarga de aquíferos. O local também serve de destino para resíduos que atendem às necessidades do ambiente urbano próximo, o que contribui para colocar em risco a qualidade das águas do entorno e de regiões distantes para onde os cursos hídricos escoam. Numa perspectiva futura, esta área poderá ser efetivamente utilizada para a expansão urbana do município de Gravataí – RS sem que as devidas consequências ambientais tenham sido avaliadas.

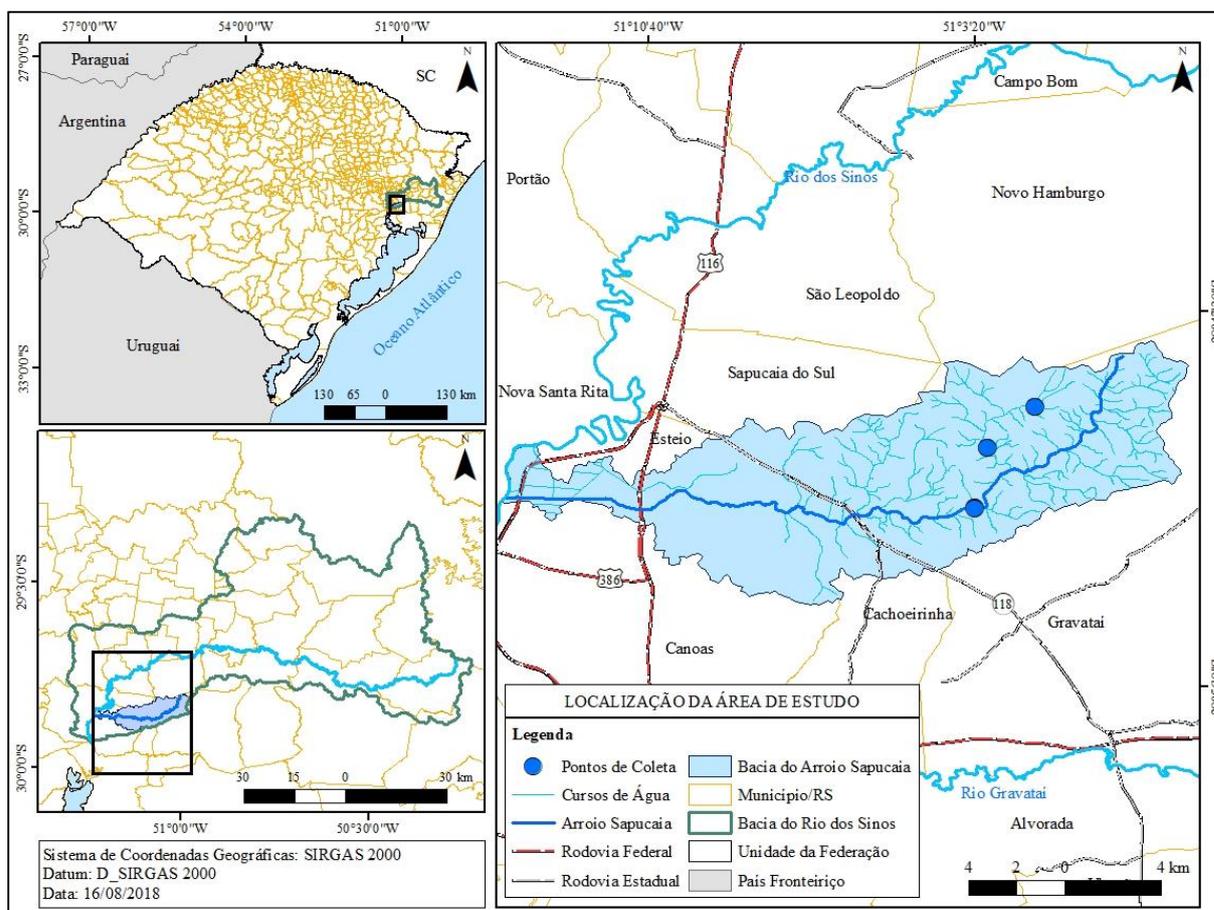
Embora as bacias hidrográficas deem uma tônica previamente esperada em relação ao dinamismo do escoamento das águas, é o estudo por meio do uso da terra dentro dos limites da bacia de drenagem que demonstrará as causas específicas dos impactos que ali ocorrem. Estudar as modificações e possíveis clivagens no equilíbrio

natural por meio da intervenção antrópica requer conhecimento da dinâmica das águas nas bacias hidrográficas. O presente estudo propõe, portanto, avaliar a composição física dos elementos gerados na bacia hidrográfica através de atividades antrópicas e que divirjam dos sedimentos depositados naturalmente nas planícies fluviais de acordo com a natureza litológica e pedológica da área de estudo. Os materiais para análise foram coletados em locais considerados estratégicos para o estudo proposto, as planícies fluviais, por estas serem locais de deposição de sedimentos e armazenarem registros dos processos que ocorrem na bacia hidrográfica.

#### 1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia de drenagem do arroio Sapucaia situa-se no leste do Estado do Rio Grande do Sul e abrange os municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Novo Hamburgo e Sapucaia do Sul, na Região Metropolitana de Porto Alegre – RMPA, compondo a bacia do Rio dos Sinos. A figura 01 apresenta a localização da área de estudo e destaca os pontos em que foram coletados materiais nos trabalhos de campo.

Figura 01 - Localização da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



Fonte: Elaboração própria (2018).

Como pode ser observado na figura 01, a bacia hidrográfica em estudo apresenta um padrão dentrítico composto por vários arroios de pequeno porte com seu exutório localizado no curso inferior do Rio dos Sinos próximo à divisa municipal entre Esteio e Canoas. A figura também indica que na área de estudo cruzam importantes rodovias, que ligam a Região Metropolitana de Porto Alegre a outras regiões do Rio Grande do Sul e do Brasil.

## CAPÍTULO II

### 2. REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO

#### 2.1 O AMBIENTE NOS ESTUDOS GEOGRÁFICOS

Estudar o ambiente vai além da especificação da natureza. Nos estudos geográficos a natureza é pensada no conceito de ambiente, através das reflexões sobre uso do solo e dos demais componentes naturais pela sociedade, bem como sobre as consequências deste uso para o novo ambiente. Para a Geografia é importante como análise a interação entre natureza e sociedade na concepção de ambiente. Para Suertegaray (2017), diferentemente da Ecologia, apesar de ambas serem ciências de conexões, a Geografia surge como

ciência de interação entre o homem (ou a sociedade) e o meio, este último inicialmente concebido como entorno natural, daí a confusão conceitual até hoje presente, na medida em que o termo meio (proveniente da Física e posteriormente da Biologia) aporta à Geografia com este significado. Embora possa parecer diferente, o conceito de meio é correspondente ao conceito de ambiente em termos de significação, ou seja, evoca a relação do ser individual ou coletivo com seu entorno, hoje totalmente artificializado. Talvez persistam algumas exceções em escala planetária. Ambiente constitui, em nosso entendimento, um conceito no qual estão implicadas múltiplas instâncias (SUERTEGARAY, 2017, p.152).

De acordo com a autora é preciso compreender a relação natureza e sociedade num meio totalmente artificializado, portanto, um ambiente. Estudar o ambiente através da degradação ambiental é um caminho para compreender a relação entre o homem e o seu entorno, urgindo questões de como a natureza responde às intervenções. Para Suertegaray (2017, p.125-126), diferentemente dos estudos da paisagem, a análise ambiental em Geografia não é, necessariamente, abordada de forma conjuntiva, articuladora de elementos, embora por vezes também ocorra. Ainda segundo a autora, problemas ambientais tornam a discussão mais específica, como exemplos, o desmatamento, a contaminação das águas ou do solo. Para além dessa especificação, a análise ambiental é também referida como impacto ambiental ou degradação da natureza (SUERTEGARAY, 2017).

A degradação ambiental é resultado dos diferentes modelos de desenvolvimento adotados nos países, principalmente no que se refere às instâncias

política e econômica, e tem reflexo direto nas condições naturais e na qualidade de vida da população. O espaço, como objeto de estudo da Geografia, tem na perspectiva ambiental a oportunidade de uma análise crítica da degradação do ambiente, surgindo, assim, uma conjuntura favorável à reflexão e ações dos sujeitos nesta temática, articulando os componentes físicos, sociais e econômicos.

Para Guerra e Cunha (2010), o conceito de ambiente (natural e social) tem passado por sucessivas transformações ao longo da história. O ambiente, em função dos interesses econômicos e políticos, vem passando por um processo de degradação acentuado no século XX, causando drástica diminuição da qualidade de vida e aumento da preocupação mundial em tentar reverter o quadro (GUERRA; CUNHA, 2010, p.375). As práticas empresariais podem oferecer resultados sedutores e inicialmente apreciáveis, porém mascaram os processos predatórios na exploração dos recursos ambientais.

## 2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1974, p.81). Contudo, analisando a bacia hidrográfica para estudos geomorfológicos, o autor entende que a quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas por evapotranspiração e infiltração.

Atividades que visam atender as necessidades humanas básicas, como o cultivo de alimentos e a extração de matérias-primas para produção industrial são comuns em bacias hidrográficas em ambiente rural. Entender a dinâmica dos cursos d'água e a relação com o seu entorno é de fundamental importância nos estudos de uso do solo, abarcando análise integrativa em escala local ou regional, permitindo abranger a totalidade do sistema (CHRISTOFOLETTI, 2012).

A bacia hidrográfica é reconhecida como unidade espacial na Geografia Física desde o final da década de 1960 (BOTELHO; SILVA, 2004). Segundo esses autores a bacia hidrográfica é entendida como célula básica de análise ambiental, permitindo “conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem” (BOTELHO; SILVA, 2004, p.153). Ainda de acordo com os autores, ao

distinguirmos o estado dos elementos que compõem o sistema hidrológico e os processos a eles relacionados, somos capazes de avaliar o equilíbrio do sistema ou ainda a qualidade ambiental nele existente.

A bacia hidrográfica deve ser compreendida considerando os elementos urbanos que dela fazem parte, como por exemplo as indústrias, as comunidades, as ruas asfaltadas e os lixões. Nesse sentido, a bacia hidrográfica também pode ser definida como o “palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural” (YASSUDA, 1993, p.08).

A crescente demanda pelo uso dos recursos ambientais nos últimos anos, associada ao crescimento da população e aumento do Produto Interno Bruto (PIB), traz preocupações com a quantidade e qualidade destes recursos. Sendo a água essencial à vida humana, as legislações, sobretudo na esfera federal, vêm regulamentando o uso dos recursos hídricos e se utilizando da unidade bacia hidrográfica como limite territorial de aplicabilidade da Lei. No Brasil, a partir de 1997, através da Lei 9.433, foi estabelecida a gestão por bacias hidrográficas em todo o território nacional, por meio da criação do Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica (PNMH). A partir de então, a bacia hidrográfica passou a ser a unidade territorial para a implantação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, da gestão compartilhada dos recursos hídricos e de planejamento conservacionista, ecológico, de uso do solo e planejamento ambiental (BOTELHO, 2010).

### 2.3 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS

A Geomorfologia tem importante contribuição na abordagem de sistemas ambientais face às intervenções antrópicas. No que se refere às bacias hidrográficas, a análise geomorfológica é essencial para se compreender a diversidade topográfica correspondente às diversas subzonas da bacia e os estudos morfométricos, oferecendo vários tipos de indicadores que podem ser usados para avaliar o comportamento hidrológico (CHRISTOFOLETTI, 2012, p.427). A bacia hidrográfica é uma unidade integradora dos setores naturais e sociais, reveladora de impactos ambientais que na área de drenagem ocorrem. Conforme Cunha e Guerra:

As bacias hidrográficas contíguas, de qualquer hierarquia, estão interligadas pelos divisores topográficos, formando uma rede onde cada uma delas drena água, material sólido e dissolvido para uma saída comum ou ponto terminal, que pode ser outro rio de hierarquia igual ou superior, lago, reservatório ou oceano (GUERRA; CUNHA, 2010, p.353).

Inseridas no contexto hidrológico natural, as atividades humanas podem gerar materiais sólidos ou dissolvidos que, de acordo com o dinamismo geomorfológico, irão refletir nos corpos líquidos superficiais por meio do mecanismo de transporte com posterior deposição. As bacias hidrográficas integram o comportamento conjunto das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas e, através de mudanças significativas em qualquer dessas unidades, pode gerar alterações, efeitos ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída como descarga, cargas sólidas e dissolvidas (GUERRA; CUNHA, 2010).

Uma base sólida de conhecimento sobre a dinâmica geomorfológica atual é importante nos estudos ambientais. Depósitos superficiais e subsuperficiais em áreas de planícies de inundação podem preservar testemunhos dos processos que ocorrem à montante da bacia hidrográfica, revelando importantes assinaturas das atividades antrópicas desenvolvidas. De acordo com Moura (2012, p.355) é imprescindível a utilização de uma perspectiva integrada que busque associar os materiais deposicionais (Estratigrafia) às diferentes formas de relevo (Geomorfologia) e aos diversos tipos de solos desenvolvidos nestes materiais (Pedologia), bem como o seu conteúdo polínico (Palinologia).

Conforme Moura (2012), o primeiro nível de intervenção está na esfera da cobertura vegetal e no uso da terra, através da retirada da cobertura vegetal. O segundo nível de intervenção ocorre através da criação de nova morfologia, ligada à mineração e ao meio urbano. Nessa fase são elaborados grandes cortes e/ou aterros no terreno para instalação do sistema viário e posterior instalação das construções. Durante a instalação dessas construções, os materiais superficiais são modificados através de uma nova distribuição, de uma nova estruturação dos depósitos e de uma modificação na resistência dos agregados. A autora reforça essas etapas quando cita Peloggia (1998), no qual este afirma que a ação humana sobre a natureza tem consequências em três níveis: na modificação do relevo, na alteração da dinâmica geomorfológica e na criação de depósitos correlativos comparáveis aos do Quaternário (os depósitos tecnogênicos) devido a um conjunto de ações denominada tecnogênese (MOURA, 2012).

A ação antropogênica sobre o meio natural por meio da técnica promoveu inúmeras alterações que, somadas às condutas negligenciadas sobre a dinâmica ambiental após alterações, acabaram comprometendo os processos responsáveis pelo equilíbrio dos sistemas físicos. Os depósitos residuais instáveis gerados por

atividades humanas podem se somar aos sedimentos que são naturalmente transportados pela calha fluvial. Os processos sedimentares que atuam dentro e fora de um canal fluvial são fundamentais, tanto na caracterização das fácies fluviais quanto dos tipos básicos de sistemas deposicionais fluviais (SUGUIO; BIGARELLA, 1990, p.84).

Suguió e Bigarella (1990) entendem que há duas formas de aumento de material depositado nas bordas do rio: a acreção vertical e a lateral. A acreção vertical contribui para o espessamento da planície de inundação pela deposição de carga em suspensão durante as cheias. Enquanto os depósitos de acreção lateral resultam da migração do canal e redistribuição dos sedimentos disponíveis (SUGUIO; BIGARELLA, 1990, p.91). De acordo com a lógica natural de funcionamento dos sistemas nos ambientes sedimentares, as atividades antrópicas podem interferir direta ou indiretamente nestes por meio das diferentes formas de uso da terra, principalmente quando geram materiais residuais, que por sua vez são transferidos aos corpos líquidos superficiais.

Frequentemente assume-se que a Geomorfologia se dedica ao estudo das formas, dos materiais e dos processos da superfície terrestre, tomados em suas múltiplas escalas espaço-temporais e em suas relações espaciais tridimensionais (RODRIGUES; GOUVEIA, 2013). A acreção de materiais sedimentares, tanto no leito como nas planícies, obedece a lógica dos processos naturais de evolução do relevo onde a rede de drenagem atua com total importância como agente de transporte. A sequência natural esperada, que envolve desde o intemperismo e erosão até a deposição final, ganha dinamismo quando passa a receber a contribuição do fator antrópico atuando como produtor e consumidor de espaços, deixando marcas de sua maneira de vida na indução de ambientes. Nesse sentido, o estudo dos depósitos, entendidos como produtos de processos geomorfológicos, passa a ser promissor por conter importantes assinaturas das marcas do fator antrópico na construção de ambientes, e uma importante conexão entre formas de relevo e estudos de caráter ambiental.

## 2.4 DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS

Os depósitos tecnogênicos podem ser categorizados como uma classe de formação superficial criada devido à ação geológica da humanidade, conceito original

de Chemekov (1983). De acordo com o autor, os depósitos tecnogênicos são resultado da atividade humana, com os processos de transporte e sedimentação independentes do clima e da tectônica, possuindo composição variada e ampla faixa de espessura. Para Chemekov (1983), estes depósitos podem ser classificados de acordo com a gênese, composição e morfologia, sendo subaérea, subaquática e subterrânea.

No Brasil, Oliveira (1990) diferencia os depósitos tecnogênicos em três tipos principais: os depósitos acumulados resultantes da ação humana direta; os depósitos modificados caracterizados por serem naturais, porém transformados por ação humana, e; depósitos induzidos, provenientes de processos naturais modificados, como a erosão acelerada (OLIVEIRA, 1990).

Essa perspectiva permite trabalhar com uma nova época geológica, conhecida como Antropógeno ou Tecnógeno (TER STERPANIAN, 1988). O termo Antropoceno sugere que a Terra já deixou sua época geológica recente, referente ao último estado interglacial chamado Holoceno. No Antropoceno a ação do ser humano na litosfera influencia os processos geológicos, geomorfológicos e cria novas coberturas pedológicas, interferindo diretamente nos processos naturais, acelerando processos erosivos e entulhando canais fluviais, gerando processos geomorfológicos que passam, dessa forma, a desprender mais sedimentos e carrear materiais de origem antrópica até os compartimentos geomorfológicos de menor declividade, sendo estes as planícies aluviais ou baixas vertentes. De acordo com Peloggia (1995), a capacidade do homem de modificar a natureza é cada vez mais intensa:

[...] o homem é um agente especificamente geológico na medida em que as consequências de suas atividades (sua ação sobre a natureza, ação ativa e mediatizada pelo trabalho) são comparáveis qualitativamente e quantitativamente significativas em relação a processos naturais e, ainda mais, quando os efeitos produzidos materializam-se em marcos estratigráficos (PELOGGIA, 1995, p.108).

Conforme Peloggia (1999), as transformações na paisagem e modificação de ambientes por meio das intervenções humanas ocorrem num curto espaço de tempo, denominado tempo histórico, e em escala localizada em detrimento da escala regional. O autor menciona o termo tecnogênico-aluvial, proposto por Osovetskit (1996), quando se refere à composição dos materiais induzidos, devendo haver uma distinção entre aqueles em que a ação humana se deu somente nos processos

(erosão, transporte e deposição), sendo o material constituinte de origem natural, e aqueles em que o próprio material constituinte é tecnogênico (fragmentos metálicos, de vidro, de poeira, detritos industriais, de construção etc.), porém misturados à partículas naturais líticas, cuja proporção relativa depende também da distância da fonte dos componentes tecnogênicos e da pujança fluvial (PELOGGIA, 1999). O autor elaborou uma classificação para os depósitos resultantes do trabalho humano como construídos (aterros), induzidos (assoreamento) e modificados (depósitos naturais alterados tecnogenicamente).

Peloggia (1998) explica que a expressão Antropógeno vem sendo usada por alguns autores soviéticos, em substituição ao termo Quaternário, para indicar o período geológico mais recente marcado pela evolução do Homem. Eventos antropogênicos seriam associados ao período de sua ocorrência, podendo ou não estar associado às atividades humanas. Ao definir as atividades de origem humana seria mais conveniente utilizar o termo tecnogênico. Assim, para o autor, todo evento tecnogênico (origem) seria antropogênico (período), mas nem todo evento antropogênico seria tecnogênico.

Para Whiteread (2014), o estudo do Antropoceno parece exigir uma mudança nas formas em que estudamos as transformações ambientais. Diante a capacidade do ser humano de intervir nas dinâmicas naturais, capaz de provocar um ritmo acelerado na transformação das paisagens, o “tempo que faz” (SUERTEGARAY, 2017) e a escala local surgem com importância nos estudos ambientais. Os processos morfodinâmicos que atuam sobre a superfície em compasso acelerado ou, em outras palavras, em um tempo histórico, resultam em recortes espaciais variados que marcam e demonstram a forma como o fator antrópico produz, consome e transforma a superfície terrestre em escala primordialmente local, induzindo à modificação de processos naturais através do uso e ocupação da terra.

## 2.5 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O solo é compreendido “como uma delgada camada mais superficial da litosfera, sendo responsável pela maior parte das formas de vida em nosso planeta, constituindo ainda matéria-prima para a produção de muitos bens e suporte para a construção de objetos urbanos” (TORRADO et al., 2005, p.146).

A cobertura vegetal é um fator importante na análise de uso e ocupação da terra, pois restringe o escoamento superficial, diminui as taxas de erosão e impermeabilização. As florestas protegem os solos contra o impacto direto das gotas de chuva, além do que a presença do húmus, produzido pelos decompositores, proporciona maior estabilidade dos agregados, sob essas condições, evitando os efeitos da erosão acelerada (GUERRA; MENDONÇA, 2004, p.235). A figura 02, elaborada por Ross (1994), demonstra uma classificação de acordo com a importância da cobertura vegetal na proteção dos solos.

Figura 02 - Graus de proteção associado à cobertura vegetal.

Graus de proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
1. - Muito Alta	Florestas/ matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade
2. - Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capocira densa). Mata homogênea de pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau.
3. - Média	Cultivos de ciclo longo em curvas de nível /terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas
4. - Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja) com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto ( arroz, feijão, soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível/terraceamento
5. - Muito baixa	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/ gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas

Fonte: ROSS (1994).

Nir (1983) apud Rodrigues e Gouveia (2013) propõe a análise de cada uma das modalidades de intervenção antrópica na paisagem, invertendo, em parte, o raciocínio dos efeitos das ações antrópicas nos processos geomorfológicos, considerando-se a própria dinâmica da intervenção, detalhando-se modalidades de manejo agrícola, edificações e construção de sistema viário, dentre outros fatores. Rodrigues e Gouveia (2013) citam Goudie (1993; 1994; 2006), chamando a atenção para a necessidade de reconhecer os efeitos diretos e indiretos das ações humanas em sistemas geomorfológicos, em especial nos sistemas fluviais, pois estaríamos numa nova era de influência antropogênica, em que esses sistemas teriam respostas ou reações geomorfológicas potencialmente discerníveis quanto aos inputs antrópicos ou às

mudanças climáticas. Rodrigues e Gouveia (2013) destacam, também, a abordagem em Geomorfologia voltando-se a sistemas fluviais do meio tropical úmido – bacias hidrográficas, vertentes, remansos de reservatório, canais fluviais e planícies de inundação meândricas - nas avaliações de riscos, onde foram consideradas intervenções antrópicas da urbanização e, depois, da mineração, pastagem, sistema viário e hidrelétrico.

De acordo com Lambin e Geist (2006), mudanças locais no uso e cobertura da terra são tão significativas que, quando agregados globalmente, podem afetar significativamente aspectos centrais do funcionamento do Sistema Terrestre e funções de suporte à vida e meios de subsistência humanos. De acordo com os autores, é de suma importância compreender as transições de uso da terra e as taxas de expansão nas diferentes localidades controladas por fatores econômicos para identificar a escala espacial dos impactos. (LAMBIN; GEIST, 2006, p.71).

Ainda conforme Lambin e Geist (2006), a troca de bens e serviços extraídos por seres humanos através de práticas de uso da terra tem implicações nos ecossistemas e podem ser observados em níveis como a) a retirada da cobertura vegetal nativa compreendida entre florestas, pastagens e zonas úmidas; b) a escolha do sistema de produção a ser implantada; e c) a maneira como o sistema de produção é gerido no terreno e na paisagem, e como os impactos, positivos e negativos, são distribuídos entre as partes interessadas com sua implicação em aspectos socioeconômicos. Os autores entendem que para avaliar a resistência e resiliência do sistema são necessários dados que podem indicar vulnerabilidades de pessoas e ecossistemas, tais como mudanças climáticas, econômicas e conflitos sociais.

Considerando-se a ampla atuação do fator antrópico sobre a superfície terrestre, as componentes físicas-naturais do solo sofrem com os processos gerados através das diversas intervenções humanas e, com isso, o manto de alteração superficial da litosfera passa a conter novos materiais oriundos da tecnificação da sociedade, manifestada espacialmente nos diferentes usos e ocupações da terra.

Geralmente, a dinâmica do uso da terra é impulsionada por fatores ou processos que funcionam de forma gradual e fatores que ocorrem intermitentemente, sendo estes fatores biofísicos ou antropogênicos em diferentes escalas espaciais e temporais (LAMBIN; GEIST, 2013). Os autores, com base em comparações entre estudos de caso em literaturas sobre mudanças no uso e na cobertura da terra, entendem que há causas imediatas ou diretas, normalmente a nível local, que abrange

ação física na cobertura como agricultura, silvicultura ou infraestrutura, e as causas subjacentes que envolvem operações associadas e complexas de forças causais no âmbito político, econômico, demográfico, tecnológico, cultural e variáveis biofísicas, podendo ser as forças motrizes desencadeadoras destes processos locais ou globais.

Lambin e Geist (2013) citam o fator socioeconômico como mediador de mudança no uso da terra como exemplos de gênero, afiliação étnica, status de classe e arranjos institucionais que regulam o acesso à terra como propriedade privada ou uso em comunidades, podendo compreender fatores biofísicos que condicionam o uso da terra às propriedades físicas como solo, clima, hidrologia, flora e fauna, atribuindo exigências legais ao uso (LAMBIN; GEIST, 2013, p.44). Os autores observam, através de estudos de caso, que a atividade econômica global aumentou quase sete vezes entre 1950 e 2000 enquanto a população mundial dobrou, aumentando a demanda por bens ecossistêmicos e serviços, e que também as mudanças de uso da terra resultam das respostas individuais e sociais às condições econômicas, mediadas por fatores institucionais.

## CAPÍTULO III

### 3. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS

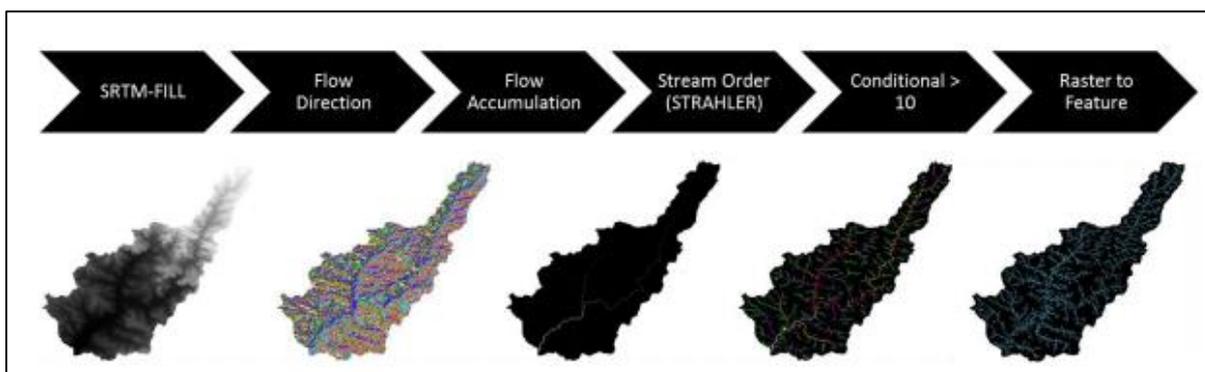
Os procedimentos para se chegar aos resultados da pesquisa na área de estudo foram orientados pelas etapas de elaboração de mapas, atividades de campo e análises em laboratório de sedimentologia, descritos a seguir:

#### 3.1 CONFECÇÃO DE MAPAS DA ÁREA DE ESTUDO

##### 3.1.1 Localização

Para efetuar o mapeamento, inicialmente foi delimitada a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, utilizando os dados altimétricos do projeto Topodata. A extração da bacia foi elaborada no software ArcGis 10.3 a partir dos comandos abaixo (Figura 03), finalizando com o comando de criação da bacia.

Figura 03 - Ordem de comandos para extração da bacia hidrográfica.



Fonte: OLIVEIRA (2015).

A partir da delimitação da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia com área de 129,7 km<sup>2</sup> foram elaborados os mapas Geológico, Pedológico, Modelo Digital de Elevação, de Declividade e o mapa de Uso e Ocupação da Terra, conforme os seguintes procedimentos:

##### 3.1.2 Geologia e pedologia

Os mapas de Solos e Geologia foram efetuados com o objetivo de auxiliar na caracterização física da área de estudo, demonstrando a proveniência dos sedimentos

coletados em campo. Para se chegar ao produto cartográfico, foram utilizadas as seguintes bases:

- Geologia: Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul – CPRM (2008) em Escala 1:750.000.
- Solos: Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul (1973) e Mapa de Solos do Rio Grande do Sul – Streck et al. (2008) em Escala 1:750.000.

### 3.1.3 Hipsometria

Os dados topográficos fornecem variáveis importantes e frequentemente solicitadas nas análises ambientais e nos empreendimentos de engenharia com base em diversidades morfométricas estreitamente ligadas a feições geométricas da superfície em análise, conforme Valeriano (2008). O autor destaca em seus estudos a importância das curvas de nível como fonte de dados na elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), consistindo essencialmente na digitalização dos dados topográficos e sua posterior interpolação considerando as variáveis x, y (posição) e z (valor variável da cota). O projeto Topodata oferece livre acesso a variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para todo o território nacional. Os dados são refinados da resolução espacial original e aplicados de acordo com o interesse da pesquisa (VALERIANO, 2008). A escala escolhida para representar a presente pesquisa foi 1:100.000 por entender que atende aos objetivos desta etapa, identificando setores propícios a inundações e/ou alagamentos.

O mapa do Modelo Digital de Elevação da Bacia do Arroio Sapucaia foi elaborado a partir da extração de dados altimétricos da bacia das folhas 29S51 e 29S525 com a finalidade de identificar as baixas altitudes como possíveis áreas de deposição de sedimentos. A partir da obtenção dos dados altimétricos da bacia foram extraídas as curvas de nível de 5 em 5 metros, utilizando a ferramenta Contour (*Spatial Analyst Tools>Surface>Contour*). De posse das curvas de nível, o Modelo Digital de Elevação foi elaborado com a utilização da ferramenta TIN (*3D Analyst Tools>Data Management>TIN>Create TIN*). Os dados do Modelo Digital de Elevação foram categorizados de acordo com a tabela abaixo:

Quadro 01 - Modelo Digital de Elevação.

Altitudes
0m – 30m
31m – 60m
61m – 90m
91m – 200 m
201m – 340m

Fonte: Elaboração própria (2018).

### 3.1.4 Declividade

Cartografia que objetiva a identificação de áreas planas, instrumento auxiliar ao mapa hipsométrico, permitindo relacionar os locais de baixas altitudes com baixa declividade. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), ocorrem seis classes de declividade no relevo brasileiro, com os seguintes intervalos percentuais (%): 0-3, 3-8, 8-20, 20-45, 45-75 e >75 (EMBRAPA, 1979, p.27). Ross (1994) indica a ocorrência de cinco categorias hierárquicas de declividade: Muito Fraco (<6%), Fraco (6-12%), Médio (12-20%), Forte (20-30%) e Muito Forte (>30%), de acordo com estudos baseados em modelos de fragilidade potencial natural com apoio nas classes de declividade (ROSS, 1994).

O mapa de declividade da bacia hidrográfica do Arroio Sapucaia foi elaborado a partir do download dos dados altimétricos das folhas 29S51 e 29S525 disponibilizados pelo projeto Topodata que refinou os dados SRTM e que foi planejado para suprir mapeamentos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000. Utilizando o software ArcGis 10.3 foi elaborado um mosaico das imagens utilizando o seguinte caminho: *Data Management>Raster>Raster Dataset>Mosaic*. Após a criação de uma única imagem pelo procedimento de mosaico, os dados altimétricos da bacia do Arroio Sapucaia foram extraídos utilizando a ferramenta de *Extract by Mask (Spatial Analyst Tools>Extraction>Extract by Mask)*.

A partir da obtenção dos dados altimétricos da bacia foi elaborado o mapa de declividade no ArcGis, utilizando a ferramenta Slope (*Spatial Analyst Tools>Surface>Slope*). Os dados de declividade foram categorizados de acordo com a classificação de EMBRAPA (1979) e Ross (1994) e estão expressos na tabela abaixo:

Quadro 02 - Dados de declividade.

Classes de declividade	Classificação
0 a 3%	Muito Fraco
3 a 8%	Fraco
8 a 20%	Médio
20 a 45%	Forte
45 a 100%	Muito Forte

Fonte: Elaboração própria (2018).

A elaboração dos mapas topográficos de elevação do terreno e de declividade da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia corroborou com visualização e identificação previa em campo como áreas de transbordamento do leito fluvial, ou seja, os pontos predeterminados como locais de coletas de testemunhos sedimentares indicaram áreas propensas a depósitos de carga fluvial, permitindo sua identificação nos produtos cartográficos. Outro indicador importante na escolha dos pontos corresponde à localização de uma empresa de mineração de rochas basálticas, recurso mineral intensamente explorado em uma bacia hidrográfica composta em sua maioria por estruturas litológicas sedimentares. A locação da mineradora, no contexto da bacia, sugeriu coletar materiais à montante e à jusante da área extrativista, de modo a poder utilizar os grãos de basalto e suas características físicas, angulosos ou arredondados, como parâmetro e dedução da influência da mineração sobre a carga fluvial e, também, sobre o uso da terra.

### 3.1.5 Mapa de Uso e Ocupação da Terra

Com a finalidade de identificar os tipos de cobertura vegetal e as atividades antrópicas na área de estudo, o mapa de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal foi elaborado utilizando os softwares ArcGis 10.3 e Google Earth Pro. No Google Earth Pro foram criados polígonos referentes às classes a serem mapeadas, utilizando imagens do ano de 2018 dos satélites CNES/Astrium com resolução espacial de 1,5 metros, além de imagens provenientes do satélite DigitalGlobe com resolução

espacial de 1 metro. Após a vetorização dos polígonos no Google Earth Pro, eles foram convertidos para o formato shapefile no ArcGis 10.3 para serem analisados. As classes vetorizadas estão listadas na figura 04.

Figura 04 - Classes vetorizadas.



Legenda: (A) Afloramento Rochoso, (B) Aterro, (C) Corpo de Água, (D) Banhado, (E) Campo, (F) Cicatrizes de Mineração, (G) Indústrias/Comércios/Serviços, (H) Lavoura, (I) Vegetação Arbórea, (J) Ocupação Rarafeita, (K) Silvicultura, (L) Solo Exposto, (M) Área urbana consolidada. Ilustrações das classes de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra através de imagens de alta resolução, disponibilizadas pelo CNES/Astrium com resolução espacial de 1,5 metros. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O mapeamento de uso e ocupação da terra atualizado dos 129,7km<sup>2</sup> da área de estudo foi realizado com base em imagens de satélite Google no qual identificou-se diferentes formas de apropriação do espaço. Após visualização prévia das imagens, constatou-se que trabalhar com uma escala cartográfica de 1:100.000 atenderia os objetivos propostos pela pesquisa.

As classes estabelecidas, passíveis de serem observadas em escala 1:100000 foram as seguintes:

- Afloramento Rochoso: exposição rochosa em superfície, localizada principalmente nos interflúvios em altitude acima de 100 metros em cristas, cumes e vertentes de declive acentuado.
- Aterro: locais destinados à decomposição final de resíduos sólidos gerados por ação humana, podendo ser domésticos, comerciais e industriais.
- Banhado: ambientes úmidos com solo mal drenado formando acúmulo de água em uma depressão na superfície.
- Campo: caracterizado pela predominância de vegetação rasteira e constituída de gramíneas.
- Cicatrizes da Mineração: escavações no terreno que formam valas para extração de substâncias minerais normalmente para fins econômicos.
- Corpos de Água: representam retenção de água de modo artificial que se distingue espacialmente de corpos naturais por sua forma e área.
- Indústria/Comércio/Serviços: atividades ligadas à setores urbanos que ocupam grandes áreas como atividades industriais, supermercados, armazéns, depósitos e estacionamentos.
- Lavoura: áreas que englobam terrenos usados para o cultivo agrícola.
- Ocupação Rarefeita: ocupação humana que tem como característica a baixa densidade e predomínio relativo das características naturais na paisagem.
- Silvicultura: áreas do terreno ocupadas para o cultivo de eucaliptos, provavelmente para fins comerciais ou mesmo uso próprio.
- Solo Exposto: áreas com solo desnudo, desprovido de vegetação.
- Vegetação Arbórea: representada por setores onde a vegetação nativa encontra-se preservada, principalmente em altas vertentes e mata ciliar.
- Urbano Consolidado: área com intervenção humana permanente, homogeneizada, onde a cidade está consolidada.

A análise das imagens de satélites que serviram de fundamento para sustentar e produzir, cartograficamente, o uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia identificou treze classes. Em consequência, as classes geradas representam a ocupação humana atual na área de estudo e contribuem na interpretação do fator antrópico no que se refere a possíveis clivagens nos processos naturais e geração de resíduos na rede de drenagem e nos sedimentos fluviais.

## 3.2 COLETA DE MATERIAIS EM CAMPO E SEPARAÇÃO EM LABORATÓRIO

A identificação textural dos sedimentos em superfície ocorreu através da coleta de testemunhos em campo e separação em laboratório das amostras obtidas. Foram utilizados os seguintes materiais: tubos de PVC com 50 centímetros de diâmetro e 120 centímetros de comprimento, braçadeira de percussão, batente de 50 centímetros e materiais fornecidos pelo Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO-UFRGS).

Os referidos objetos foram utilizados em campo com o objetivo de coletar testemunhos de sedimentos superficiais para melhor compreensão das atividades antrópicas na bacia. A etapa de campo foi efetivada com a coleta de seis testemunhos em três pontos distintos que possibilitaram demonstrar o nível das interferências das atividades antrópicas na bacia hidrográfica. A etapa em laboratório permitiu identificar materiais derivados da ação antrópica presos entre camadas sedimentares após eventos deposicionais.

### 3.2.1 Etapa em campo: escolha dos pontos e coleta de testemunhos

Para realizar a pesquisa fez-se, inicialmente, o reconhecimento prévio da área de estudo com auxílio de carta topográfica para, posteriormente, identificar os pontos de coleta de testemunhos em áreas de nascente e, na sequência, a análise em laboratório das amostras. Também foram utilizados os trabalhos de campo para checar as informações de cobertura vegetal e uso da terra e obter os registros fotográficos.

Foram escolhidos três pontos de coleta em diferentes cotas altimétricas e identificados, respectivamente, de jusante à montante, como ponto 1 (P1), ponto 2 (P2) e ponto 3 (P3). Um importante critério de escolha dos pontos foi por ser um setor da bacia hidrográfica composto por densa rede de drenagem, área de nascentes e afetada por atividade mineradora, sendo os dois primeiros locais de coleta situados à jusante da área de extração mineral. A denominação *ponto* é atribuída ao ambiente identificado no espaço e cartografado, conforme escala compatível, como área deposicional em superfície plana; o *testemunho* designa a sondagem no terreno com o cano de PVC mais o material capturado no interior; e a *amostra* corresponde ao material efetivamente coletado e separado em laboratório.

O trabalho começou a ser desenvolvido a partir da observação dos pontos de inundação e/ou alagamentos no arroio Sapucaia e em um de seus afluentes após eventos de grande precipitação, o foi fundamental para orientar a escolha dos pontos de coletas, como ilustrado na figura 05. Os locais observados possuem topografia plana e acumulam grande carga sedimentar, incluindo o lixo (plástico, borracha, vidros etc.) retido pela vegetação. A seguir passou-se à atividade de campo (15/10/2018) com o objetivo de conhecer a friabilidade dos terrenos nos pontos predeterminados à coleta dos testemunhos. Durante este campo foi necessário o uso de ferramentas como uma barra de ferro de 130 cm de comprimento por 5 cm de diâmetro e uma marreta de mão de 1kg. O terreno apresentou pouca resistência à penetração vertical do objeto de ferro, considerando que os testes foram realizados com solo úmido e tempo seco após dois dias seguidos de chuvas. Foram realizadas um total de dez perfurações em cada um dos três pontos escolhidos.

Figura 05 - Transbordamento do arroio após precipitação com grande volume acumulado.



Legenda: O local é próximo ao ponto de coleta número 2 (P2). Fonte: Elaboração própria (2015).

A sequência do trabalho passou à outra atividade de campo (28/10/2018) com a finalidade de coletar as amostras, realizada com tempo seco após chuvas no dia anterior. Na fase de coleta foram utilizados os seguintes materiais: caderneta de campo, mapa para a localização dos pontos, pá-de-corte, serrinha manual, trena, sacos plásticos, caneta marcadora permanente de ponta fina (2mm), canos de PVC

de 50 mm e 125 cm de comprimento com lamelas presas a uma das extremidades, braçadeira de percussão e batente de 50 mm. Os três pontos, de jusante à montante, foram identificados como Ponto 1 (P1), Ponto 2 (P2) e Ponto 3 (P3), sendo coletados duas amostras em cada ponto com a identificação de Testemunho 1 (T1) e Testemunho 2 (T2), como segue: P1T1, P1T2; P2T1, P2T2; P3T1, P3T2.

O ponto 1 está localizado à margem esquerda do arroio Sapucaia e as amostras 1 e 2 foram retiradas respectivamente sob as coordenadas  $29^{\circ}51'5628''\text{S}/51^{\circ}03'1864''\text{O}$  e  $29^{\circ}51'5791''\text{S}/51^{\circ}03'1893''\text{O}$  a uma elevação de 39 metros conforme a carta topográfica e imagens do sistema Google Pro, numa área de topografia plana e mata ciliar muito próxima às margens do arroio (figura 06).

Figura 06 - Características do ambiente no ponto de coleta 1.



Legenda: Fluxo do arroio Sapucaia no sentido leste-oeste sob mata ciliar (imagem maior). Fonte: Elaboração própria (2019).

O T1 foi obtido após ser introduzido no solo a 105 cm com o terreno úmido e lençol subterrâneo próximo à superfície. Após a retirada do cano observou-se um acúmulo de material no interior do cano em torno de 15 cm. O PVC foi serrado a 20 cm, o material no interior isolado e identificado topo e base. O PVC correspondente ao T2 foi igualmente penetrado a 105 cm de profundidade, porém sem a constatação de água próxima à superfície (figura 07). Após a retirada do testemunho, observou-se um acúmulo de 25 cm de material em seu interior. Na sequência o PVC foi serrado a 30 cm de base ao topo e os sedimentos no interior isolados.

Figura 07 - Testemunho introduzido no terreno no ponto 1 (P1T2).

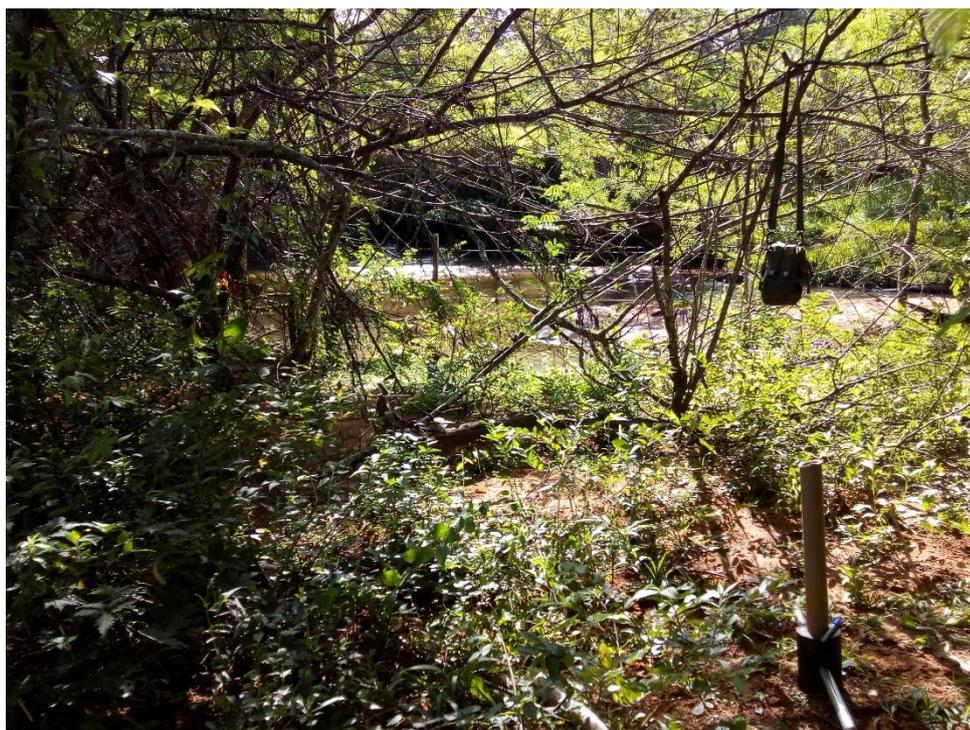


Fonte: Elaboração própria (2018).

O ponto 2 está localizado próximo ao arroio Santa Tecla, afluente da margem direita do arroio Sapucaia e que passa próximo a uma área mineradora. Os dois testemunhos, 1 e 2, foram coletados próximos, ambos na margem direita junto ao leito de cheia do córrego, respectivamente sob as coordenadas

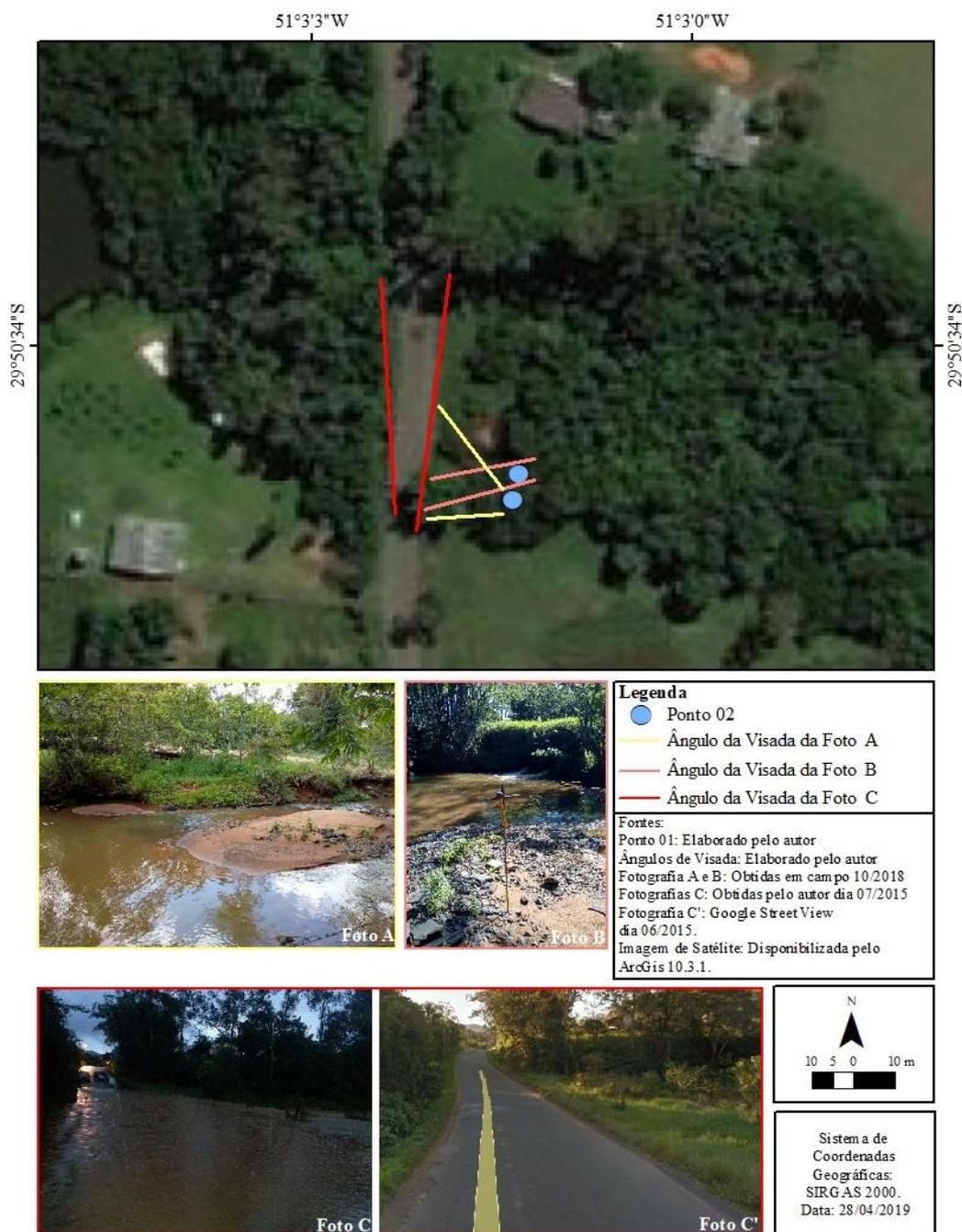
29°50'3505"S/51°03'0141"O e 29°50'3483"S/51°03'0136"O a uma elevação de 50 metros em uma área de deposição com terreno plano e superfície arenosa e vegetada, conforme figura 08. O leito do arroio no referido ponto apresenta grande carga sedimentar expressa em materiais arenosos, fragmentos rochosos e restos vegetais e configura um ponto de alagamento da estrada quando ocorrem chuvas intensas (figura 09). No T1 o PVC foi introduzido 105 cm e o material em seu interior ficou acumulado numa coluna de 55 cm, serrado a 60 cm e devidamente identificado topo e base, o material interno isolado nas extremidades com sacolas plásticas e isopor. A testemunhagem número 2, mais próxima à margem, foi obtida após ser penetrada a 110 cm e, após a sua retirada do solo, identificou-se um acúmulo sedimentar no interior em torno de 45 cm. O cano foi serrado a 50 cm, identificado topo e base e o material interior isolado.

Figura 08 - Superfície plana, arenosa e vegetada no ponto de coleta 2.



Fonte: Elaboração própria (2018).

Figura 09 - Características do ambiente no ponto de coleta 2.

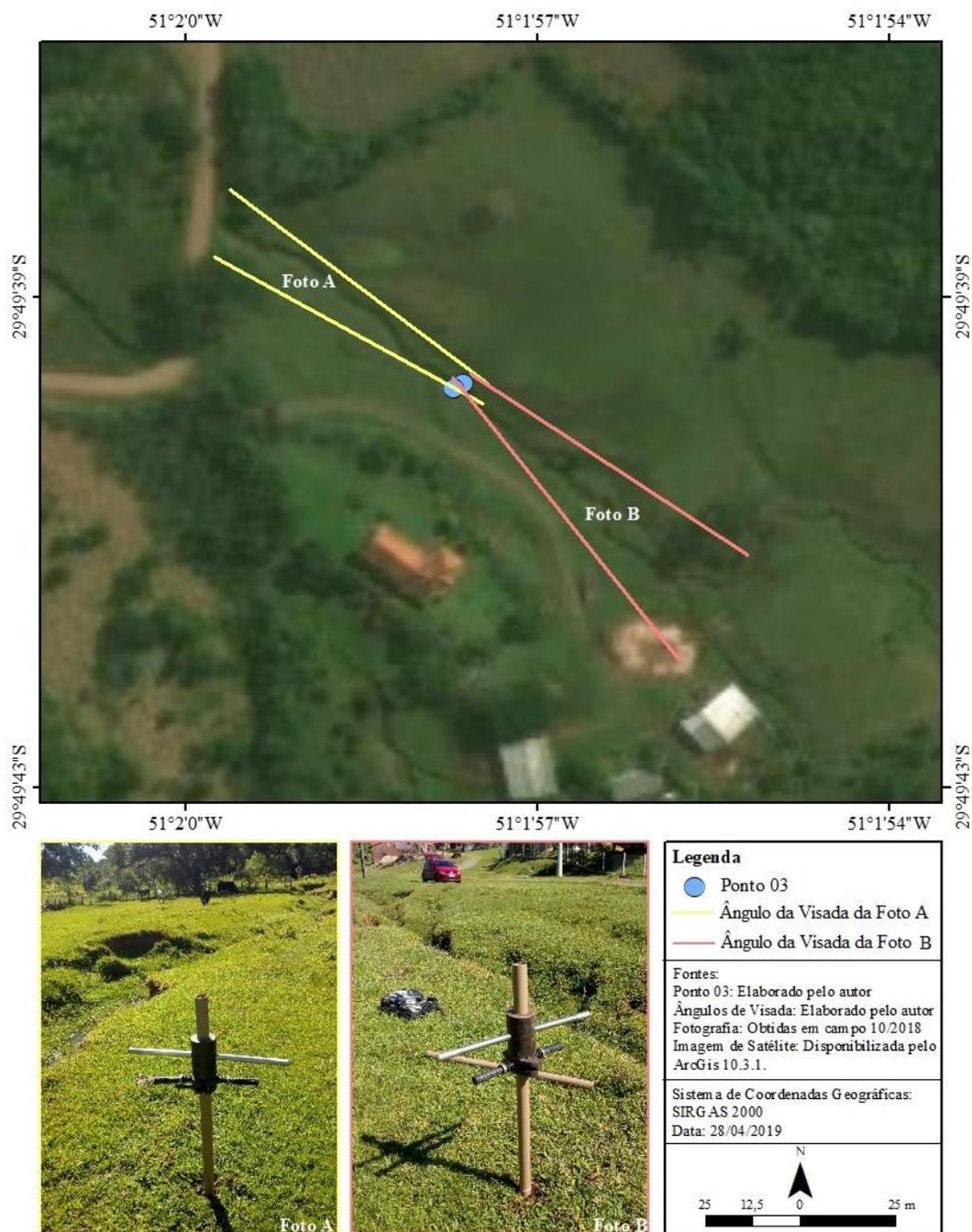


Legenda: Fluxo do arroio Santa Tecla no sentido oeste-leste sob mata ciliar (imagem maior). Fonte: Elaboração própria (2019).

Os testemunhos correspondentes ao ponto 3 foram obtidos no terreno em 15/11/2018 com tempo seco após chuvas no dia anterior. O local fica próximo à nascente do arroio Santa Tecla, numa propriedade rural de cultivo de cana-de-açúcar destinada à produção de cachaça artesanal, além de criação de gado bovino. O estabelecimento, segundo os proprietários, data do ano de 1890. Os testemunhos

números 1 e 2 foram captados em margens opostas do arroio conforme as coordenadas  $29^{\circ}49'3970''\text{S}/51^{\circ}01'5763''\text{O}$  (T1) na margem direita e  $29^{\circ}49'3980''\text{S}/51^{\circ}01'5785''\text{O}$  (T2) na margem esquerda, lado onde se localiza a residência dos proprietários, a uma altitude de 79 metros e composto por vegetação rasteira de gramíneas (figura 10). A primeira amostragem foi obtida com o cano introduzido 100 cm de profundidade. Após a retirada, mediu-se o acúmulo de 30 cm de material no interior do PVC, serrado a 35 cm com identificação de topo e base. O testemunho número 2 foi obtido após ser introduzido no solo a 100 cm onde as primeiras tentativas de penetração apresentaram maior resistência à perfuração. Após retirada do cano, identificou-se acúmulo de 43 cm de material no interior, com as extremidades isoladas com isopor e sacolas plásticas, identificação de topo e base e PVC cerrado a 49 cm.

Figura 10 -Testemunho introduzido no terreno no ponto de coleta 3.

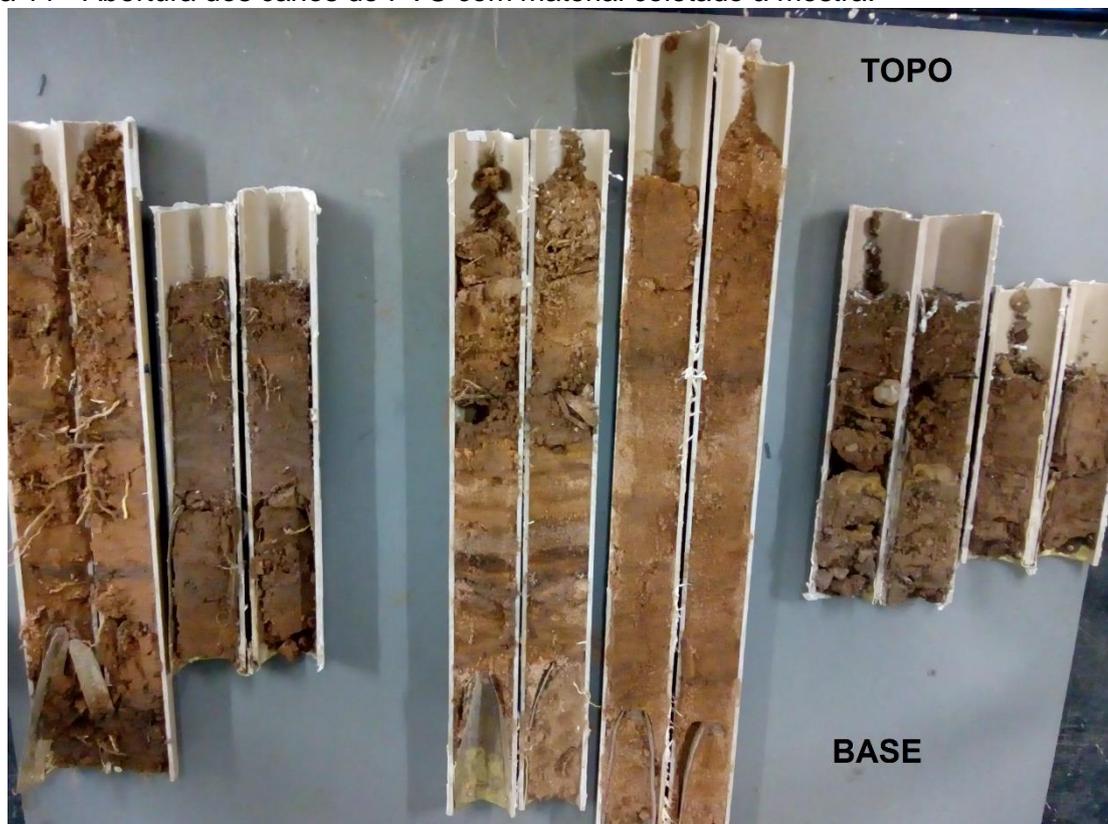


Legenda: Testemunho referente ao ponto 3 localizado no interior de uma propriedade rural, e o canal do arroio Santa Tecla com fluxo da direita para a esquerda (sentido sudeste-noroeste) na imagem maior. Fonte: Elaboração própria (2018).

### 3.2.2 Etapa em laboratório: separação das amostras

A sequência do trabalho foi desenvolvida em laboratório especializado nas dependências do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica/Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO/UFRGS). Os testemunhos foram abertos sob supervisão técnica, com realização de descrição visual prévia dos acamamentos e fácies deposicionais, bem evidentes, demonstrados na figura 11, para após serem encaminhadas para análise granulométrica em laboratório. As sequências deposicionais registradas nos testemunhos foram separadas para análise sendo respeitados os limites entre uma fase de deposição e outra demonstradas nas colunas entre topo e base. A cada fase deposicional foi atribuída a nomenclatura Amostra (A) com o topo sempre identificado como primeira amostra (A1). O primeiro testemunho coletado no ponto 1 (P1T1) foi descartado por apresentar quantidade representativamente insuficiente para análise, uma vez que pouco material foi acumulado em coluna sedimentar e textura uniforme, aparentemente lamosa.

Figura 11 - Abertura dos canos de PVC com material coletado à mostra.



Legenda: Canos de PVC abertos contendo o material (amostras) coletado em campo e as diferentes fases deposicionais. No sentido da direita para esquerda estão os respectivos pontos 1, 2 e 3 e as duas amostragens de cada ponto. Fonte: Elaboração própria (2018).

Os materiais considerados para análise foram assim identificados conforme sequência topo-base: P1T2 com 25 cm de material acumulado e subdividido em topo (A1), meio (A2), base (A3); P2T1 com 50 cm acumulados e subdividido em topo (A1), meio (A2), base (A3); P2T2 com 47 cm de acumulação subdividida em topo (A1), topo abaixo (A2), base meio (A3), base (A4); P3T1 com coluna de 30 cm estratificados em topo (A1) e base (A2); P3T2 com coluna sedimentar de 41 cm dividida em topo (A1), meio (A2), base (A3). Foi acrescentada a nomenclatura Amostra (A) na identificação dos materiais separados em copos de Becker para serem submetidos a secagem em estufa com 50°C durante vinte e quatro horas. Após a secagem os materiais foram desagregados com pilão em vasilhame (figura 12). Durante esta etapa foram observados materiais possivelmente tecnogênicos entre grãos de quartzo e fragmentos de basalto, encaminhados para observação no microscópio com os seguintes itens identificados:

- P2T1A2 (meio): observado um objeto semelhante a um caco de vidro sem algo semelhante no restante da amostra;
- P2T2A1 (topo): fragmento de embalagem plástica com escritas preservadas (figura 13);
- P3T1A2 (base): possível fragmentos de carvão vegetal identificado quando friccionado contra a superfície de papel branco, contudo requer exame de Espectroscopia de Reflectância (ER) para determinar as propriedades do material;
- P3T2A1 (topo) e P3T2A2 (meio): fragmentos de possível carvão vegetal e pequenas raízes dissecadas.

Figura 12 - Amostras foram desagregadas após secagem em estufa.



Fonte: Elaboração própria (2018).

Figura 13 - Materiais tecnogênicos encontrados em P2T2A1 (topo) após secagem em estufa.



Fonte: Elaboração própria (2018).

Posteriormente foram separadas três porções representativas de cada item dos copos de Becker, colocadas em um copo metálico para serem pesadas na balança de precisão como peso inicial de amostra na ficha granulométrica e então voltarem ao copo original. As amostras em questão, após todas serem devidamente pesadas e identificadas em suas respectivas fichas, foram embebidas em água destilada para repousarem por quarenta e oito horas.

Para análise granulométrica das amostras foi utilizado o Método de Stokes, obtendo-se o percentual de finos de cada uma. Para determinação do tamanho de grão, aplicou-se a Escala de Wentworth por meio de peneiras de 16 mm a 0,062 mm. A partir da análise dos materiais testemunhos foram descritos os aspectos geológicos-geomorfológicos dos depósitos encontrados nas planícies do arroio Sapucaia e em um de seus afluentes. Os materiais embebidos na água destilada foram peneirados em 0,062mm para a separação do tamanho silte/argila da fração mais grossa. Os materiais finos colocados em provetas de decantação de 1.000 ml e identificados com o código da amostra, conforme figura 14. Os materiais grossos voltaram aos copos de

Becker. Algumas amostras apresentaram forte odor fecal após repousarem em água destilada e com isso foram eliminadas, sendo elas: P1T2A1 (topo); P3T1A1 (topo); P3T2A1 (topo).

Figura 14 - Provetas de decantação de 1.000 ml contendo os materiais finos suspensos e copos de Becker com os materiais grossos.



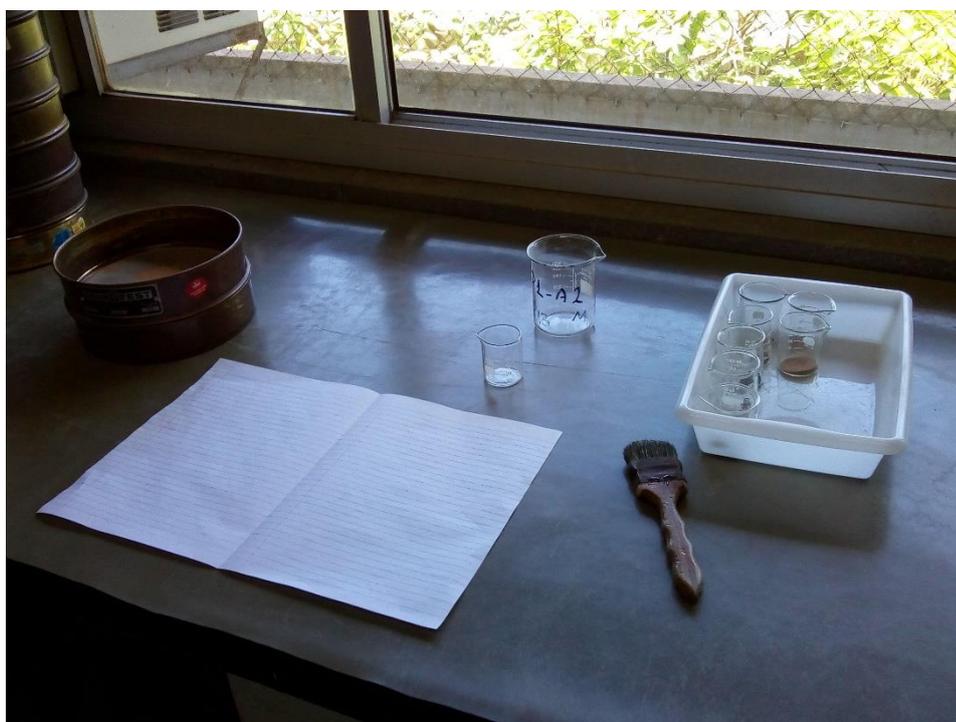
Fonte: Elaboração própria (2018).

Dando sequência à separação de finos, pequenos copos de Becker foram perfilados e identificados conforme o número impresso na respectiva proveta de decantação e pesados vazios na balança de precisão com o valor registrado na ficha granulométrica. Após os volumes serem completados a 1000 ml com água destilada e adição de uma pitada do químico dispersante Pirofosfato de Sódio, o líquido no interior foi agitado e colocado em repouso por duas horas antes de iniciar a pipetagem conforme a Lei de Stokes, que considera diferentes tempos de sedimentação do material suspenso para fracionar silte e argila. No processo de pipetagem foi retirado

20 ml a 10 cm de profundidade e colocado no copo de Becker respectivamente identificado com o objetivo de separar a fração de argila suspensa. Os copos foram levados à secagem em estufa a 60°C durante vinte e quatro horas. O resultado pós-secagem é o material fino assentado no interior do vasilhame para ser pesado e anotado na ficha granulométrica, para então o valor ser subtraído da pesagem inicial do copo vazio, obtendo com isso o peso da fração argila da amostra.

A separação dos materiais grossos como areias e cascalhos, ou seja, aqueles acima da cisão silte e argila, foi realizada após a secagem em estufa. O limite utilizado foi a escala granulométrica de Wentworth que leva em consideração o diâmetro dos fragmentos de sedimentos clásticos, realizável através de peneiramento com intervalo entre 16 mm a 0,062mm (16,00 mm; 8,00 mm; 4,00 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,250 mm; 0,125 mm; 0,062 mm), conforme figura 15.

Figura 15 - Fracionamento conforme diâmetro dos sedimentos clásticos entre cascalho e areia.



Fonte: Elaboração própria (2018).

Após a secagem os materiais foram pesados e identificados na ficha granulométrica como peso inicial de grosseiros, para então serem peneirados e cada fração registrada. Os dados obtidos de finos e grossos foram lançados em software específico que formulou relatório final com as características granulométricas

conforme classificação textural de Shepard, obtendo percentuais de argila, silte, areia e cascalho dos testemunhos coletados em campo de acordo com os pontos escolhidos. Os resultados obtidos contribuíram para levantamentos estatísticos que auxiliaram nas análises e nos resultados.

## CAPÍTULO IV

### 4. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS E AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Para se chegar a resultados satisfatórios em sua proposta de analisar a área de estudo, a presente pesquisa apresenta características geográficas e ambientais através da integração entre conhecimentos relacionados às ciências geológica, geomorfológica e pedológica, no que se refere ao meio físico e aos aspectos populacionais e socioeconômicos que orientam as intervenções antrópicas, construindo diferentes ambientes. As características do meio físico influenciam diretamente os tipos de ocupação e uso da terra existentes na área de estudo. Contudo, é importante salientar que as complexas relações que envolvem a produção e reprodução do espaço geográfico, materializadas no uso da terra, sujeita o meio físico a profundas alterações quando os interesses convergem entre os atores envolvidos.

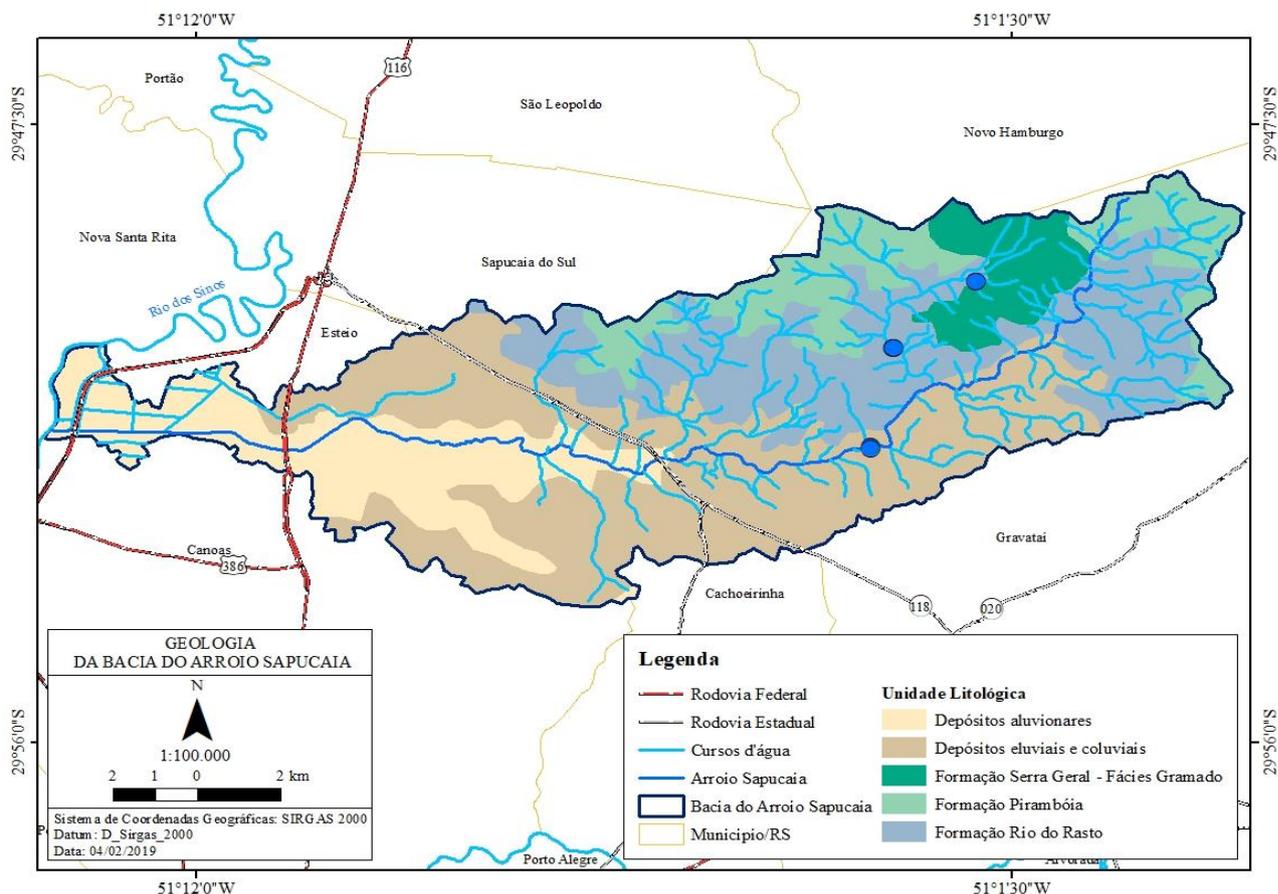
#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA

A unidade geológica da área de estudo corresponde à porção sudeste da Bacia do Paraná, uma estrutura intracratônica desenvolvida sobre crosta continental e que foi sendo preenchida ao longo do tempo geológico por rochas sedimentares e vulcânicas. Para Suertegaray e Moura (2012), a Bacia sedimentar do Paraná é composta por rochas sedimentares e efusivas originadas a partir do predomínio das forças tectônicas quando a ação predominante das forças endógenas forma os elementos morfoestruturais que, para serem interpretados, devem ser analisados a partir dos condicionantes tectônicos-estruturais (MOURA; SUERTEGARAY, 2012). Os elementos morfoestruturais ou Unidades Morfoestruturais (ROSS, 1992) derivam de aspectos geológicos que representam as maiores escalas espaço-temporais relacionados na presente pesquisa, importantes por servirem de subsídio para a análise de uso e ocupação do solo sobre o meio físico, seja por orientarem a ocupação humana conforme o traçado do relevo, seja como fonte de recursos minerais, contribuindo na construção de ambientes.

A Bacia do Paraná, conforme base cartográfica do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2008), é estruturada por litologias de idade Fanerozoica (Paleozoico, Mesozoico e Cenozoico), que vão desde o Permiano Superior ao Cretáceo, originadas

a partir de ambientes marinhos e continentais, eólicos, glaciais, fluviais, lacustres e deltaicos. As litologias que compreendem a área de estudo estão identificadas cartograficamente na figura 16 com dados da CPRM (2008).

Figura 16 - Mapa das formações geológicas na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



Fonte: Elaboração própria (2019).

O mapeamento representado na figura 16 demonstra três unidades litológicas que compõem a morfoestrutura da Bacia do Paraná, sendo elas as formações Rio do Rasto, Pirambóia e Serra Geral, além dos Depósitos elúvio-colúviais e aluvionares recentes. De acordo com dados da CPRM, a formação Rio do Rasto é datada no Permiano Superior, constituída por arenitos finos avermelhados, intercalados em siltitos e argilitos; a formação Triássica Pirambóia ou Santa Maria é composta por siltitos e argilitos vermelhos, arenitos de médio a grossos rosados, finos a médios avermelhados quartzosos; a formação Serra Geral tem sua composição representada por rochas vulcânicas básicas a intermediárias cinza a cinza-escuras, constituindo derrames de basalto a diques de diabásio relacionados ao magmatismo da Bacia do Paraná nos períodos Jurássico-Cretáceo. Os depósitos de leques aluviais

estruturados por depósitos continentais de encostas e leques aluviais constituídos por arenitos e conglomerados fracamente consolidados, areias e argilas de variadas cores entre vermelho, amarelo e cinza, que datam dos Períodos Paleógeno, Neógeno e Quaternário (CPRM, 2006).

As formações geológicas Fanerozoicas, especificamente entre os períodos Permiano e Cretáceo, sustentam as áreas das nascentes na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, conforme mostra o mapa na figura 16. As litologias correspondentes, compostas principalmente por arenitos e rochas vulcânicas, formam reservatórios que são a fonte de uma densa rede de drenagem como hoje se apresenta e, por sua vez, as áreas deposicionais de idade recente sustentam as áreas urbanas consolidadas e homogêneas e mesmo as de ocupação rarefeita na área de estudo.

A área de estudo está situada na região geomorfológica Depressão Periférica do Rio Grande do Sul. A formação inicial da Depressão Periférica é explicada por processos erosivos gerados pelo reordenamento da drenagem após a reativação de zonas de falhas que ocorreram, provavelmente, no médio Jurássico e médio Cretáceo, com a fragmentação do continente de Gondwana (SUERTEGARAY; MOURA, 2012).

No que se refere às características morfogenéticas ligadas a fatores exógenos, a individualização da Depressão Periférica do Rio Grande do Sul é explicada pelo processo erosivo de circunsdenudação, “processo de formação de patamares de erosão, deprimidos e periféricos, que se localizam nas bordas de bacias sedimentares” (AB’SABER, 1949 apud SUERTEGARAY; MOURA, 2012). A unidade morfológica Depressão Periférica no Rio Grande do Sul é compreendida por Ross (1992) e Suertegaray e Moura (2012) sob o conceito taxonômico de morfoescultura, relacionado às feições do relevo produzidas na Terra pela ação dos climas atuais e pretéritos ao longo do tempo geológico na morfoestrutura (SUERTEGARAY; MOURA, 2012).

A área de estudo compreende 129 km<sup>2</sup> de superfície localizados na porção leste da unidade geomorfológica Depressão Periférica do Rio Grande do Sul. O caráter regional, dada sua extensão, permite identificar características específicas de superfície dissecada com base nos níveis metodológicos de abordagens geomorfológicas de Ab’Saber (1969) e unidades morfológicas do terceiro ao quarto níveis taxonômicos de Ross (1992).

Dentro dos limites da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia ocorrem morfologias em superfícies dissecadas, resultando em formas denudacionais como

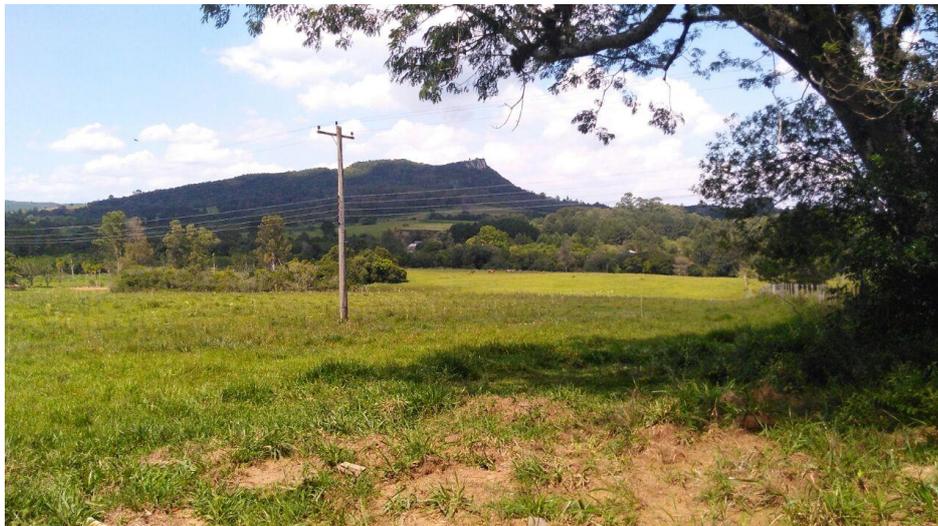
superfícies de feições convexadas em colinas e morros e áreas agradacionais com superfícies planas de acumulação como características das feições atuais, resultado de processos morfogenéticos que ocorreram no passado, conforme terceiro nível taxonômico de Ross (1992) que se refere às Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes. As figuras 17 e 18 ilustram as características das feições atuais no interior da bacia através de fotografias obtidas de um mesmo compartimento em ângulo distintos. A figura 17, na porção esquerda do plano de fundo, mostra uma das feições que caracterizam o interior da bacia hidrográfica, representando os morros testemunhos em formas convexadas, podendo-se observar uma crista de morro onde um dos flancos é abrupto. A figura 18 apresenta, no centro, o mesmo morro sob um ângulo diferente, revelando a estrutura da crista composta por afloramento rochoso e o flanco com caimento abrupto (cuesta).

Figura 17 - Padrão em forma de morros e áreas deprimidas e planas.



Legenda: Padrão em forma de morros ao fundo (norte) e áreas deprimidas e planas em primeiro plano (sul). Fotografia obtida na estrada Dionísio Cardoso de Lima no interior do bairro Costa do Ipiranga, no município de Gravataí, setor sudeste da área de estudo. Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 18 - Predominância de morros isolados ao norte da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



Legenda: Fotografia tomada na estrada Henrique Closs, bairro Santa Tecla, no município de Gravataí.  
Fonte: Elaboração própria (2017).

As figuras 17 e 18 transparecem as características esculturais do relevo sobre estruturas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná, destacando os morros como elementos individualizados da morfologia na área de estudo. Contudo, é importante destacar-se os depósitos de cobertura comandados pelos processos morfogenéticos pretéritos e atuais e que geram formas agradacionais, identificados anteriormente no mapa da figura 16 como depósitos eluviais e coluviais. As formas de agradação também ocorrem nos vales fluviais encaixados sobre unidades litológicas mais antigas conforme mostra a figura 19.

Figura 19 - Depósitos fluviais com formação de barra arenosa em canal assoreado do arroio Santa Tecla.

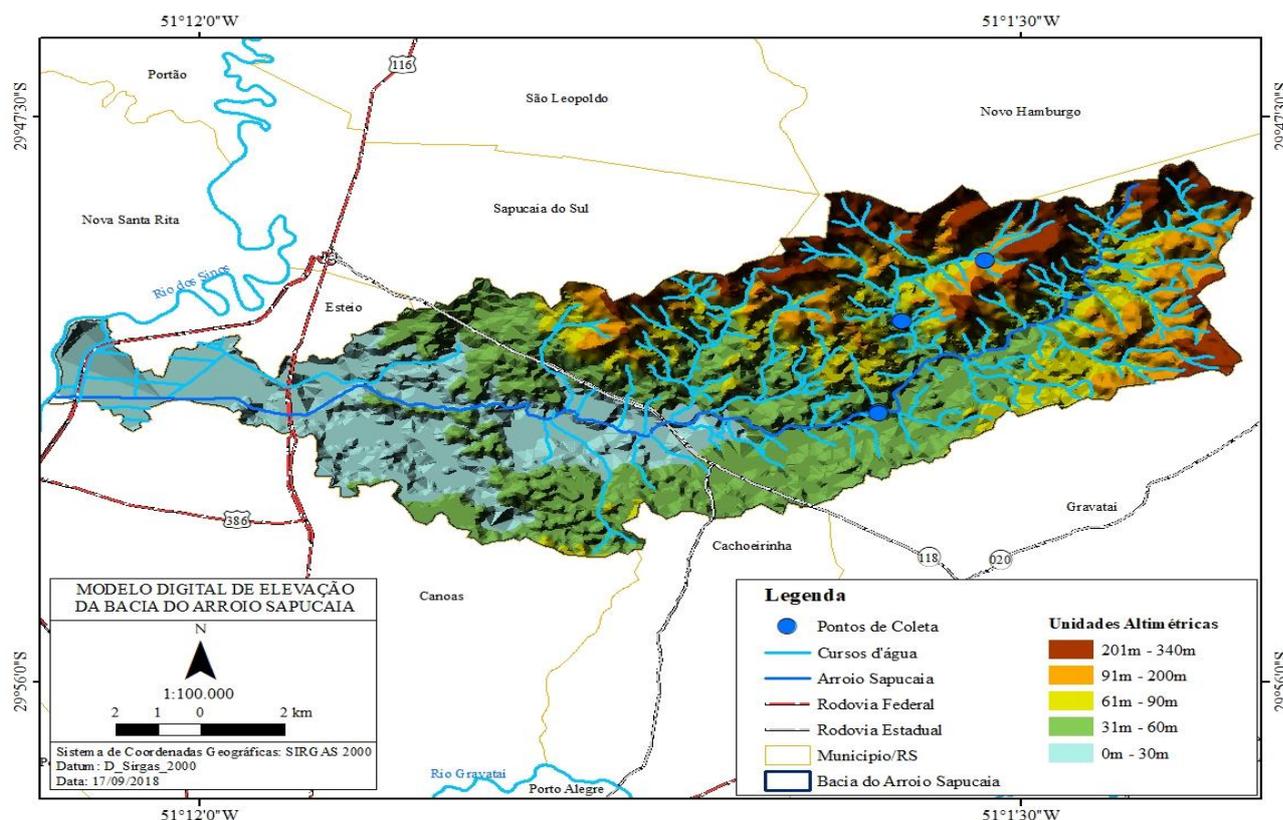


Legenda: Fotografia obtida às margens da estrada Henrique Closs no bairro Santa Tecla, ponto 2 de coleta de material em campo na margem direita do arroio Santa Tecla. Fonte: Elaboração própria (2018).

O setor de curso fluvial mostrado na figura 19 corresponde ao arroio Santa Tecla, afluente da margem direita do arroio Sapucaia. Nota-se o acúmulo de areia no leito e assoreamento do canal, resultante da atuação de múltiplos eventos erosivo e deposicionais. Este curso fluvial percorre as unidades litológicas Serra Geral, Pirambóia e Rio do Rasto.

A compartimentação geomorfológica no presente estudo mostra, por meio do mapa hipsométrico (figura 20), e mapa de declividades (figura 21), as variações topográficas como elementos que direcionam a compreensão do contexto geomorfológico da área de estudo.

Figura 20 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



Fonte: Elaboração própria (2019).

O mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, representado na figura 20, mostra as diferentes altitudes do relevo com intervalo de classes de 30 metros e valores extrapolados nos topos dentro dos limites da bacia de drenagem. A amplitude altimétrica varia entre 0 e 340 metros, destacando-se unidades mais elevadas ao norte e leste, onde originam-se várias ramificações de nascentes em litologias relacionadas às formações Pirambóia e Serra Geral, setores com cotas altimétricas acima de 201 metros.

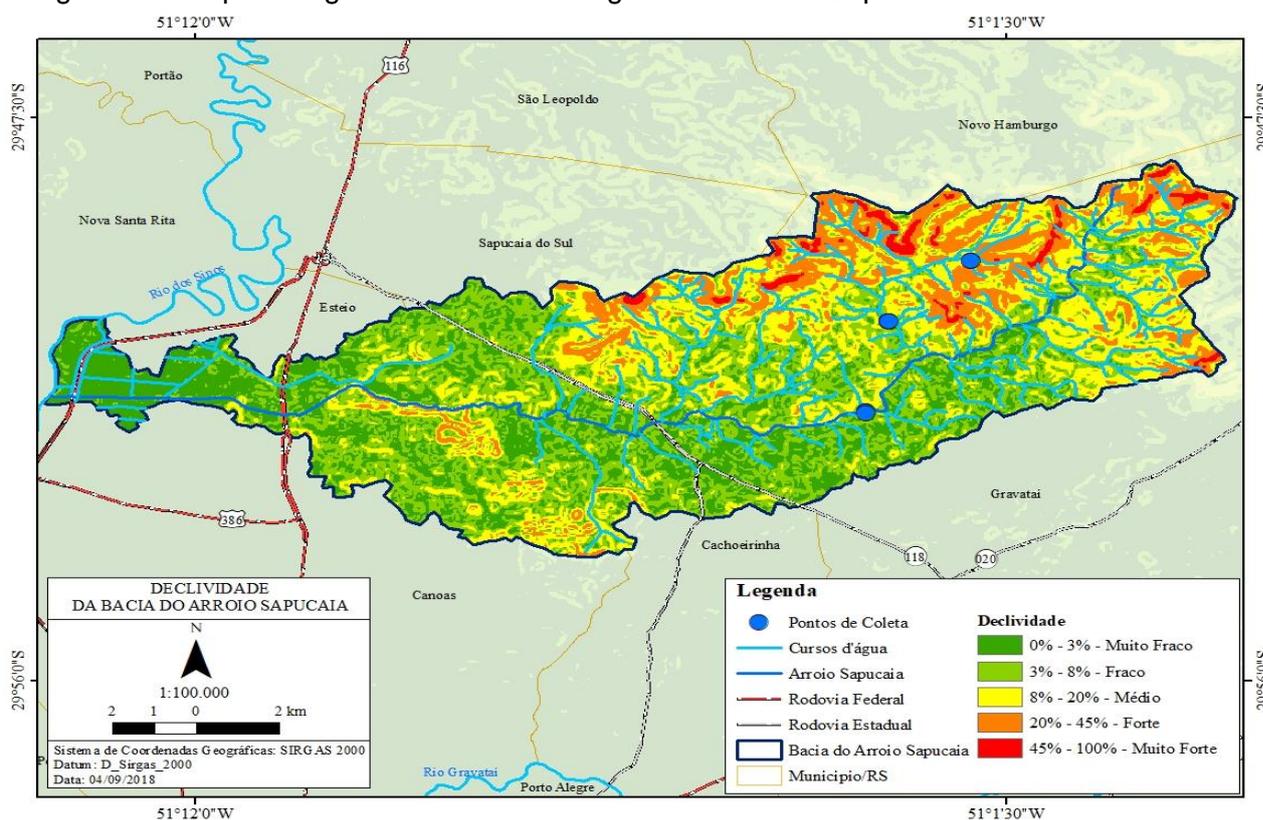
No mapa observa-se também a localização dos três pontos onde foram coletados materiais em campo para posterior análise, situados em setores altimétricos mais baixos, sendo dois pontos mais a sul, assentados sobre as classes compreendidas entre 31 e 60 metros, e um ponto de coleta mais ao norte localizado entre 61 e 90 metros de altitude.

Os pontos mostrados no mapa foram escolhidos por indicarem áreas de deposição de materiais oriundos das áreas elevadas que estão sofrendo processo de erosão dadas as condições úmidas do clima atual com totais anuais acumulados em torno de 1.650 mm nesta região (ROSSATO, 2011). O corpo fluvial principal da bacia,

o arroio Sapucaia, estende seu fluxo sobre classes altimétricas mais baixas, entre 0 e 60 metros, no sentido leste-oeste.

O mapa de declividade da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, na figura 21, mostra a declividade com base nas classes da EMBRAPA (1979) e categorias hierárquicas de Ross (1994). O produto cartográfico em questão auxilia na identificação de áreas planas de deposição em associação ao mapa hipsométrico, revelando os locais de patamares mais baixos em que a baixa declividade influencia a competência das correntes fluviais, podendo gerar alagamentos ou inundações, importante para as análises desenvolvidas na presente pesquisa partindo da ideia que possam sedimentar materiais oriundos de ação antrópica e auxiliar na análise de uso da terra.

Figura 21 - Mapa clinográfico da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Conforme o mapa identificado na figura 21, pode-se observar, de maneira geral, três categorias de declividade dentro dos limites da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, classificados em Fraco, Médio e Forte. Observa-se que grande parte da rede de drenagem está situada em terrenos de fraca declividade, representada nas categorias Muito Fraco a Fraco (0 a 8%), evidenciando correntes fluviais de baixa

energia. Contudo, as superfícies com as maiores declividades (acima de 20%) resguardam as áreas próximas às nascentes ainda que, nestes setores, a extensão do canal fluvial sobre superfícies em declividades fortes seja reduzida. Tomando como referência os pontos de coleta em campo identificados no mapa da figura 21 observa-se o aumento da declividade de sul para norte, onde a cor com tons de verde (0 a 8% de declividade) progride para a cor amarela (8 a 20% de declividade) e, posteriormente, avança de maneira progressiva para o vermelho (acima de 20% de declividade).

A figura 22 mostra as características do ambiente no ponto de coleta mais ao norte (P3), local de coleta de material em campo mais próximo de uma nascente. O ponto em questão está situado sobre declividade média, com valores entre 8 e 20%, talvez por caracterizar um flanco não abrupto (reverso) de cuesta, apresentando drenagem de rio consequente. O local revela afloramentos rochosos que servem de reservatórios às fontes de água.

Figura 22 - Características do ambiente em área de nascentes na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. Legenda: a) afloramento rochoso de arenito em detalhe, b) a água percorre a vertente sobre o arenito, c) logo abaixo o canal entalha uma superfície já pedogeneizada, d) e mais abaixo ocorre erosão das margens e leve amplitude transversal do canal.



Fotografias obtidas na localidade de Quebra Dente, no bairro de Santa Tecla em Gravataí. Fonte: arquivo pessoal do autor (2018).

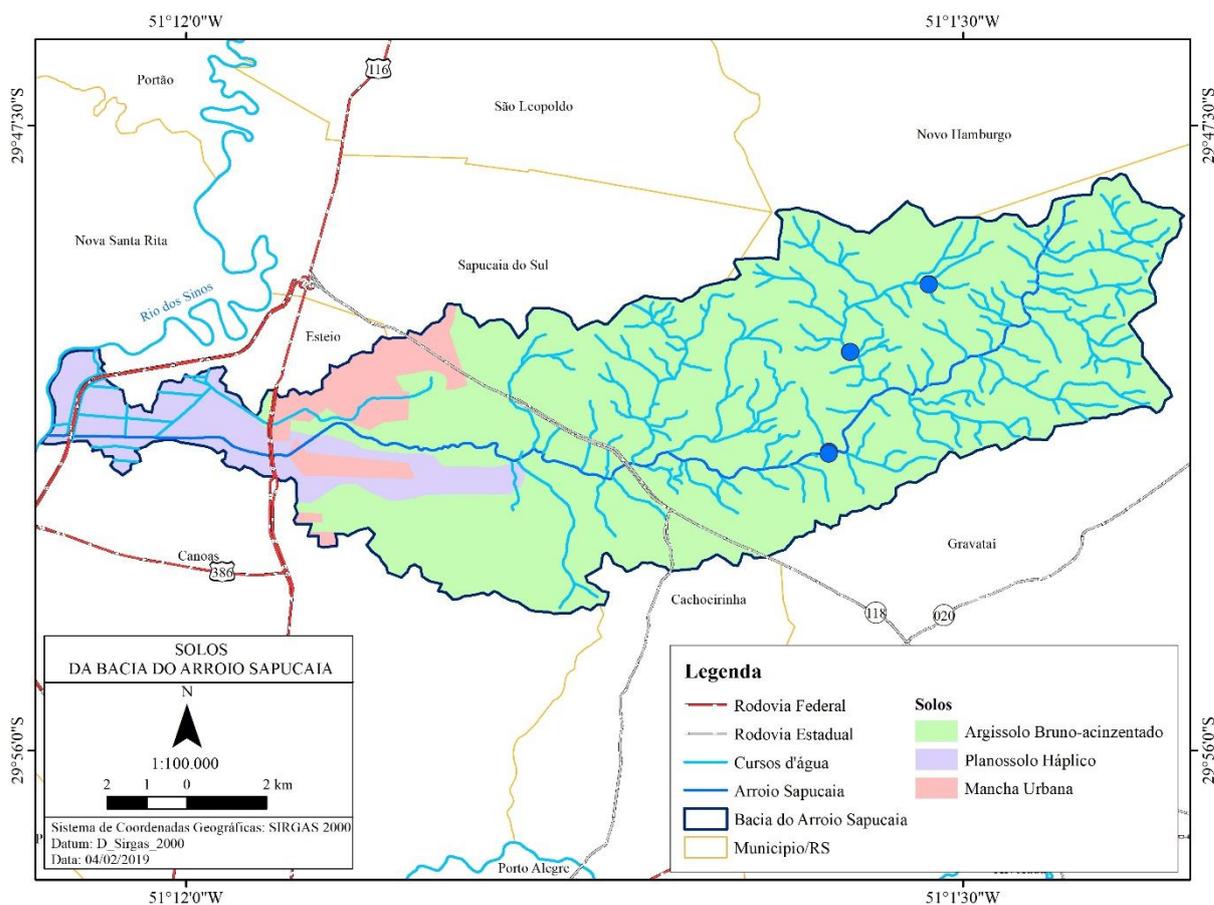
A figura 22 apresenta quatro fotografias obtidas em sequência, em trabalho de campo, entre o setor mais próximo de uma das nascentes até um local afastado logo abaixo, dentro de uma propriedade rural, superfície que consta na classe de declividades entre 8 e 45%, conforme o mapa clinográfico. O contexto topográfico e morfométrico em que está inserida a rede de drenagem da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia conta, em sua grande maioria, conforme produtos cartográficos mostrados nas figuras 20 e 21, com relevo de fraca a média declividades, com exceção dos setores com maiores altitudes próximo às nascentes.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA

As variáveis pedogenéticas que auxiliam na formação dos solos são constituídas por fatores como material de origem, clima, organismos, relevo, tempo e ação do homem (REINERT et al, 2007). No que se refere às características geomorfológicas e sua contribuição para a pedogênese da área de estudo em se tratando de condicionantes físico-naturais, são feitas as seguintes retomadas na pesquisa em escala regional e no tempo geológico: a) a morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná é composta por litologias antigas datadas do Permiano ao Cretáceo, sedimentares e vulcânicas, mostradas na figura 16; b) a morfoescultura gerada pelo processo de circunsdenudação, iniciado pelo reordenamento da drenagem pós-tectonismo e variações climáticas pretéritas, originando a Depressão Periférica gaúcha no Terciário (AB'SABER, 1949 apud SUERTEGARAY; MOURA, 2012); c) composta predominantemente de baixas altitudes, fraca declividade e densa rede de drenagem, d) demonstrados em produtos cartográficos nas figuras 20 e 21; e as condições climáticas úmidas que contribuem para gerar as condições naturais que resultaram na formação predominante de solos argilosos, representados na figura 23.

No Rio Grande do Sul, os argissolos vermelhos e argissolos vermelhos- amarelos foram identificados a partir dos substratos do basalto, do arenito e do granito, solos que apresentam um perfil em que o horizonte B sempre é mais argiloso em comparação aos horizontes A ou E, são bem drenados, condicionados pelo clima úmido onde as precipitações pluviais ocorrem bem distribuídas durante o ano (STRECK et al., 2008). Na área de estudo, ocorre a formação de argissolos e, em áreas de inundação, planossolos, como mostra a figura 23.

Figura 23 - Mapa das formações pedológicas da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria (2019).

A densa rede de drenagem na área de estudo remobiliza os sedimentos no interior da bacia e os redistribui, contribuindo para a formação de solos com frações arenosas oriundas da intemperização dos arenitos e das frações argilosas originárias principalmente dos basaltos ao longo do tempo geológico. Entretanto, o fator antrópico, ligado ao uso da terra, vem contribuindo para a introdução de objetos originários da produção ou indução humana em camadas superficiais do solo, com reflexos mais marcantes sobre os vales fluviais, originando nestes locais indicadores da ação antrópica em depósitos superficiais mesmo em ambientes com predomínio de atividades rurais.

Os materiais transportados e depositados pelo regime fluvial formam terrenos oriundos da ação humana direta ou indireta, produtos da atual morfodinâmica. De acordo com Oliveira (1990), a tecnificação da sociedade altera o relevo e também a sua composição. O autor assinala que os processos naturais que foram modificados

através da erosão acelerada originam depósitos do tipo induzido pela ação antrópica (OLIVEIRA, 1990).

De acordo com Fanning e Fanning (1989), os horizontes do solo são influenciados pelo homem e os materiais constituintes classificados conforme a origem em úrbicos, gárbicos, espólicos e dragados. Conforme Peloggia (1999), a distância relativa da fonte e pujança do vale fluvial interferem na proporção relativa entre partículas líticas e componentes tecnogênicos depositados nos vales fluviais, determinando a composição dos materiais encontrados nos solos.

Por estar inserida na Região Metropolitana de Porto Alegre, a área de estudo convive com os efeitos antropogênicos diretos de sua localização. Os municípios que compõem a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia suportam questões ligadas a pressões demográficas dada a importante participação das atividades industriais em suas economias. A rede de drenagem na área de estudo contribui para a formação dos solos nas bordas dos arroios e, cada vez mais, a intervenção antrópica vem contribuindo na composição das partículas constituintes, conforme resultados observados em campo e laboratório.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO POPULACIONAL E SOCIOECONÔMICA

A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia abrange os municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Novo Hamburgo e Sapucaia do Sul, na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). São municípios urbanizados e industrializados, componentes de uma região onde se concentra mais de um terço da população do Rio Grande do Sul, concentração explicada por processos históricos de apropriação e produção do espaço que levaram à atual forma de organização espacial. Corrêa (2000) analisa a organização do espaço, sobretudo do espaço urbano, como resultante de relações de seus agentes, representados pelo Estado como entidade pública administrativa, os proprietários fundiários, os industriais, os incorporadores imobiliários etc. (CORREA, 2000, p.8).

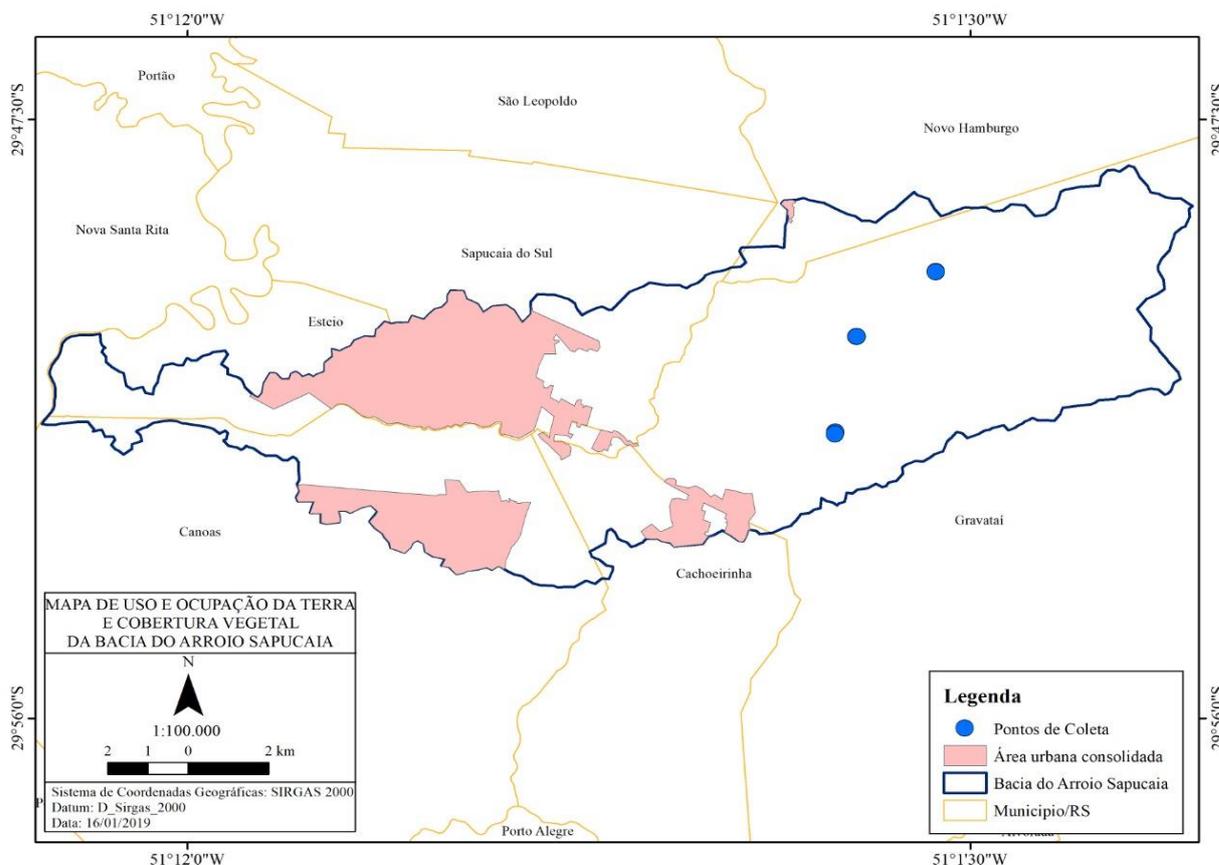
A RMPA foi instituída legalmente com base na Constituição Federal de 1967 (art. 157 s10) e Emenda Constitucional de 1969 (art. 164) que permitiram, por meio de lei complementar, a criação das primeiras regiões metropolitanas no Brasil. A RMPA foi criada formalmente através da Lei Complementar Federal 14 de 08/06/1973, integrando inicialmente 14 municípios: Alvorada, Cachoeirinha, Campo Bom, Canoas, Estância Velha, Esteio, Gravataí, Guaíba, Novo Hamburgo, Porto Alegre, São

Leopoldo, Sapiranga, Sapucaia do Sul e Viamão. Sendo Porto Alegre, uma das quatro primeiras cidades do estado (1809) e capital do Rio Grande do Sul, o município sede da região. Portanto, os seis municípios que ocupam a área de estudo fazem parte da área metropolitana desde a criação desta unidade na década de 1970.

A configuração espacial da área de estudo mostra duas situações distintas: uma vasta porção urbana consolidada e homogeneizada à oeste da rodovia RS 118 nas áreas topograficamente planas nas proximidades da confluência do arroio Sapucaia com o rio dos Sinos, espaço compreendido pelas municipalidades de Cachoeirinha, Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul, de expansão urbana impulsionada pela industrialização; e uma seção com predomínio de atividades rurais, com ocupação rarefeita sobre superfícies planas entalhadas pela drenagem e que conta com feições geomorfológicas relacionadas aos morros testemunhos dos patamares da Serra Geral, abrangendo os municípios de Gravataí, Novo Hamburgo e Sapucaia do Sul na RMPA.

O setor com a maior densidade do tecido urbano na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, a oeste da RS 118 e atravessada pelas rodovias federais BR 116 e BR 448 (figura 24), expandiu-se espacialmente de maneira acelerada a partir do final da década de 1970 e início da década de 1990 com o aumento da população impulsionado pela industrialização crescente em municípios como Canoas, São Leopoldo e Novo Hamburgo ao longo do eixo viário da BR 116.

Figura 24 - Mapa identificando mancha urbana na área de estudo.



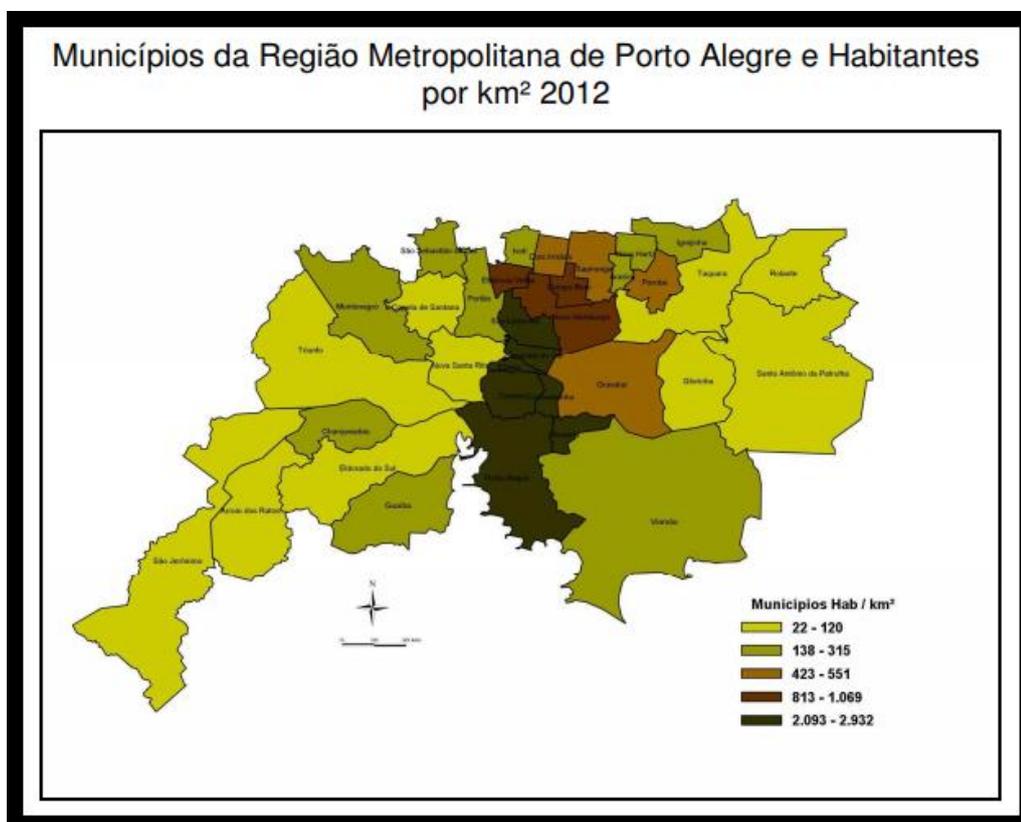
Fonte: Elaboração própria (2019).

Entre 1970 e 2000 as cidades da RMPA cresceram de maneira significativa, principalmente as pequenas e médias, de forma a aumentar sua população, fato atribuído à desconcentração industrial da cidade de Porto Alegre, fenômeno assinalado como desconcentração-concentrada (AZZONI, 1986), que ocorre em função da atração que a região dinâmica tem sobre empresas que, por sua vez, buscam menores custos instalando-se em cidades próximas aos grandes centros urbanos. O município de Esteio, fazendo parte da área de estudo, é um exemplo que pode ser relacionado ao conceito de Azzoni (1986). De acordo com Brubacher (2016), o município de Esteio, emancipado de São Leopoldo em 1954 e uma das maiores densidades populacionais do Estado, teve um incremento populacional de 64% entre 1979 e 2000, explicado através do crescimento da indústria e do comércio: o número de estabelecimentos industriais aumentou de 151 em 1985 para 317 em 1995, e o número de unidades comerciais que em 1985 era 1174, cresceu para 1763 em 1995.

Conforme os dados de população e área do Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a RMPA, com 34 municípios, conta com uma população de 4,03 milhões de habitantes (37,7 % do Estado),

densidade demográfica de 390 hab./km<sup>2</sup> e uma taxa de urbanização de 96,9 %. Segundo aspectos mostrados na figura 25, levantados por Martins (2013), os municípios com maior densidade, considerando aqueles com mais de 2.000 habitantes por km<sup>2</sup>, são: Esteio (2.932 hab./km<sup>2</sup>), Porto Alegre (2.837 hab./km<sup>2</sup>), Alvorada (2.763 hab./km<sup>2</sup>), Canoas (2.470 hab./km<sup>2</sup>), Sapucaia do Sul (2.233 hab./km<sup>2</sup>) e São Leopoldo (2.092 hab./km<sup>2</sup>). Embora não sejam municípios populosos, no que se refere às suas populações absolutas, com exceção de Porto Alegre, apresentam elevada densidade.

Figura 25 - Densidade demográfica por município da RMPA.



Fonte: MARTINS (2013). Adaptado pelo autor.

Conforme referenciado na figura 25 sobre densidade demográfica por município da RMPA fica evidente a grande concentração em municípios do baixo curso do arroio Sapucaia representados por Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul, aglomeração explicada pela estreita ligação histórica com as atividades econômicas industriais, tendo em vista que a “mobilidade do parque industrial acarreta também uma mobilidade populacional que se expande na direção do trabalho, atraindo também pessoas provindas do interior do Estado para a RMPA, estimulando a

proliferação de loteamentos que, de Porto Alegre, se estenderam até Canoas, São Leopoldo e Novo Hamburgo” (PLHIS, 2009 apud BRUBACHER, 2016).

De maneira similar aos municípios do baixo curso fluvial anteriormente mencionados, Gravataí conta com atividades industriais e corresponde à terceira maior população da Região Metropolitana de Porto Alegre, estimada em 279.398 habitantes (IBGE, 2018). Contudo, o tecido urbano de Gravataí, e com isso a maior parte de sua população, situa-se na bacia hidrográfica do rio Gravataí, separada da área de estudo pelo conjunto de morros testemunhos e linha de crista que compõe os patamares da Serra Geral. Do ponto de vista populacional a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia não configura grandes concentrações urbanas em suas nascentes, porém as pressões exercidas pela forma de apropriação do espaço pela sociedade e as consequências da sua incorporação ao processo de produção do espaço urbano colocam em risco os setores de nascentes da área de estudo.

Para compreender a importância estratégica do município de Gravataí no que se refere à localização das nascentes associado à relevante preocupação de sua manutenção na área de estudo, é necessário atentar para a pujança urbano-industrial da cidade no contexto regional metropolitano e as conexões viárias que atravessam a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. Neste aspecto, Lefèvre (1996) entende que a indústria, por muito tempo, se constituiu como uma das principais forças-motrizes envolvidas no crescimento do ambiente urbano como espaço construído e espaço de forças, seja por influência direta ou indireta de sua localização. Nesse sentido, a evolução das áreas urbanas sempre foi carregada por algum tipo de dinâmica socioeconômica de reprodução material.

A área de estudo é atravessada pela rodovia RS 118, uma importante via de conexão que move as dinâmicas espaciais de circulação de pessoas, bens e serviços entre os parques industriais metropolitanos nos quais está inserido o município de Gravataí. Altafini (2018), em estudos sobre a dimensão econômica da organização espacial da atividade industrial na RMPA assinalou o papel de destaque da RS-118, que estrutura a ligação entre o Vale dos Sinos, a partir de Sapucaia do Sul, e os municípios de Alvorada e Viamão, passando por Gravataí, representando um sistema de escolha de rotas tão importante ou mais para a RMPA quanto o depreendido pela BR-116, estruturando o fluxo entre cinco municípios (Sapucaia do Sul, Cachoeirinha, Gravataí, Alvorada e Viamão). Ainda de acordo com dados do autor, os municípios de Cachoeirinha e Gravataí somam 597 estruturas industriais. A rodovia RS-118 interliga

as áreas urbana-industriais entre os vales dos rios Gravataí e Sinos, atravessando a área de estudo e de certa forma exerce pressão por interesses sobre os terrenos próximo às nascentes.

O setor das nascentes da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia localizado nos limites municipais entre Gravataí e Novo Hamburgo é isolado do contexto urbano-industrial, no que se refere à sua menor densificação espacial em superfície urbanizada, muito em função da sua característica topográfica entre o Vale do Sinos e Vale do Gravataí. Contudo, a região conta com população heterogênea apontado por meio de indicadores referentes à escolaridade, profissão e renda, conforme estudos levantados por Araújo (2017). O autor fez um levantamento de campo sobre as características da população do bairro rural Santa Tecla, localizado no norte do município de Gravataí e na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, em aspectos gerais como faixa etária e condição socioeconômica divididos em dois núcleos de pesquisa. Os núcleos foram denominados mina e lixão pelo fato da localidade comportar uma grande empresa de extração mineral de basalto e um antigo lixão posteriormente transformado em aterro sanitário. Araújo (2017) identifica a população próxima à mineradora como sendo composta por professores, funcionários públicos, aposentados, produtores rurais, comerciantes, agricultores familiares, sitiantes e descendentes de imigrantes que deram início ao processo de colonização na região, que em geral é composta por indivíduos de poder aquisitivo e grau de escolaridade mais elevados que os moradores do outro núcleo, denominado aterro/lixão, que apresenta perfil de menor poder aquisitivo e baixa escolaridade, sendo de trabalhadores que vivem em função da reciclagem. Na região também ocorre a existência de terrenos em que os proprietários residem em outros municípios da RMPA, sobretudo Porto Alegre.

Couto (2007) analisou a totalidade da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia por meio da elaboração de um Índice de Sustentabilidade (IS) que envolve indicadores relacionados a fatores como Uso do Solo (FUS), Fragilidade Potencial (FFP) e desenvolvimento Humano Municipal (FDH). No tocante ao FDH, ele é composto pelas variáveis educação, longevidade, renda e saneamento e indica patamares socioeconômicos da área de estudo. De acordo com Couto (2007), a dimensão renda indicou valores altos em toda a bacia, principalmente junto às nascentes onde há a predominância dos setores censitários rurais, explicado pelo autor pelo fato da metodologia considerar a renda dos responsáveis pelos domicílios e não a renda per

capita, além da pequena população residente na área rural. Os estudos do autor também mostraram que a variável educação apresentou patamar razoável, enquanto a longevidade um nível mais elevado e o saneamento revelou indicadores mais baixos em função das deficiências do esgotamento sanitário na área urbana e o predomínio de fontes de abastecimento alternativas na área rural, não havendo rede pública de abastecimento de água. Couto (2007) conclui que o FDH da bacia apresentou nível de desenvolvimento médio, com intervalos entre 0,599 – 0,799, comparado ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M) do ano 2000/IBGE dos municípios que compõe a bacia, disparidade justificada pelo fato do IDH-M não considerar o indicador saneamento como unidade componente no cálculo.

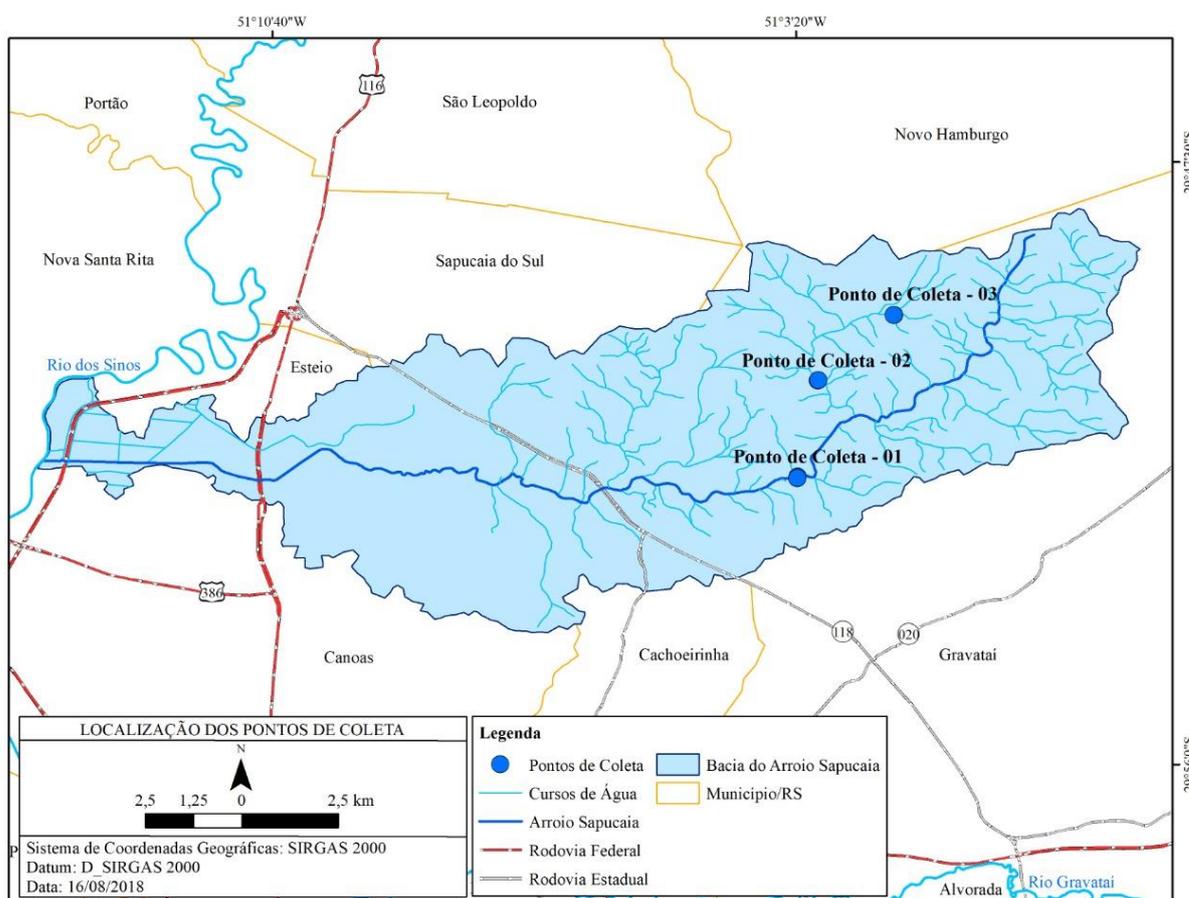
Em vista do que foi apresentado, a área de estudo corresponde a uma unidade hidrográfica que abrange parte dos limites territoriais dos municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Novo Hamburgo e Sapucaia do Sul, na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia apresenta características de ambientes urbano-industriais e rurais em seus limites, apesar de estar localizada em uma região metropolitana que concentra mais de um terço da população do Rio Grande do Sul, conglomerado urbano explicado por processos históricos de apropriação e produção do espaço que levaram à atual forma de organização espacial. A compartimentação topográfica com predomínio de morros de até 340 metros e linha de crista, onde estão localizadas as nascentes, proporciona uma barreira geomorfológica e acarreta relativo isolamento espacial em relação ao sítio urbano metropolitano assentado principalmente sobre áreas deprimidas e planas nos vales dos rios Gravataí e Sinos. Contudo, a área de estudo relacionada às nascentes não está imune aos processos socioeconômicos que operam no contexto metropolitano, tendo em vista que a organização do espaço é resultante de relações complexas entre seus agentes, representados pelo Estado, proprietários fundiários, industriais e os incorporadores imobiliários, conforme Corrêa (2000).

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISE DAS AMOSTRAS NOS TESTEMUNHOS EM LABORATÓRIO

A separação dos materiais contidos nos testemunhos entre os tamanhos argila, silte, areias e cascalho (conforme classes de Shepard e Escala de Wentworth) e a análise das amostras obtidas indicaram a ocorrência de materiais tecnogênicos superficiais. Os três pontos de coleta estão identificados na figura 26 nas margens dos arroios Sapucaia (ponto de coleta 01) e Santa Tecla (pontos de coleta 02 e 03).

Figura 26 - Localização dos pontos onde foram coletados os testemunhos sedimentares superficiais.



Legenda: Os locais foram identificados, de jusante à montante, como pontos de coleta 01, 02 e 03.  
Fonte: Elaboração própria (2019).

No que se refere aos materiais finos de tamanho silte e argila, apresentaram maior ocorrência, de maneira esperada, no ponto à jusante (ponto 01), onde se localiza um amplo setor de transbordamento do canal. Os pontos 01 e 02 mostraram a ocorrência de materiais de origem antrópica relacionados à processos deposicionais

de extravasamento de canal. No ponto de coleta 03 não se observou objetos antrópicos em análise textural, porém indicou forte odor que sugere contaminação e partículas de carvão vegetal.

Os dados quantitativos das amostras, separadas e analisadas nas dependências do laboratório especializado no Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica/Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO/UFRGS), estão indicados na tabela 01. As características granulométricas de cada amostragem analisada estão descritas nos parágrafos seguintes deste capítulo com os respectivos subtítulos correspondentes aos pontos no ambiente onde foram extraídos os testemunhos.

Tabela 01 - Tabela granulométrica de material coletado em campo e analisados em laboratório.

DADOS DE GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS (TEXTURAL DE SHEPARD)									
Pontos (P), Testemunhos (T) e Amostras (A)	Espessura (cm)	Cascalho (%)	Areia (%)					Silte (%)	Argila (%)
			Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina		
Ponto 1 Testemunho 2 (P1T2):	25 cm								
Base (A3)*	15 a 25	23,3	2,9	4,5	6,2	13,9	18,2	25,5	5,5
Meio (A2)*	8 a 14	10,9	2,1	4,3	7,8	17,6	21,1	24	12,2
Topo (A1)	0 a 7	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado
Ponto 2 Testemunho 1 (P2T1):	51 cm								
Base (A3)	31 a 51	0,2	0,2	14,2	55,9	22,3	2,3	4,9	0
Meio (A2)	11 a 30	0,6	1,2	25,7	48,3	18,8	3	2,4	0
Topo (A1)	0 a 10	0	1,1	16,3	45,4	28	4,7	4,5	0
Ponto 2 Testemunho 2 (P2T2):	47 cm								
Base (A4)	39 a 47	0	0	12,1	47	29,4	7,3	4,2	0
Base-meio (A3)	29 a 38	0,4	0,6	23,9	38,8	21,7	6,8	7,8	0
Topo baixo (A2)	19 a 28	0	0,1	8,7	41,6	31,5	12,6	5,7	0
Topo (A1)*	0 a 18	0,1	0,2	4,9	28	37,6	16,8	12,5	0
Ponto 3 Testemunho 1 (P3T1):	30 cm								
Base (A2)	10 a 30	0	0,6	3	7,7	43,3	34,5	10,7	0,2
Topo (A1)	0 a 9	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado
Ponto 3 Testemunho 2 (P3T2):	41 cm								
Base (A3)	35 a 41	0,1	0,3	1,4	11	44,9	31,7	10,9	0
Meio (A2)	23 a 34	0,1	0,6	2,2	23,1	49,5	19,4	5,3	0
Topo (A1)	0 a 22	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado

\* Amostras que apresentaram material tecnogênico.

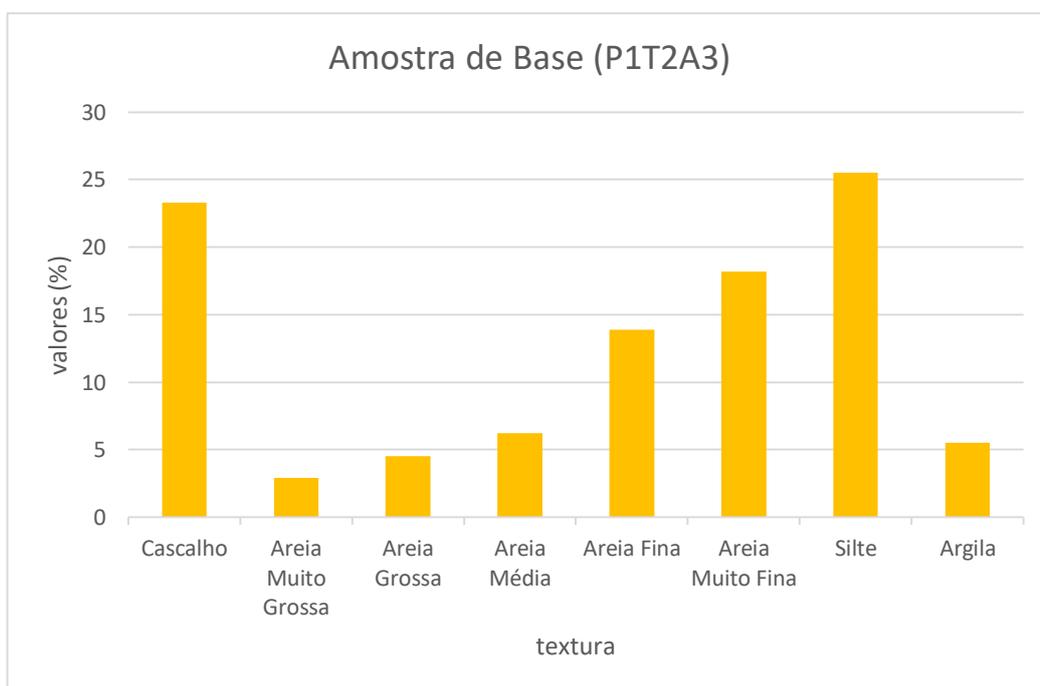
Fonte: Elaboração própria (2019).

## 5.1 PONTO DE COLETA 1: PLANÍCIE DE TRANSBORDAMENTO DO ARROIO SAPUCAIA

O testemunho P1T2 apresentou espessura de 25 cm e foi subdividido em amostras de base (15 a 25 cm), meio (8 a 14 cm) e topo (0 a 7 cm). Revelou, após sua abertura, um processo deposicional de coloração cinza a avermelhada com uma ruptura de coloração amarela de 4 cm de espessura em posição intermediária, e um seixo arredondado bem destacado.

A amostra da base (P1T2A3 - 14 a 25 cm) mostrou a predominância de areia (46%), seguido de lama (31%) e cascalho (23%), conforme classificação textural de Shepard, demonstrados na tabela 01 e figura 27. Dos 46% de areias, 32% são de areia muito fina e fina e, somados aos 31% de silte e argila, apresenta 63% de materiais finos. A massa da fração lamosa é maior na amostra e corresponde a 9,6748 g. Contudo, há frações maiores de areia na amostra (14%) e a presença de cascalho de 2 a 8 mm de diâmetro (Escala de Wentworth). Tanto os cascalhos como as areias decrescem em frequência a medida em que aumentam em diâmetro, ou seja, ocorrem mais cascalhos finos do que grossos e areias finas em maior representatividade em relação às médias e estas em relação às grossas, atribuindo ao depósito como típico de planície de inundação. A amostra apresentou ocorrência de material da ação antropogênica através de um pequeno fragmento plástico (figura 28), material tecnológico numa planície de inundação.

Figura 27 - Valores em porcentagens conforme classificação textural de Shepard.



Fonte: Elaboração própria (2019).

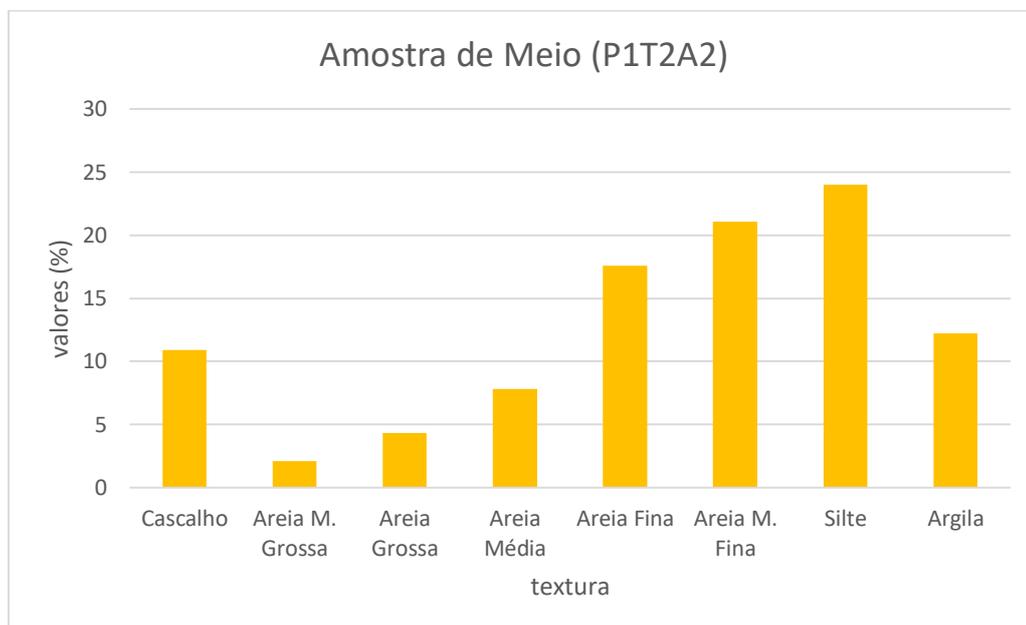
Figura 28 - Pequeno fragmento plástico.



Legenda: fragmento plástico entre os sedimentos coletados entre 14 a 25 cm de profundidade em P1A2, e o diâmetro relativo em tamanho cascalho médio (4 mm) conforme Escala de Wentworth. Fonte: Elaboração própria (2018).

A amostra intermediária (P1T2A2) situada entre 7 e 14 cm de profundidade é caracterizada por areia com lama (89%), sendo a fração arenosa correspondente a 53%, conforme dados representados na figura 29. O depósito apresentou durante a abertura dos testemunhos camadas de lama clara e avermelhada que corresponderam a 36 % da amostra após serem submetidas ao Método de Stokes em laboratório. Semelhantemente à amostra de base, o meio expôs decréscimo da frequência na medida em que aumenta o diâmetro dos grãos, mesmo nos 11% de representatividade de cascalho. Foi identificado, também, material de origem antrópica que se assemelha a uma lasca de tecido conforme mostra figura 30. A parcela representativa de cascalhos indicou material de coloração cinza escuro e grãos angulosos, entre outros arredondados, provavelmente basalto, que pode ter origem na exploração deste mineral como recurso mais à montante da área de estudo.

Figura 29 - Valores em porcentagens conforme classificação textural de Shepard.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 30 - Fragmentos de material antropogênico.



Legenda: Fragmentos de material antropogênico aprisionado entre sedimentos clásticos em área de planície de inundação. Detalhamento em microscópio. Fonte: Elaboração própria (2018).

A amostra de topo (P1T2A1 - 0 a 7 cm) emitiu forte odor fecal durante os ensaios em laboratório, o que assinala possível contaminação em superfície. A amostragem foi descartada com a finalidade de evitar risco de contaminação, contudo

evidenciou o caráter de degradação em superfície que pode estar relacionada com mudanças no uso e ocupação da terra no entorno.

A análise de P1T2, em caráter geral, indicou o setor como uma planície de inundação composta por partículas de lama e areia muito fina e, à medida em que a frequência dos grãos diminui, aumenta seu diâmetro conforme a Escala Wentworth (desde partículas silte a areia muito grossa), porém a frequência torna a aumentar com a presença de cascalhos, podendo estar relacionado ao empreendimento minerador à montante. A amostragem também apontou, presos entre as camadas lamosas, restos de material de origem antrópica identificados como tecido e plástico, facilmente transportados e depositados pela hidrodinâmica do meio, e da mesma forma revelou contaminação em superfície por apresentar intenso odor.

## 5.2 PONTO DE COLETA 2: SETOR DEPOSICIONAL FLUVIAL DO ARROIO SANTA TECLA

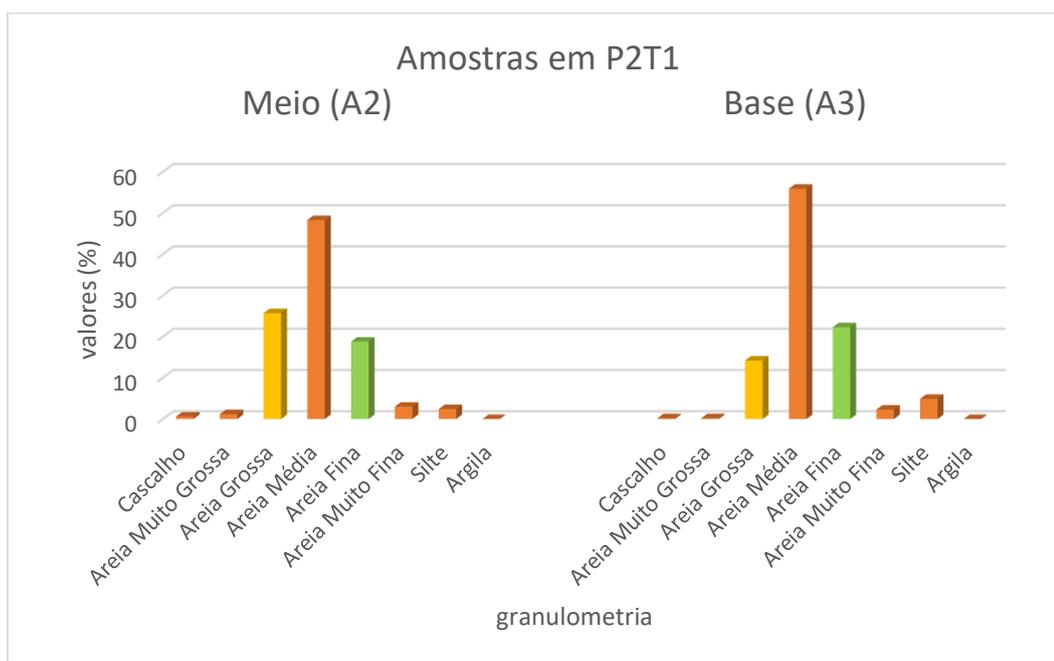
O testemunho P2T1 contou com 51cm de material coletado subdividido em amostras de base (31 a 51 cm), meio (11 a 30 cm) e topo (0 a 10 cm). Revelou eventos de deposição variados sempre mantendo a coloração avermelhada com destaque para uma fase de coloração escura próximo da parte superior com três centímetros de espessura.

A amostra da base (P2T1A3), compreendida entre 31 e 50 cm de profundidade, indicou a presença de areia em 95% da amostra conforme classificação textural de Shepard. O local configura uma área deposicional de transbordamento do canal com declividade baixa (3% a 8%) a média (8% a 20%), o que limita sua competência. A fração arenosa de médio diâmetro prevalece no exemplar, correspondendo a 56% de A3.

A amostra intermediária (P2T1A2) situada entre 11 e 30 cm demonstra concentração da fração areia em praticamente toda a amostragem, 97% do exemplar, com predomínio do tamanho médio (48%), semelhante ao que ocorreu na base (P2T1A3). Entretanto, nesta camada houve inversão na segunda categoria textural representativa conforme mostra a figura 31, passando ao aumento da areia grossa em relação à fina (27% contra 19%) diferentemente do que ocorreu em A3 quando a fração areia fina predominou na amostra (22% contra 14% da grossa), constatando um momento de variação de energia no canal, quando este passou a depositar grãos

maiores como consequência da maior competência em fluxo turbulento. A presença de micro raízes no setor superior do depósito é um indicativo de uma ocasião em que houve assoreamento dada a cor escura de um estrato de 1 cm neste ponto, sugerindo a presença de matéria orgânica.

Figura 31 - Comparativo de valores percentuais.



Legenda: Comparativo de valores percentuais entre as fases deposicionais meio (A2) e base (A3) em P2T1 nas frações granulométricas areia fina (verde) e areia grossa (amarelo). Fonte: Elaboração própria (2019).

A camada de topo (P2T1A1 – situada de 0 a 10 cm) continuou com a areia predominando (96%) e com a fração média mais preponderante, porém a areia fina volta a prevalecer sobre a grossa (33% a 17%), o que sugere a diminuição da energia de transporte do canal e a volta a patamares anteriores, verificados na base. O material no interior do testemunho em questão (P2T1) não indicou a presença de tecnogênicos, no entanto deu indicativos sobre a hidrodinâmica do arroio no Ponto 2, bem como as características dos sedimentos clásticos, em sua grande maioria arredondados e avermelhados no compartimento areia conforme Escala de Wentworth.

O segundo testemunho deste ambiente (P2T2) manteve a tendência arenosa e revelou mais de 90% da fração areia em toda amostragem de 47 cm da coluna sedimentar. Foi subdividido em amostras de base (39 a 47 cm), base-meio (29 a 38

cm), topo-baixo (19 a 28 cm) e topo (0 a 18 cm). Os primeiros 8 cm a partir da superfície apresentaram muitos vegetais vivos. Os 29 cm seguintes de material depositado apresentaram, após abertura do PVC, diversos eventos de sedimentação arenoso-lamoso e seixos com material vegetal presente como mostra a figura 32. A amostra P2T2 apresentou grãos de coloração avermelhada, o que permite atribuir proveniência dos arenitos da formação Pirambóia.

A base da amostra (P2T2A4), compreendida entre 39 e 47 cm, revelou a predominância de 96% da fração areia e 4% de silte. A ausência dos cascalhos pode estar associada às condições naturais quando ainda não havia influência da mineração de basalto à montante deste setor e conseqüentemente influxo sobre a carga fluvial, uma vez que o tamanho cascalho marcou presença apenas nas camadas superiores deste testemunho.

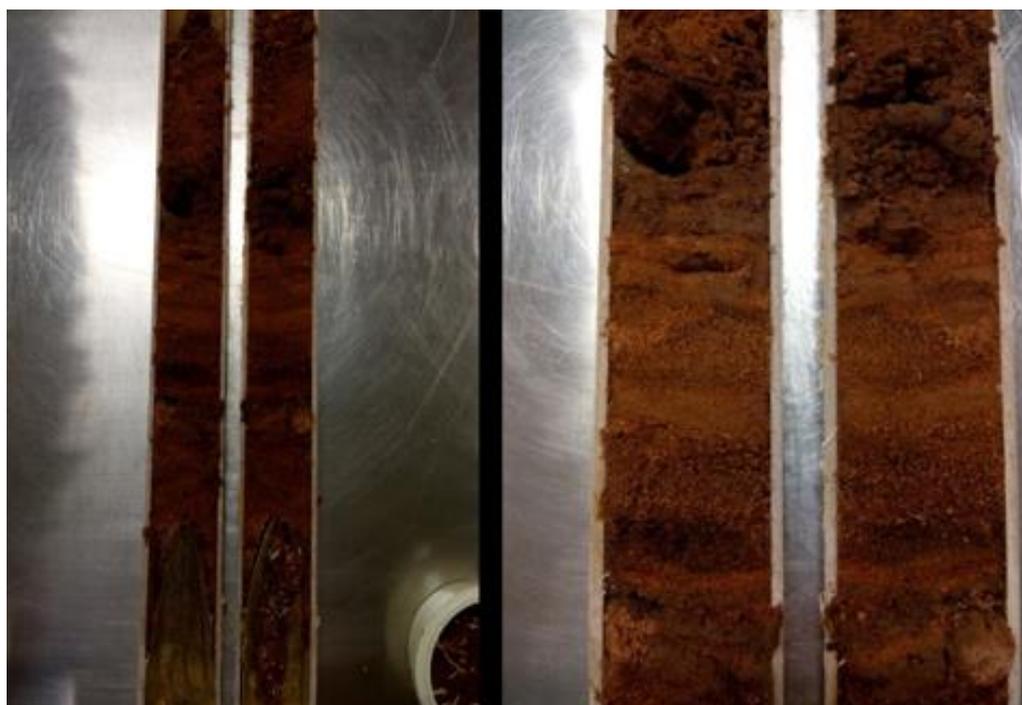
A amostra superior da base (P2T2A3), de 29 a 38 cm, a fração areia predomina em 92% e o restante é composto por silte, amostra classificada por Shepard como areia. A areia média predomina (39%), porém ocorre equilíbrio entre areia fina (28%) e grossa (25%). O padrão de predominância de areia média manteve-se comparada à base (na base revelou-se 47% de areia média, 38% de areia fina e 12% de areia grossa), contudo, mostrou, diferentemente da base, maior equilíbrio no conjunto fina, média e grossa. Despertou atenção o aparecimento de cascalhos finos (2 mm) com grãos de arenito e basalto entre restos vegetais, embora em frequência abaixo de 1%.

O setor inferior do topo desta amostra (P2T2A2), compreendido entre 19 e 28 cm, mostrou forte presença de restos vegetais com a haste preservada após a abertura dos canos de PVC, sugerindo assoreamento do local após um período mais prolongado de estiagem onde a vegetação estava em processo de adaptação. A fração areia corresponde a 95% da amostra e há equilíbrio entre os tamanhos médio (42%) e fino (44%). Uma pequena frequência (0,062%) de cascalho fino ainda se fez presente. Os grãos arenosos apresentaram cor avermelhada e indicam proveniência dos arenitos que compõe grande parte da litologia na bacia como as Formações Pirambóia e Rio do Rastro.

A amostra de topo (P2T2A1) foi identificada nos primeiros 18 cm abaixo da superfície e preservou vegetais nos primeiros 8 cm. A P2T2 indicou ocorrência de material tecnogênico sedimentado mostrado na figura 13 do capítulo III. A embalagem plástica em questão foi identificada durante a separação de material em laboratório e outro pequeno fragmento plástico foi interceptado em peneira de diâmetro de 2 mm

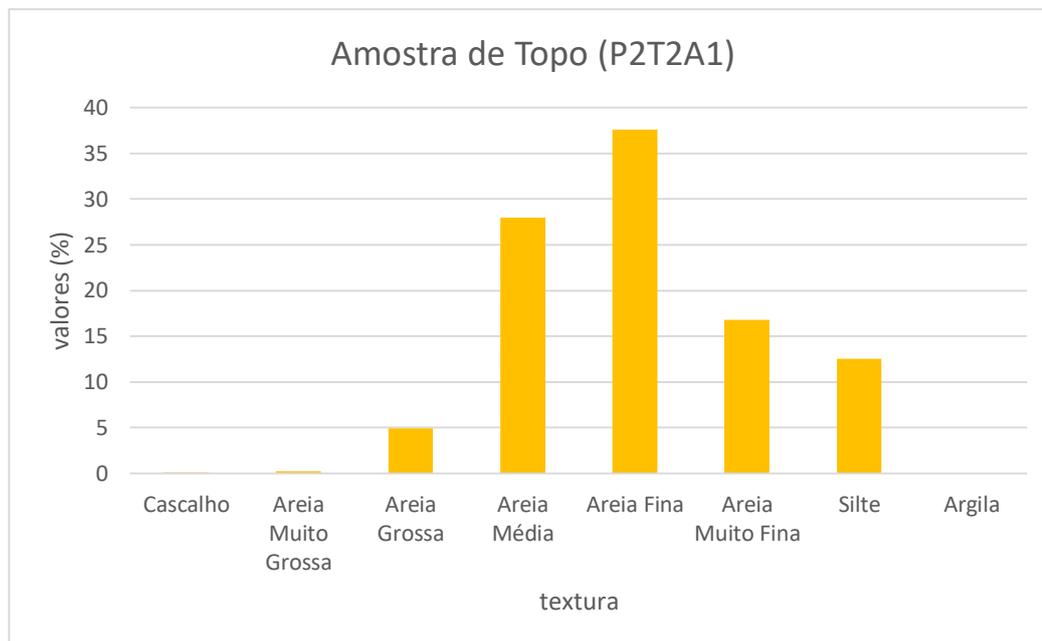
misturado a cascalhos finos contendo basalto. Ocorreu, também, a diminuição da fração arenosa (87% de areia) e o aumento deposicional de silte com frequência de 12% na classificação textural. O aumento significativo das frações mais finas no material de topo e a concentração de areia muito fina e fina em 54% do total (contra 28% de areia média e 5% de areia grossa), mostra uma tendência de mudança recente no ambiente fluvial em selecionar frações mais finas na deposição. Isso se deve a uma diminuição da capacidade do arroio em transportar o material grosseiro e uma fase de calmaria de decantação do material mais fino. Contudo, a presença de cascalho e também do material tecnogênico no topo aponta para mudanças no uso do solo na bacia. Os dados granulométricos referentes à P2T2A1 estão ilustrados na figura 33.

Figura 32 – Totalidade do testemunho 2 (P2T2).



Legenda: A imagem mostra primeiramente a totalidade do testemunho 2 (P2T2) e em detalhe os diversos eventos deposicionais preservados e visíveis. Fonte: Elaboração própria (2018).

Figura 33 - Valores em porcentagens por classificação textural de Shepard referentes ao topo de P2T2.



Fonte: Elaboração própria (2019).

A análise do testemunho P2T2 indicou alternância entre períodos de fluxo laminar a turbulento do sistema fluvial e, conseqüentemente, intervalos de maior e menor competência em transportar o material grosseiro, sendo os grosseiros, neste setor, entendido como areia grossa, muito grossa, cascalho fino e médio na Escala de Wentworth.

### 5.3 PONTO DE COLETA 3: PROXIMIDADES DA NASCENTE DO ARROIO SANTA TECLA

O testemunho P3T1 foi subdividido em amostras de base (10 a 30 cm) e topo (0 a 9 cm). Apresentou, após sua abertura, um processo deposicional único de coloração cinza, sendo os últimos 5 cm (na base) entremeados com coloração laranja e avermelhada, e nas proximidades do topo apresentou ruptura de nível deposicional de cor laranja a avermelhada (figura 34).

A amostra de base (P3T1A2), situada entre 10 e 30 cm de profundidade, apresentou granulometria de até 1 mm. A fração mais grossa atingiu no máximo areia muito grossa com baixa frequência (3,5%), contendo fragmentos de basalto, material vegetal e carvão vegetal. A possibilidade de presença de carvão vegetal ficou

evidenciada após o material identificado no microscópio ser friccionado contra a superfície de uma folha de papel de cor branca e deixar um traço característico. A predominância de materiais finos ficou evidenciada após a classificação textural indicar 11% de silte, 34,5% de areia muito fina e 43% de areia fina.

A amostra de topo deste testemunho (P3T1A1), de 0 a 9 cm, apresentou forte odor por contaminação fecal durante os processos em laboratório quando submetida ao Método de Stokes, utilizado para separar materiais de granulometria abaixo de 0,062 mm.

Figura 34 - Testemunho 1 referente ao ponto de coleta 3 (P3T1) após abertura.



Fonte: Elaboração própria (2018).

O testemunho P3T2 foi subdividido em amostras de base (35 a 41 cm), meio (23 a 34 cm) e topo (0 a 22 cm). Na abertura do cano de PVC, conforme figura 35, foram identificadas as seguintes características visuais que foram usadas como critério para separação das amostras: a base (P3T2A3) apresentou material fino escuro com vegetais em decomposição e odor; a camada de meio (P3T2A2) revelou cor laranja a avermelhada com uma ruptura deposicional de 2 cm em cor cinza escuro no limite superior; a amostra de topo (P3T2A1) foi identificada com três níveis deposicionais cinza escuros menos marcantes do ponto de vista da uniformidade e com raízes de vegetais, predominando a cor laranja avermelhada.

Figura 35 - Níveis deposicionais em cor cinza entre as camadas predominantes de cor laranja revelados em P3T2.



Fonte: Elaboração própria (2018).

A classificação textural indicou predominância arenosa na amostra da base (89,6%) e silte, restos vegetais e possíveis fragmentos de carvão vegetal de 1 e 2 mm. Nas escalas inferiores, entre 0,062 mm e 0,50 mm, predominou restos vegetais nos diâmetros superiores (0,50 mm), equilíbrio entre grãos avermelhados e restos vegetais em 0,250 mm, predomínio de grãos avermelhados em relação aos vegetais em 0,125 mm e somente grãos avermelhados em 0,062 mm. A maior massa ficou concentrada entre 0,062 mm e 0,125 mm (areia muito fina e fina) com 10.5575 g e 14.9347g, respectivamente, num contexto total de 29.9914 g da amostra na base (P3T2A3).

A amostra intermediária (P3T2A2) apresentou características similares à base no que se refere às escalas granulométricas de Wentworth, com o diferencial de não ter indicado fração argila e concentrar massa nos tamanhos areia fina e areia média somando 22.4817g dentro de um total da amostra de 29.5059 g, sugerindo que os materiais mais finos assentaram-se nas camadas mais profundas através da infiltração rápida das águas das chuvas em função do solo no setor apresentar, conforme amostras, característica arenosa, o que também explica o rápido transbordamento dos arroios após chuvas intensas de curta duração numa bacia hidrográfica que não conta com grandes declividades e vales escarpados.

A amostragem referente ao topo do testemunho (P3T2A1) demonstrou forte odor fecal durante os ensaios em laboratório quando submetido à separação da fração silte e argila no Método de Stokes, podendo indicar contaminação atribuída ao uso da terra na bacia hidrográfica.

O ambiente referente ao ponto de coleta 3 está localizado à montante da empresa mineradora de basalto e configura um setor da bacia hidrográfica próximo às

nascentes do arroio Santa Tecla. As amostras obtidas nas sondagens de P3T1 e P3T2 indicaram a fração areia predominante em 89% e a presença de silte, apresentando simetria deposicional nas amostras colhidas em margens opostas.

Tendo em vista os aspectos observados nas amostras trazidas no conjunto dos cinco testemunhos coletados em campo, pode-se constatar a ocorrência de materiais tecnogênicos superficiais acrescidos aos processos naturais de transporte e deposição do regime fluvial. Os sedimentos foram observados macro e microscopicamente, indicando partículas que variaram entre os tamanhos argila a cascalho fino. No que se refere aos depósitos de origem natural correspondem às litologias da área de estudo. Os materiais originados da ação antrópica assemelham-se a fragmentos de embalagens plásticas e restos de tecidos. A possível presença de carvão vegetal nos testemunhos pode estar relacionada às queimadas que ocorrem tanto de maneira natural como por ação antropogênica, a considerar o ambiente de coleta como área de agricultura, contudo, requer exame de Espectroscopia de Reflectância (ER) para diagnóstico preciso. Algumas amostras indicaram forte odor durante os ensaios em laboratório. De maneira genérica, é possível inferir que o uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia tem deixado sua assinatura na hidrografia e nos sedimentos transportados.

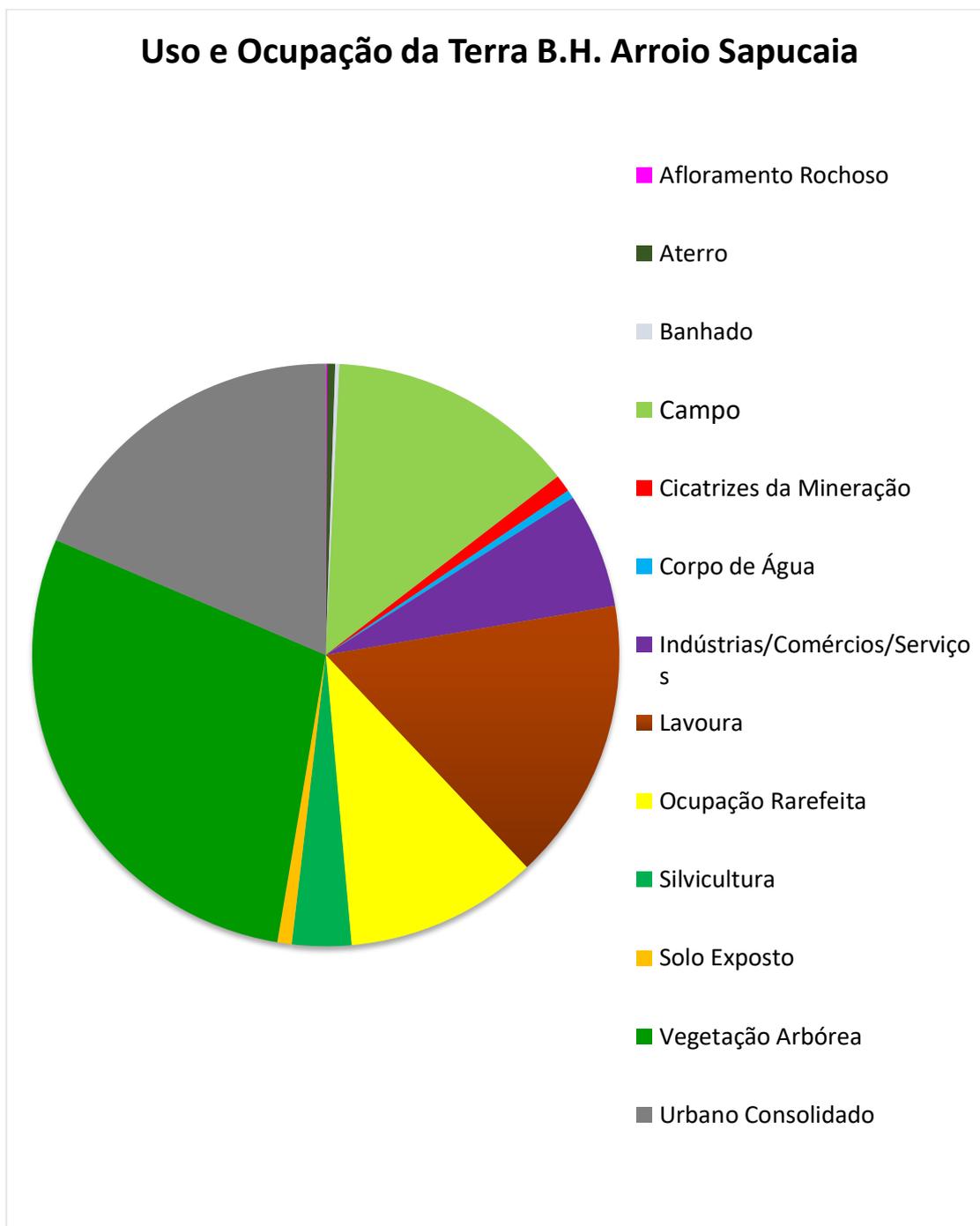
## CAPÍTULO VI

### 6. ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA

Em uma primeira análise a bacia hidrográfica em estudo apresenta duas situações espacialmente distintas no que se refere ao uso e ocupação da terra atual nos seus 129,7 km<sup>2</sup>: ocorre um setor urbano-industrial homogeneizado a oeste, próximo à foz com o rio dos Sinos, assentado sobre as menores altitudes, fraca declividade e que corresponde aproximadamente a um terço da área total da bacia hidrográfica; um outro setor espacialmente fragmentado a leste com uso predominantemente rural, com vegetação remanescente que soma 41% da área total entre campos e matas, local que conserva a rede de drenagem original e setores topográficos acima de 200 metros de altitude.

Entretanto, dentro das duas situações espacialmente distintas foram identificadas treze classes representativas do uso atual da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. O estudo desperta atenção para a degradação que vem ocorrendo na área das nascentes, especialmente na sub-bacia do arroio Santa Tecla, onde foram identificados acelerados processos erosivos nas encostas atravessadas por estradas e assoreamento de canais, banhados e campos. A participação por classe de uso e ocupação do total da área de estudo e as informações quantitativas (área em quilômetros quadrados e porcentagem) estão, respectivamente, identificadas na figura 36 e tabela 02. A seguir pode-se observar o produto cartográfico atualizado de uso e ocupação da terra (figura 37) e fotografias representativas de cada classe identificada.

Figura 36 - Distribuição das classes de uso e ocupação da terra na área de estudo.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Tabela 02 - Dados quantitativos referentes às treze classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>	<b>nº de Fragmentos</b>
Afloramento Rochoso	0,1	0,079937397	3
Aterro	0,5	0,434548637	4
Banhado	0,3	0,234890006	31
Campo	17,8	13,75338032	207
Cicatrizes da Mineração	1,5	0,955935022	12
Corpo de Água	0,6	0,466529575	127
Indústrias/Comércios/Serviços	8,4	6,373351982	12
Lavoura	20,3	15,68821253	180
Ocupação Rarefeita	13,7	10,6109976	95
Silvicultura	4,2	3,255702463	74
Solo Exposto	1,0	0,791654555	16
Vegetação Arbórea	37,3	28,81297137	73
Urbano Consolidado	24,0	18,54188855	5
<b>TOTAL</b>	<b>129,7</b>	<b>100</b>	<b>839</b>

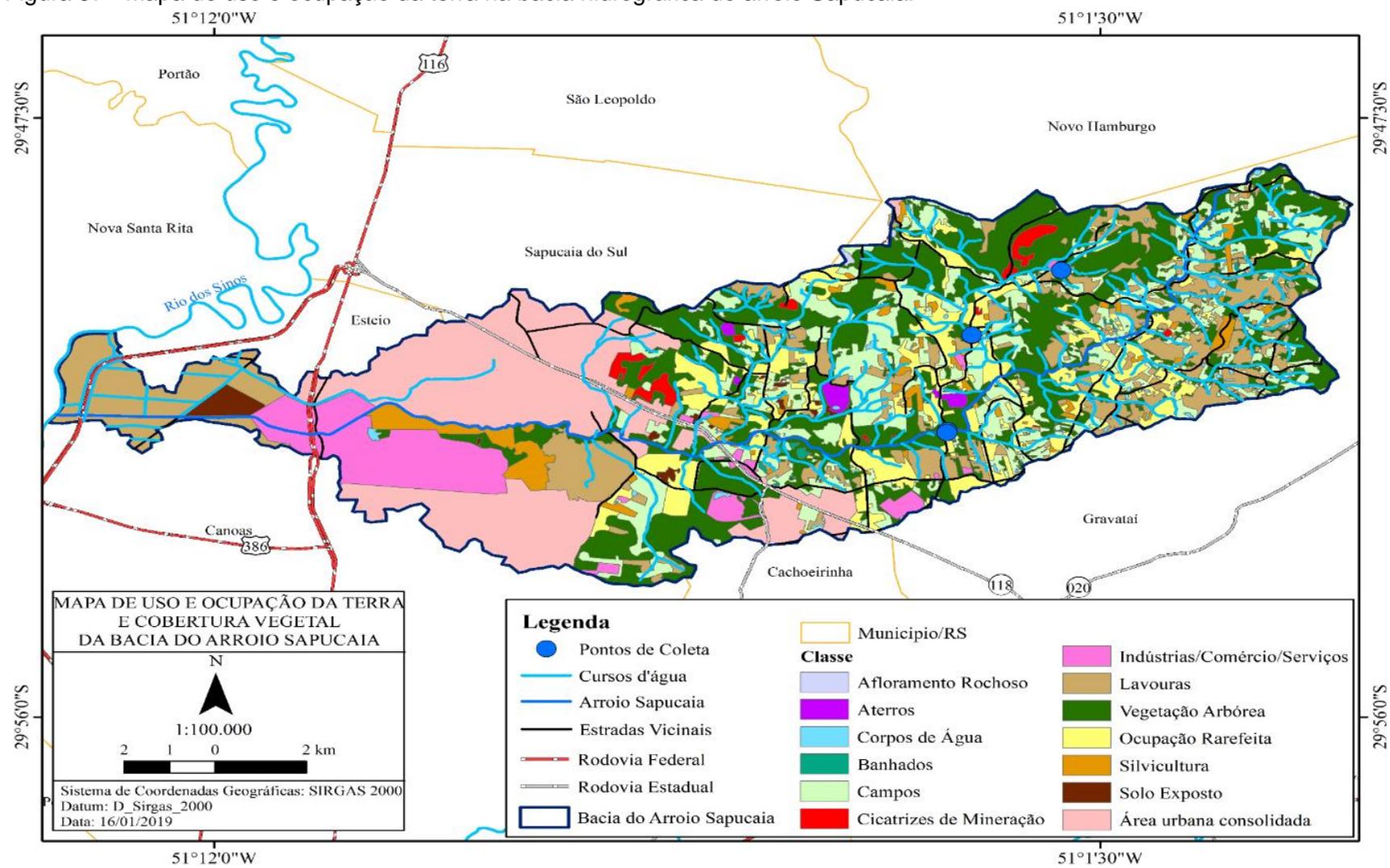
Fonte: Elaboração própria (2019).

A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia apresenta muitos recortes dentro das treze classes apresentadas, observados na tabela 02 por meio do número de fragmentos detectados espacialmente, fator que pode ser atribuído à sua localização no interior do quarto maior aglomerado metropolitano do Brasil (IBGE, 2010). O uso e ocupação da terra podem ser sintetizados através de mapas. Estes indicam a distribuição espacial da tipologia da ação antrópica que pode ser identificada pelos seus padrões homogêneos característicos na superfície terrestre através de análise em imagens remotamente sensoriadas. Sua identificação atualizada é de grande importância ao planejamento e orienta a gestão do ambiente, respeitando sua capacidade de suporte e sua estabilidade e vulnerabilidade.

A elaboração de mapas de uso e ocupação da terra é, na atualidade, uma importante ferramenta de subsídio à orientação e tomada de decisão. O conhecimento sobre o uso e ocupação da terra é importante para a compreensão dos possíveis padrões de organização do espaço, uma vez que suas tendências possam ser analisadas. As classes de uso e ocupação da terra atual na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, os pontos de coleta dos testemunhos sedimentares analisados no capítulo V, as redes viárias de circulação e a drenagem estão identificadas na figura 37. As classes mais representativas no que se refere à extensão espacial e às

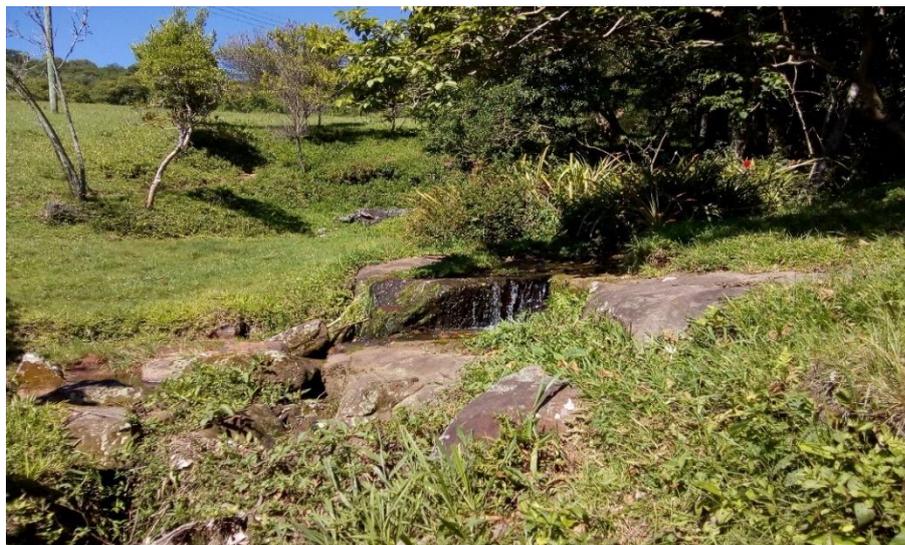
alterações antrópicas em curso acelerado na área das nascentes, ou seja, aquelas que corroboram com as análises no capítulo V, foram analisadas no presente capítulo com o auxílio de produtos cartográficos derivados da figura 37.

Figura 37 - Mapa de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 38 - Afloramento Rochoso: corresponde a 0,08% de área da bacia.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2018).

Figura 39 - Corpos de Água: Identificados 127 fragmentos representando açudes na área rural.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2018).

Figura 40 - Indústria/Comércio/Serviços: ocupam superfície de 8,4 km<sup>2</sup>, ou 6,3% de área na bacia.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

Figura 41 - Solo Exposto: áreas com solo desnudo, desprovido de vegetação. Ocorrem em apenas 0,8% em toda a bacia nas bordas de áreas de mineração.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

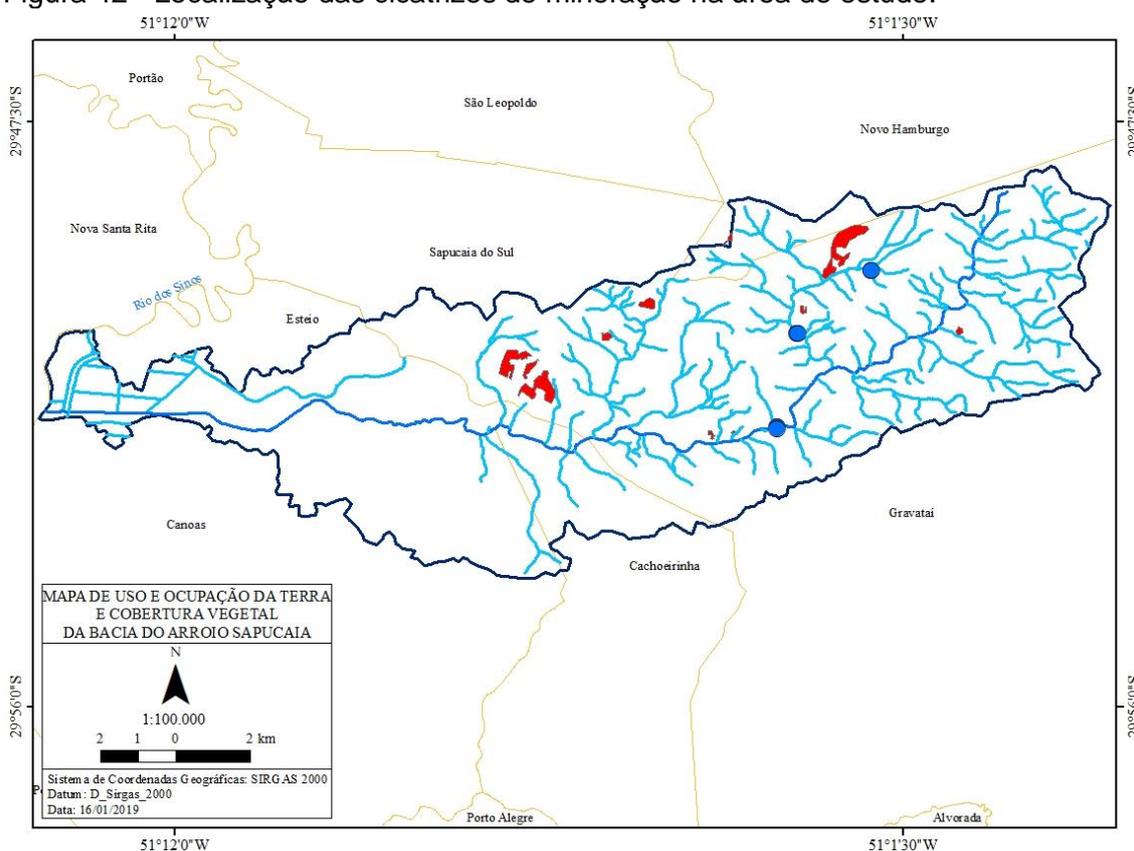
## 6.1 OS ATERROS E AS CICATRIZES DE MINERAÇÃO

É importante destacar a participação da mineração e dos aterros sanitários (figura 43) no que se refere aos desdobramentos territoriais de interiorização no ambiente rural apesar de ocuparem poucos espaços do total em área. Contudo, elevam a circulação de pessoas e veículos na bacia, fato que pode ser associado à classe mapeada Ocupação Rarefaita uma vez que tais atividades econômicas atraem população residente.

Os resultados das observações de campo, o mapeamento de uso e ocupação da terra e as análises em laboratório indicaram provável influência da mineração sobre a carga fluvial próxima às nascentes. Os sedimentos encontrados nos testemunhos coletados em ambientes de transbordamento de canal corroboram com a participação em potencial da mineração uma vez que a ocorrência de grão no tamanho cascalho foi significativamente maior nos pontos à jusante da atividade extrativista.

Os pontos de coleta e áreas de mineração, classe denominada Cicatrizes de Mineração, estão individualizados na figura 42, na qual constam dois pontos de coleta à jusante de uma grande área de extrativismo na formação Serra Geral pela empresa Pedra Mineração Concreto Pavimentação, subsidiária da ZMT (Zandoná Mineração e Terraplanagem LTDA) conforme consta no endereço eletrônico <https://www.zandonamineracao.com.br/>.

Figura 42 - Localização das cicatrizes de mineração na área de estudo.

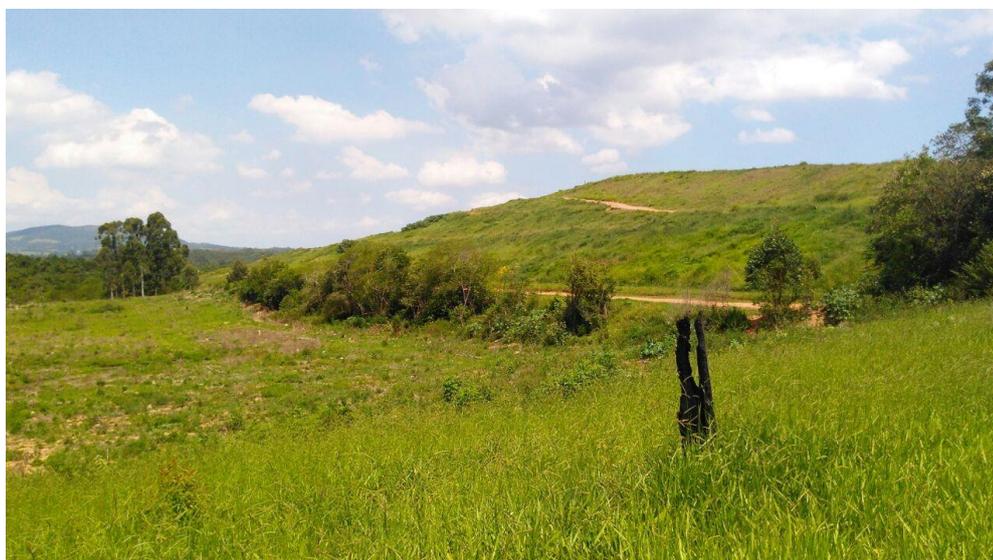


Fonte: Elaboração própria (2018).

As manchas indicadas na figura 42 e ilustradas na figura 44 mostram fragmentos perfeitamente identificáveis na escala de trabalho adotada e, apesar de somarem menos de 1% da área total, contribuem, também, para alavancar fluxos de

peças e veículos no interior da bacia, acarretando importantes alterações de origem antrópica que podem ser identificadas de acordo com níveis de intervenção. Como níveis de intervenção entende-se a retirada da cobertura vegetal e, posteriormente, a criação de uma nova morfologia ligada à mineração e ao meio urbano, onde ocorrem grandes cortes e/ou aterros no terreno para instalação do sistema viário e posterior instalação das construções (FUJIMOTO, 2008). As alterações se refletem na rede de drenagem por meio de resíduos da mineração, assim entendido por ser a bacia hidrográfica analisada de maneira integrativa em escala local ou regional, o que permite abranger a totalidade de um sistema.

Figura 43 - Aterro: na área de estudo foram identificados quatro fragmentos que correspondem 0,4% da superfície total da bacia.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Figura 44 - Cicatrizes da Mineração: cobrem 0,95% de área (1,5 km<sup>2</sup>).

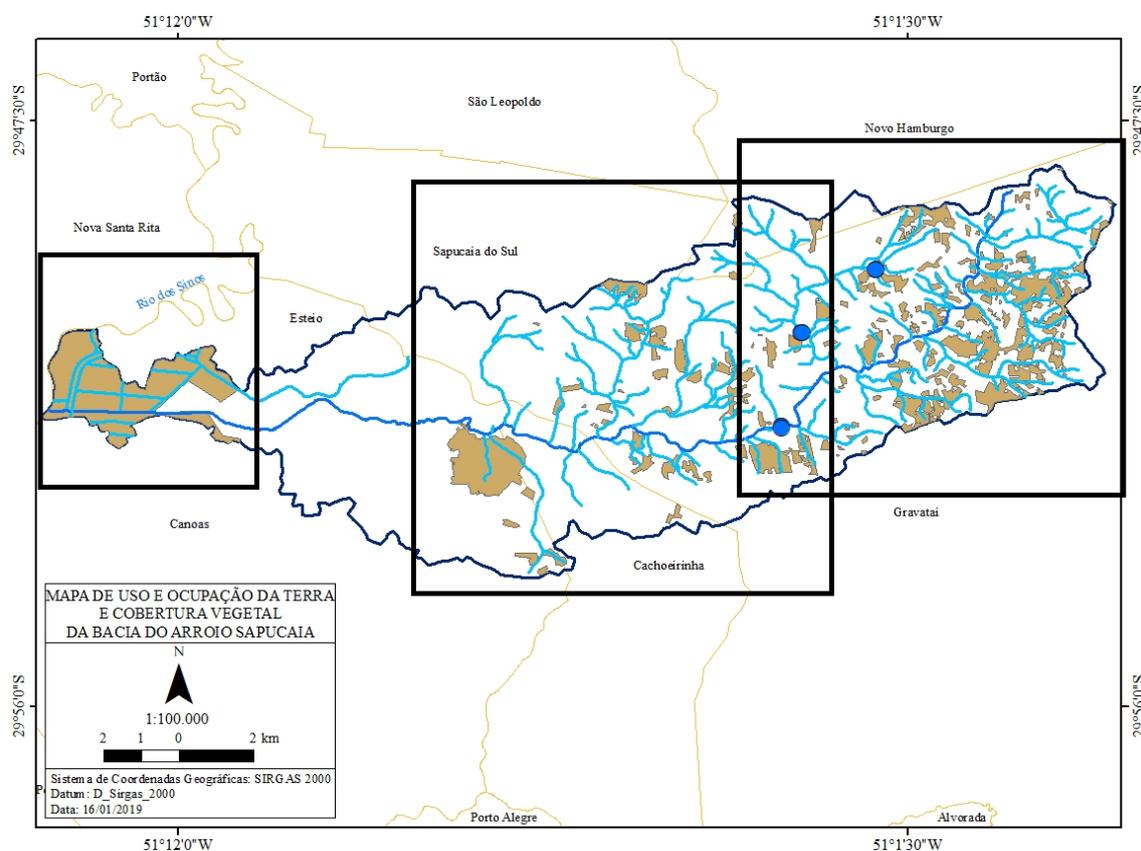


Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

## 6.2 AS LAVOURAS E SILVICULTURA

A agricultura tem importante participação nos espaços ocupados das parcelas de uso da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. O elevado número de açudes (figura 39) indica o uso agropecuário. Conforme a tabela 02, as áreas agricultáveis, classificadas como Lavouras na figura 37 e ilustradas na figura 46, ocupam pouco mais de 15% de superfície e estão distribuídas em várias partes que somam 20,3 km<sup>2</sup>. Contudo, pode-se destacar uma concentração de pequenos fragmentos de uso agrícola na parte leste da área de estudo, passando a pequenas áreas mais afastadas entre si no setor central da bacia e o contraste de uma grande área de rizicultura próxima a foz com o rio dos Sinos no extremo oeste, mostrados com destaque na figura 45, fato atribuído ao relevo. Os setores agricultáveis ao leste ocupam áreas de média declividade (8 a 20%) e altitudes entre 60 a 200 metros sobre terrenos que abrigam muitas nascentes. As altitudes acima de 200 metros e declividade Muito Forte (acima de 45%), que indicam os limites da bacia ao leste, são áreas de proteção ambiental ligadas ao entorno do morro Itacolomi e ocupadas por vegetação arbórea, conforme prevê a Lei Orgânica (Art.189) e Plano Diretor (Art.31) do município de Gravataí. São ambientes com declividades superiores a 30 graus onde é proibido o desmatamento e atividades que alterem as características naturais.

Figura 45 - Distribuição da classe de lavouras na área de estudo.



Fonte: Elaboração própria (2018).

A classe de uso da terra relacionado à silvicultura (figura 47) indicou 3,2 % de área total ocupada. A espécie mais utilizada é o eucalipto e o uso comercial abastece a indústria da construção nas proximidades. A silvicultura ainda apresenta baixa expressividade, em termos de área, nos domínios da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, quando comparada a outros tipos de cultivos.

Figura 46 - Lavoura: áreas totais de 20,3 km<sup>2</sup> (15,6%) que englobam terrenos usados para o cultivo agrícola.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

Figura 47 - Silvicultura: distribuídos em 74 fragmentos que somam 4,2 km<sup>2</sup>.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

### 6.3 VEGETAÇÃO ARBÓREA, CAMPOS E BANHADOS

A vegetação de porte arbóreo e os campos nativos (figuras 48 e 49) ocupam grandes áreas e, junto com as lavouras, somam consideráveis espaços nos setores próximos às nascentes. Apesar do impacto proveniente da atividade mineradora e da agricultura no que se refere ao assoreamento dos canais, ainda há grandes setores florestados no interior da área de estudo. Os artigos 168 ao 203 da Lei Orgânica de Gravataí, município que abrange a maior parcela de áreas vegetadas entre matas e campos na área de estudo, legisla sobre o meio ambiente e menciona a proteção de

banhados, rios, arroios, córregos, sangas e vertentes (Art. 187 e 188) e morros e encostas com declive superior a 30 graus (Art.189), destacando o Morro Itacolomi e parte da encosta do Planalto Meridional existentes no município. Os artigos mencionados preveem a proibição de atividades de desmatamento, terraplanagem, exploração imobiliária ou qualquer outra que altere as características naturais nestes ambientes, citados, também, no Plano Diretor Municipal no que se refere aos parâmetros para delimitar a Macrozona de Preservação Ambiental (Art. 31 ao 33). Contudo, é importante destacar o indício de contaminação em superfície detectado durante análise em laboratório da amostra P1T2A1 (0 a 7 cm) coletada em área de inundação e banhado (figura 50). A amostragem emitiu forte odor durante os ensaios, evidenciando o caráter de degradação em superfície que pode estar relacionada com mudanças no uso e ocupação da terra no entorno.

As áreas de vegetação arbórea abrangem as altas vertentes e margens dos arroios, correspondendo a 28% da área da bacia, a maior classe identificada no mapeamento e, somado aos 13,7 % de Campos, contribui ainda mais para um alto grau de proteção e atenua os efeitos erosivos, uma vez que restringe o escoamento superficial, a taxa de erosão e impermeabilização do solo (Ross, 1994). As florestas protegem os solos contra o impacto direto das gotas chuva e proporciona maior estabilidade aos agregados do solo, evitando os efeitos de uma acelerada erosão como entendem Guerra e Mendonça (2004). Os campos ocupam 17,8 km<sup>2</sup> e são aproveitados para a pecuária onde predominam animais de grande porte como bovinos, equinos e ovinos. Os afloramentos rochosos, ilustrados na figura 38, ocupam, principalmente, áreas de campos e topos de morros próximos às nascentes, bem como setores de vertentes onde predominam fortes declividades.

Figura 48 - Vegetação Arbórea: classe que representa a maior área ocupada na bacia hidrográfica com 37,3 km<sup>2</sup> ou 28,8% dos 129,7 km<sup>2</sup> totais.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

Figura 49 - Campo: predomina em 13,7 % da área de estudo distribuídos em vários fragmentos concentrados à leste.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

Figura 50 - Banhado: correspondem a 0,3 km<sup>2</sup> frente aos 129,7 km<sup>2</sup> de área total da bacia.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2018).

#### 6.4 OCUPAÇÃO RAREFEITA

Na área de estudo identificou-se espaços mesclados às atividades econômicas referentes ao ambiente rural e próximos às vias de interiorização, ilustrados na figura 51. São áreas onde as moradias são mais espalhadas e entrecruzadas com criação de animais e produção de alimentos. As áreas de Ocupação Rarefeita possuem características de baixa densificação onde predominam elementos naturais e atividades compatíveis com a produção primária dada sua localização em área rural. Ocupam 10,6% ou 13,7km<sup>2</sup> com maior frequência e tamanho de área na parte central (maior proximidade com a urbanização consolidada) da bacia hidrográfica em contraste aos pequenos fragmentos a leste, onde predominam as lavouras. A classe de Ocupação Rarefeita ocorre de maneira inversa em relação às áreas ocupadas pelas Lavouras no que se refere a sua localização nas porções central e leste da bacia. Enquanto as lavouras consomem maiores áreas no extremo leste, os setores de ocupação rarefeita ocupam maiores espaços no setor central, podendo indicar maior articulação com a urbanização consolidada ao oeste por ocasião da maior proximidade geográfica e proximidade com a malha rodoviária (RS-118).

Figura 51 - Ocupação Rarefeita: ocorre em 10,6% e consome um total de 13,7 km<sup>2</sup> concentradas à leste.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

## 6.5 URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA

O setor à oeste da Rodovia estadual RS-118 mostra as áreas de maior impermeabilização do solo na área de estudo, ou seja, é onde a paisagem apresenta homogeneização consolidada em forma de cidade, compreendidas nas figuras 40 e 52. Trata-se de uma parte da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia que abrange a área conturbada entre Porto Alegre e o vale do rio dos Sinos. A classe denominada Área Urbana Consolidada (figura 52) ocupa 18,5% da área de estudo em terrenos com declividades que variam entre Muito Fraco a Fraco (0 a 8%) e baixas altitudes (entre 0 e 60 metros), áreas que sofrem com alagamentos durante chuvas intensas e concentradas e até mesmo inundações tendo em vista que parte das áreas urbanas de Esteio e Sapucaia do Sul encontram-se na planície de inundação do rio dos Sinos.

Figura 52 - Urbano Consolidado: ocupa 24 km<sup>2</sup> e está concentrado no setor oeste.

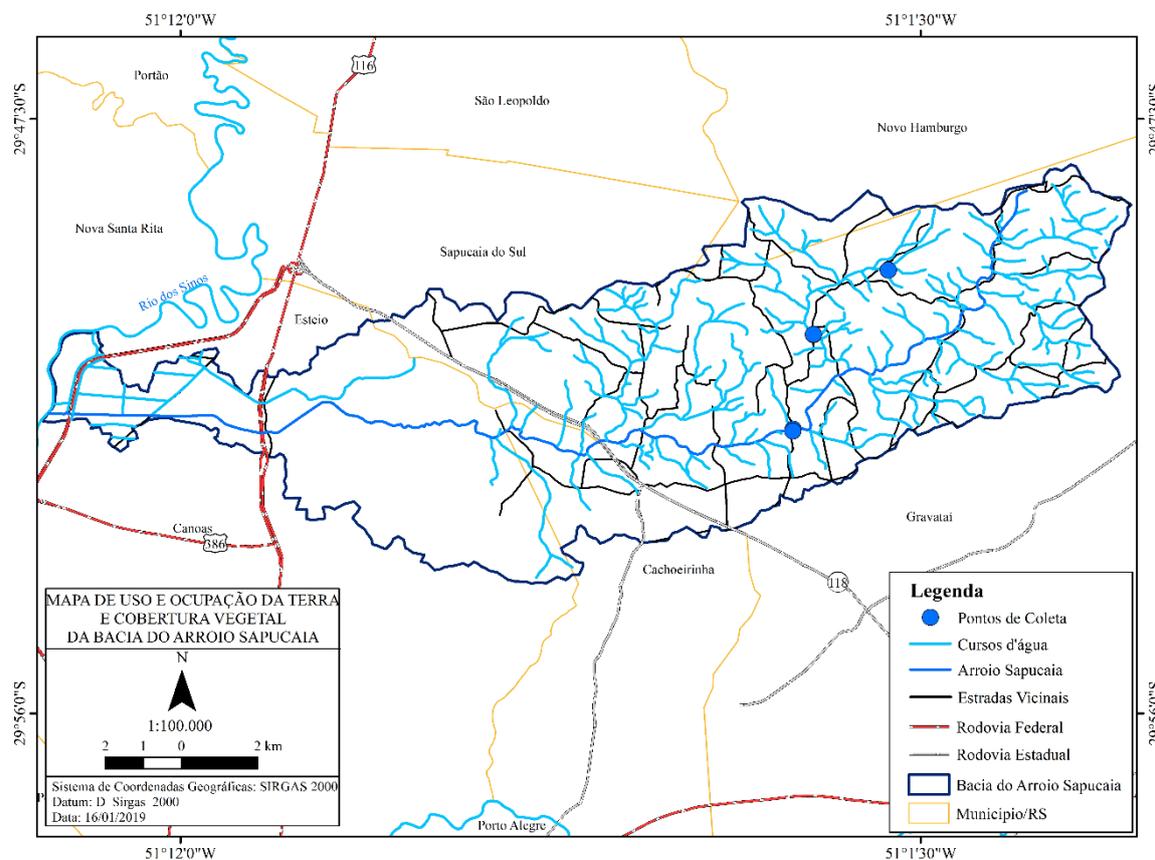


Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

## 6.6 VIAS DE ACESSO E REDE DRENAGEM, GERAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS E ASSOREAMENTO, AMBIENTE DEGRADADO

O setor rural da área de estudo conta com uma densa rede de drenagem em padrão dentrítico. É importante destacar neste setor, também, a existência de várias vias de acesso, em sua maioria não pavimentadas, que entrecruzam os arroios e banhados conforme mostra a figura 53, atravessando diferentes setores topográficos e facilitando o desencadeamento de processos erosivos.

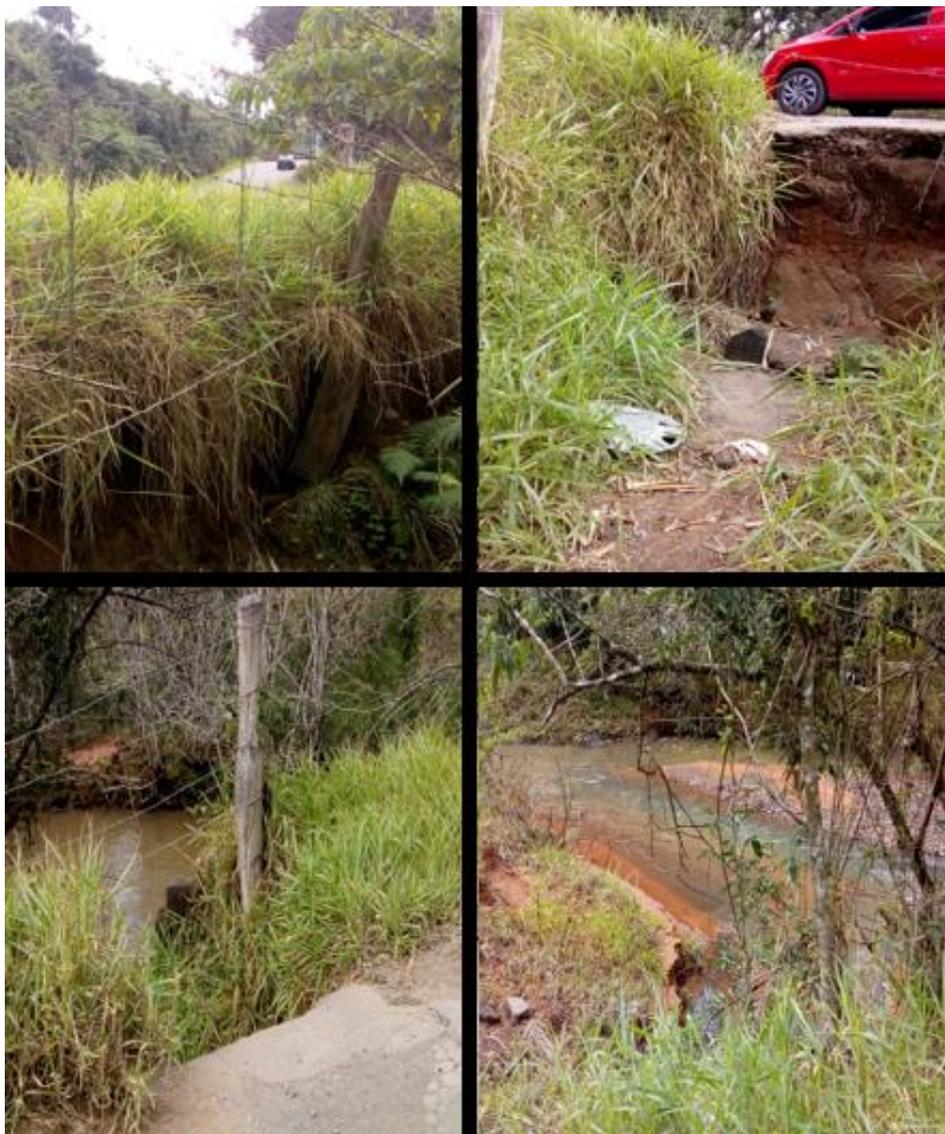
Figura 53 - Rodovias e estradas na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



Legenda: Nota-se vários cruzamentos entre vias e drenagem. Fonte: Elaboração própria (2018).

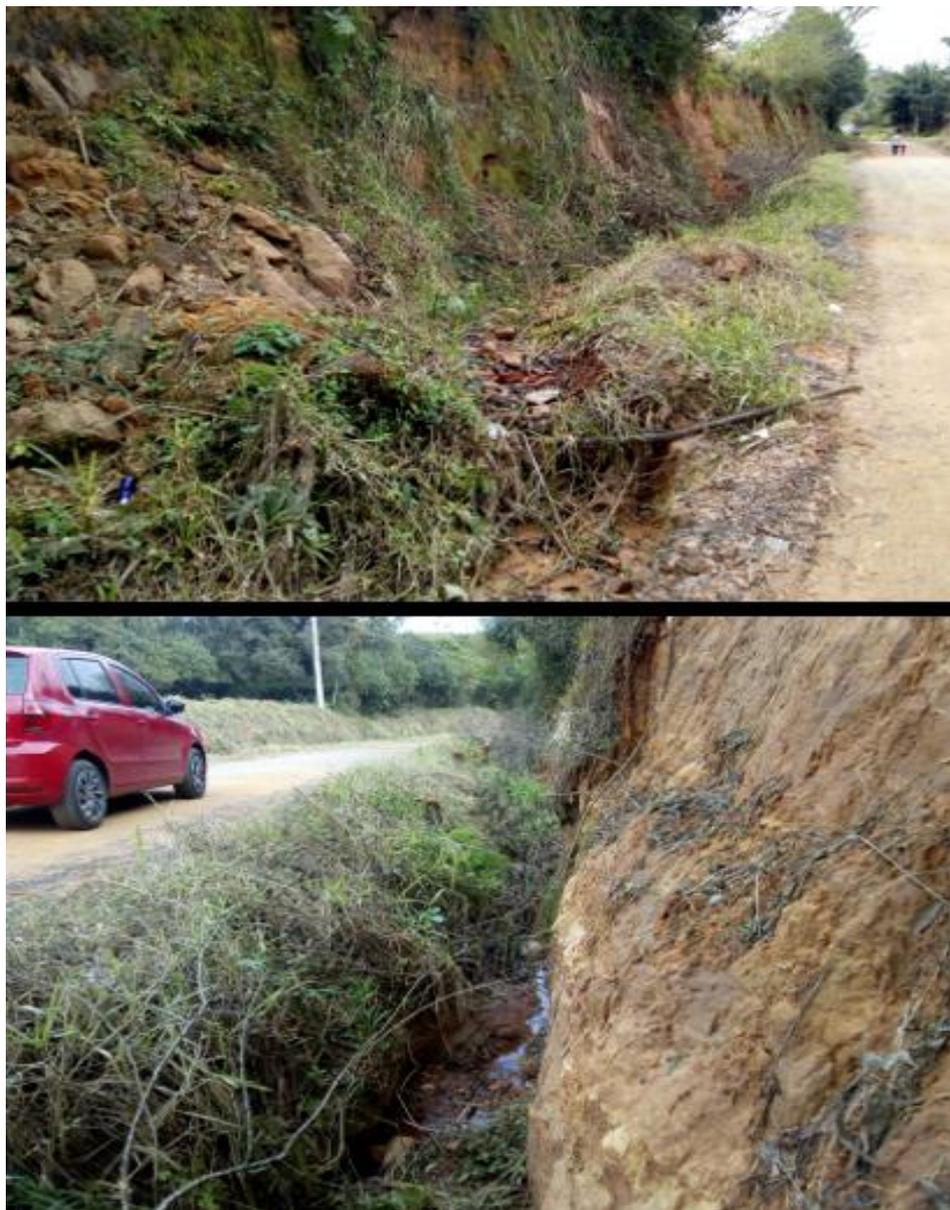
Vários são os fatores que interferem sobre processos erosivos como a energia cinética das águas das chuvas, propriedades químicas e físicas dos solos, comprimento, forma e declividade das encostas, cobertura vegetal, uso e manejo do solo (GUERRA; MENDONÇA, 2004). As estradas vicinais que ocorrem sobre terrenos com declividades Média a Forte (8 a 45%) situadas principalmente na sub-bacia do arroio Santa Tecla funcionam como corredores que facilitam o predomínio do escoamento e fluxo por terra de material em direção aos arroios. Levando em consideração a ausência de vegetação, a declividade, a presença importante da fração arenosa oriunda dos arenitos na composição do solo e a interceptação das estradas sobre os arroios, é esperado a ocorrência de áreas assoreadas à jusante deste local, intensificados após chuvas de elevado volume em poucas horas, a considerar, também, a média anual em torno de 1600 mm. As figuras 54 a 57 mostram uma sequência de processos erosivos e assoreamento gerados por ação hídrica na sub-bacia do arroio Santa Tecla após fortes chuvas em julho de 2019.

Figura 54 - Erosão nas bordas da estrada Henrique Closs.



Legenda: Erosão nas bordas da estrada Henrique Closs (cerca suspensa) e assoreamento no canal do arroio Santa Tecla logo abaixo da ponte. O ambiente se localiza no bairro Santa Tecla em Gravataí (RS). Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

Figura 55 - Erosão hídrica nas bordas da estrada Quebra Dente.



Legenda: Erosão hídrica nas bordas da estrada Quebra Dente localizada no bairro Santa Tecla em Gravataí (RS). Fotografias obtidas em pontos próximos e direções opostas. Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

Figura 56 - Erosão hídrica paralela à estrada Quebra Dente.



Legenda: Erosão hídrica paralela à estrada Quebra Dente após chuva intensa em julho de 2019. Fotografias obtidas em diferentes pontos da estrada vicinal. Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

Figura 57 - Erosão hídrica perpendicular à estrada Quebra Dente.



Legenda: Erosão hídrica perpendicular à estrada Quebra Dente, bairro Santa Tecla em Gravataí (RS). Fotografias obtidas em julho de 2019 em pontos próximos e margens opostas da estrada. Pode-se notar nas duas imagens superiores uma cerca suspensa, a tentativa de contenção do fluxo erosivo em direção à estrada com pneus e a raiz exposta de uma árvore. Na imagem maior, já no lado oposto da estrada, o registro da erosão hídrica com fluxo vertente abaixo em direção ao arroio Santa Tecla. Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

As estradas vicinais do nordeste da área de estudo, sobretudo aquelas situadas na sub-bacia do arroio Santa Tecla, percorrem terrenos com altitudes entre 30 e 340 metros e todas as classes de declividades utilizadas nesta pesquisa (0 – 3%: Muito Fraco; 3 – 8%: Fraco; 8 – 20%: Médio; 20 – 45%: Forte; >45%: Muito Forte). As vias em questão são as estradas Henrique Closs, Morro de Paula, Quebra Dente e Estrada da Antena, sendo que apenas a Henrique Closs possui pavimentação por ser a

principal via de acesso ao interior da zona rural pela rodovia RS-118. As demais vias de acesso, sem pavimentação, facilitam o desencadeamento de processos erosivos por ação hídrica, principalmente após chuvas intensas, como aqueles mostrados nas figuras 54 a 57, ocorrendo sobretudo em fortes declives, submetidos à interferência antrópica.

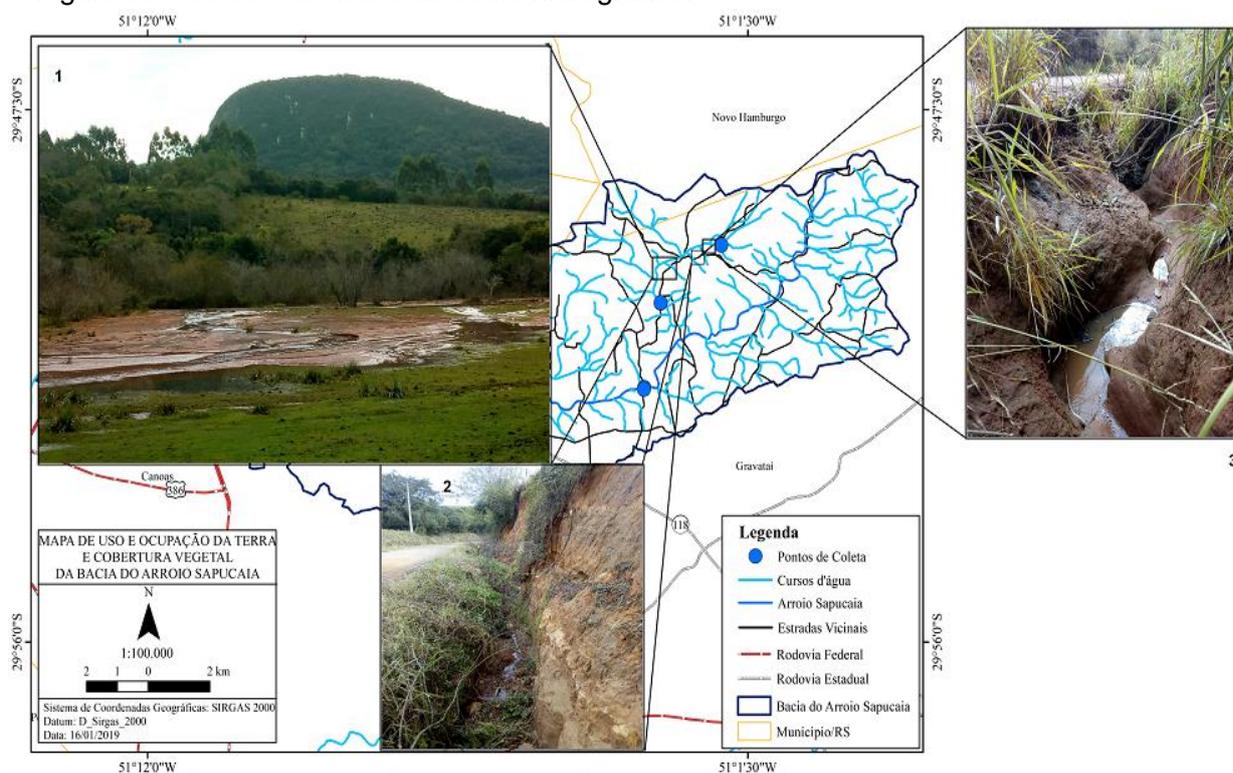
A figura 58 mostra um exemplo da degradação ambiental, conforme conceito aplicado por Guerra e Cunha (2010), que acontece na zona rural da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. Trata-se do evidente desequilíbrio causado na paisagem e que vem ocorrendo, de maneira acelerada, em dois compartimentos (na encosta e no vale) na sub-bacia arroio Santa Tecla. Entende-se a degradação ambiental sob o enfoque das relações existentes entre o meio degradado e a sociedade causadora dessa degradação que, ao mesmo tempo, sofre os efeitos e procura resolver, recuperar, reconstruir as áreas degradadas (GUERRA; CUNHA, 2010). Material similar ao removido e britado pela empresa Pedra Mineração, área de extração localizada na sub-bacia do arroio Santa Tecla que drena 16,3 km<sup>2</sup>, é encontrado ao longo das estradas vicinais (a empresa empreende também nas áreas de pavimentação e terraplanagem como consta em seu site - <http://pedra.com.br/>) e junto aos canais assoreados dos arroios, como foi demonstrado anteriormente na figura 36 e nas análises do capítulo V. Conforme relato de moradores, há prejuízos materiais como rachaduras nas paredes das residências e desestabilização de terrenos decorrentes da explosão das dinamites.

De acordo com Coelho Netto (2012), o sistema de drenagem é considerado um sistema aberto onde ocorre entrada e saída de energia. As bacias de drenagem recebem energia fornecida pela atuação do clima e da tectônica locais, eliminando fluxos energéticos pela saída da água, sedimentos e solúveis. Indo ao encontro do conceito do autor, a mineração pode estar contribuindo para a degradação em uma sub-bacia de apenas 16,3 km<sup>2</sup> em relação à pujança da exploração quando, além de dispor material originado na extração mineral, fornece energia por meio dos sismos originados na mina, causando desestabilidade nos terrenos da sub-bacia e facilitando o intemperismo e a erosão a considerar os 1600 mm anuais precipitados nesta região. A figura 58 (1) mostra uma área de campo e banhado que foi amplamente assoreada entre os meses de janeiro a julho de 2019. A figura 59 mostra a comparação no mesmo ambiente sob diferentes ângulos de imagens obtidas do Google Earth de janeiro de 2019 com fotografias tiradas em julho do mesmo ano após intensas chuvas

neste mês. A comparação demonstra um claro processo de assoreamento sobre um banhado.

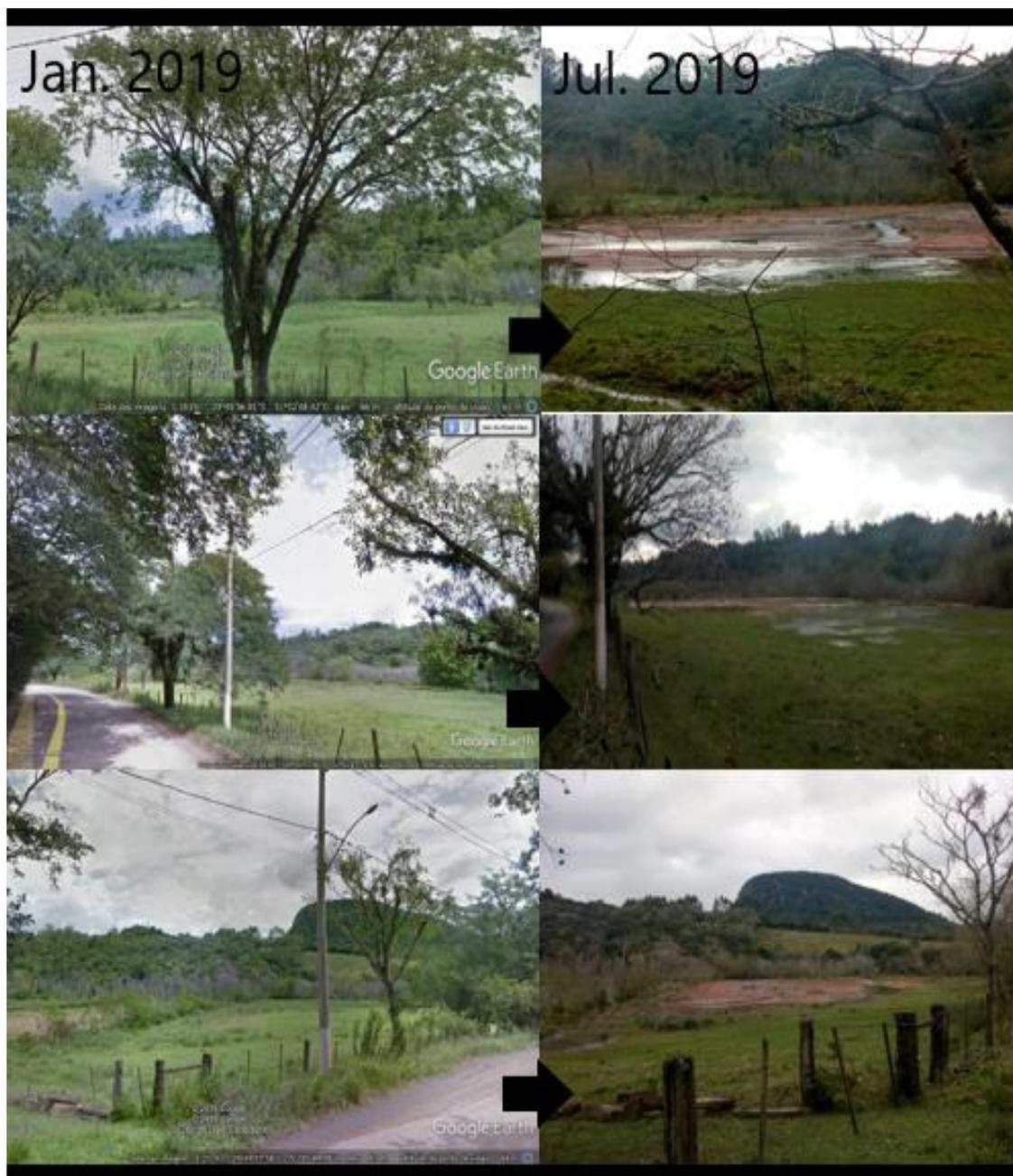
A figura 60, por sua vez, evidencia assoreamento do canal do arroio Santa Tecla em dois pontos diferentes observados sobre pontes das estradas vicinais. A primeira fotografia (1) foi obtida sobre a ponte localizada na estrada Morro de Paula e a segunda (2) mais à jusante, localizada na estrada Henrique Closs, próxima a confluência com o arroio Sapucaia. A figura 60 permite observar sedimentos de coloração cinza a escuro junto aos depósitos arenosos, resíduos originados na britagem do basalto extraído na mineração. Os dois pontos estão localizados em superfícies com declividade muito fraca, entre 0 e 3%.

Figura 58 - Setores ao norte da bacia hidrográfica.



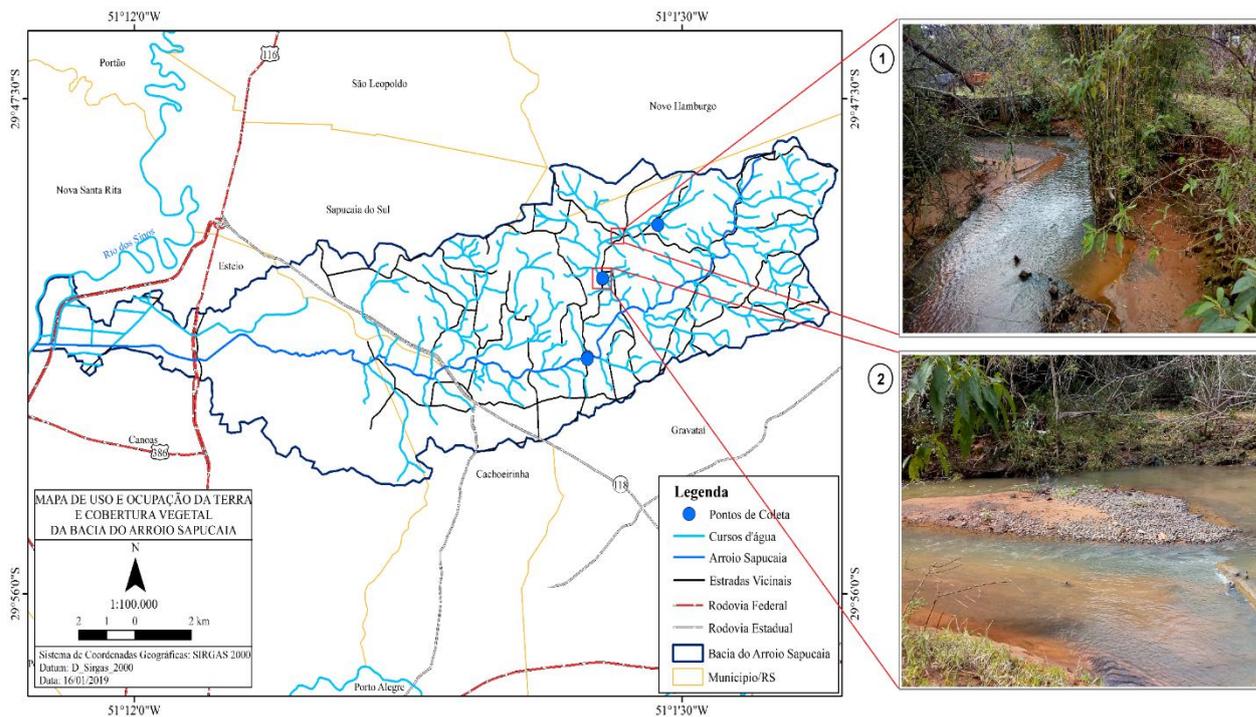
Legenda: Setores ao norte da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia sob processo de erosão em taludes às bordas de estradas vicinais (2 e 3) e assoreamento em área de campo e banhado (1) à jusante em julho de 2019. Localidade situada na sub-bacia do arroio Santa Tecla. Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 59 - Processo de assoreamento em banhado.



Legenda: Processo de assoreamento em banhado após extravasamento do canal do arroio Santa Tecla próximo a estrada Henrique Closs em Gravataí-RS, demonstrados em sequência em diferentes meses no ano de 2019. Fonte: imagens do Google Earth e arquivo pessoal do autor (2019).

Figura 60 - Arroio Santa Tecla no município de Gravataí (RS).



Legenda: Arroio Santa Tecla no município de Gravataí (RS) observado em dois locais distintos em julho de 2019. Ponto nº 1: ponte sobre a estrada Morro de Paula. Ponto nº 2: ponte localizada na estrada Henrique Closs. Fonte: Elaboração própria (2019).

Com base no que foi apresentado no capítulo, dentro das duas situações espacialmente distintas foram identificadas treze classes representativas do uso atual da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. O estudo desperta atenção para a degradação que vem ocorrendo na área das nascentes, especialmente na sub-bacia do arroio Santa Tecla, onde foram identificados acelerados processos erosivos nas encostas atravessadas por estradas e assoreamento de canais, banhados e campos. A atuação da extração mineral parece exercer considerável pressão sobre a sub-bacia do arroio Santa Tecla, afluente do arroio Sapucaia, a considerar sua extensão de 16,3 km<sup>2</sup> frente à pujança extrativista, principalmente por disponibilizar ao ambiente excesso de materiais derivados da exploração comercial e facilitar, de certo modo, o carreamento destes materiais para o leito dos arroios, principalmente após intensas e volumosas chuvas. O fator exógeno, que por si já é um facilitador dos processos erosivos e dos assoreamentos, parece ser potencializado pela introdução antrópica do fator endógeno, que ocorre por meio da geração de sismos via detonação das dinamites na pedreira, causando fragilidade nas encostas e até mesmo rachaduras nas residências próximas. O ambiente na região das nascentes da área de estudo, apesar de contar com importante parcela de vegetação arbórea e mata ciliar, mostra evidências da atuação antrópica através de formas erosivas por ação hídrica facilitada pela abertura de estradas perpendiculares à linha de drenagem em terrenos de elevadas altitudes e fortes declividades, sobre rios temporários de primeira ordem, deixando como herança um ambiente fruto dos eventos geo-hidro-climáticos e a imponente contribuição do fator antrópico.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Geomorfologia, em seu caráter integrador e sua interface com os desdobramentos humano-ambientais, foi de fundamental importância na compreensão e identificação da degradação ambiental através do reconhecimento das formas, processos e materiais observados na área de estudo, bem como a Bacia Hidrográfica como unidade de estudo dado seu caráter integrador entre fatores naturais e humanos.

A pesquisa realizada teve como principal objetivo identificar e analisar alterações em curso na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia provocadas pelo fator antrópico através da análise de depósitos sedimentares e do uso e ocupação da terra atual. Os testemunhos sedimentares permitiram identificar indícios de atividades influenciadas pelo uso do solo em amostragem textural e o mapeamento contribuiu para a espacialização dos possíveis eventos relacionados. Os estudos partiram do entendimento de que as alterações provocadas pelo uso da terra têm reflexos na dinâmica fluvial por meio da geração de materiais oriundos principalmente da mineração.

As atividades humanas na área da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, situada na quarta Região Metropolitana mais populosa do Brasil, conforme IBGE (2010), Região Metropolitana de Porto Alegre, contribuem para gerar profundas alterações antrópicas que são materializadas na paisagem, o que denotou mudanças geomorfológicas (formas, processos e materiais), observadas, principalmente, na construção de aterros e remobilização de material lítico através da mineração, constatados no estudo. As atividades ligadas às intervenções, principalmente através da mineração, tornam-se objeto de preocupação porque ocorrem próximas às áreas de recarga e cabeceiras de drenagem.

A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia compreende parte dos municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Novo Hamburgo e Sapucaia do Sul, territórios que contam com atividades industriais e são densamente urbanizados. Contudo, é o meio rural que arca com custos que advêm da grande urbe. Através dos materiais sedimentares obtidos na zona rural do município de Gravataí, no alto curso do arroio Sapucaia e na sub-bacia do arroio Santa Tecla, pode-se inferir que algumas atividades ligadas ao uso do solo interferem na carga fluvial, materiais de leito que são posteriormente depositados após as cheias.

Os pontos onde foram coletados os sedimentos para análise estão localizados em ambientes de inundação, evento potencializado pelo entrecruzamento da rede viária com a drenagem em terrenos de relevo baixo e de fraca declividade, características identificadas durante as observações de campo e demonstradas nos produtos cartográficos de média escala da área de estudo. Foram escolhidos dois pontos à jusante e um ponto à montante de uma área mineradora de extração de basalto e os resultados indicaram ação desta atividade sobre os arroios.

A realização de estudos em laboratório do material testemunho foi fundamental para a compreensão dos processos atuantes nos pontos de coleta e nas partes à montante destes na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, atingindo o objetivo proposto pelo estudo. Identificou-se, através dos materiais encontrados, a influência da mineração no que se refere à oferta ao sistema de sedimentos oriundos da extração, bem como objetos de fabricação humana como lascas de tecidos e fragmentos de embalagem plástica, demonstrando o fator antrópico no espaço das nascentes na área de estudo. A emissão de forte odor durante ensaios em algumas amostras serviu de alerta para uma possível contaminação das águas e do solo. Os resultados da análise em laboratório permitiram identificar a predominância da fração arenosa nas camadas sedimentares. Ainda que a presença de depósitos com textura areia seja esperada no leito fluvial e áreas próximas, sua predominância indica, associada também à presença de detritos residuais de mineração, o assoreamento ligado ao uso da terra.

A produção de mapeamento de uso e ocupação da terra demonstrou que a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia possui características de densa urbanização da mancha metropolitana e indícios de degradação ambiental próximo às nascentes em meio rural mais afastado, ainda que a ocupação não seja intensa nesta área e predomine classe de vegetação arbórea e campos. Embora a pressão demográfica no local não mostre ameaça próximo às nascentes, evidenciada pela classe de Ocupação Rarefeita, a necessidade da obtenção de recursos naturais por meio da mineração e o traçado das estradas vicinais em relação à drenagem em topografias variadas resultou em processo erosivo laminar nas margens das vias, facilitando o carreamento de detritos em direção às partes mais baixas e assoreamento de canais e banhados.

Os resultados finais mostraram que a relação entre o meio natural e o fator antrópico na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia têm grande influência na erosão

hídrica, mostrando maior predominância nas áreas de maior declividade atravessadas por estradas sem pavimentação, com posterior deposição em áreas mais baixas e fraca declividade próxima aos arroios e banhados, causando assoreamento e depósitos induzidos com importante contribuição de detritos residuais da exploração mineral na sub-bacia do arroio Santa Tecla. Sabendo da importância hídrica, com acumulados de até 1.600 mm anuais, é preciso aprofundar os estudos nos setores de nascentes para que se desenvolva uma utilização sustentável dos seus recursos naturais, minimizando os impactos dos diversos usos da terra, principalmente aqueles mais atuantes, dado o caráter potencial de imposição técnica.

O presente trabalho, ao demonstrar e analisar a configuração atual do uso da terra na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, permite validação e comparação com outras literaturas de temática semelhante uma vez que os traçados das relações humano-ambientais ocorrem de maneira significativa e se materializam em tempo real na paisagem, deixando registros estratigráficos no tempo. É preciso compreender as relações existentes entre a degradação ambiental e a sociedade causadora que, ao mesmo tempo, sofre os efeitos e procura resolver, recuperar e reconstruir as áreas degradadas.

## REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A.N. Províncias Geológicas e Domínios Morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, São Paulo, v.20, 26 p, 1970.
- ALTAFINI, D. **As Dimensões Econômica e Morfológica da Organização Espacial da Atividade Industrial na RMPA: Interfaces com o Planejamento Urbano e Regional**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- ARAÚJO, L. M. de. **Aterro/lixão, Mineração e Moradores “Sacrificados”**: Conflitos Ambientais e “Alternativas Infernais” na Comunidade Rural Santa Tecla, Gravataí. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Econômicas. Programa de Pós-Graduação em desenvolvimento Rural. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017.
- AZZONI, C. R. **Indústria e Reversão da Polarização no Brasil**. São Paulo: IPE/USP, 1986.
- BOTELHO, R.G.M.; SILVA, A.S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: GUERRA, A.J.T e VITTE, A.C. (org). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, 280p.
- BOTELHO, M.G.R.; SILVA, S.A. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010, p. 153-189.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1967**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao67.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao67.htm). Acessado em: maio de 2019.
- BRASIL. **Emenda Constitucional nº 1, de 17 de outubro de 1969**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Emendas/Emc\\_anterior1988/emc01-69.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Emendas/Emc_anterior1988/emc01-69.htm). Acessado em: maio de 2019.
- BRASIL. **Lei Complementar nº 14, de 08 de junho de 1973**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lcp/Lcp14.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp14.htm). Acessado em: maio de 2019.
- BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acessado em: julho de 2019.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura** – Divisão de Pesquisas Pedológicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Recife, 431 p., 1973.
- BRUBACHER, J. P. **Inundações e Enxurradas, Município de Esteio – RS**. Dissertação de Mestrado. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016.
- CHEMEKOV, Y.F. Tecnogenic deposits. In: **INQUA Congress**, 11, Moscow, Abstracts...v.3, p.62, 1983.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 2ª ed. 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: Guerra, A.J.T e Cunha, S.B. (org). **Geomorfologia, Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, 474p.

COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: Guerra, A.J.T e Cunha, S.B. (org). **Geomorfologia, Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, 474p.

CORRÊA, R. L. **Região e Organização Espacial**. 7ª edição. São Paulo: Editora Ática, 2000.

COUTO, O.F.V. **Geração de um Índice de Sustentabilidade Ambiental para Bacias Hidrográficas em Áreas Urbanas Através do Emprego de Técnicas Integradas de Geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro, Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Sul. In: **Programa geologia do Brasil**. Mapas estaduais 1:750.000-SIG. Formato em DVD. 2008.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre - PDM**. Disponível em: [https://sosgisbr.files.wordpress.com/2011/09/mapageologico\\_poa.jpg](https://sosgisbr.files.wordpress.com/2011/09/mapageologico_poa.jpg). Acesso em: 11 mar. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil: morphology, genesis and classification**. J. Wiley: New York, 395p, 1989.

FUJIMOTO, N.S.V.M. Alterações Ambientais na Região Metropolitana de Porto Alegre – RS: Um Estudo Geográfico com Ênfase na Geomorfologia Urbana. In: NUNES, J.O.R., ROCHA, P.C. (org). **Geomorfologia, Aplicações e Metodologias**. São Paulo: Editora Expressão Popular, 2008, p.111-112.

GRAVATAÍ. Câmara Municipal. **Lei Orgânica**. Disponível em: <https://cmgravatai.rs.gov.br/files/lei-organica-gravatai.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2019.

GRAVATAÍ. Câmara Municipal. **Plano Diretor Municipal**. Disponível em: [file:///C:/Users/WINDOWS/Downloads/Lei\\_Ordinria\\_N\\_15412000.pdf](file:///C:/Users/WINDOWS/Downloads/Lei_Ordinria_N_15412000.pdf) . Acesso em: 24 jul. 2019.

GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

GUERRA, A.J.T; MENDONÇA, J.K.S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: GUERRA, A.J.T e VITTE, A.C. (org). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, 280p.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS – IBGE**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/gravatai/panorama>. Acesso em: 25 nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS – IBGE. **Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/rs\\_pedologia.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/rs_pedologia.pdf) . Acesso em: 20 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censos Demográficos 1991/2000/2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 maio 2019.

LEFÈBVRE, H. **Writing on cities - Part II**. The Right to the City: Blackwell, 1996.

LAMBIN, E.F.; GEIST, H. **Land-Use and Land-Cover Change**. Local Processes and Global Impacts: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

LAMBIN, E.F.; GEIST, H. **Land-Use and Land-Cover Change**. Local Processes and Global Impacts: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

MARTINS, C. M. dos R. **Caracterização da Região Metropolitana de Porto Alegre**. Secretaria do Planejamento, Gestão e Participação Cidadã. Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. Texto para Discussão FEE nº 112. Porto Alegre, 2013.

MOURA, J. R. da S. de. Geomorfologia do Quaternário. In: Guerra, A. J. T; Cunha, S.B. (org). **Geomorfologia, Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, 474p.

OLIVEIRA, A.M.S. Depósitos tecnogênicos associados à erosão atual. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, Salvador. Anais, ABGE: ABMS, v.1, p.411-415, 1990.

**PEDRA: MINERAÇÃO, CONCRETO, PAVIMENTAÇÃO**. Disponível em: <http://pedra.com.br/>. Acesso em: 31 jul. 2019.

PELOGGIA, A.U.G. A dialética da Geologia (temas de Geologia inspirados na obra de Friedrich Engels, e suas aplicações). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n.2, p.107:110, 1995.

PELOGGIA, A.U.G. O Homem e o Ambiente Geológico: Geologia, Sociedade e Ocupação Urbana no Município de São Paulo. São Paulo: Xamã, 1998. .

PELOGGIA, A.U.G. **Estudos de Geotécnica e Geologia Urbana (I)**. Manual Técnico 3/GT-GEOTC. São Paulo, 1999.

REINERT, D.J. et al. **Principais Solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul**: guia de excursão. 2ed. Santa Maria: Departamento de Solos, UFSM, 2007.

RODRIGUES, C.; GOUVEIA, I.C.M. Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na Grande São Paulo. In: GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.C.O. (org.). **Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, p.66-92.

ROSS, J.L.S. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**. Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP, n.º 6, 17-29, 1992.

ROSS, J.L.S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, nº 8, FFCCH, 1994.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia**: Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 1994.

ROSSATO, M.S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.

**SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**. Disponível em:

[http://ww1.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=56&cod\\_conteudo=5865](http://ww1.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=56&cod_conteudo=5865)Acesso em: 11 mar. 2018.

STRECK, E. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008, 222 p.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Religar a Geografia**. Natureza e Sociedade. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2017, 180p.

SUERTEGARAY, D.M.A; MOURA, N.S.V. Morfogênese do Relevo do Estado do Rio Grande do Sul. In: **Rio Grande do Sul**: Paisagens e territórios em transformação. VERDUM, R; BASSO, L.A; SUERTEGARAY, D.M.A. (org.). 2. Edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012, 360p.

SUERTEGARAY D.M.A.; ROSSATO M.S.; BELLANCA E.T.; FACHINELLO A.; CÂNDIDO L.A.; SILVA C.R. **Terra Feições Ilustradas**. SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). 3º ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 263 p., 2008.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes Fluviais. Processos Sedimentares Fluviais**. 2ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1990, 183 p.

TER-STERPANIAN, G. **Begining of the Technogene**. Bulletin I.A.E.G., n.38, p.133-142. 1988.

TORRADO, P.V; LEPSCH, I.F. e CASTRO, S.S. **Conceitos e Aplicações das Relações Pedologia-Geomorfologia em Regiões Tropicais Úmida**. Tópico Ci. Solo, v. 4, 145-192, 2005.

VALERIANO, M. de M. Dados Topográficos. In: Florenzano, T. G. (org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p.72-104.

VALERIANO, M. **Topodata**: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. 2008. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

WHITEHEAD, M. **Environmental Transformation. A geography of Anthropocene**. Routledge. London, 2014. 190p.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Púb.**; v.27, n.2, p.5-18, 1993.

**ZMT**. Zandoná Mineração e Terraplanagem LTDA. Disponível em: <https://www.zandonamineracao.com.br/>. Acesso em: 31 jul. 2019.

## APÊNDICE

## APÊNDICE A - ORGANOGRAMA IDEALIZADO PARA SE CHEGAR AOS RESULTADOS DA PESQUISA.

