

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ARTIFICIALIZAÇÃO DO SEDIMENTO FLUVIAL EM CORPOS HÍDRICOS  
DA BACIA DO CÓRREGO DA ÁGUA BRANCA – ITIRAPINA/SP**

DANIELE TOYAMA

São Carlos  
2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ARTIFICIALIZAÇÃO DO SEDIMENTO FLUVIAL EM CORPOS HÍDRICOS  
DA BACIA DO CÓRREGO DA ÁGUA BRANCA – ITIRAPINA/SP**

Daniele Toyama

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Urbana.

Área: Geotecnia e Geoprocessamento Aplicado

Linha de Pesquisa: Geotecnia em áreas urbanas, com foco em contaminação de água subterrânea e estudo de depósitos tecnogênicos

Orientadora: Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes

São Carlos  
2020

Toyama, Daniele

Artificialização do sedimento fluvial em corpos hídricos da bacia do córrego da Água Branca - Itirapina/SP / Daniele Toyama -- 2020. 175f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos  
Orientador (a): Denise Balestrero Menezes  
Banca Examinadora: Denise Balestrero Menezes, Frederico Yuri Hanai, Juliana Assunção Ivar do Sul  
Bibliografia

1. Depósitos tecnogênicos. 2. Microplásticos no sedimento fluvial. 3. Gestão de resíduos sólidos. I. Toyama, Daniele. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

---

## Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Daniele Toyama, realizada em 01/10/2020.

### Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes (UFSCar)

Prof. Dr. Frederico Yuri Hanai (UFSCar)

Profa. Dra. Juliana Assunção Ivar do Sul (IFW)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

## AGRADECIMENTOS

À minha família e amigos por todo apoio.

A todos meus professores e orientadores pelo conhecimento dividido nessa jornada de constante aprendizado.

Aos amigos de laboratório pelo companheirismo e auxílio em diversas etapas de realização desta pesquisa.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudo concedida. Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Prefeitura Municipal de Itirapina, Secretaria do Meio Ambiente, Estação Ecológica e Experimental de Itirapina e ao Instituto Florestal pela possibilidade de executar a pesquisa (Processo SMA 260108-006.192/2018), disponibilização de informações e apoio nas atividades de campo.

À FIPAI – Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial, Escola de Engenharia de São Carlos e Departamento de Hidráulica e Saneamento (EESC – SHS – USP), pela bolsa complementar concedida (Processo FB-001/19), pela convivência, amizade e apoio.

Ao Departamento de Ciências Ambientais – UFSCar, ao Laboratório de Caracterização Estrutural – LCE e ao Laboratório de Polímeros do Departamento de Engenharia de Materiais pelo uso dos equipamentos e laboratórios e pelas análises realizadas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos (PPGEU – UFSCar), pela oportunidade de realização deste trabalho.

## RESUMO

O ser humano, enquanto agente modificador do meio físico, causa degradação ambiental e o compartimento aquático, incluindo os sedimentos fluviais possui alta capacidade de acumular e absorver vestígios dessas alterações. Entender os usos da bacia hidrográfica é uma importante ferramenta de gestão ambiental dado que o tipo e intensidade da degradação sofrida variam de acordo com o tipo e intensidade de uso do solo. No presente trabalho foi realizada investigação sobre a artificialização dos depósitos fluviais e quantificação desse fenômeno considerando um perfil vertical do sedimento dos corpos hídricos. Para tal, foram realizadas coletas de amostras do tipo testemunho do sedimento em estação chuvosa e seca, em locais que abrangessem diversidade de usos do solo. Para a análise do sedimento, foi realizada separação granulométrica, degradação da matéria orgânica, análise visual com lupa de mão do material mais grosso e análise com estereomicroscópio do material de granulometria média. Adicionalmente, o material mais fino foi analisado com microscópio eletrônico de varredura e foi conduzido o mapeamento químico por espectroscopia de energia dispersiva e ensaios de termogravimetria e calorimetria exploratória diferencial a fim de detectar a presença de plásticos. Foi observado que ocorre a sedimentação de material artificial no leito dos córregos da área de estudo (macroplásticos, resíduos de construção civil, borracha e papelão). O material de maior abundância incorporado ao perfil do sedimento são os microplásticos (fragmentos e fibras). Na fração mais fina do sedimento, foram observadas micropartículas antropogênicas e detectada a presença de alguns tipos de plástico (náilon, PEBD e PET). Áreas de ocupação urbana mais intensa e com menos vegetação ciliar sofrem mais com essa degradação e as áreas de uso rural, menos. A represa existente na bacia acumula mais materiais (tanto macro quanto microplásticos), desempenhando também o papel de reter resíduos que seriam transportados para jusante dos corpos hídricos. Destaca-se a importância de investimentos em medidas de gestão ambiental, como educação ambiental, restauração da vegetação ciliar, fiscalização da legislação ambiental e limpeza pública para dirimir os impactos que a má gestão de resíduos sólidos causa no ambiente aquático.

**Palavras-chave:** Microplástico, Resíduos Sólidos, Antropização do sedimento fluvial.

## ABSTRACT

The human being, as a modifying agent of the physical environment, causes environmental degradation and the aquatic compartment, including streambed sediments, has a high capacity to accumulate and absorb traces of these changes. Understanding the uses of the hydrographic basin is an important environmental management tool given that the type and intensity of the degradation suffered varies according to the type and intensity of land use. In the present work, an investigation was carried out on the occurrence of the artificialization of river deposits and quantification of this phenomenon considering a core sample of the sediment. For this purpose, collections of core samples were carried out in the rainy and dry season, in locations that covered a variety of uses, and the land use was mapped. For the analysis of the sediment, granulometric separation, degradation of organic matter, visual analysis with a magnifying glass of the thicker material, and analysis of medium granulometry material with a stereomicroscope were performed. Additionally, the finer material was analyzed with a scanning electron microscope, and chemical mapping by dispersive energy spectroscopy and thermogravimetry and differential exploratory calorimetry tests were conducted in order to detect the presence of plastics. It was observed that sedimentation of artificial material occurs in the bed of streams in the study area (macroplastics, construction waste, rubber and cardboard). The most abundant materials incorporated into the sediment profile are microplastics (fragments and fibers). In the thinnest portion of the sediment, anthropogenic microparticles were observed and the presence of some types of plastic (nylon, LDPE and PET) was detected. Areas of more intense urban occupation and with less riparian vegetation suffer more from this degradation and areas of rural use, less. The existing dam in the basin accumulates more materials (both macro and microplastics), also playing the role of preventing these residues from being transported downstream of the water body. The importance of investing in environmental management measures is highlighted, such as environmental education, restoration of riparian vegetation, inspection of environmental legislation, and public cleaning to settle the impacts that poor management of solid waste causes in the aquatic environment.

**Keywords:** Microplastic, Solid Waste, Streambed sediment anthropization.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Evolução da publicação de estudos de investigação de microplásticos em ambientes marinhos. Org.: Autora (2020).
- Figura 2 – Evolução da publicação de estudos de investigação de microplásticos em água doce. Org.: Autora (2020).
- Figura 3 – Evolução da publicação de estudos de investigação de microplásticos em sedimentos de corpos hídricos de água doce. Org.: Autora (2020).
- Figura 4 – Metodologia de estudo. Fonte: Autora (2019).
- Figura 5 – Localização do município de Itirapina, da área urbana e da rede de drenagem. Fonte: Autora (2019).
- Figura 6 – Bacia hidrográfica do córrego da Água Branca - Itirapina, SP, com o ordenamento dos corpos hídricos (1 a 3) e a localização dos pontos de coleta (P1 a P5). Fonte: Autora (2019).
- Figura 7 – Substrato rochoso e Materiais inconsolidados da área de estudo. Fonte: modificado de CPRM (2008) e Nishiyama (1991), respectivamente. Org.: Autora (2019).
- Figura 8 – Pedologia da área de estudo. Fonte: Rossi (2017); Org.: Autora (2019).
- Figura 9 - Declividade da bacia hidrográfica do córrego da Água Branca. Fonte: Autora (2019).
- Figura 10 – Precipitação anual na bacia do córrego da Água Branca no período de 2010 a 2019. Fonte: HIDROWEB/ANA (2020); LHC/EESC/USP (2020). Org.: Autora (2020).
- Figura 11 – Precipitação média mensal na bacia do córrego da Água Branca no período de 2018 a 2019. Fonte: HIDROWEB/ANA (2020); LHC/EESC/USP (2020). Org.: Autora (2020).
- Figura 12 – Planta do povoado de Morro Pelado em 1890 (escala 1:5000). Fonte: GUARIENTO (1987).
- Figura 13 - Planta de Itirapina, sem data. Fonte: GUARIENTO (1987).
- Figura 14 – Participação dos setores econômicos nos valores adicionados aos bens e serviços consumidos no seu processo produtivo. Fonte: Fundação SEADE (2019).
- Figura 15 – Modelo 3D do amostrador construído para este estudo. A: Manípulo; B: Manopla; C: Cap de PVC; D: Tubo de PVC rígido; E: Barra com rosca; F: Êmbolo. Autor: Toyama, T. T. (2019).

Figura 16 – Modelo 2D do perfil do amostrador construído para este estudo. Autor: Toyama, T. T. (2019).

Figura 17 – Disposição da amostra na calha de PVC após coleta, para aferição de profundidade coletada e segmentação em camadas de deposição do sedimento distintas.

Figura 18 – Método adotado na preparação e análise das amostras coletadas. Fonte: Autora (2020).

Figura 19 – A: Agitador de peneiras utilizado na triagem das amostras, com as peneiras nº 4, 16 e 200; B: Quarteamento da amostra adotado neste trabalho. Fonte: Autora (2019).

Figura 20 – Amostras analisadas no microscópio eletrônico de varredura. Fonte: Autora (2019).

Figura 21 – Evolução da ocupação urbana no município de Itirapina - SP, entre 1985 e 2017. Fonte: MapBiomias (2019).

Figura 22 – Imagens de satélite da área de estudo nos anos de 1987, 1996, 2006, 2015. Fonte: Timelapse Google Earth Engine (2019).

Figura 23 – Uso do solo no ano de 2019. Fonte: Autora (2019).

Figura 24 – Distribuição do solo no ano de 2019. Fonte: Autora (2019).

Figura 25 – Evolução do uso do solo de 1985 a 2010 na bacia do córrego da Água Branca em Itirapina. Fonte: Autora (2019).

Figura 26 – Evolução do uso urbano na bacia do córrego da Água Branca entre 1962 e 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 27 – Tendência de crescimento da área urbana na bacia do córrego da Água Branca entre 1962 e 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 28 – Composição do sedimento fluvial. Fonte: Autora (2020).

Figura 29 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 1 em 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 30 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 1 em 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 31 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 2 em 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 32 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 2 em 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 33 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 3 em 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 34 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 3 em 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 35 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 4 em 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 36 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 4 em 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 37 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 5 em 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 38 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 5 em 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 39 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 6 em 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 40 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 6 em 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 41 – Leito do córrego do P1 onde se observa materiais de origem antrópica sedimentados. Fonte: Autora (2019).

Figura 42 – Leito do córrego da Água Branca no centro urbano. Fonte: Autora (2019).

Figura 43 - Resíduos observados às margens da Represa Tibiriçá em 2018. Fonte: Autora (2018).

Figura 44 – Macroplástico observado no perfil do sedimento P1.1 em 2019. Fonte: Autora (2020)

Figura 45 - Fragmentos observados na primeira e na segunda camada do sedimento coletado no P2 em 2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 46 – Fragmento observado na terceira camada do sedimento coletado no P2 em 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 47 – Fragmentos de materiais artificiais observados nas amostras de 2018 e 2019 no sedimento da represa Tibiriçá. Escala: quadrado branco possui 1 cm<sup>2</sup>. Fonte: Autora (2020).

Figura 48 – Fragmentos de materiais artificiais observados nas amostras de 2018 no sedimento dos corpos hídricos da bacia do córrego da Água Branca. Escala: 1 mm. Fonte: Autora (2020).

Figura 49 – Fragmentos de materiais artificiais observados nas amostras de 2019 no sedimento dos corpos hídricos da bacia do córrego da Água Branca. Escala: 1 mm. Fonte: Autora (2020).

Figura 50 – A: Stripchart de plásticos por ponto de coleta; B: Stripchart de plásticos por profundidade; C: Stripchart de plásticos por período; D: Gráfico da Transformação Boxcox. Fonte: Autora (2020).

Figura 51 – A: Stripchart de fibras por ponto de coleta; B: Stripchart de fibras por profundidade; C: Stripchart de fibras por período; D: Gráfico da Transformação Boxcox. Fonte: Autora (2020).

Figura 52 – A: Stripchart de outras partículas artificiais por ponto de coleta; B: Stripchart de outras partículas artificiais por profundidade; C: Stripchart de outras partículas artificiais por período. Fonte: Autora (2020).

Figura 53 – A: Stripchart do total de partículas por ponto de coleta; B: Stripchart do total de partículas por profundidade; C: Stripchart do total de partículas por período; D: Gráfico da Transformação Boxcox. Fonte: Autora (2020).

Figura 54 – A: Stripchart do total de partículas visíveis a olho nu por ponto de coleta; B: Stripchart do total de partículas visíveis a olho nu por profundidade; C: Stripchart do total de partículas visíveis a olho nu por período; D: Gráfico da Transformação Boxcox. Fonte: Autora (2020).

Figura 55 – Mapeamento químico da amostra P1.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. No canto inferior esquerdo é possível observar uma fibra composta por carbono e oxigênio. Fonte: Autora (2020).

Figura 56 – Mapeamento químico da amostra P1.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. No canto centro da imagem é possível observar uma fibra composta por carbono e oxigênio, apresentando sinal mais fraco para o silício. Fonte: Autora (2020).

Figura 57 – Mapeamento químico da amostra P1.2 – 2019, realizado no MEV – EDS. Fonte: Autora (2020).

Figura 58 – Mapeamento químico da amostra P2.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. Fonte: Autora (2020).

Figura 59 – Mapeamento químico da amostra P2.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem observa-se uma diatomácea. Fonte: Autora (2020).

Figura 60 – Mapeamento químico da amostra P2.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem observa-se uma partícula composta por C-O-N. Fonte: Autora (2020).

Figura 61 – Mapeamento químico da amostra P2.2 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem observa-se uma fibra composta por C-O-Si. Fonte: Autora (2020).

Figura 62 – Mapeamento químico da amostra P2.2 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem observa-se uma partícula composta por C-O-N. Fonte: Autora (2020).

Figura 63 – Mapeamento químico de fibra observada na amostra P2.3 – 2019, realizado no MEV – EDS. Fonte: Autora (2020).

Figura 64 – Mapeamento químico da amostra P3.2 – 2019, realizado no MEV – EDS. Fonte: Autora (2020).

Figura 65 – Diatomácea observada na amostra do ponto P3.2 – 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 66 – Partículas observadas na amostra P3.3 – 2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 67 – Partícula observada na amostra P3.3-2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 68 – Partícula observada na amostra P4.2-2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 69 – Partículas observadas na amostra P5.1-2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 70 – Partículas observadas na amostra P5.2-2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 71 – Partícula observada na amostra P5.3-2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 72 – Fibra observada na amostra P6.1-2019. Fonte: Autora (2020).

Figura 73 – Partículas observadas na amostra P1.1-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 74 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P1.1-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 75 – Partículas observadas na amostra P1.2-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 76 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P1.2-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 77 – Partículas observadas na amostra P2.1-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 78 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P2.1-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 79 – Partículas observadas na amostra P2.3-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 80 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P2.3-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 81 – Partículas observadas na amostra P3.1-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 82 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P3.1-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 83 – Micropartículas observadas na amostra P3.1-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 84 – Mapeamento químico das micropartículas observadas na amostra P3.1-2018. Fonte: LCE (2020).

Figura 85 – Partículas observadas na amostra P6.2-2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 86 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P6.2-2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 87 – Partículas observadas na amostra P6.3-2018. Fonte: Autora (2020).

(2020).

Figura 88 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P6.3-2018. Fonte: Autora (2020).

Figura 89: Curvas de DSC (1º e 2º aquecimentos) dos sedimentos P2.2 e P6.2 coletados em 2018 e 2019. Taxa de aquecimento de 10 °C min-1. Atmosfera de N2 (50 mL min-1). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.

Figura 90: Curvas de DSC (1º e 2º aquecimentos) do sedimento P6.1- 2018. Taxa de aquecimento de 10 °C min-1. Atmosfera de N2 (50 mL min-1). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Principais consumidores de transformados de plástico em 2015.

Tabela 2 – Resinas plásticas consumidas no Brasil.

Tabela 3 – Densidade da água, alguns minerais e tipos de plásticos mais comuns.

Tabela 4 – Área e porcentagem das classes de uso e ocupação do solo na área de estudo.

Tabela 5 – Média de micro materiais artificiais observados no sedimento na área de estudo (triagem com estereomicroscópio).

Tabela 6 – Médias obtidas nas análises estatísticas.

Tabela 7 – Parâmetros térmicos dos principais polímeros termoplásticos.

Tabela 8 – Indicações dos tipos de microplásticos presentes nos sedimentos.

Quadro 1 – Resumo do objetivo principal das pesquisas mais recentes realizadas no campo de investigação de microplásticos em sedimentos e a unidade de medida utilizada nesses trabalhos.

Quadro 2 – Classificação e tipos de plásticos.

Quadro 3 – Famílias de plásticos com aplicações populares.

Quadro 4 – Dados e informações geográficas utilizados.

Quadro 5 – Classes de declividade.

Quadro 6 – Ocupação da área urbana de Itirapina no ano de 1983.

Quadro 7 – Composição dos resíduos sólidos urbanos coletados em Itirapina.

Quadro 8 – Descrição dos pontos de coleta de sedimento.

Quadro 9 – Categorias de uso do solo utilizadas no mapeamento.

Quadro 10 – Objetos coletados na represa Tibiriçá.

Quadro 11 – Análises químicas realizadas nas amostras.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. JUSTIFICATIVA E PROBLEMÁTICA .....	19
3. OBJETIVOS.....	22
3.1. Objetivo Geral.....	22
3.2. Objetivos Específicos .....	22
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
4.1. Levantamento bibliométrico .....	23
4.2. Desenvolvimento das cidades e impactos ambientais .....	28
4.3. Artificialização de sedimentos fluviais.....	31
4.4. O plástico no século XXI.....	34
4.5. O plástico no ambiente aquático .....	41
4.6. Metodologias de estudo de sedimentos.....	43
5. MÉTODO .....	47
5.1.Área de estudo .....	49
5.1.1 Localização da área de estudo .....	49
5.1.2 Caracterização do meio físico.....	51
5.1.3 Aspectos históricos, econômicos e sociais .....	57
5.2. Amostragem.....	64
5.2.1 Definição dos pontos de coleta.....	64
5.2.2 Campanhas amostrais .....	66
5.2.3 Coleta das amostras .....	67
5.3. Preparo e análise das amostras.....	69
5.4. Análise estatística .....	74
5.5. Elaboração das cartas de uso e ocupação do solo.....	75
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	79

6.1. Uso e ocupação do solo .....	79
6.2. Caracterização do sedimento da área de estudo.....	84
6.3. Antropização dos sedimentos fluviais .....	95
6.3.1 Vestígios da artificialização dos depósitos fluviais.....	95
6.3.2 Análise do perfil de sedimento .....	110
6.3.3 Análises descritivas e estatísticas .....	117
6.3.4 Análise química .....	124
6.3.5 Discussões .....	148
6.4 Medidas de gestão ambiental.....	150
7. CONCLUSÕES .....	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	156
Apêndices .....	168

## 1. INTRODUÇÃO

---

Antes das intensas modificações humanas, o ambiente físico era modelado apenas pelos processos de intemperismo, erosão, transporte, sedimentação e compactação, originando sedimentos e solos formados por materiais orgânicos ou inorgânicos de origem natural.

A transformação do modo de vida do ser humano, passando de nômades para sedentários (Revolução Neolítica) propiciou a formação de comunidades. Estas desenvolveram e dominaram técnicas de agricultura e domesticação de animais, criaram a cerâmica, ferramentas de pedra e o arado (TRISCHLER, 2017), caracterizando o início das transformações do meio físico pelos seres humanos.

Um fenômeno mais recente, o capitalismo é a atual força propulsora da mudança global através de uma economia baseada em emissão de carbono com impactos que transcendem a escala temporal perceptível aos humanos (MAUELSHAGEN, 2017). A Revolução Industrial (século XVIII) significou um marco histórico para as civilizações atuais. O Êxodo Rural provocou um intenso e rápido processo de estabelecimento de cidades carentes em planejamento e saneamento básico, na mesma medida em que ocorria o incremento tecnológico que propiciou a criação de materiais artificiais complexos, amplamente utilizados nos processos produtivos industriais atuais (e. g. alumínio, concreto e plástico [TRISCHLER, 2017]) que provocam desequilíbrio nos ciclos biogeoquímicos naturais (MAUELSHAGEN, 2017; TRISCHLER, 2017).

Como consequência, existem nas cidades diversos problemas ambientais, como áreas contaminadas, ocupações irregulares, mau gerenciamento dos resíduos sólidos, desmatamento, degradação de áreas de várzea e da qualidade dos recursos hídricos, proliferação de doenças de veiculação hídrica e conflitos socioeconômicos. Os seres humanos também exercem forças sobre o ambiente físico através da mineração, terraplanagem, aterramentos, entre outros processos que modificam as fisionomias do relevo natural, muitas vezes de forma definitiva.

Um dos grandes desafios enfrentados pelas cidades brasileiras atualmente é o gerenciamento dos resíduos urbanos. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos sólidos urbanos são aqueles originários de atividades domésticas

em residências urbanas, em varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010). É comum se observar descartes irregulares em terrenos ociosos, ruas e às margens de córregos urbanos, além da adoção de lixões. São poucos os municípios que realizam e incentivam a coleta seletiva e o tratamento de resíduos resume-se à tradicional disposição final em aterros sanitários.

Quando os resíduos sólidos urbanos são dispostos no ambiente de modo inadequado, podem ser transportados pela ação do ar ou da chuva e também podem sedimentar e se incorporar às formações superficiais e ao solo, antropizando esses materiais. Em longo prazo, podem se transformar em depósitos geológicos compostos por materiais artificialmente produzidos, denominados de depósitos tecnogênicos. Segundo Peloggia e Oliveira (2005), esses depósitos podem ser construídos (resultantes da ação humana direta), induzidos (resultantes de processos naturais modificados), modificados (depósitos naturais, mas alterados) ou retrabalhados.

As formações superficiais (entendidas por camadas geológicas inconsolidadas, posicionadas no contato litosfera-atmosfera em situação aflorante ou subaflorante, com uma relação com o substrato que pode ser autóctone ou alóctone [PELOGGIA, 2017]) recebem os impactos do uso do entorno, podendo incorporar materiais antrópicos. Nos canais fluviais urbanos os sedimentos incorporam materiais artificialmente produzidos, configurando a antropização do sedimento.

No Brasil, os estudos relacionados a depósitos tecnogênicos ou antropogênicos vêm sendo realizados desde a década de 1990 (SANTOS *et al.* 2017). Dentre as possibilidades de pesquisa em Geologia de materiais tecnogênicos há o estudo dos sedimentos. O estudo de sedimentos urbanos através da perspectiva da sedimentologia ambiental é relativamente novo (POLETO *et al.*, 2009; POLETO; MARTINEZ, 2011), reforçando a necessidade de realização de estudos nesse campo.

O intuito desta pesquisa é analisar a ocorrência da incorporação de materiais artificialmente produzidos no perfil do sedimento fluvial, entender como o uso do solo no entorno interfere nesse processo, compreender se existem diferenças entre as camadas deposicionais do sedimento e propor etapas metodológicas a serem seguidas para estudos dessa natureza.

## 2. JUSTIFICATIVA E PROBLEMÁTICA

---

A análise morfológica de um perfil sedimento fluvial considerando a artificialização do mesmo é incipiente. O estudo da incorporação de materiais artificialmente produzidos considerando a variação da profundidade é inexistente na literatura até o momento da publicação deste documento.

Dessa forma, também não há protocolos metodológicos estabelecidos para este fim, o que torna esta pesquisa uma precursora na proposição de uma metodologia replicável para estudos sobre a artificialização do sedimento fluvial.

A formação de sedimentos fluviais com alteração antrópica ocorre quando materiais artificialmente produzidos se incorporam no leito dos corpos hídricos. Os plásticos representam o principal resíduo sólido gerado nos centros urbanos, logo é o principal resíduo que se incorpora aos sedimentos.

É grande o apelo das mídias aos malefícios do plástico no ambiente aquático, degradando não apenas a qualidade deste recurso como à biota. Apesar de ser um grande problema ambiental atual, a pesquisa relacionada aos impactos desse material também é recente, principalmente se considerarmos os microplásticos (partículas menores que 5 mm) (KOELMANS *et al.*, 2016).

De acordo com o levantamento realizado por Redondo-Hasselerharm *et al.* (2018), a fauna bentônica pode consumir o microplástico incorporado ao sedimento fluvial dependendo do modo de alimentação dos organismos. Silva-Cavalcanti *et al.* (2017) observaram resíduos plásticos no conteúdo estomacal de 83% dos peixes coletados na Serra Talhada – Pernambuco. Estes pesquisadores afirmam que o estudo realizado sugere que a biota é vulnerável aos microplásticos presentes na água doce e que estão associados a áreas com urbanização mais intensa, destacando também que a comunidade mais pobre se alimenta desses peixes.

Com relação aos efeitos deletérios dos microplásticos na água para consumo humano, a *World Health Organization – WHO* (2019) afirma que o conhecimento disponível até o momento é limitado e representa uma baixa preocupação para a saúde humana. Por outro lado, esta mesma ausência de estudos conclusivos é um motivo de

inquietação, porque ainda é desconhecido como essas partículas agem sobre o nosso organismo.

A WHO (2019) ressalta que os plásticos são de baixa toxicidade e, por serem insolúveis, é improvável que sejam absorvidos pelo trato gastrointestinal. Porém a WHO (2019) ressalta ainda que o tamanho das partículas possa influenciar na absorção de toxicidade, sendo que partículas menores representam um risco maior. A WHO (2019) ressalta também que os aditivos e monômeros (moléculas constituídas por um único segmento) podem tornar-se biodisponíveis no trato gastrointestinal. Prata *et al.* (2019) discorrem que o corpo humano está exposto aos microplásticos através da ingestão de alimentos ou água contendo microplásticos, pela inalação de microplásticos no ar ou por contato dérmico através de têxteis ou do ar.

Cox *et al.* (2019) estimam que por ano ocorre ingestão de 39.000 a 52.000 partículas de microplásticos por pessoa, dependendo da idade e do sexo do indivíduo. Se considerada a inalação, esse valor varia entre 74.000 e 121.000 partículas por pessoa. Ainda segundo estes autores, se considerarmos a ingestão de água recomendada utilizando apenas água engarrafada, são consumidas 90.000 partículas microplásticas, enquanto se consumida apenas água da torneira são 4.000 partículas (pesquisa feita considerando uma dieta norte-americana).

Prata *et al.* (2020) relatam que o crescimento da ocorrência de doenças neurodegenerativas, desordens imunológicas e câncer pode estar relacionado com o aumento da exposição a contaminantes ambientais, incluindo os microplásticos. Deste modo, conhecer o padrão de distribuição desses materiais bem como quantificá-los é de suma importância para subsidiar estudos futuros relacionados à pesquisa dos efeitos deletérios ao ser humano.

Do ponto de vista geológico, estudos sugerem que a artificialização do sedimento pode modificar os padrões de erosão, transporte e deposição dos sedimentos. Um experimento inicial realizado em laboratório considerou diferentes microplásticos (tipos, formas e tamanhos) em comparação ao sedimento natural. Foi observado que os microplásticos de formas esféricas movem-se mais rapidamente em comparação aos sedimentos naturais (WALDSCHLÄGER; SCHÜTTRUMPF, 2019).

O estudo do sedimento pode levar à compreensão da degradação provocada ao sistema aquático e o perfil do sedimento pode nos mostrar os impactos sofridos pelo corpo hídrico ao longo do tempo (HONORATO, 2002). Destaca-se também que com o passar dos anos, o material incorporado ao solo e ao sedimento será fossilizado, inserindo o conceito de tecnofósseis, que é a fossilização de vestígios de materiais antrópicos (materiais artificialmente produzidos) (ZALASIEWICZ *et al.*, 2016).

A Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (BRASIL, 1997) estabelece em seu Art. 1º a bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implementação e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes e sobre as quais se desenvolvem diversas atividades humanas (CALIJURI; CUNHA; POVINELLI, 2010), incluindo aquelas que provocam degradação ambiental.

Na bacia ocorrem os balanços de entrada de água da chuva e saída pelo exutório; como abriga as áreas urbanas, industriais, agrícolas, naturais e de preservação ambiental, no exutório estão representados todos os efeitos dos processos que compõem o seu sistema, em consequência dos processos naturais das formas de ocupação do território e de utilização das águas que convergem até este ponto (PORTO; PORTO, 2008).

A bacia do córrego da Água Branca abrange 83,3% da área urbana do município de Itirapina – SP, abrigando os usos urbano, industrial, rural e áreas protegidas. Itirapina possui 17 mil habitantes com economia que gira principalmente no terceiro setor. Essa área foi adotada como objeto neste estudo porque possibilita investigar com detalhe os processos de desenvolvimento urbano, conhecer os usos da bacia e como refletem na composição dos sedimentos fluviais. Considerando o cenário da bacia, ou seja, uma bacia urbana com degradação pouco significativa, ocupação com crescimento baixo e constante, é possível estimar os impactos da ocupação em bacias maiores e de uso mais complexo com relação à artificialização dos sedimentos.

### **3. OBJETIVOS**

---

#### **3.1. Objetivo Geral**

Identificar a ocorrência da artificialização do sedimento fluvial (incorporação de materiais artificiais no perfil do sedimento) e a deposição de material antrópico no leito dos corpos hídricos de água doce de uma bacia hidrográfica no município de Itirapina - SP.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

(i) Promover um resgate histórico e unificação de informações relacionadas à urbanização do município de Itirapina - SP, entender o processo de evolução da malha urbana em escala temporal e o crescimento populacional associado e mapear o uso do solo na bacia do córrego da Água Branca nos anos de 1985, 1995, 2000, 2010 e 2019.

(ii) Realizar um levantamento da formação e/ou ocorrência de depósitos com alterações antropogênicas na bacia do córrego da Água Branca.

(iii) Analisar e quantificar a presença de materiais artificiais incorporados no perfil de sedimento na macro e micro escala (maior que 1 mm).

(iv) Analisar a presença de materiais artificiais na escala microscópica e nanométrica, analisando o sedimento morfológica e quimicamente.

(v) Sugerir medidas de gestão ambiental para mitigar os impactos da ocupação urbana em relação a artificialização do sedimento fluvial.

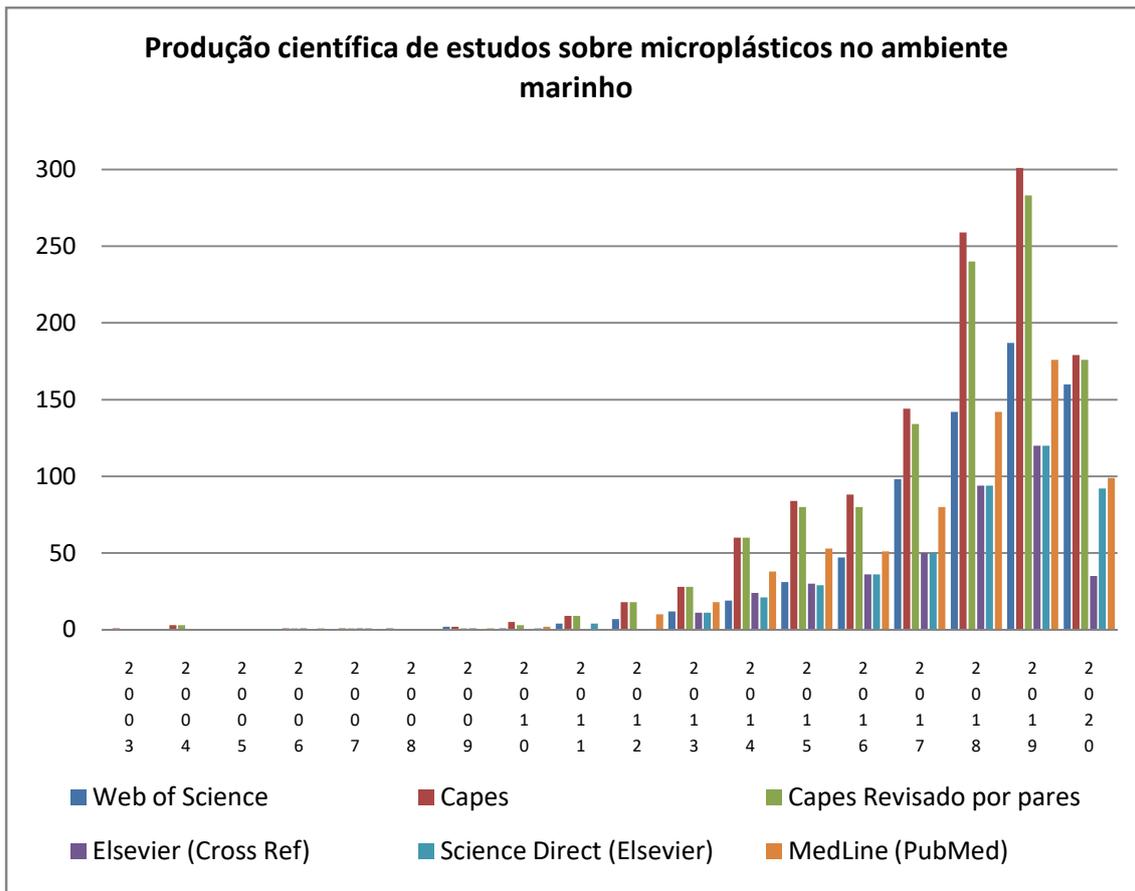
## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

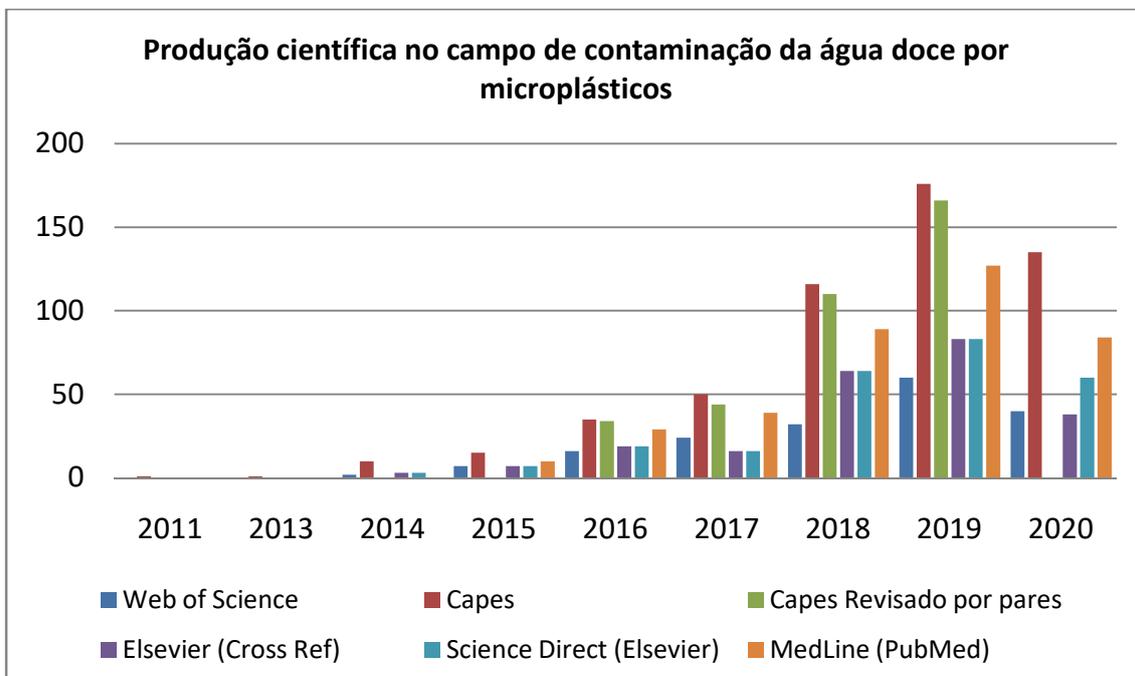
### 4.1. Levantamento bibliométrico

Como supracitado, a pesquisa na área de sedimentologia ambiental é recente. Quando pensamos em materiais artificialmente produzidos, o principal é o plástico. Deste modo, espera-se que a artificialização do sedimento ocorra principalmente por resíduos plásticos. Além disso, por apresentar uma densidade inferior que os sedimentos naturais, esse material é facilmente transportado e amplamente observado nas praias e mares, provocando efeitos deletérios à biota.

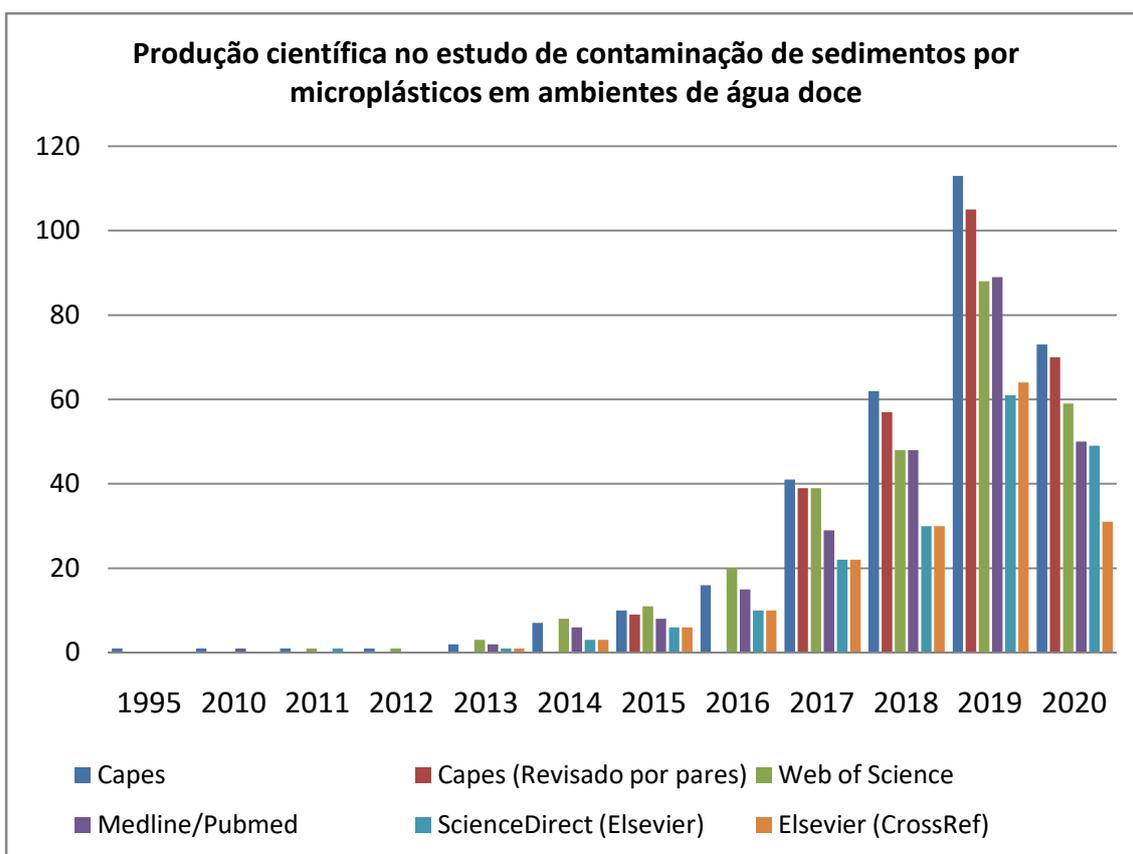
A partir destas questões e pressupostos, foi realizado um levantamento bibliométrico para verificar a produção de artigos científicos na área de poluição de sedimentos por microplásticos. A pesquisa considerou diferentes bancos de dados e três comandos de pesquisa, sendo (i) *Microplastic; sediment, NOT sea*; (ii) *Microplastics; freshwater, NOT sea* e (iii) *Microplastic; sea, NOT freshwater*. O levantamento foi realizado através do acesso da Universidade Federal de São Carlos às bases de dados, utilizando o Acesso CAFe (Comunidade Acadêmica Federada) do Portal CAPES. Assim, é possível comparar os três campos de pesquisa bem como a abrangência das bases de dados nessas áreas temáticas. As figuras (1 a 3) a seguir apresentam as informações obtidas através dos levantamentos.



**Figura 1 – Evolução da publicação de estudos de investigação de microplásticos em ambientes marinhos. Org.: Autora (2020).**



**Figura 2 – Evolução da publicação de estudos de investigação de microplásticos em água doce. Org.: Autora (2020).**



**Figura 3 – Evolução da publicação de estudos de investigação de microplásticos em sedimentos de corpos hídricos de água doce. Org.: Autora (2020).**

Como se pode observar há mais publicações na área de estudos marinhos, sendo registrada produção desde 2003, com crescimento significativo a partir de 2013 e tendência crescente até a atualidade (Figura 1). Nos estudos de contaminação por microplástico em água doce o primeiro trabalho indexado data o ano de 2011, apresentando um crescimento de publicações a partir de 2016 (Figura 2). Por fim, no estudo de sedimentos em ambientes de água doce observa-se uma menor quantidade de publicações com relação aos outros dois campos de pesquisa e um crescimento acentuado a partir de 2016 até a data atual (Figura 3). Com relação às bases de dados, o portal de Periódicos da CAPES apresenta o maior número de artigos indexados nas três áreas.

Hanvey *et al.* (2017) ressaltam que há inconsistência ao descrever a concentração de plásticos nas amostras de água e de sedimento, porque os autores optam por diferentes unidades (massa, volume, área, comprimento) o que dificulta a comparação entre os estudos. Deste modo, para orientar a adoção da unidade de medida

a ser utilizada na presente pesquisa, também foi realizado um levantamento entre alguns estudos focados na quantificação de microplásticos em sedimentos para verificar qual é a principal unidade de mensuração usada ultimamente. No Quadro 1 observa-se que a principal unidade utilizada nas últimas publicações é o número de partículas de microplástico por massa de sedimento.

**Quadro 1 – Resumo do objetivo principal das pesquisas mais recentes realizadas no campo de investigação de microplásticos em sedimentos e a unidade de medida utilizada nesses trabalhos.**

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Unidade de medida utilizada na quantificação de MP em sedimentos</b>
Vermaire <i>et al.</i>	2017	Estudar se um efluente de ETE é fonte de microplásticos em um rio no Canadá e se ocorre deposição desse material no sedimento.	Partículas por quilo
Rodrigues <i>et al.</i>	2018	Avaliar a contaminação por microplásticos na água e no sedimento no rio Antuã (Portugal) na primavera e no outono, comparando temporal e espacialmente.	
Alvez e Figueiredo	2019	Estudar os tipos e tamanhos de fragmentos plásticos na bacia do Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil) por ser uma potencial fonte de contaminação para a fauna bentônica e peixes.	
Dikareva e Simon	2019	Estudar a incidência de microplásticos em função do tamanho populacional e da urbanização em Auckland (Nova Zelândia).	
Jiang <i>et al.</i>	2019	Investigar a abundância, distribuição e fontes de microplásticos nos rios do Tibete.	
McEachern <i>et al.</i>	2019	Estimar valores de microplásticos na coluna d'água e em sedimentos superficiais no maior estuário da Flórida (Tampa Bay), incluindo variações espaciais e temporais nesses valores.	
Shruti <i>et al.</i>	2019	Investigar abundância de microplásticos em uma área de alta urbanização no México.	
Yuan <i>et al.</i>	2019	Estudar as fontes e os riscos potenciais dos microplásticos no lago Poyang (China).	
Crew, Gregory-Eaves e Ricciardi	2020	Verificar se há correlação entre as características locais e a abundância de microplásticos no sedimento do rio St. Lawrence, entre Quebec e Montreal (Canadá).	
Peng <i>et al.</i>	2018	Estabelecer uma metodologia para avaliar o risco de contaminação por microplástico no sedimento para o contexto das mega cidades chinesas.	
Tibbetts <i>et al.</i>	2018	Estabelecer a magnitude da contaminação dos sedimentos bentônicos por microplásticos e explicar os padrões observados na abundância e distribuição em rios de Birmingham (Reino Unido).	
Ramírez-Álvarez <i>et al.</i>	2019	Investigar a abundância, fontes e distribuição de microplásticos na bacia Todos Santos (México).	Partículas por m <sup>2</sup>

**Org.: Autora (2020).**

## **4.2. Desenvolvimento das cidades e impactos ambientais**

As cidades são resultado do processo de urbanização e seus primeiros registros remontam o período Mesolítico (há 15 mil anos), quando os humanos domesticaram animais, dominaram a produção de mudas e, conseqüentemente, aumentaram o suprimento alimentar; processo sistematizado quatro mil anos mais tarde (SPOSITO, 1994).

Segundo Demo (2002), a seleção natural favoreceu as sociedades inovadoras, realçando a capacidade de acumular a informação e reconstruir o conhecimento de modo a obter avanços tecnológicos, um princípio básico do desenvolvimento das cidades. Os seres humanos são parte da natureza e, dessa forma, os eventos naturais influenciam na evolução da espécie humana do mesmo modo que as alterações humanas sobre o ambiente também definirão seu ritmo de evolução enquanto unidade e sociedade.

A sociedade de caçadores e coletores ocorreu entre 42 mil e 9 mil anos atrás; eram grupos nômades pequenos que apresentavam uma estrutura política, aprimoraram a criação e melhoria de armas, desenvolveram alguns ritos culturais e praticavam aborto e infanticídio para controle populacional (DEMO, 2002). Ainda segundo este autor, o crescimento populacional levou à necessidade de aprimorar o fornecimento alimentos. Esse foi um dos fatores que contribuiu com a formação das sociedades horticultoras.

Segundo Mumford (1982 apud SPOSITO, 1994), antes da Revolução Agrícola foi necessária uma Revolução Sexual, onde a mulher reduziu seus movimentos em função da prole. Isso levou à domesticação de animais e plantas, determinando o lugar central da mulher nessa nova economia (SPOSITO, 1994). Assim, a mulher exercia o papel determinante no cultivo, plantando e cuidando das pequenas áreas cultivadas, e no desenvolvimento de cidades. Demo (2002) discorre que neste período ocorreu a sofisticação de uma parte da sociedade, dividindo-se em classes sociais, atribuindo uma figura de governante e realizando atividades de comércio com o excedente produzido, enquanto outras sociedades mantiveram-se em estado mais rudimentar.

Com o advento da roda, aplicações de cerâmicas e hipomóveis inicia-se o período das sociedades agrárias (DEMO, 2002). As sociedades eram mais estruturadas política e economicamente e a religião passou a governar o povo junto ao estado. Embora tenha ocorrido uma grande evolução humana, neste período as contribuições e

inovações tecnológicas não foram muito significativas. As sociedades agrárias modernas desenvolveram a tecnologia e descobriram a fusão do ferro, melhorando as ferramentas de trabalho bem como os armamentos de guerra.

Na última parte do século XVIII iniciou-se a Revolução Industrial, incrementando a produção e desenvolvendo a tecnologia, aumentando também o capital, originando assim as sociedades industriais (DEMO, 2002). A Revolução Industrial significou um marco no comportamento humano, que levou, entre outros, ao Êxodo Rural. Esse fenômeno provocou uma urbanização intensa e acelerada, sem planejamento. Apesar de os humanos terem modificado o meio físico desde o início de sua existência, é nesta fase em que esses impactos passaram a ser significativos.

Waters *et al.* (2016) elucidam a discussão de que diferentes vertentes procuram um marcador para indicar o início da proposição do Antropoceno, que é uma proposição de uma nova época na escala geológica marcada pelos eventos provocados pelas grandes alterações humanas sobre o meio ambiente. Os autores citam quatro principais discussões sobre a importância dos eventos humanos enquanto marcadores, sendo eles (i) o advento da agricultura, domesticação de animais, desmatamento e incremento das emissões de carbono e metano na atmosfera; (ii) a troca Colombiana entre espécies do Velho Mundo e do Novo Mundo, associada à colonização das Américas; (iii) o início da Revolução Industrial e (iv) a Grande Aceleração do crescimento populacional, industrialização, uso dos recursos minerais e energéticos no meio do século XX, como a extração e processamento do petróleo, produzindo de combustíveis fósseis e outros derivados.

O Anthropocene Working Group - AWG (em tradução livre, Grupo de Trabalho do Antropoceno), sustenta que a proposta de uma nova época geológica deve refletir uma unidade estratigráfica única que registre as assinaturas antropogênicas na rocha, no gelo e nos sedimentos marinhos (ZALASIEWICZ, 2015). O AWG discute a proposta de que o início do Antropoceno ocorreu na metade do século XX, coincidindo com a Grande Aceleração, quando ocorreu um crescimento populacional, industrialização e globalização (AWG, 2020).

No Brasil, o incremento da urbanização seguiu a tendência mundial de expansão territorial do modelo de desenvolvimento urbano-industrial, sem uma avaliação

consistente das características e das potencialidades do meio físico, desconsiderando as possíveis implicações ao meio ambiente (VASCONCELOS *et al.*, 2006).

Bueno (2006) afirma que a partir dos anos 1960, houve intensa urbanização baseada no ônibus e no automóvel, que provocou impactos nas bacias e cursos hídricos, como a canalização de córregos e a construção de avenidas de fundo de vale; ou seja, o modelo urbanístico adotado foi motivado por interesses privados sobre os sociais (ROLNIK, 2009).

Esse crescimento impôs um sistema de malhas viárias que, aos poucos, forçaram a execução de novas obras, como o saneamento de áreas ribeirinhas, retificações em cursos d'água, pavimentações, pontes, entre outros (RIGHETTO, 2009). É preciso destacar que com o avanço da urbanização, o inchaço populacional e a ausência de dispositivos de gerenciamento e controle de crescimento, as áreas de ocupação de acesso restrito (áreas de alagamento, várzeas, baixos, encostas de morros) começaram a ser povoadas, gerando novos problemas de grande gravidade, pois são regiões que representam um alto grau de insalubridade e influencia diretamente o escoamento urbano (CRUZ *et al.*, 2001; RIGHETTO, 2009).

Toda ação do ser humano sobre o meio ambiente provoca impacto. Segundo a Resolução CONAMA nº 01/1986, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam a saúde, segurança, bem-estar da população, atividades sociais e econômicas, a biota, condições estéticas e sanitárias e qualidade dos recursos ambientais.

Os impactos humanos no ambiente podem ser avaliados em escalas de bacias hidrográficas, ou seja, de uma rede de drenagem natural. Segundo Righetto, Gomes e Freitas (2017) a expansão urbana gera degradação progressiva ao ambiente, diretamente relacionado com o tipo de uso de ocupação do solo, ineficácia de infraestrutura adequada e limpeza pública (impactos negativos).

O reflexo da expansão urbana sobre o sistema de drenagem pode ser observado no agravamento de cheias, na diminuição da capacidade de infiltração da água no solo, na redução das vazões e estiagem dos cursos d'água e na deterioração da qualidade da água (RIGHETTO; GOMES; FREITAS, 2017). Ainda segundo estes autores, a

expansão urbana não acompanha o aprimoramento do sistema de drenagem ou de controle nas fontes geradoras de deflúvio, tornando a ocupação humana uma fonte difusa de contaminação e poluição dos recursos hídricos.

A urbanização e a impermeabilização das cidades afeta a ocorrência natural do ciclo hidrológico, pois a parcela de água que antes era infiltrada, interceptada pela vegetação e retornava à atmosfera por evaporação, tendo o excedente de deflúvio superficial, agora, em virtude da impermeabilização, tem uma maior parcela de água pluvial escoada superficialmente dada pela redução dos componentes anteriores (TUCCI, 2005). Também ocorre o aumento da capacidade de arraste, transportando o material disponível na superfície aumentando a concentração de sedimento nos corpos hídricos (POLETO; MARTINEZ, 2011).

Segundo Silva e Nunes (2014), atualmente tem crescido a preocupação com o futuro da humanidade uma vez que são reconhecidos os problemas ambientais como a disposição inadequada de resíduos, perda de solos por erosão e contaminação e assoreamento de mananciais os quais, em longo prazo, afetarão a qualidade de vida e se reverterão em maiores custos financeiros para remediação, como por exemplo, aumento do custo com tratamento da água de abastecimento, já observado em cidades que não possuem mananciais preservados devido ao aumento da turbidez e uso de maior quantidade de químicos na etapa de tratamento (REIS, 2004). Nas seções seguintes serão abordados com maior profundidade alguns impactos humanos sobre o ambiente.

#### **4.3. Artificialização de sedimentos fluviais**

No ambiente natural os sedimentos são formados nos ambientes terrestres a partir do intemperismo e erosão que ocorrem sobre as rochas e solos das porções mais altas da bacia hidrográfica e no ambiente aquático, também parte dos íons metálicos e metalóides originados desse processo se incorpora aos sedimentos de fundo (PEREIRA *et al.*, 2007). Além da fração inorgânica, esse sedimento recebe o aporte de matéria orgânica da vegetação e fauna. Com a urbanização, materiais de origem antrópica são incorporados aos sedimentos fluviais.

Segundo Jesus *et al.* (2004) os sedimentos finos têm sido considerados como um compartimento de acumulação de poluentes a partir da coluna d'água devido à sua alta capacidade de sorção e acumulação nos materiais argilosos. Possuem uma alta capacidade de reter elementos químicos orgânicos e inorgânicos e menos de 1% das substâncias que atingem os corpos hídricos são dissolvidas em água, ou seja, 99% são estocadas no sedimento (PEREIRA *et al.*, 2007).

Emissões atmosféricas do escapamento de veículos e chaminés de indústrias depositam na superfície partículas poluentes e contaminantes, as quais também são destinadas aos corpos hídricos pela ação da chuva.

Os metais estão presentes na água e no sedimento e, de acordo com Bezerra, Batista e Silva (2018), são elementos nocivos à saúde e sua introdução pode ocorrer de modo natural através do intemperismo e processos geoquímicos. Segundo Poletto e Martinez (2011), os sedimentos urbanos são considerados, atualmente, a maior fonte de poluição difusa para os corpos hídricos em áreas urbanas devido ao transporte de metais pesados e outros poluentes. Altas concentrações de zinco, nióbio, chumbo, cobre e cromo são encontradas sedimentadas em pavimentos urbanos e que são carregados aos corpos hídricos com a ação das chuvas (POLETO *et al.*, 2009).

A má gestão dos resíduos sólidos também pode contribuir com a artificialização do sedimento. Quando descartados inadequadamente, atingem a rede de drenagem, são carregados para corpo hídrico, podendo sedimentar no fundo ou ser transportado até alcançar o mar. Um dos principais resíduos domésticos é o plástico. A falta do incentivo a coleta seletiva e reciclagem além da sensibilização sobre a problemática do descarte inadequado dos resíduos faz com que esse material se deposite nas margens, leitos dos córregos ou são transportados pela água.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2019), 59,5% (43,3 milhões de toneladas) do resíduo gerado no Brasil em 2018 foi destinado adequadamente em aterros sanitários. O restante (40,5%) foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios, totalizando 29,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos descartados em lixões ou aterros controlados que não possuem medidas de controle ambiental, configurando-se em fonte de poluição para o solo, água e sedimento fluvial.

O plástico é o principal resíduo gerado em centros urbanos e segundo Forlin e Faria (2002) é crescente o volume de sua utilização e as implicações ambiental inerentes ao seu descarte pós-consumo não racional.

A produção de plástico no mundo também é crescente, passando de 335 milhões de toneladas em 2016 para 348 milhões de toneladas no ano seguinte (PLASTICSEUROPE, 2018). Segundo Coelho, Castro e Gobbo Jr. (2011), o Brasil é um dos mercados consumidores de maior crescimento para as garrafas de Polietileno tereftalato - PET, porém não possui sistema organizado de reciclagem.

A ABRELPE (2019) relata que, em 2013 havia 24 cooperativas associadas ao programa “Dê a Mão para o Futuro – Reciclagem, Trabalho e Renda”. Este programa é um projeto da Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos, Associação Brasileira das Indústrias dos Produtos de Limpeza e Afins e Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados.

No ano de 2018 somam 144 cooperativas. As cooperativas acompanhadas por esse programa estão registradas num banco de dados que abrange um total de 1710 entidades. A ABRELPE relata também que não existe uma atualização dos dados dos sistemas de coleta de recicláveis de embalagens em geral, reforçando que a reciclagem dos mesmos ainda não possui um sistema organizado.

Além do plástico, metais, madeiras, papéis, papelões, tijolos e outros resíduos de construção civil podem ser incorporados aos sedimentos dos rios e compor depósitos com materiais artificialmente produzidos incorporados. É comum observar o descarte desse tipo de resíduos às margens dos rios, uma vez que a população possui uma cultura infundida de que o rio tem a capacidade de levar embora o que não desejamos.

Também é necessário considerar a complexidade do material. Com a evolução tecnológica foram desenvolvidos materiais complexos e de degradação mais difícil. Se antes os seres humanos utilizavam materiais de origem animal para suprir suas necessidades (e. g. pele de animais em vestimenta) e o maior resíduo era o excedente da produção agrícola e resíduos da alimentação (orgânicos), atualmente o resíduo é composto por plásticos, metais, eletroeletrônicos e químicos, que além de persistentes no ambiente podem poluir ou contaminar os compartimentos terrestres.

A retirada da mata ciliar provoca erosão e assoreamento dos corpos hídricos devido ao grande aporte de sedimentos, além de facilitar a entrada dos materiais de origem humana no sistema aquático. Em locais de baixa atividade antropogênica a sedimentação é inferior a  $0,1 \text{ cm ano}^{-1}$ , enquanto em áreas antropizadas com alta taxa de desmatamento, ocupação do solo e urbanização, esse valor alcança de 2 a  $3 \text{ cm ano}^{-1}$  (MOZETO; UMBUZEIRO; JARDIM, 2006).

Segundo Oliveira (2005), a eliminação da cobertura vegetal dos solos provoca alterações no balanço hídrico, alterações no nível freático, alterações pedológicas e pedogenéticas, processos erosivos e formação de depósitos tecnogênicos nos fundos dos vales das bacias hidrográficas de primeira e de segunda ordem, que podem apresentar espessura de 1 a 2 metros.

A antropização do sedimento e o tipo de material poluente e contaminante dependerão do tipo de ocupação humana que ocorre na bacia hidrográfica, tornando necessário o conhecimento do uso e ocupação do solo para melhores medidas de gestão ambiental.

#### **4.4. O plástico no século XXI**

Candian (2007) relata que antes da descoberta dos polímeros sintéticos, a população humana utilizava macromoléculas orgânicas na construção civil e fabricação de objetos de vestuário. Amplamente difundido no mercado atual, o plástico tem uma história recente.

O processo de vulcanização da borracha ocorreu em 1839 pela Goodyear, o celuloide foi criado em 1860 e o Parkesine (material duro com característica de moldagem em diversas formas) foi o primeiro material semissintético criado em 1862 por Alexandre Parkes; o primeiro material plástico totalmente artificial foi introduzido por Leo Hendrik Baekeland em 1909 e a adição de cor a este material ocorreu bem mais recentemente, nos anos 1950 (CANDIAN, 2007).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico - ABIPLAST (2017), o plástico descartável surgiu em 1909, em função de uma legislação americana que

proibia o uso de xícaras comunitárias em trens a fim de evitar a disseminação de doenças. Ainda segundo a associação, em 1938 foi inventada a poliamida (fibras que compõem tecidos), inserindo o plástico definitivamente na indústria da moda. Nos anos 1950, os tecidos obtidos a partir do poliéster ganharam o mercado por serem baratos, fáceis de lavar e sem necessidade de passar à ferro.

Entre 1970 e 1980 o plástico começou a ser utilizado na fabricação de brinquedos infantis, componentes de naves espaciais e objetos relacionados à música e à fotografia. Já nos anos de 1990, o plástico insere-se na indústria automotiva por ser um material leve, elevando a eficiência de consumo de combustível dos veículos. Nos anos 2000, por outro lado, aumenta o apelo pela proteção ambiental e a questão de recuperação e reciclagem de plásticos ganha atenção (ABIPLAST, 2017).

Um uso cotidiano do plástico é como sacolas nas atividades de comércio. Os sacos plásticos foram introduzidos em 1970 (FABRO; LINDEMANN; VIEIRA, 2007). No Brasil, seu uso foi adotado em 1980 em razão do aumento do custo do papel (VIANA, 2010). Atualmente, as sacolas de supermercado são amplamente utilizadas e o plástico também é empregado como vasilhames para o acondicionamento de bebidas, alimentos, cosméticos e produtos de limpeza. Esses vasilhames começaram a ser testados inicialmente no mercado de bebidas em 1970 pela Coca-Cola e em 1976 foram produzidas em escala comercial pela Amoco, para a Pepsi Cola (FUNVERDE, 2019).

Segundo Zalasiewicz, Gabbott e Waters (2019), de todo plástico produzido no mundo em 2015,  $2,5 \times 10^9$  toneladas (30,12%) estão em uso,  $0,6 \times 10^9$  toneladas (7,22%) foram recicladas e  $0,8 \times 10^9$  toneladas (9,63%) foram incinerados; as  $4,9 \times 10^9$  toneladas (59,03%) restantes foram descartadas em lixões abertos, aterros e dispersos como resíduos sólidos em locais inapropriados.

O plástico pode ser categorizado em: (i) uso geral (termoplásticos ou termorrígidos), também podem ser chamados de uso comum, uso de massa ou plásticos *commodities* e (ii) plásticos de engenharia (de uso geral ou uso especial) (WIEBECK; HARADA, 2005); segundo estes autores, os plásticos de engenharia são materiais estáveis em aplicações onde podem sofrer esforços mecânicos, térmicos, elétricos, químicos ou ambientais e são mais caros que os plásticos *commodities*, em função de

terem sua obtenção e formação mais elaborada. O Quadro 2 apresenta os tipos de plásticos de cada categoria.

**Quadro 2 – Classificação e tipos de plásticos.**

<b>Classe</b>	<b>Subclasse</b>	<b>Nome</b>	<b>Sigla</b>
Uso Geral	Termoplástico	Poliétileno	PE
		Polipropileno	PP
		Poliestireno	OS
		Poliestireno de alto impacto	PSAI
		Copolímero (estireno acrilonitrila)	SAN
		Copolímero (etileno-acetato de vinila)	EVA
		Poli(cloreto de vinila)	PVC
		Poli(acetato de vinila)	PVAc
		Poli(cloreto de vinilideno)	PVDC
	Poli(metacrilato de metila)	PMMA	
	Termorígido	Epóxi	ER
		Fenol-formaldeído	PR
		Uréia-formaldeído	UR
		Melamina-formaldeído	MR
Poliuretano		PU	
Engenharia	Uso geral	Poliétileno de altíssimo peso molecular	PEUAPM
		Poli(óxido de metileno)	POM
		Poli(tereftalato de etileno)	PET
		Poli(tereftalato de butileno)	PBT
		Policarbonato	PC
		Poliâmida alifática (náilon)	PA
		Poli(óxido de fenileno)	PPO
		Poli(flúoreto de vinilideno)	PVDF
	Uso especial	Poli(tetraflúoro-etileno)	PTFE
		Polarilatos	PAR
		Polímeros cristalinos – líquidos	LCP
		Poli-imidas	PI
		Poli(amidaimida)	PAI
		Poli(éter-imida)	PEI
		Poli(éter-cetona)	PEK
		Poli(éter-éter-cetona)	PEEK
		Poli(sulfeto de fenileno)	PPS
		Polisulfona	PSU
		Polifenilsulfona	PPSU
Poliftalamida	PPA		
Polietersulfona	PES		

Fonte: Adaptado de Wiebeck e Harada (2005).

O Brasil é um grande produtor de resinas termoplásticas. O país produz 6,4 milhões de toneladas de resinas termoplásticas e 6,0 milhões de toneladas de plástico transformado, enquanto a América Latina produz 4,8 e 7,4 milhões de toneladas,

respectivamente (ABIPLAST, 2017). A Tabela 1 apresenta a distribuição do consumo dos plásticos considerando seu ciclo de vida.

**Tabela 1 - Principais consumidores de transformados de plástico em 2015.**

<b>Categoria</b>	<b>Uso</b>	<b>Consumidor</b>	<b>Uso</b>
Ciclo de vida longo (acima de cinco anos)	52%	Construção civil	25,25 %
		Automóveis e autopeças	7,74%
Ciclo de vida médio (entre um e cinco anos)	17%	Artigos de comércio em atacado e varejo	10,07%
Ciclo de vida curto (até um ano)	31%	Alimentos	18,69%
		Bebidas	5,90%

**Fonte: ABIPLAST (2017).**

Dentre os estados brasileiros, São Paulo possui o maior número de empresas e de empregados no setor de transformação de plástico (134.856 empregados em 2017 e 4798 empresas em 2016), abrigando também o maior número de empresas e empregados que atuam na reciclagem de plásticos pós-consumo (2.376 empregados em 2017 e 302 empresas em 2016) (ABIPLAST, 2017). A Tabela 2 apresenta as principais resinas consumidas no Brasil.

**Tabela 2 – Resinas plásticas consumidas no Brasil.**

<b>Resina</b>	<b>Uso</b>
PP (Polipropileno)	21,6%
PVC (Poli - cloreto de vinila)	13,6%
PEAD (Polietileno de alta densidade)	13,6%
PEBDL (Polietileno de baixa densidade linear)	10,4%
PET (Poli - tereftalato de etileno)	8,1%
PEBD (Polietileno de baixa densidade)	7,9%
Plásticos reciclados	7,8%
Plástico de Engenharia	6,6%
PS (Poliestireno)	6,5%
EPS (Poliestireno expandido)	2,6%
EVA (Etileno-Vinil-Acetato)	1,3%

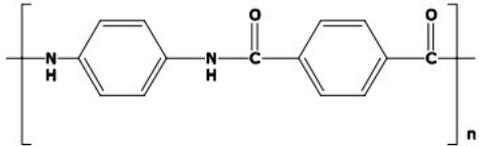
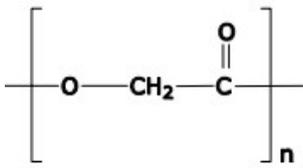
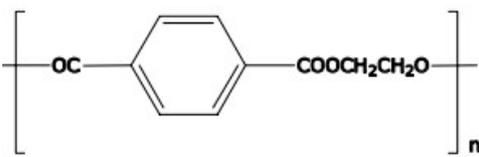
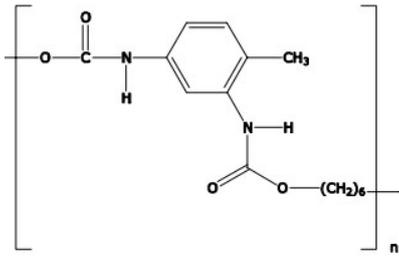
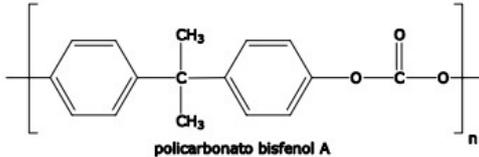
**Fonte: ABIPLAST (2017).**

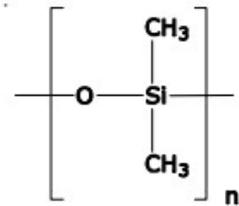
O Quadro 3 apresenta algumas das famílias de plásticos mais importantes existentes atualmente com aplicações comerciais populares.

**Quadro 3 – Famílias de plásticos com aplicações populares.**

<b>Polímero</b>	<b>Descrição</b>
Polietileno	Obtido através da polimerização do etileno. Se obtidas macromoléculas muito grandes, obtém-se o PEAD (polietileno de alta densidade), utilizado na fabricação de canetas,

$\left[ \text{CH}_2 \right]_n$	<p>brinquedos e móveis de jardins. Se obtidas macromoléculas menores, origina-se o PEBD (polietileno de baixa densidade), utilizado na fabricação de sacolas e sacos.</p>
<p>Polipropileno</p> $\left[ \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right]_n$	<p>Obtido através da polimerização do gás propileno. Muito resistente a rupturas e impactos, é utilizada na fabricação de recipientes e pode ser utilizada na indústria de autopeças.</p>
<p>Poliacrílicos</p> $\left[ \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{COOCH}_3}{\text{C}}} \right]_n$ <p>Poli(metacrilato de metila)</p>	<p>Os mais importantes são derivados dos ácidos acrílico e metacrílico. São caracterizados pela transparência, brilho e alta resistência ao impacto e intempéries. Podem substituir o vidro em fabricação de janelas, painéis, lentes de óculos e de contato, entre outros.</p>
<p>Politetrafluoroetileno</p> $\left[ \text{CF}_2 \right]_n$	<p>Este plástico não reage com facilidade e apresenta baixo coeficiente de atrito. Conhecido como teflon, é utilizado na fabricação de frigideiras antiaderentes.</p>
<p>Náilon</p> $\left[ \underset{\text{H}}{\text{N}} - (\text{CH}_2)_6 - \underset{\text{H}}{\text{N}} - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} - (\text{CH}_2)_4 - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} \right]_n$ <p>náilon-6,6</p>	<p>Este polímero apresenta alta resistência, pode ser moldado facilmente e não propaga fogo. É amplamente aplicado na confecção de fibras têxteis, linhas de pesca, velcros, pulseiras de relógio, sacolas, entre outros.</p>
<p>Kevlar</p>	<p>É um dos materiais sintéticos mais resistentes. Cordas de kevlar têm substituído às de aço em diversas aplicações, são utilizadas também na fabricação de produtos resistentes a chamas</p>

	<p>intensas, calor e impacto (roupas para bombeiros, colete a prova de balas, entre outros).</p>
<p>Poliésteres</p>  <p><b>dexon</b></p>	<p>Utilizados na fabricação de fibras, pode ser misturado com celulose gerando o tecido tergal. Outro poliéster, o dexon, é utilizado na medicina para suturas em partes internas do corpo, por ser absorvível pelo organismo.</p>
<p>Poli (tereftalato de etileno)</p>  <p><b>poli (tereftalato de etileno) linear</b></p>	<p>São polímeros resistentes ao ataque de substâncias e a deformações, possuem um baixo nível de absorção de umidade de baixo custo. É um dos plásticos mais consumidos no mundo, principalmente na fabricação de garrafas.</p>
<p>Poliuretanas</p>  <p><b>poliuretana derivada do toluenodisocianato e hexametilenodiol</b></p>	<p>A característica desse polímero depende dos compostos usados e da técnica de preparação. De modo geral, são utilizados como espumas macias para fabricação de colchões, estofados, ou espumas duras na fabricação de embalagens e em pranchas de surfê.</p>
<p>Policarbonatos</p>  <p><b>policarbonato bisfenol A</b></p>	<p>São transparentes e resistentes a impactos. Podem ser utilizados na fabricação de janelas de avião, vidros à prova de balas, <i>compact discs</i> (CDs), mamadeiras, lentes, entre outros.</p>

<p style="text-align: center;">Silicones</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">Poli(dimetil siloxano)</p> </div>	<p>São polímeros contendo longas cadeias de silício e oxigênio. Suas características são: inércia química, estabilidade frente a variação de temperatura e são atóxicos. São utilizados para cirurgias plásticas, ceras para polimento de automóveis, chupetas, bicos de mamadeiras e como borracha em vedações.</p>
---	--

Fonte: Adaptado de Piatti e Rodrigues (2005).

O plástico é considerado um substrato inerte, resistente ao ataque microbiológico, de decomposição em níveis quase desprezíveis em curto e médio prazo pela ação da luz, umidade, calor (ZALASIEWICZ *et al.*, 2016), não sofrendo oxidação, diferentemente de materiais como madeira, papel, fibras naturais e metais (FRÍAS; LEMA; GARCÍA, 2003). Klein *et al.* (2018) apontam que a degradação de polímeros sintéticos pode ser classificada em física (forças abrasivas, mudanças de temperatura e clima), por fotodegradação (raios UV), química (oxidação e hidrólise) e biodegradação (por organismos como bactérias, fungos e algas), onde polímeros podem ser convertidos em unidades menores como oligômeros, monômeros ou versões químicas modificadas.

Recentemente a indústria tem investido em pesquisas de desenvolvimento de materiais plásticos biodegradáveis. Atualmente, os plásticos se dividem em convencionais (produzidos a partir de fonte fóssil) e bioplásticos. Os bioplásticos dividem-se em biodegradável e não biodegradável; por exemplo, o polietileno obtido do etanol de cana-de-açúcar é um bioplástico, porém não é biodegradável (ABIPLAST, 2017). Os bioplásticos são produzidos a partir de matérias primas de fontes renováveis (p. e. milho, cana de açúcar e celulose), enquanto os plásticos biodegradáveis são aqueles que sofrem degradação a partir da ação de micro-organismos de ocorrência natural como bactérias, fungos e algas (BRITO *et al.*, 2011).

O plástico ainda pode ser classificado quanto ao seu tamanho: os macrolásticos são aqueles maiores que 5 mm, os microlásticos são menores que 5 mm (MOORE, 2008) e os nanoplásticos possuem dezenas de nanômetros ou menos (ZALASIEWICZ; GABBOTT; WATERS, 2019). Os macrolásticos são os resíduos visíveis a olho nu, como sacos, garrafas, brinquedos, redes de pesca e embalagens. Os microlásticos não

são facilmente visíveis a olho nu, sendo microesferas, pellets e fragmentos secundários derivados dos macropásticos e fibras de tecidos. Os nanopásticos possivelmente são difundidos na mesma proporção que os anteriores, mas devido à ausência de metodologia para sua detecção eles são pouco estudados (ZALASIEWICZ; GABBOTT e WATERS, 2019). Ainda segundo Zalasiewicz, Gabbott e Waters (2019) os microplásticos possuem uma considerável capacidade de causar danos biológicos. Apesar de não serem partículas facilmente visíveis, são evidentes os impactos que causam à biota.

Considerando sua persistência no ambiente, o plástico pode ser considerado, um dos tipos mais importantes de tecnofósseis, uma vez que esse material é amplamente explorado pela indústria atual e utilizado em larga escala no cotidiano da população mundial (ZALASIEWICZ *et al.* 2016) e disperso em vários ambientes de sedimentação. Ainda segundo os autores, é possível que o plástico possa ser fossilizado em forma de impressão, mesmo que todo material seja biodegradado, processo similar ao que ocorre com a fossilização de conchas.

#### **4.5. O plástico no ambiente aquático**

Resíduos plásticos vão se fragmentando conforme vão sendo transportados ao longo do eixo longitudinal de deslocamento de um rio (nascente - foz). Assim, parte desses materiais sedimenta no fundo dos corpos hídricos e margens e parte é eventualmente transportada até lagos ou o mar.

Segundo Zalasiewicz, Gabbott e Waters (2019), o processo de transporte e sedimentação desses materiais é determinado pelo tamanho, forma e densidade dos mesmos; topografia, correntes de água e de ar e presença de vegetação ciliar também interferem na forma como a sedimentação ocorre. Os canais fluviais são condutores de plásticos e microplásticos para ambientes marinhos; porém ainda há pouca pesquisa sobre abundância desse material, padrões e características dos microplásticos em água doce, quando comparado aos trabalhos em ambientes marinhos (FREE *et al.*, 2014; ZBYSZEWSKI; CORCORAN; HOCKIN, 2014; IMHOF *et al.*, 2013; LECHNER *et al.*, 2014; TIBBETTS *et al.*, 2018; MANI *et al.*, 2015), tornando necessários estudos que permitam entender seu transporte e acúmulo nesse sistema, esforço que tem sido

realizado recentemente por pesquisadores em todo o mundo (ZHAO; ZHU; LI, 2015; VERMAIRE *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2018; PENG *et al.*, 2018; ALVEZ; FIGUEIREDO, 2019; Jiang *et al.*, 2019; MCEACHERN *et al.*, 2019; RAMÍREZ-ÁLVAREZ *et al.*, 2019; SHRUTI *et al.*, 2019; YUAN *et al.*, 2019; CREW; GREGORY-EAVES; RICCIARDI, 2020).

Considerando as densidades de alguns plásticos que são menores que a densidade das águas doce e principalmente salgada, rochas e minerais, eles são facilmente transportados, viajando rapidamente e por longas distâncias pela Terra através da água (ZALASIEWICZ; GABBOTT; WATERS, 2019). A Tabela 3 apresenta a densidade de alguns tipos de plásticos mais comuns, a densidade das águas doce e salgada e de alguns minerais comuns. A sedimentação do plástico ocorre quando a densidade do plástico torna-se maior que a da água. Isso pode ocorrer através da associação do plástico com algas, organismos ou sedimento (ZALASIEWICZ; GABBOTT; WATERS, 2019).

**Tabela 3 – Densidade da água, alguns minerais e tipos de plásticos mais comuns.**

<b>Substância</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Água doce	0,99 - 1,0
Água salgada	1,025
Quartzo	2,65
Ferro	7,3 - 7,9
Hematita	5,2 - 5,26
Magnetita	5,5 - 6,5
Argilominerais	2,0 - 3,0
Polipropileno (PP)	0,85 - 0,92
Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	0,89 - 0,93
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	0,94 - 0,98
Poliestireno (PS)	1,04 - 1,08
Policloreto de Vinilo (PVC)	1,38 - 1,41
Politereftalato de Etileno (PET)	1,8 - 2,3

**Fonte: Adaptado de PLASTVAL (s/d); PAULINA (2007); NAVARRO, ZANARDO (2018).**

No ambiente urbano, as Estações de Tratamento de Esgoto - ETE podem ser uma fonte de microplástico para o sistema aquático (MURPHY *et al.*, 2016; VERMAIRE *et al.*, 2017; KAY *et al.*, 2018; TIBBETTS *et al.*, 2018; RAMÍREZ-ÁLVAREZ *et al.*, 2019; MCEACHERN *et al.*, 2019). Segundo Murphy *et al.* (2016) o efluente de uma estação de tratamento de esgoto dimensionada para uma população de 650 mil habitantes, pode conter aproximadamente 65 milhões de partículas microplásticas.

O efluente doméstico também carrega uma grande carga de microplásticos. Por exemplo, no ciclo de lavagem de roupas de uma máquina com seis quilos, os tecidos de algodão poliéster, podem liberar 138 mil fibras, os tecidos de poliéster podem liberar 496 mil fibras e os tecidos acrílicos podem liberar 729 mil fibras; estas fibras não são retidas nos filtros das ETEs, atingindo os corpos hídricos (NAPPER; THOMPSON, 2016). Essa quantidade pode aumentar no inverno, uma vez que são usadas mais roupas e aumenta a quantidade de lavagens (BROWNE *et al.*, 2011).

Nos ambientes de água doce, alguns *hotspots* de acúmulo de microplásticos são os lagos, várzeas e meandros (ambientes de baixa velocidade da água), que podem apresentar maior acumulação destes materiais do que o próprio canal (TIBBETTS *et al.*, 2018). Yuan *et al.* (2019) ressaltam que os lagos são um ambiente de acúmulo de microplásticos e resíduos plásticos nos ecossistemas de água doce, acumulando e preservando esse material por um longo período de tempo, além de também serem fonte desse material para a jusante.

A problemática do plástico recebe um forte apelo atual. De acordo com o levantamento de Zalasiewicz, Gabbott e Waters (2019), o primeiro estudo de dano ambiental por plástico é datado em 1960. Inúmeros estudos tratam sobre a presença do plástico na areia das praias e no mar (BROWNE *et al.*, 2011; ANDRADE NETO, 2014) e sobre o plástico nos corpos hídricos continentais (BIGINAGWA *et al.*, 2015; IMHOF *et al.*, 2013; KAY *et al.*, 2018; KHAN *et al.*, 2018; KLEIN *et al.*, 2018; LECHNER *et al.*, 2014; TIBBETTS *et al.*, 2018).

#### **4.6. Metodologias de estudo de sedimentos**

Segundo Klein *et al.* (2018) não há nenhum protocolo metodológico de amostragem para o estudo da antropização do sedimento, mas existem diversas metodologias aceitas e utilizadas. Em estudos focados na sedimentação de materiais de origem antrópica é importante realizar coletas em áreas de remanso, que favorecem o depósito do material mais fino devido à menor carga de energia, o que permite melhor análise dos elementos químicos (PEREIRA *et al.*, 2007) ou materiais artificialmente produzidos.

Para amostragem do sedimento pode ser utilizada a draga, que retira uma camada superficial do sedimento ou o *corer*, que retira um perfil do sedimento sem desintegrar a amostra. Este segundo é utilizado quando se deseja avaliar mudanças ao longo do tempo na composição química e física das camadas de sedimento (HONORATO, 2002). Honorato (2002) utilizou amostradores do tipo *corer* com 7.5 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento a fim de estudar a acumulação de elementos traços no perfil do sedimento.

Segundo Mozeto, Umbuzeiro e Jardim (2006), devido à heterogeneidade do sedimento, métodos de separação granulométrica por peneiramento permitem separar o material mais grosseiro do mais fino, processo útil dependendo do objetivo da pesquisa.

Segundo Klein *et al.* (2018) há uma grande dificuldade em se determinar microplásticos no sedimento devido ao tamanho e distribuição heterogênea. Tibbetts *et al.* (2018) realizaram a contagem de microplásticos em sedimento de corpos de água doce. A metodologia baseou-se na divisão em quatro frações granulométricas, separação dos resíduos plásticos através de métodos de diferença de densidade e posterior análise em lupa. Os autores não aplicaram nenhum método de degradação de matéria orgânica, uma vez que consideraram que as mesmas podem degradar também alguns tipos de polímeros de baixa tolerância a pH ácidos, além de poder alterar a cor dos polímeros, dificultando sua identificação.

Por outro lado, a degradação da matéria orgânica utilizando peróxido de hidrogênio é amplamente empregada em estudos de análise de microplásticos em sedimentos (TAGG *et al.*, 2015; VERMAIRE *et al.*, 2017; JIANG *et al.*, 2019; CREW; SHRUTI *et al.*, 2019; GREGORY-EAVES; RICCIARDI, 2020) e na coluna d'água (UHL; EFTEKHARDADKHAH; SVENDSEN, 2018; WANG *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2018; DIKAREVA e SIMON, 2019). Esse processo facilita a observação das amostras e a distinção do material artificial do natural, uma vez que as fibras plásticas são as mais suscetíveis de serem confundidas com pequenas raízes ou outros fragmentos vegetais mais finos.

Hidalgo – Ruz *et al.* (2012) estabeleceram alguns critérios para a identificação dos microplásticos nas amostras. Os autores destacaram que os plásticos não possuem nenhuma estrutura celular orgânica, as fibras devem ser igualmente grossas em todo

comprimento, alguns materiais também apresentam coloração, que deve ser homogênea. Adicionalmente, foi observado o brilho dos materiais, forma e espessura, características importantes para auxiliar na distinção entre o material inorgânico natural e o artificial. Além disso, também é possível que alguns materiais orgânicos persistam após a degradação da matéria orgânica. Nesse material, é possível enxergar estruturas celulares orgânicas.

Na escala microscópica e nanométrica, que varia entre 0,1 nm e 1 mm, a Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV é uma ferramenta de grande destaque. A MEV é um dos instrumentos mais versáteis para observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos, uma vez que possui alta resolução (2 a 5 nanômetros) e gera imagens tridimensionais devido à profundidade de campo (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

Segundo Miguens *et al.* (2011), a MEV acoplada à Espectrofotometria de Raios-X por energia dispersiva de elétrons - EDS é bastante utilizada na Geoquímica Ambiental porque informa a localização de determinado elemento químico em uma partícula ou agregado com forma identificável e dimensões mensuráveis. O seu uso possui algumas limitações, como a dificuldade de se identificar elementos leves e a ocorrência de ruídos relacionados ao carbono, uma vez que a amostra é colada em uma fita de carbono (MIGUENS *et al.*, 2011). As amostras também podem ser diluídas em álcool isopropílico e gotejadas em uma base de alumínio, o que também gera ruído ao analisar esse elemento. Por fim, quando a amostra não é condutora de energia, ela é recoberta com ouro, outro elemento que pode interferir na interpretação dos resultados.

Existem outros métodos que permitem estudar os polímeros em uma amostra. A termogravimetria é uma análise térmica que pode ser aplicada em materiais poliméricos, porém, muitas vezes, precisa ser complementada com outras técnicas termoanalíticas, por exemplo, com calorimetria exploratória diferencial - DSC (CANEVAROLO JR., 2003).

Segundo Canevarolo Jr. (2003), na termogravimetria - TG a variação da massa da amostra (perda ou ganho) é determinada em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura.

De acordo com Canevarolo Jr. (2003), na calorimetria exploratória diferencial é possível investigar uma amostra desconhecida a partir do conhecimento dos comportamentos (p. e. pontos de fusão ou decomposição) de substâncias padrões já determinadas. Nesta análise, um material de referência e a amostra são submetidas a uma mesma programação controlada de calor (CANEVAROLO JR., 2003)

## 5. MÉTODO

A Figura 4 apresenta um fluxograma das etapas metodológicas deste estudo.

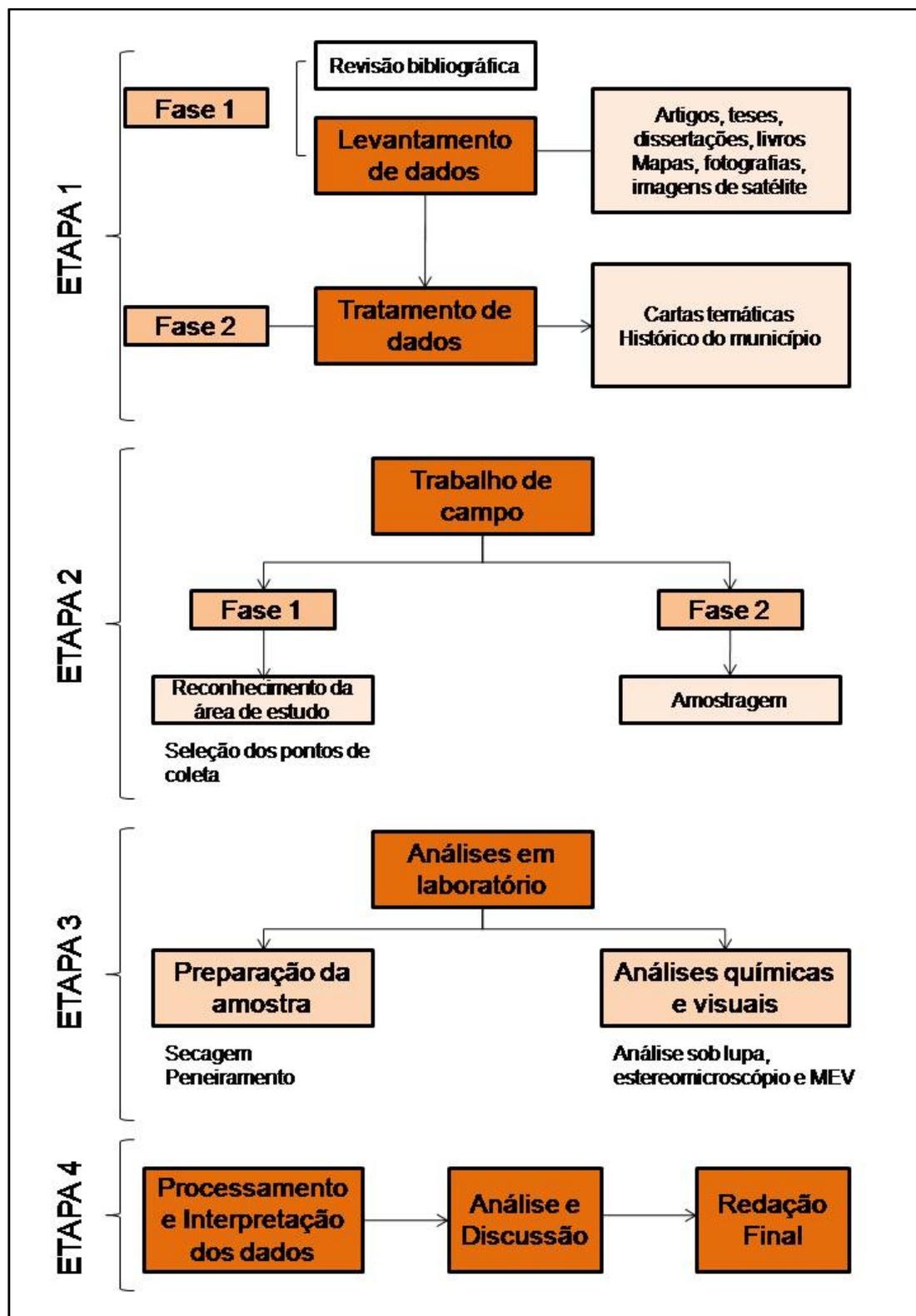


Figura 4 – Metodologia de estudo. Fonte: Autora (2019).

A Etapa 1 foi dividida em duas fases. Na primeira fase foi realizada a revisão bibliográfica para entender o estado da arte do tema trabalhado. Em seguida, foi feito um levantamento de dados e informações sobre a área de estudo e metodologias de estudo de sedimento em bancos de teses e dissertações, artigos, manuais técnicos e livros. A fim de obter dados do meio físico da área, foi necessária a busca de mapeamentos, fotografias e imagens de satélite.

A partir da coleta dessas informações, foi realizada a segunda fase, com tratamento das informações coletadas para a geração de cartas temáticas, levantamento histórico, físico, ambiental e social da área de estudo. O Quadro 4 apresenta os dados coletados em mapeamentos existentes e a informação utilizada de cada fonte.

A Etapa 2 é composta pelos trabalhos de campo. Na primeira fase realizou-se um reconhecimento da área de estudo, a fim de determinar os pontos de coleta considerando sua acessibilidade e possibilidade de coleta de amostras. A segunda fase é a de amostragens.

Na Etapa 3 foi feita a análise das amostras em laboratório. As amostras foram preparadas através do processo de secagem e separação em frações granulométricas. Em seguida, as frações foram analisadas com a metodologia mais adequada.

Por fim, na Etapa 4 foi realizado o processamento e interpretação dos dados coletados, análise e discussão e a redação final do trabalho de dissertação. As subseções seguintes detalham a área de estudo, metodologia de coleta e análise do sedimento e elaboração das cartas temáticas de uso e ocupação do solo.

**Quadro 4 - Dados e informações geográficas utilizados.**

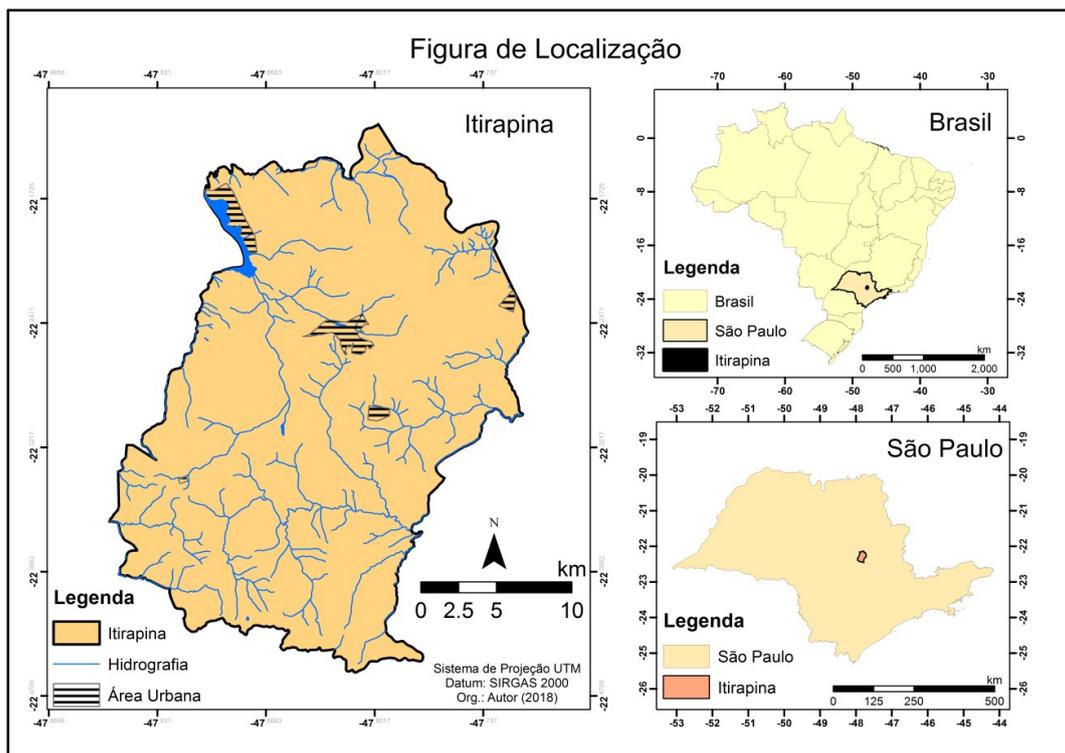
<b>Fonte do dado</b>	<b>Produto</b>	<b>Referência</b>	<b>Resolução</b>
Carta Topográfica	Hidrografia, delimitação de bacia hidrográfica	IGC (1997)	1:10.000
Limite municipal	Município	IBGE (2010)	1:50.000
Limite estadual e federativo	Estado e país	IBGE (2005)	1:250.000
Censo	Malha urbana do município	IBGE (2010)	1:50.000
AloSPalsar (15/01/2011; beam mode: FBS; Path: 62; Frame: 6730)	Declividade	UAF Alaska Satellite Facility (2011)	12,5 m (espacial)
Uso e ocupação do solo	Evolução do uso do solo	MapBiomass (2015)	1:50.000
Mapa Pedológico	Pedologia	Rossi (2017)	1:100.000
Mapa de Substrato Rochoso	Formações Geológicas	CPRM (2008)	1:100.000
Mapa de Material Inconsolidado	Material Inconsolidado	Nishiyama (1991)	1:100.000

Fonte: Autora (2019).

## **5.1. Área de estudo**

### **5.1.1 Localização da área de estudo**

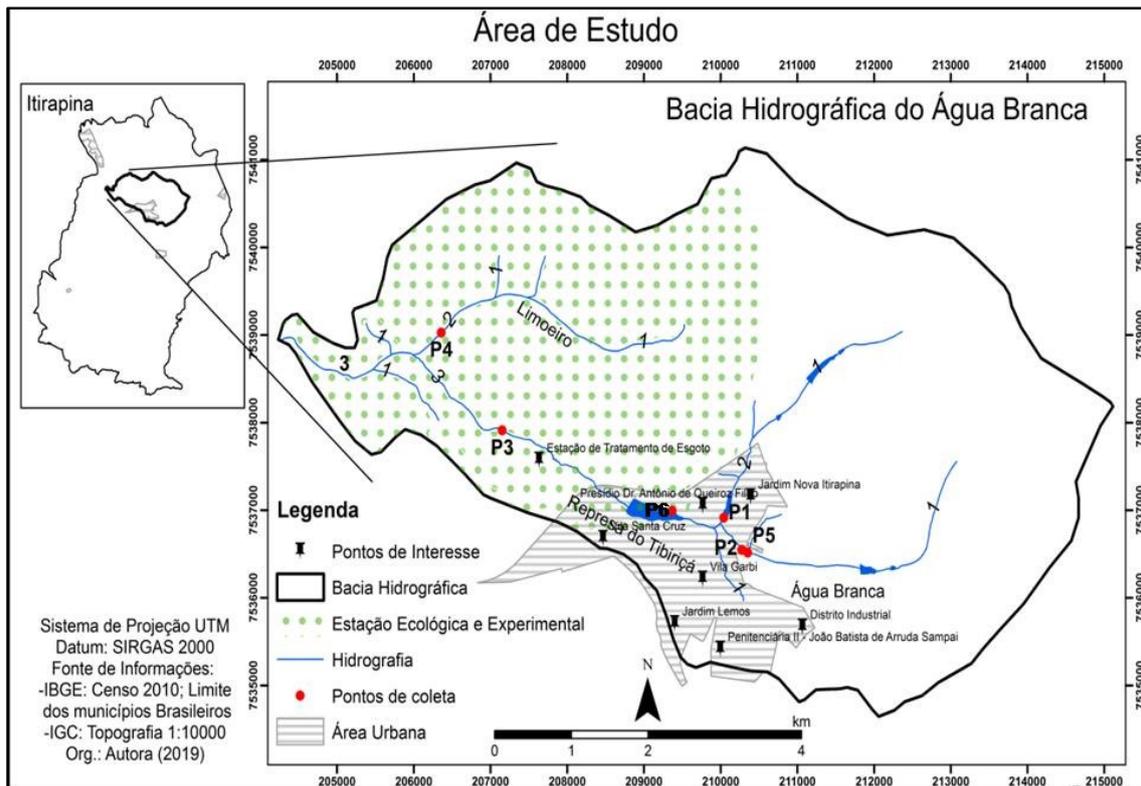
A área de estudo está inserida no município de Itirapina (área de 564,603 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018)), localizado no interior do estado de São Paulo (Figura 5) e faz divisa com os municípios de Brotas, São Carlos, Analândia, Corumbataí, Rio Claro, Ipeúna, Charqueada e São Pedro.



**Figura 5 – Localização do município de Itirapina, da área urbana e da rede de drenagem. Fonte: Autora (2019).**

O objeto de estudo são os sedimentos fluviais da bacia do córrego da Água Branca (Figura 6), que possui 40,30 km<sup>2</sup> e 24 km de rede de drenagem. É uma bacia de terceira ordem, segundo a hierarquização de Strahler (1952). Abriga uma grande heterogeneidade de usos, assentando Unidades de Conservação Ambiental, área urbana, rural e áreas industriais.

As duas unidades de conservação que estão no limite da bacia (que se estende aos municípios vizinhos) são a Estação Ecológica de Itirapina (Proteção Integral) com 2.300 ha destinados à conservação da biodiversidade e às pesquisas científicas, e a Estação Experimental de Itirapina que possui 3.212 ha e constitui uma área reflorestada com *Pinus ssp.* e *Eucalyptus ssp.*, onde são realizadas atividades de resinagem, produção florestal e conservação da biodiversidade (INSTITUTO FLORESTAL, 2017).



**Figura 6 – Bacia hidrográfica do córrego da Água Branca - Itirapina, SP, com o ordenamento dos corpos hídricos (1 a 3) e a localização dos pontos de coleta (P1 a P6). Fonte: Autora (2019).**

### 5.1.2 Caracterização do meio físico

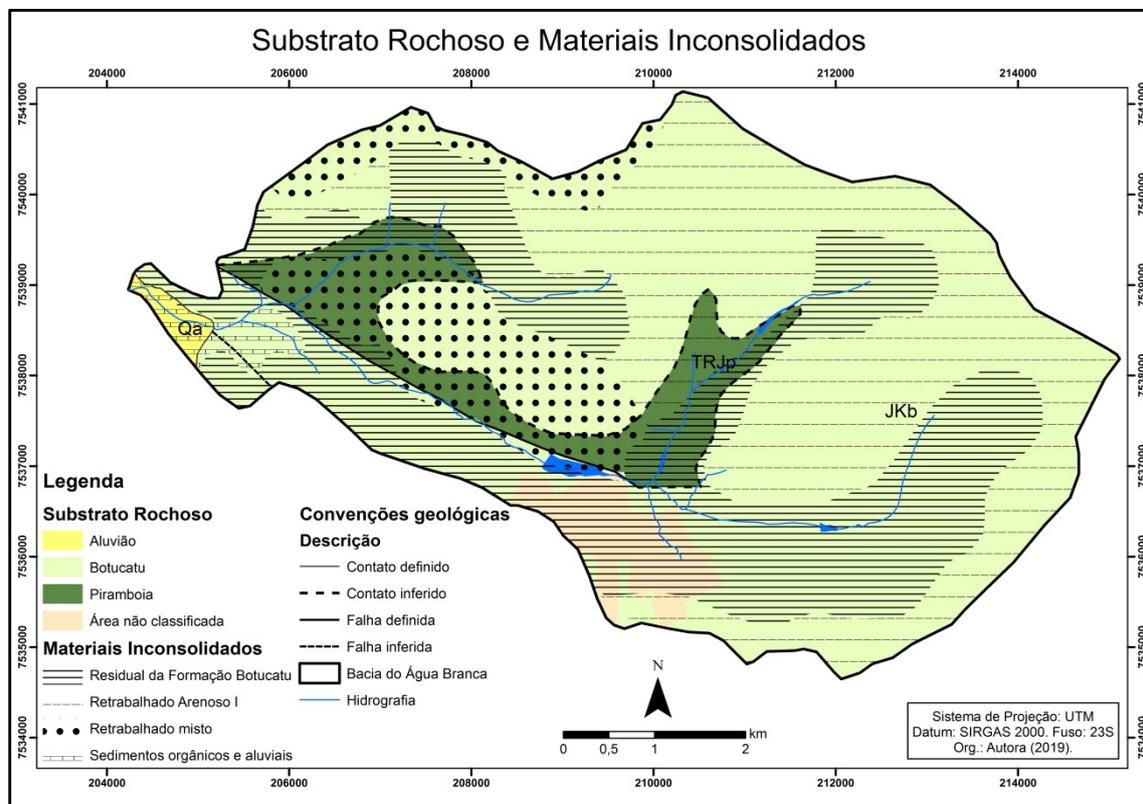
As Figuras 7, 8 e 9 apresentam a caracterização do meio físico da área de estudo. A maior parte da área está sobre rochas da Formação Botucatu (Grupo São Bento) Era Mesozóica (Figura 7), constituída por arenitos vermelhos, bem selecionados, grãos bem arredondados e com estratificações cruzadas de grande porte (CPRM, 2008). Segundo Massoli (2007), quando silicificados constituem escarpas subverticais nas frentes de *cuestas* ou morros testemunhos junto aos basaltos, e quando friáveis apresentam relevo colinoso e formam extensos areiais. Segundo Nishiyama (1991, p. 61), o ambiente deposicional foi “um imenso deserto climático com seus subambientes, que no início da deposição dominavam as condições subaquosas”. Paraguassu (1972 apud NISHIYAMA, 1991) considera que a silicificação dos arenitos é um processo recente, ocorrido a partir da precipitação de sílica da água subterrânea. Ainda de acordo com Nishiyama (1991), em Itirapina estima-se a espessura de 20 m para a Fm. Botucatu, chegando a 160 m no topo do morro do Baú, na região sudoeste.

A segunda maior superfície é da Fm. Pirambóia (Grupo São Bento), de arenitos com grãos arredondados a esféricos, níveis de lamitos e estratificações cruzadas de

médio a grande porte (CPRM, 2008). Encontra-se sotoposta aos arenitos eólicos da Fm. Botucatu; constitui-se de sequência composta por arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, médios e finos/muito finos, silto-argilosos, grãos polidos, subangulares e subarredondados com estratificações cruzadas planares a acanaladas de porte pequeno a grande (SCHNEIDER *et al.*, 1974 e LAVINA, 1989 apud CÔRTEZ, 2013). Segundo Nishiyama (1991), apresentam elevada porcentagem de matriz siltico-argilosa e composição essencialmente quartzosa.

Em Itirapina, a cota de contato da Fm. Botucatu com a Piramboia ocorre aos 740 m (NISHIYAMA, 1991). Na Figura 7 pode-se observar uma falha definida com movimentação vertical, perpendicular ao córrego da Água Branca, tendo a Fm. Piramboia em bloco alto e a Botucatu em bloco baixo.

Na área também ocorrem os Aluviões, caracterizados como sedimentos continentais Quaternários (Era Neozóica), formados por areias e argilas associadas a várzeas (CPRM, 2008). Na área de estudo, estão associados à Represa do Broa e também aos sedimentos orgânicos aluviais dos principais cursos hídricos da bacia.



**Figura 7 – Substrato rochoso e Materiais inconsolidados da área de estudo. Fonte: modificado de CPRM (2008) e Nishiyama (1991), respectivamente. Org.: Autora (2019).**

Segundo Nishiyama (1991), os materiais inconsolidados residuais são aqueles resultantes da decomposição da rocha e evoluídos *in situ*, e os materiais inconsolidados retrabalhados são aqueles que passaram por algum tipo de mobilização ou retrabalhamento após decomposição da rocha mãe.

Na área de estudo, o Residual da Fm. Botucatu apresenta variação de 5 a 10 metros de espessura. Segundo Nishiyama (1991) podem encontrar-se recobertos por sedimentos arenosos do cenozóico (Retrabalhado Arenoso I) ou ser interrompidos pelos residuais dos magmatitos básicos. Os vales fluviais desenvolvidos sobre esses materiais são amplos, com suaves inclinações de suas vertentes podendo apresentar extensas planícies de inundação, como observado no rio Itaqueri (NISHIYAMA, 1991), região da foz do córrego da Água Branca. Nos ensaios granulométricos, Nishiyama (1991) determinou que a fração de areia é superior às outras, e os valores de mínimo e máximo foram: areia grossa – 0 a 2%; areia média – 1 a 19%; areia fina – 71 a 89%; silte – 1 a 9% e argila – 2 a 12%. A fração de argila é composta principalmente por caulinita e a de areia é representada pelo quartzo.

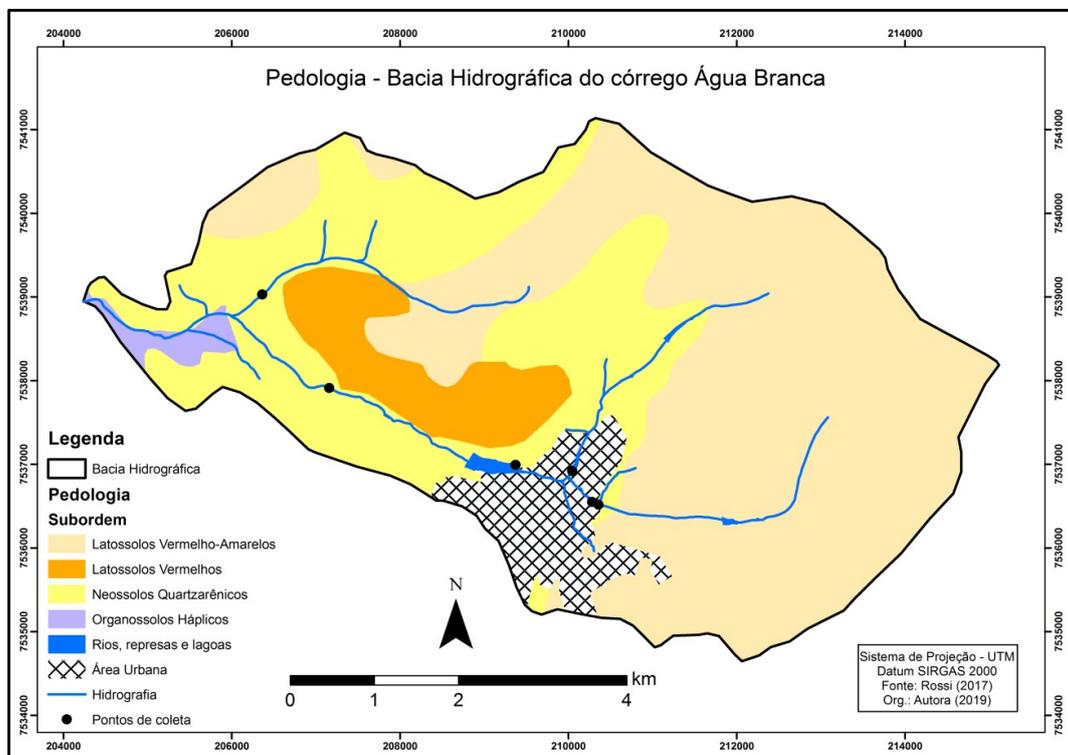
O material Retrabalhado Arenoso I é caracterizado por areias pouco argilosas, com linhas de seixos na base do pacote e homogeneidade textural ao longo do perfil, com espessuras que variam de 10 a 20 metros (NISHIYAMA, 1991). Apresenta baixa densidade de drenagem e baixa resistência à erosão, e composição granulométrica (mínimo e máximo) de: areia grossa – 0 a 1%; areia média – 7 a 25%; areia fina – 60 a 79%; silte – 1 a 7% e argila – 11 a 15% (NISHIYAMA, 1991). Ainda segundo o autor, os minerais presentes na fração areia são quartzo, magnetita, ilmenita, leucoxênio, turmalina e zircão e na fração argila a caulinita, gibbsita e traços de vermiculita.

O material Retrabalhado Misto apresenta porcentagens elevadas de areia e ocorre sobrejacente aos magmatitos básicos, apresentando mistura com os finos advindos da decomposição dessas rochas com os materiais arenosos adjacentes (NISHIYAMA, 1991). Apresenta entre 5 e 10 metros de espessura e está associado às rochas básicas, possui coloração avermelhada devido o dióxido de ferro, e sua composição mineralógica da fração areia é composta por quartzo, magnetita, ilmenita, leucoxênio, turmalina e zircão; a fração argila é composta por caulinita, gibbsita, óxidos de ferro e de alumínio (NISHIYAMA, 1991). A presença dos magmatitos na área de

estudo não aparece nos mapas de geologia de superfície, fazendo necessária uma revisão dessas cartas, posto que há indícios de campo.

Quanto aos solos, os latossolos vermelhos (Figura 8) apresentam-se em associação com o material Retrabalhado Misto; como já descrito por Nishiyama (1991), são solos de coloração avermelhada devido à presença do óxido de ferro advindo das formações de rochas básicas. Os latossolos vermelho-amarelos estão em sua maioria associados ao Residual da Formação Botucatu e à Formação Botucatu. Os Neossolos Quartzarênicos ocorrem associados à Formação Pirambóia e Residuais da Formação Botucatu.

Por fim, os sedimentos orgânicos e aluvionares são restritos às planícies aluvionares do rio Itaqueri, sendo normalmente representados por camadas superficiais ricas em matéria orgânica, coloração variando entre preto e cinza clara e espessura não superior a 1 metro (NISHIYAMA, 1991). Segundo Nishiyama (1991), as texturas variam entre arenosa e argilosa, chegando a rudáceo, e no caso da área de estudo, há grande contribuição das formações a montante na matriz arenosa desse material.



**Figura 8 – Pedologia da área de estudo. Fonte: Rossi (2017); Org.: Autora (2019).**

A carta de declividade (Figura 9) foi gerada em porcentagens e classificada de acordo com as classes sugeridas pela EMBRAPA (1979). O Quadro 5 apresenta as classes de declividade e as respectivas feições do relevo. Algumas declividades mais acentuadas apresentam-se em uma região de contato inferido da Fm. Pirambóia e Botucatu. O relevo da área varia em sua maioria entre plano e ondulado, com algumas regiões de relevo forte ondulado e alguns pontos apresentando declividade maior que 45%, enquadrando como feição montanhosa. A Represa Tibiriçá está assentada sobre uma área onde as feições predominantes variam entre plano e suave ondulado.

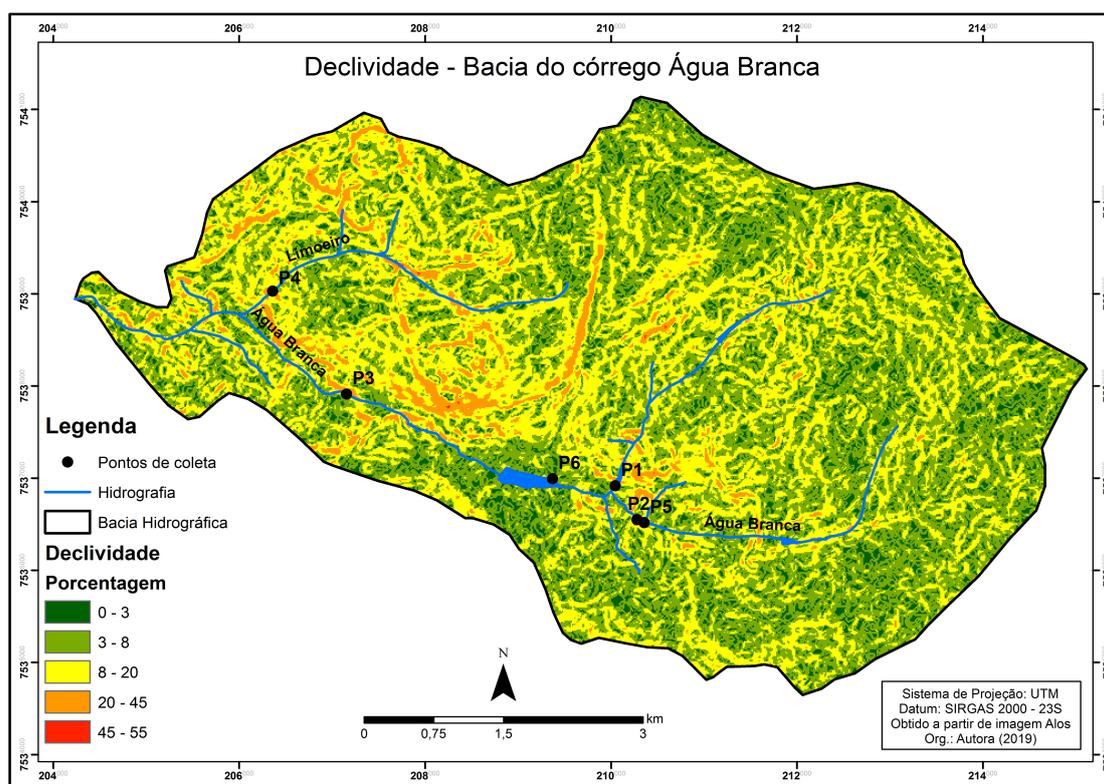


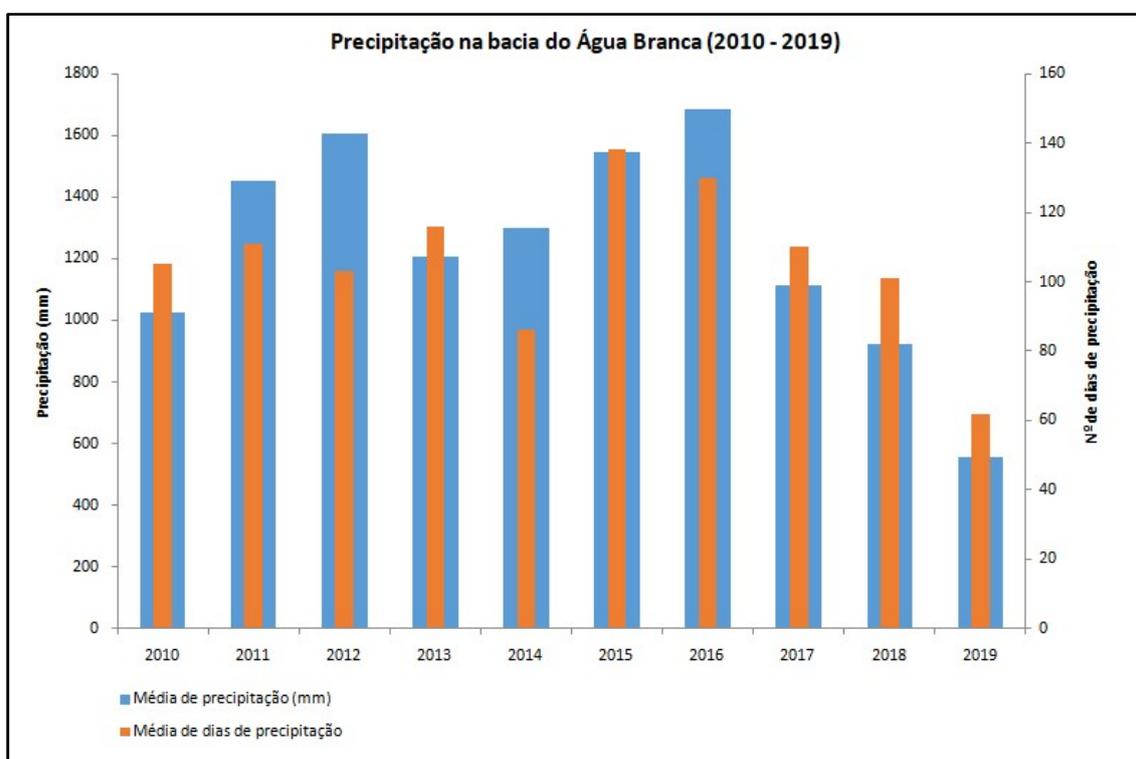
Figura 9 - Declividade da bacia hidrográfica do córrego da Água Branca. Fonte: Autora (2019).  
Quadro 5 - Classes de declividade.

Declividade (%)	Relevo	Descrição
0-3	Plano	Superfície de desnivelamento muito pequeno.
3-8	Suave ondulado	Pouco desnivelamento, constituído por colinas de até 50 m de elevação ou outeiros de até 100m.
8 - 20	Ondulado	Superfície pouco movimentada, constituída por colinas e outeiros de declive moderado.
20 - 45	Forte ondulado	Topografia movimentada, formada por morros ou outeiros de 100 a 200 m e 50a 100 m, respectivamente.
45 - 75	Montanhoso	Topografia vigorosa, predomínio de formas acidentadas, constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos, declives fortes.
>75	Escarpado	Formas abruptas compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos.

Fonte: EMBRAPA (2006).

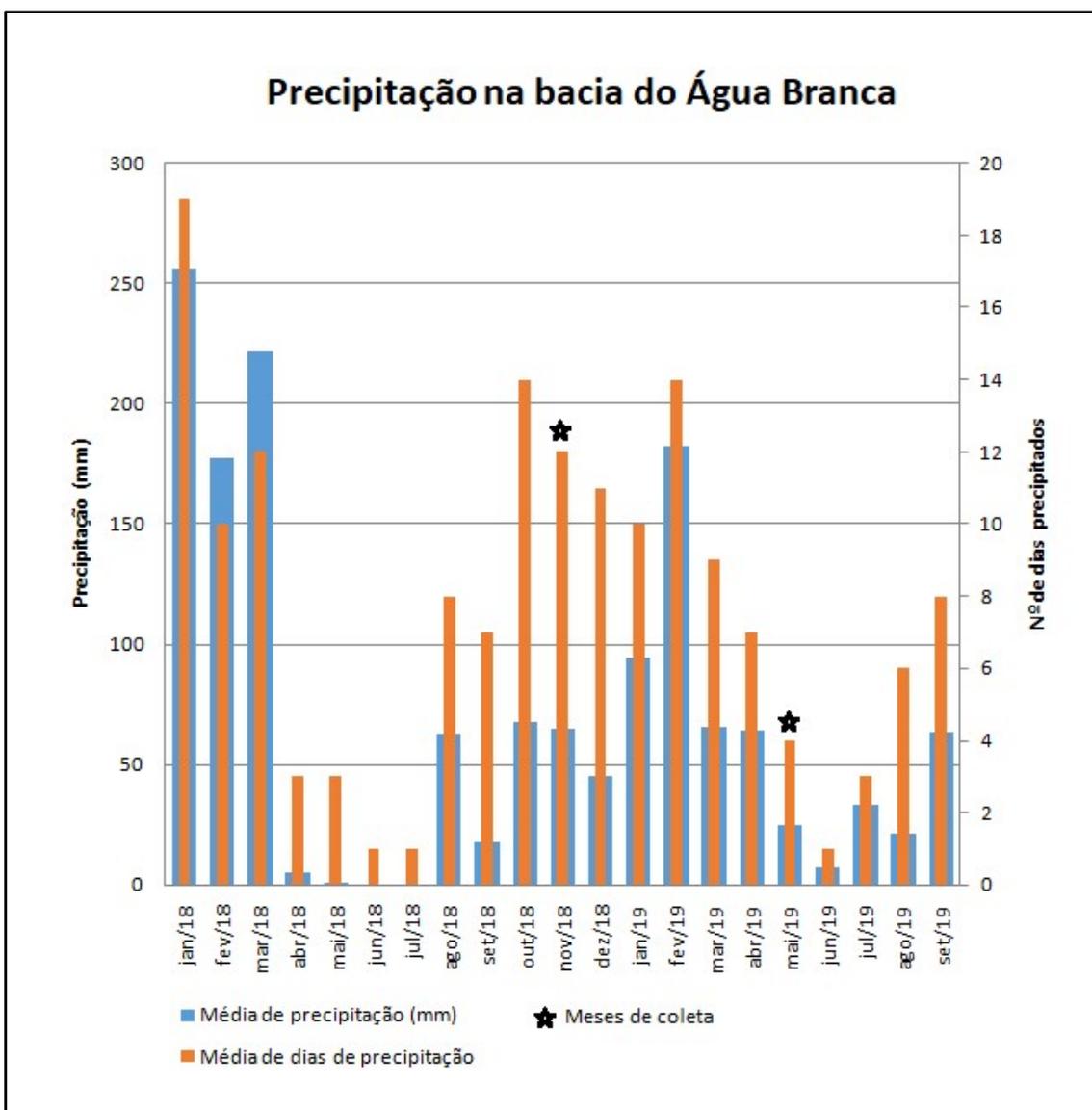
A fitofisionomia do ambiente é composta pelo cerrado (campo sujo, campo limpo, campo cerrado, campo úmido e fragmentos de cerrado *sensu stricto*, matas galeria e cerradão) (INSTITUTO FLORESTAL, 2017), condizendo com a geologia local de matriz arenosa, solo típico desse tipo de vegetação.

A Figura 10 apresenta uma série temporal de precipitação na bacia do córrego da Água Branca. Os dados foram obtidos da estação pluviométrica da Estação Ecológica de Itirapina (Cód. 02247180) (HIDROWEB/ANA, 2020). As lacunas de informação foram preenchidas com os dados da estação do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais – CRHEA cedidos pelo Laboratório de Hidráulica Computacional da Universidade de São Paulo.



**Figura 10 – Precipitação anual na bacia do córrego da Água Branca no período de 2010 a setembro de 2019. Fonte: HIDROWEB/ANA (2020); LHC/EESC/USP (2020). Org.: Autora (2020).**

Nota-se que após 2010, as médias de precipitação se mantiveram crescentes nos dois anos seguintes, decaindo em 2013 e 2014. O maior evento chuvoso ocorreu no ano de 2016, apresentando queda acentuada nos últimos três anos. Nos últimos dez anos, a menor precipitação registrada foi no ano de 2018. A Figura 11 apresenta um gráfico com a precipitação mensal na área de estudo nos últimos dois anos.



**Figura 11 – Precipitação média mensal na bacia do córrego da Água Branca no período de 2018 a 2019. Fonte: HIDROWEB/ANA (2020); LHC/EESC/USP (2020). Org.: Autora (2020).**

Nos últimos dois anos, o maior evento de precipitação ocorreu no primeiro trimestre de 2018, apresentando um período de estiagem de abril a julho. De agosto a setembro de 2018 ocorreram eventos chuvosos menos expressivos que os do início do ano. Em 2019, a maior precipitação ocorreu no mês de fevereiro.

### 5.1.3 Aspectos históricos, econômicos e sociais

Segundo Guariento (1987), a história da formação do município de Itirapina remonta 1833, com um povoado na Serra do Itaqueri que atualmente configura um distrito da cidade. O local ficava em terreno acidentado e a dificuldade de acesso levou

a população a ocupar os terrenos em posições mais baixas, principalmente após a instalação da linha férrea. A primeira Estação Ferroviária foi instalada em 1885, sendo o marco do início da povoação do Morro Pelado (Guariento, 1987). A Figura 12 apresenta uma planta do povoado de Morro Pelado no ano de 1890.

Guariento (1987) relata que a estrada de ferro impulsionou a produção de café na região, o que foi determinante para o desenvolvimento de Itirapina. Ainda segundo o autor, o Distrito de Itirapina foi criado com a denominação de Itaqueri pela Lei nº 5, de 5 de julho de 1852. O Decreto nº 9, de 8 de janeiro de 1890 transferiu sua sede para a Estação do Morro Pelado e a Lei nº 719, de 28 de setembro de 1900 conferiu a atual denominação, que na língua tupi significa Morro Pelado. Em 1925 foi elevada à categoria de município da Comarca de Rio Claro e em 25 de março de 1935, através do Decreto nº 7031, a cidade torna-se um município autônomo.

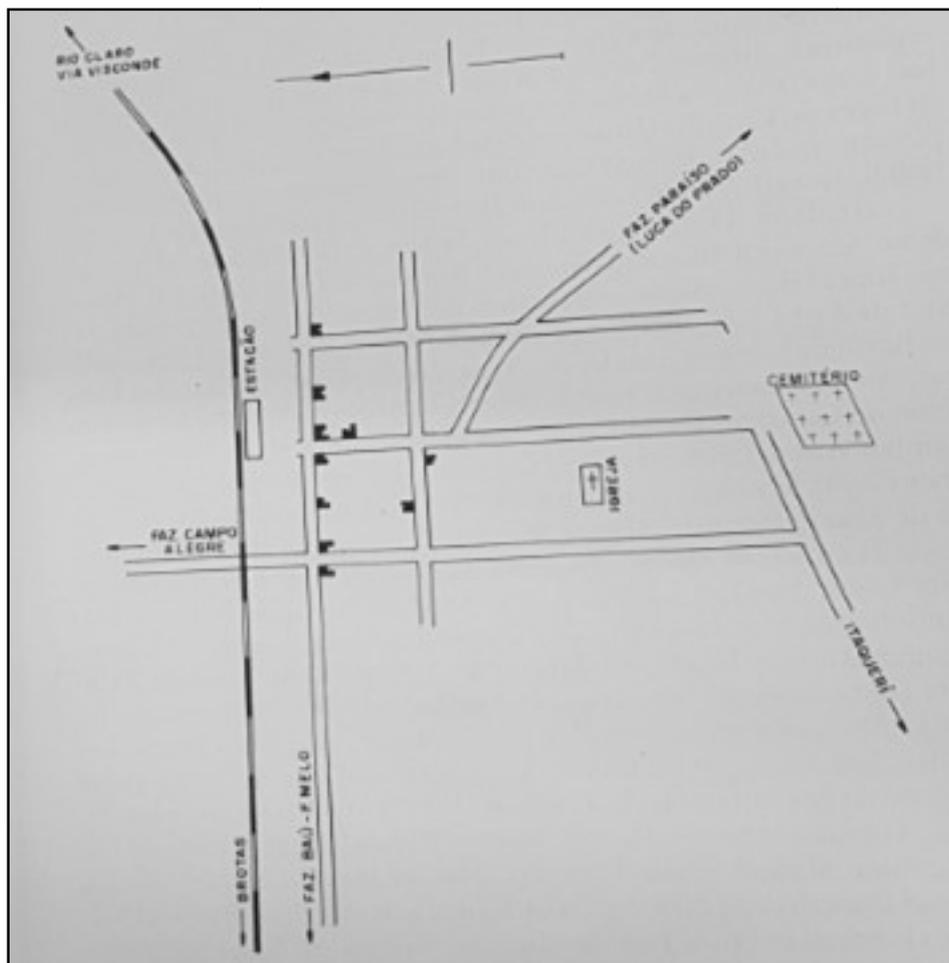


Figura 12 - Planta do povoado de Morro Pelado em 1890 (escala 1:5000). Fonte: GUARIENTO (1987).

Segundo Guariento (1987), antes de 1899 a população de Morro Pelado abastecia-se da água do córrego da Água Branca e de poços domiciliares. A água foi canalizada para um chafariz e torneiras. Com o crescimento da população, esta infraestrutura se tornou insuficiente e em fevereiro de 1924 foi inaugurada uma rede de distribuição ampliada a partir do chafariz.

Guariento (1987) discorre que a iluminação pública com luz elétrica foi instalada em 1912 e a instalação de telefones deu-se em 1913. Na década de 1930 foi construída a Usina Hidroelétrica do Lobo, cuja barragem represava as águas dos rios Itaqueri, Lobo, córregos Tibiriçá e Limoeiro. O Matadouro Municipal, construído em 1918, localizava-se às margens do córrego Tibiriçá e a primeira escola primária de Itirapina foi criada em 1903. Apenas em 2012 Itirapina recebeu uma Estação de Tratamento de Esgoto, às margens do córrego da Água Branca (SÃO PAULO, 2012).

Com relação à demografia, Varlengia (1987) discorre que no censo de 1920 a população estimada era de 4.820 habitantes. Também há dados do período de 1930 a 1933 que registram uma população entre 12 e 15 mil habitantes (Registro Civil Local). Documento da Prefeitura Municipal de Itirapina que se encontra arquivado na Biblioteca Municipal de Itirapina apresenta uma estimativa de 8.500 habitantes em área urbana e 2.500 em área rural, no ano de 1979, totalizando 11 mil habitantes. De acordo com o censo de 1980, Itirapina possuía 7.113 habitantes, sendo 5.999 em área urbana e 1.114 em zona rural (VARLENGIA, 1987), revelando uma inconsistência em comparação aos dados de 1930.

A Figura 13 apresenta uma planta, sem data, da área urbana de Itirapina, apresentando um crescimento significativo da original conformação de Morro Pelado em 1890.

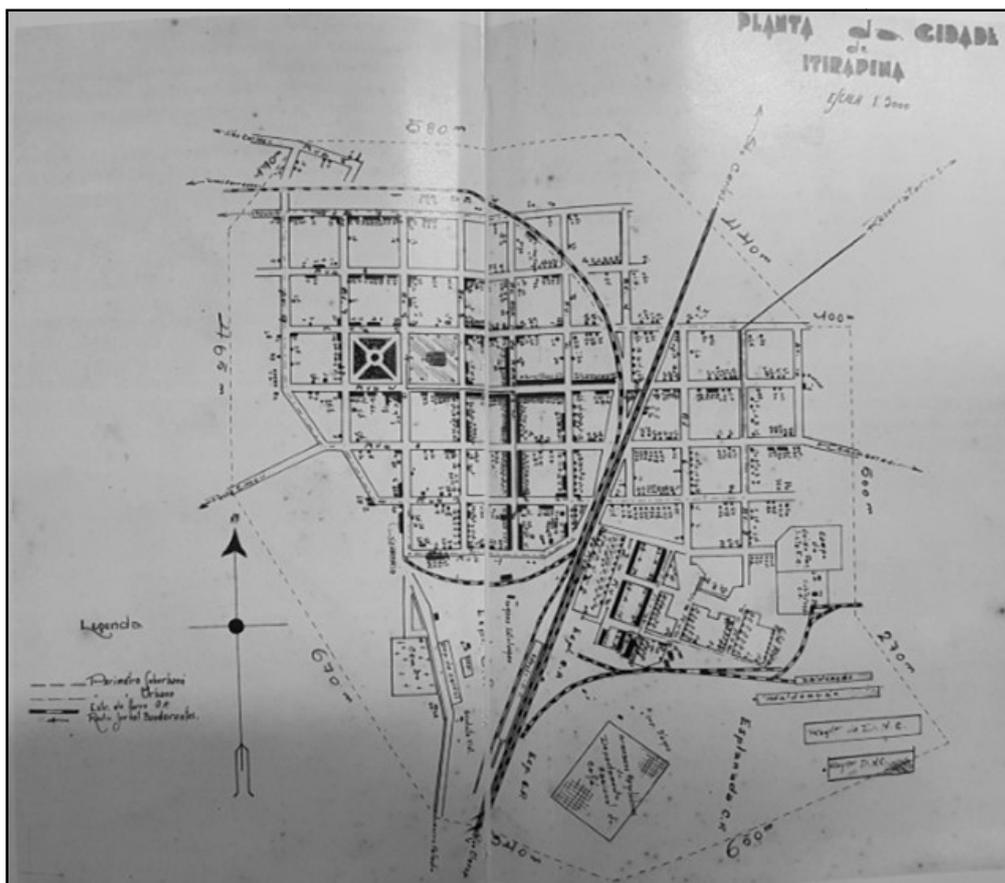


Figura 13 - Planta de Itirapina, sem data. Fonte: GUARIENTO (1987).

Por volta de 1986 foi construída a penitenciária Dr. Antonio de Queiroz Filho e em 1998 foi instalada a penitenciária de segurança máxima João Batista de Arruda Botelho (SÃO PAULO, 2006). Durante a década de 1980, ocorreu um incremento de 19% na população do município devido à instalação da penitenciária. Aos finais de semana, ocorre um aumento de 8% na população devido à visita dos detentos (SÃO PAULO, 2006). Segundo Sabaini (2012), os presídios interferem no estilo de vida da população, bem como na composição demográfica dos municípios e formação dos bairros no entorno da unidade prisional.

O bairro Jardim Nova Itirapina surgiu no fim da década de 1980 e início de 1990. Segundo Sabaini (2012) este é um dos bairros mais populosos e abriga a população mais carente. Nele habitam em sua maioria famílias de presidiários, que mudam para Itirapina para acompanhar o familiar recluso. Ainda segundo o autor, a percepção da comunidade é que este é o bairro mais pobre e mais violento.

Em 1992, a estimativa populacional era de 9.914 habitantes, em 2000 de 12.836 habitantes e em 2004 de 12.836 habitantes (SÃO PAULO, 2006). De acordo com censo de 2010 do IBGE a população do município era de 15.524 habitantes e estima-se 18.157 habitantes em 2019 (IBGE, 2020), demonstrando uma nova fase de crescimento populacional posterior a 1980.

Com relação à ocupação da malha urbana, Varlengia (1987) apresenta o levantamento do ano de 1983 (Quadro 6). A maior ocupação ocorria na região central e no Jardim Nova Itirapina.

**Quadro 6 – Ocupação da área urbana de Itirapina no ano de 1983.**

<b>Bairro</b>	<b>Terreno Construído</b>	<b>Terreno Vago</b>
Centro	719	69
Vila Garbi	294	25
Vila Monte Alegre	39	55
Vila Santa Cruz	115	54
Vila Cianelli	236	43
Jardim Nova Itirapina	457	488
Jardim Lemos	0	149
Vila Paulista	91	1
Parque Industrial	3	Não consta

**Fonte: VARLENGIA (1987).**

O município possui uma grande expectativa de crescimento com a instalação da fábrica Honda; uma multinacional do ramo automobilístico que instalou sua planta e deu início às atividades no município em 2019 (G1, 2019).

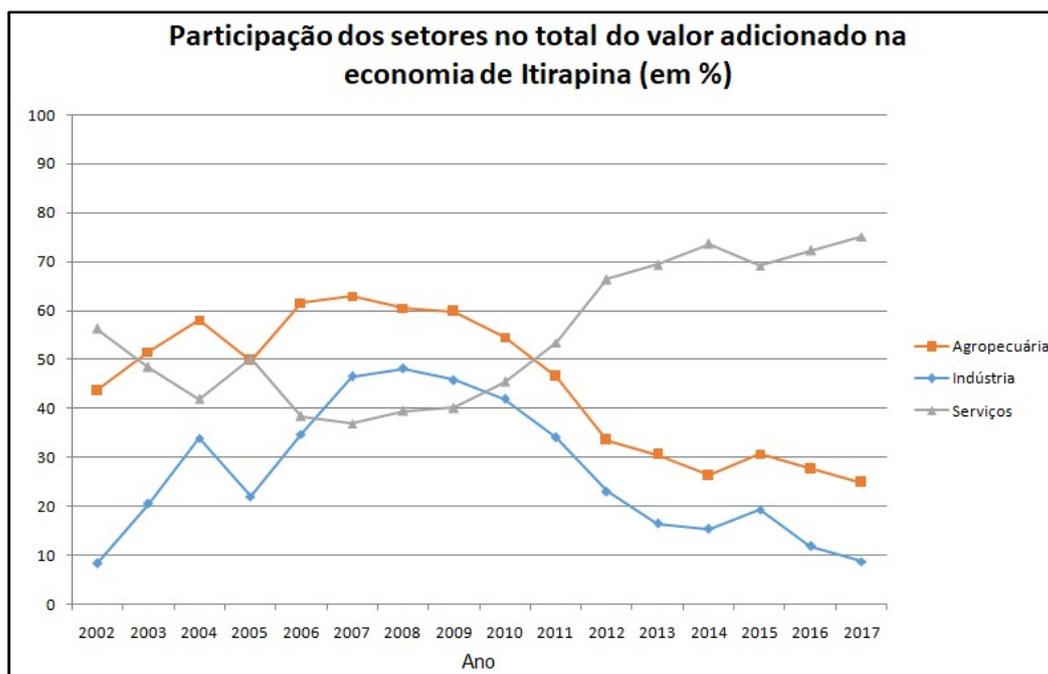
Os bairros que atualmente existem na cidade, são: Vila Cianelli, Vila Santa Cruz, Vila Paulista, Vila Garbi, Vale Verde, Jardim Indiano, Monte Alegre, Planalto Serra Verde, Jardim Lemos, Jardim Dalas, Jardim Europa, Jardim do Sol, Jardim Eucaliptos, Parque das Garças, Nova Itirapina (que aumentou devido ao presídio), bairro rural Balneário Santo Antônio e os distritos de Itaqueri da Serra, Graúna e Ubá e um Distrito Industrial.

Com relação às infraestruturas de saneamento básico, o Censo Demográfico de 2010 obteve que 99,75% do município era atendido pela coleta de lixo, 95,78% possuía abastecimento de água e 88,99% das residências possuíam esgotamento sanitário

(SEADE, 2018). De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Itirapina – PMSBI (2016), a coleta de esgoto atende apenas 54% da população urbana, uma vez que os bairros mais afastados (Balneário Santo Antônio, Itaqueri da Serra, Planalto Serra Verde, Estância Ubá e Jardim Ubá) não possuem rede coletora, destinando seus efluentes em fossas sépticas ou fossas negras. A estação de tratamento de esgoto do município é composta por três lagoas: facultativa, anaeróbia e de maturação, além dos tratamentos preliminares de gradeamento e desarenação.

A economia do município é predominantemente gerada pela prestação de serviços (72,54%), seguida pela indústria (15,39%) e pela produção agropecuária (12,08%) (dados referentes ao ano de 2015) (SEADE, 2018). Devido a isso, muitos habitantes realizam viagens diárias para os municípios vizinhos por motivos de trabalho ou ainda para adquirir bens e serviços não disponíveis no comércio local (SABAINI, 2012). De acordo com o PMSBI (2016) a atividade do setor industrial é inexpressiva no município.

A Figura 14 apresenta um gráfico da distribuição da participação dos setores na economia do município nos últimos anos. Pode-se observar que entre 2006 e 2008 ocorreu um crescimento proporcional da agropecuária e da indústria no município, reduzindo o setor de serviços. Porém a partir de 2011 ocorre uma inversão, quando a economia passou a ser predominada pela prestação de serviços, decaindo a participação da agropecuária e da indústria.



**Figura 14 – Participação dos setores econômicos nos valores adicionados aos bens e serviços consumidos no seu processo produtivo. Fonte: Fundação SEADE (2019).**

Com relação à gestão de resíduos sólidos de Itirapina, o PMSBI (2016) registra a geração de 9.114 quilogramas diários em 2016. O Quadro 7 apresenta a composição gravimétrica dos resíduos gerados no município. A Prefeitura é responsável pela coleta urbana e, de acordo com as informações cedidas pela assessora de Meio Ambiente Giulia Guillen, desde 2013 ocorre a coleta seletiva através da articulação entre a Prefeitura e a Cooperativa dos Recicladores de Itirapina – COOPEREI, que atualmente recicla cerca de 14.240 kg/mês (dados de 2019). Ainda segundo ela, atualmente está em vigor a Lei nº 2.846 de agosto de 2017, pela qual a Prefeitura renovou a concessão do uso do barracão onde funciona a cooperativa, além de apoiar a cooperativa por meio da cessão de uso de um caminhão, combustível e motorista.

**Quadro 7 – Composição dos resíduos sólidos urbanos coletados em Itirapina.**

Material	Massa	Porcentagem
Material orgânico	20,0 kg	46%
Papel/papelão	11,3 kg	26%
Plástico	8,26 kg	19%
Metal	2,17 kg	5%
Vidro	1,3 kg	3%
Outros	0,4 kg	1%

Fonte: PMSBI (2016).

De acordo com o PMSBI (2016), o aterro em valas foi instalado em 2004, conta com os sistemas de impermeabilização em PEAD, drenagem de chorume e de gases, e possui vida útil prevista até 2031. Em 2017, o lixão foi classificado como adequado pela CETESB (CETESB, 2017). Em complementação, Giulia Guillen informou que antes de 2004, a destinação era realizada em um lixão localizado nas coordenadas 209166,76m E; 7535726,63m S, onde atualmente ocorrem ocupações irregulares em área erodida, conhecida por “Barroca”.

O PMSBI (2016) cita que são realizadas atividades de educação ambiental com a população, onde são divulgados os dias em que ocorre coleta seletiva e o valor das multas para quem dispor resíduos de modo inadequado.

O PMSBI (2016) destaca que os sistemas de macro e microdrenagem de Itirapina não acompanharam o crescimento do município gerando problemas. A Prefeitura relata a destruição do pavimento através dos processos erosivos das chuvas além da incompatibilidade do dimensionamento da tubulação com a demanda de água, comprometendo a eficiência do sistema de drenagem em alguns pontos da cidade, onde ocorre o acúmulo de águas superficiais quando ocorrem chuvas intensas. Isso corrobora a tendência observada por Righetto, Gomes e Freitas (2017), de que a expansão urbana não acompanha o aprimoramento do sistema de drenagem.

## **5.2. Amostragem**

### ***5.2.1 Definição dos pontos de coleta***

Os cursos hídricos para coleta foram selecionados em função dos objetivos da pesquisa, ou seja, foram escolhidos córregos na área urbana de Itirapina, em regiões de urbanização de maior e menor intensidade, área de uso rural e um córrego que não sofre nenhum tipo de interferência antrópica por se encontrar dentro dos limites de uma Unidade de Conservação. Em cada córrego foi selecionada uma região de remanso [locais de maior sedimentação, de acordo com Gomes e Filizola (2006)], considerando os critérios de espessura da lâmina d’água e de acessibilidade ao canal para a coleta de perfil de sedimento com amostradores do tipo *corer*.

O Quadro 8 apresenta o nome dos corpos hídricos, coordenadas (WGS 84) e uma breve descrição de cada ponto (localização dos pontos apresentada na Figura 6).

**Quadro 8 - Descrição dos pontos de coleta de sedimento.**

Ponto e coordenadas (WGS 84)	Descrição
<p>P1 – 0210004; 7536916</p> 	<p>Córrego sem nome afluente da margem direita do córrego da Água Branca – localizado sobre o Residual Botucatu e a Fm. Pirambóia. Área sem mata ciliar, próxima à área urbana e à linha férrea. Na região há deposição de resíduos sólidos nas margens. Em observação, é possível verificar papelão e plástico incorporado ao sedimento do curso d'água.</p>
<p>P2 – 0210296; 7536552</p> 	<p>Córrego da Água Branca - localiza-se sobre o residual da Formação Botucatu em transição entre as Fm. Botucatu e Pirambóia. Trecho sem vegetação ciliar, com intensa ocupação urbana nas duas margens. Logo na entrada do córrego na área urbana, há presença de resíduos sólidos urbanos advindos da drenagem urbana.</p>
<p>P3 – 0207176; 7537866</p> 	<p>Córrego da Água Branca – Está sobre a transição entre o Retrabalhado Misto e o Residual Botucatu e na transição entre as Fm. Pirambóia e Botucatu. Ocorre também uma falha definida com movimentação vertical entre essas duas formações. Área com vegetação ciliar. O ponto coletado está localizado após destinação de efluente da estação de tratamento de esgoto de Itirapina.</p>
<p>P4 – 202587; 7566379</p>	<p>Córrego Limoeiro - Considerado o sítio referência dessa pesquisa, está localizado em área com vegetação ciliar preservada, possui águas cristalinas e entorno ocupado pela produção de <i>pinus SP</i> da Estação Experimental de Itirapina, em trecho que não é manejado há cinquenta anos. Está sobre a Fm. Pirambóia e Material Retrabalhado Misto. Apesar da geologia, o sedimento possui matriz majoritariamente arenosa, com pouca</p>

	<p>presença de materiais finos.</p>
<p>P5 – 0210358; 7536503</p> 	<p>Córrego da Água Branca - Chácara Santa Elisa – Área de uso Rural localizada sobre o Residual Botucatu e Formação Botucatu. Possui mata ciliar cumprindo a legislação ambiental, porém no local coletado há interferência antrópica, com a construção de um sistema de irrigação para a produção agrícola familiar que ocorre na chácara.</p>
<p>P6 – 0209396; 7536984</p> 	<p>Represa do Tibiriçá no córrego da Água Branca: Região de mudança de ambiente lótico para lêntico, com vegetação ciliar e grande acúmulo de resíduos sólidos por se tratar de uma região de sedimentação. Está sobre uma região de transição entre o Material Retrabalhado Misto e Residual da Fm. Botucatu e entre transição da Fm. Botucatu com a Pirambóia, tendo falha definida com movimentação vertical.</p>

Fonte: Autora (2019).

### 5.2.2 Campanhas amostrais

Foram realizadas duas campanhas amostrais (novembro de 2018, primavera e maio de 2019, outono). A primeira campanha foi precedida por um período de estiagem, de abril a julho, seguido por chuvas de aproximadamente 50 mm de precipitação até novembro. A segunda ocorreu após um período de chuvas mais intensas, tendo chegado a 180 mm em fevereiro. Em maio de 2019 a precipitação caiu pela metade em relação ao mês anterior.

### 5.2.3 Coleta das amostras

Para coleta das amostras foi utilizado um amostrador do tipo *corer*, que coleta o perfil do sedimento, indicado nos estudos que têm por objetivo verificar alterações numa escala temporal, uma vez que podemos observar as alterações em camadas de deposição do sedimento. Por se tratar de corpos hídricos rasos, a coleta foi realizada entrando no canal e cravando o amostrador no leito. O amostrador consiste em um tubo de PVC geomecânico de duas polegadas com um êmbolo interno para sucção, funcionando de modo semelhante a uma seringa (Figuras 15 e 16). Deve-se considerar que o PVC é um potencial contaminante nas amostras.

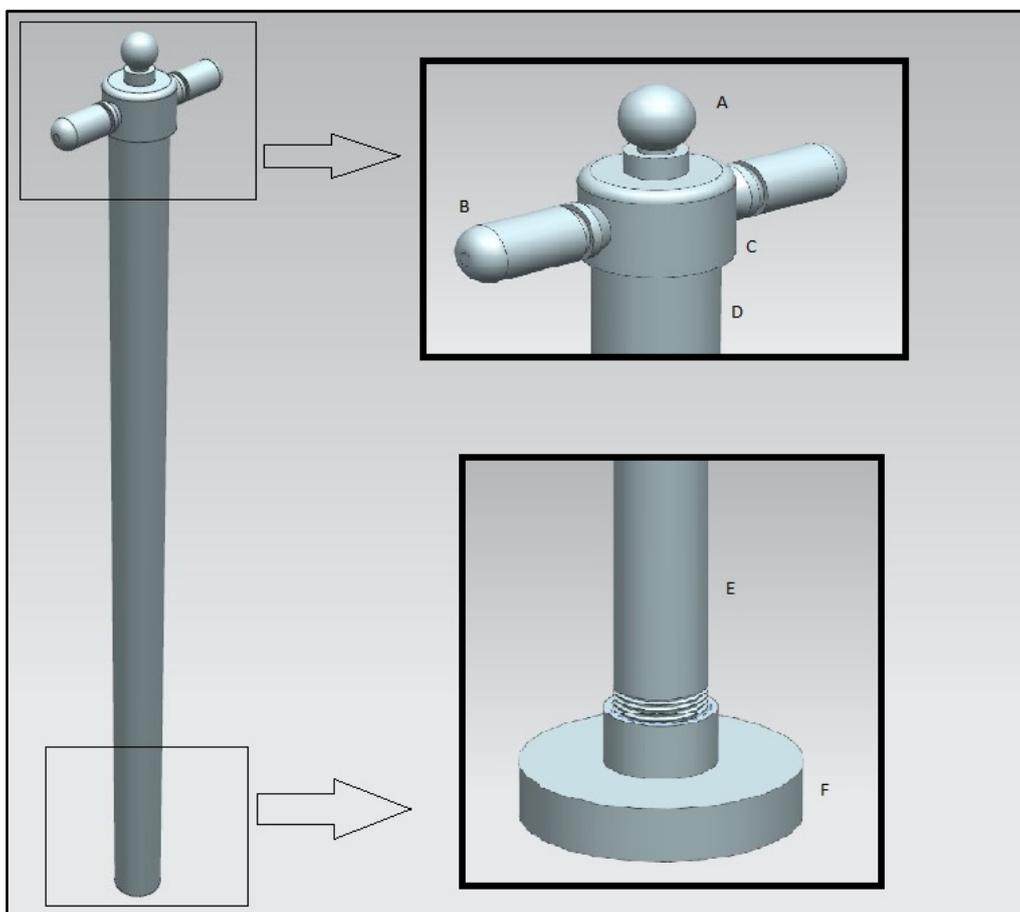
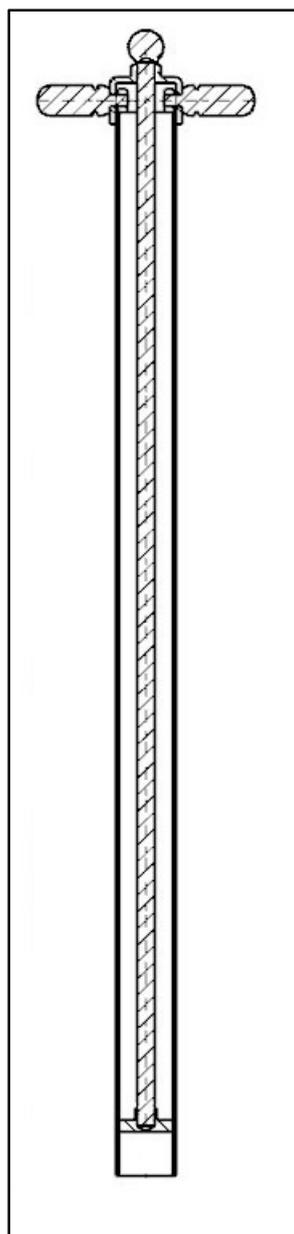


Figura 15 – Modelo 3D do amostrador construído para este estudo. A: Manipulo; B: Manopla; C: Cap de PVC; D: Tubo de PVC rígido; E: Barra com rosca; F: Êmbolo. Autor: Toyama, T. T. (2019).



**Figura 16 – Modelo 2D do perfil do amostrador construído para este estudo. Autor: Toyama, T. T. (2019).**

Após a coleta, as amostras foram dispostas em uma calha (Figura 17) para aferição da medida de profundidade coletada e subdividida em função da variação da coloração e/ou textura, indicativo de camadas de sedimentação distintas. As subamostras foram identificadas e armazenadas em saco plástico de polipropileno. Em seguida as amostras foram levadas para o laboratório para a preparação e análise.

Além disso, foi realizada a observação de acúmulo de materiais antrópicos nas margens ou no leito do córrego. Nesses casos foram realizados registros fotográficos e coletados exemplares de interesse.



Figura 17 – Disposição da amostra na calha após a coleta, para aferição de profundidade coletada e segmentação em camadas de deposição do sedimento distintas.

### 5.3. Preparo e análise das amostras

O material coletado foi peneirado. As frações granulométricas referentes a pedregulhos e cascalhos foram observadas a olho nu com o auxílio de lupa de mão. O material de granulometria correspondente às areias foi quarteado e analisado sob estereomicroscópio. Segundo Hidalgo – Ruz *et al.* (2012), partículas maiores que 1 mm podem ser distinguidos visualmente com o auxílio do estereomicroscópio.

A fração mais fina foi amostrada e analisada sob o MEV-EDS e adicionalmente foi realizado testes utilizando TG e DSC. Com relação a classificação em tamanho do material encontrado, adaptou-se o definido por Moore (2008), considerando como macropartículas artificiais aquelas maiores que 5 mm e micropartículas as menores que 5 mm. A Figura 18 apresenta um esquema do processo de preparo e análise das amostras.

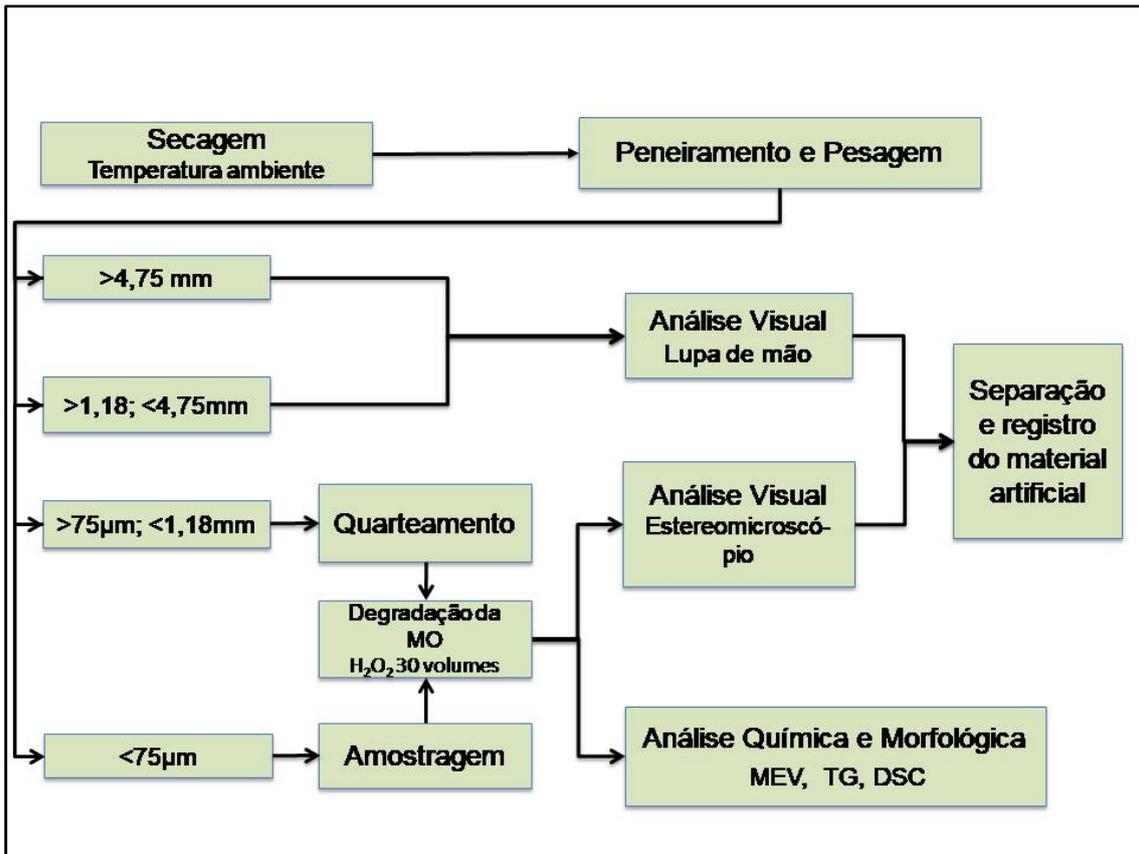


Figura 18 – Método adotado na preparação e análise das amostras coletadas. Fonte: Autora (2020).

Primeiramente as amostras foram secas em temperatura ambiente e em seguida peneiradas. Para tal, utiliza-se o agitador de peneiras (Figura 19-A) e as peneiras nº 4, 16 e 200 (padrões ABNT NBR 3310-2), de abertura de 4,75 mm, 1,18 mm e 75 µm, respectivamente. Após o peneiramento as frações são pesadas e armazenadas. Nesta etapa ocorre a divisão inicial das amostras: partículas maiores que 4,75mm, partículas maiores que 1,18 mm e menores que 4,75 mm, partículas maiores que 75 µm e menores que 1,18 mm e partículas menores que 75 µm.

Em sequência, inicia-se a análise das amostras; o material retido nas peneiras 4 e 16 foi observado a olho nu e com o auxílio de lupa de mão e pinça a fim de localizar materiais artificialmente produzidos. Quando encontrados, estes foram separados, fotografados e armazenados.

Quando o material era passível de ser confundido com a matéria orgânica, foi realizado o teste de resistência ao calor, também utilizado por McEachern *et al.* (2019). Os autores ressaltam que os plásticos derretem e, ao esfriar, solidificam em nova

configuração, enquanto a matéria orgânica queima e gera cinzas, reagindo menos ao calor e os grãos minerais naturais permanecem inalterados ao calor submetido.

O material retido na peneira 200 foi quarteado (Figura 19-B) com o auxílio de uma espátula metálica e base de vidro. Um quarto do volume foi analisado sob estereomicroscópio. Para réplica, foi separado um terço do material restante e realizada as etapas metodológicas seguintes. Foi realizada uma análise piloto nesta etapa metodológica, sem degradação da matéria orgânica das amostras (apenas nas amostras de 2018) e com degradação da matéria orgânica, a fim de comparar as duas metodologias e eleger a mais adequada. A partir disso, optou-se por degradar a matéria orgânica para análise das amostras porque a degradação facilita a visualização do material natural em comparação ao artificial, reduz o tempo das análises e minimiza possíveis erros advindos da similaridade entre fibras plásticas e raízes e outros fragmentos menores de matéria orgânica.

Além disso, esse processo também facilita as análises realizadas no MEV uma vez que fragmentos finos de matéria orgânica são degradados, restando apenas materiais inorgânicos.



Figura 19 – A: Agitador de peneiras utilizado na triagem das amostras, com as peneiras nº 4, 16 e 200; B: Quarteamento da amostra adotado neste trabalho. Fonte: Autora (2019).

A degradação da matéria orgânica foi realizada com a adição de peróxido de hidrogênio 30% (não foi realizada a filtragem) na amostra, metodologia adaptada de

Shruti *et al.* (2019) e EMBRAPA (1997), que consiste em adicionar  $H_2O_2$  ao sedimento acondicionado em béqueres ou cadinhos de porcelana, em proporção 1:1.

No material retido na Pn 200, foi adicionada  $H_2O_2$  em volume suficiente para cobrir a amostra. Com o auxílio de um bastão de vidro, a amostra foi agitada e depois coberta com uma malha para evitar contaminação da amostra. Após cessar a reação, as amostras foram secas utilizando o banho de areia elétrica.

Finalizando a secagem, novamente adicionou-se  $H_2O_2$ , aguardando o término da oxidação e realizando a secagem. Ao término da degradação, as amostras foram analisadas sob estereomicroscópio.

A determinação da quantia de partículas artificiais no sedimento foi aferida por extrapolação através da estimativa da quantidade de materiais artificiais por 100 gramas de sedimento e por quilo de sedimento (medidas mais utilizadas nas publicações recentes). Para esta medida, foi utilizada a massa de sedimento observado sob estereomicroscópio antes de realizar a degradação da MO.

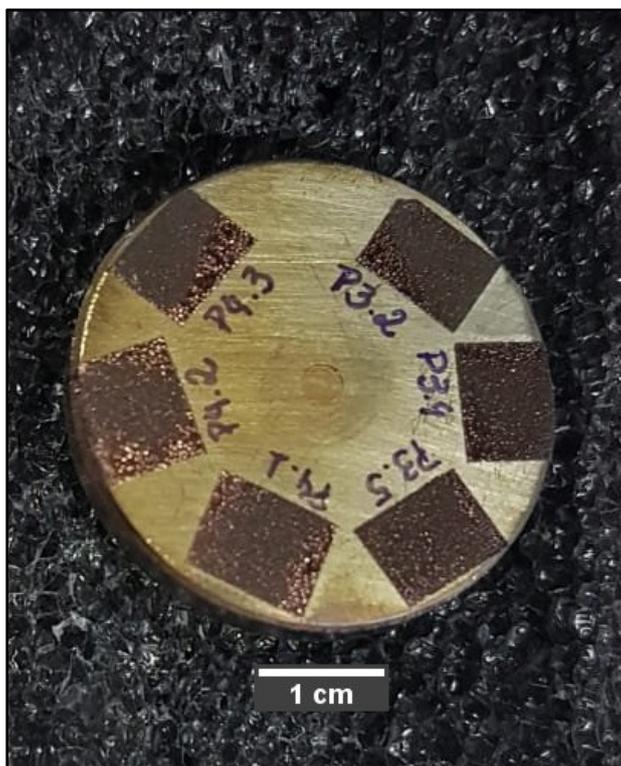
Quando foram observados materiais como fragmentos plásticos, vidro, papel e fibras, por exemplo, estes foram fotografados, contabilizados e armazenados em sacos plásticos separados, guardados em temperatura ambiente e protegidos da incidência da luz solar.

O plástico, material artificial mais comum atualmente, está presente também no ar. Neste trabalho foi considerada a possibilidade de contaminação das amostras durante toda a etapa de triagem e preparação das amostras. Dessa forma, as amostras do ponto P4 (Córrego Limoeiro) foram definidas como branco deste estudo. As fibras e outros fragmentos observados nesse ponto poderiam ser efeitos da contaminação e foram ser desconsiderados das análises, extrapolando para os outros pontos.

Por fim, o material menor que  $75\ \mu m$  foi analisado sob o MEV-EDS e DSC. Para esta fração também foi aplicada a degradação da matéria orgânica. Foram adicionados 5 ml de  $H_2O_2$  ao volume da amostra. Após o término da reação de oxidação e da secagem adicionou-se mais 5 ml de  $H_2O_2$  e finalizou-se a degradação após o cessar da reação e secagem da amostra.

Por não serem condutoras de energia, as amostras passam por um recobrimento por pulverização de uma fina camada de ouro para serem analisadas no MEV. O

tamanho da amostra foi de 0,5 cm<sup>2</sup> (Figura 20). Após o preparo, as amostras foram observadas realizando a varredura da área da fita. Além da imagem, também foram geradas análises químicas de mapeamento por Espectroscopia por Energia Dispersiva, em que são identificados picos de emissão de energia dos elementos químicos possibilitando sua identificação, quantificação e mapeamento na amostra.



**Figura 20 - Amostras analisadas no microscópio eletrônico de varredura. Fonte: Autora (2019).**

As amostras foram enviadas ao Laboratório de Polímeros do Departamento de Engenharia de Materiais onde foram realizados alguns testes e análises por termogravimetria e calorimetria exploratória diferencial.

A estabilidade térmica das amostras foi determinada por termogravimetria (TG) utilizando um equipamento Q50 da TA Instruments. As amostras foram pesadas (30 – 50 mg) e colocadas em porta amostra de platina. O aquecimento foi realizado de 25 °C até 800 °C com taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup> sob atmosfera de N<sub>2</sub> com vazão de 60 mL min<sup>-1</sup>. Foi realizada uma repetição por amostra. A TA identificou que a partir de 200°C ocorre a degradação do sedimento e desse modo, os ensaios de DSC foram conduzidos até essa temperatura.

Ensaio de DSC foram realizados para identificar as transições térmicas de possíveis microplásticos presentes nos sedimentos (análise qualitativa). Os ensaios

foram realizados em um calorímetro Q2000 da TA Instruments, utilizando massa de amostra entre 5 e 10 mg, taxa de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ , atmosfera de  $\text{N}_2$  com vazão de  $50\text{ mL min}^{-1}$  e panelas abertas de alumínio. A rotina de análise para cada amostra foi: aquecimento de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1° aquecimento), isoterma por 5 min a  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , resfriamento até  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e isoterma nesta temperatura por 5 min, e finalmente, aquecimento de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2° aquecimento). Foi realizada uma repetição por amostra.

#### 5.4. Análise estatística

A fim de verificar se há diferença estatisticamente significativa da presença de materiais artificiais entre os pontos, entre as profundidades e entre as épocas de coleta (período hidrológico), foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey considerando um nível de significância de  $\alpha=0,05$ . Segundo Oliveira (2008), o teste de Tukey, baseado na amplitude total estudentizada, pode ser utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos.

Essas análises pressupõem que os dados analisados seguem a distribuição normal, que não é o caso dos dados obtidos neste estudo. Assim, antes das análises foi empregada a transformação de Box e Cox (1964), em que se determina um valor de  $\lambda$  para transformar as observações  $Y$  para  $Y(\lambda)$ . Os autores afirmam que, após essa transformação, é esperado que os valores estejam normalmente distribuídos com variância constante, permitindo assim, a aplicação das análises estatísticas supracitadas. Todas as análises foram executadas no *software* R.

Para essas análises, foi necessário padronizar os dados. Foram fixados três níveis de camada de sedimento: superfície, meio e fundo. Essa divisão não obedece às divisões por camadas deposicionais. Desse modo, quando o perfil apresentou apenas duas camadas deposicionais, para a estatística considerou-se a primeira camada como superfície, a segunda como meio. A terceira, inexistente, foi preenchida com o valor zero.

Quando o perfil coletado apresentou quatro ou mais camadas deposicionais, foi realizado um agrupamento das camadas em função da similaridade granulométrica e de

composição, resultando em três segmentos. Neste caso, as partículas observadas nas camadas foram somadas às partículas da outra camada associada.

É importante ressaltar ao leitor que, como os dados foram reagrupados para a análise estatística, os resultados apresentados no item 6.2.2.2 e 6.2.3 diferem entre si. A Tabela 5 apresenta os valores de materiais artificiais observados em cada uma das camadas do sedimento, enquanto as análises estatísticas apresentarão médias e resultados da ANOVA e Teste de Tukey considerando a padronização do perfil de sedimento em três camadas deposicionais (superfície, meio e fundo).

### **5.5. Elaboração das cartas de uso e ocupação do solo**

Através das cartas temáticas de uso e ocupação do solo pode-se estudar a evolução da ocupação de uma área, identificar problemas e propor medidas de gestão. Neste estudo, o intuito foi observar a evolução de crescimento da área urbana de Itirapina bem como identificar as principais fontes de poluição do sedimento fluvial.

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias) consolidou uma base de dados de mapeamento do território brasileiro desde o ano de 1985 com atualização até os anos atuais. A Figura 22 apresenta a evolução da malha urbana do município de Itirapina a partir de 1985, obtido do MapBiomias. Nela, pode-se verificar que o município está em constante crescimento. Como o mapeamento é realizado de modo semiautomático, há erros embutidos, justificando a diminuição da ocupação da área urbana em alguns períodos. Os anos de crescimento mais expressivo da área urbana são 1987, 1996, 2006 e 2015 (Figura 21).

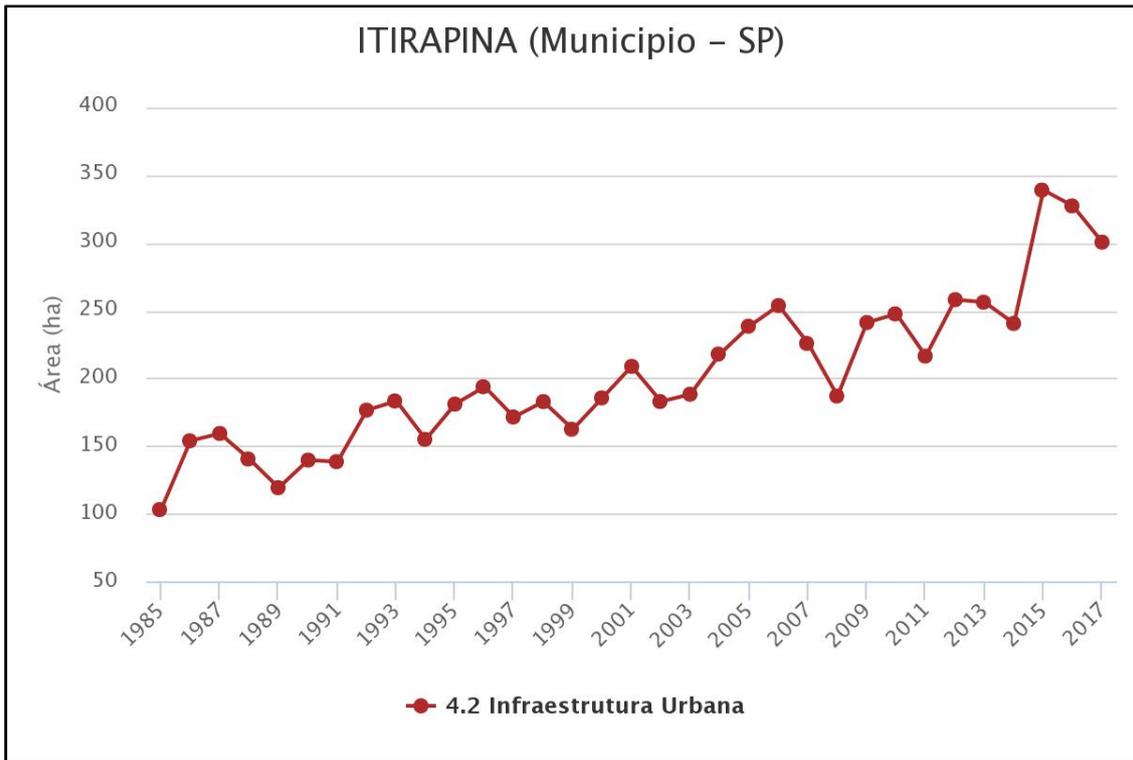


Figura 21 – Evolução da ocupação urbana no município de Itirapina - SP, entre 1985 e 2017. Fonte: MapBiomias (2019).

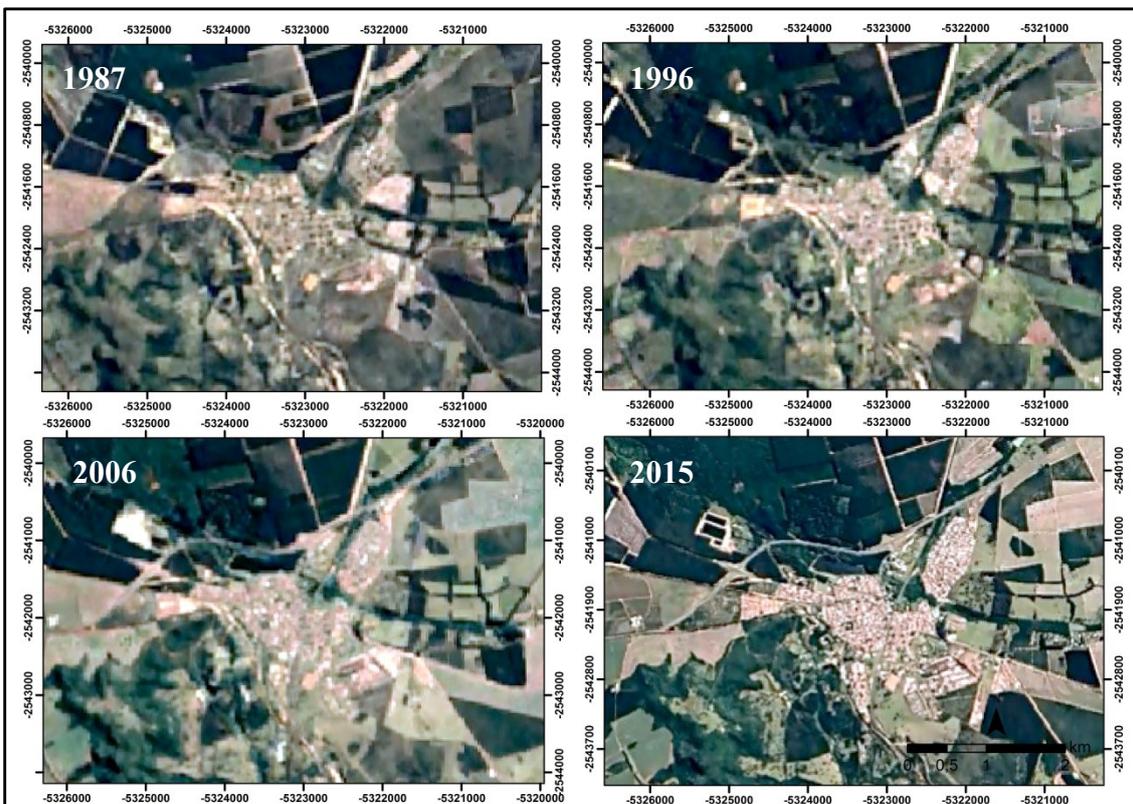


Figura 22 – Imagens de satélite da área de estudo nos anos de 1987, 1996, 2006, 2015. Fonte: Timelapse Google Earth Engine (2019).

Nesta pesquisa foi realizado o mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia do córrego da Água Branca através de fotografias aéreas e imagens de satélite. Foram utilizadas imagens do Landsat 5 (1985, 1995, 2000 e 2010), com resolução de 30 m e World Imagery, basemap do Arc Map 10.0, com melhor resolução, sendo no mínimo de 15 metros (2019).

Para as imagens do Landsat 5 foi realizada a composição RGB das bandas 5, 4 e 3 e feita a classificação manual das fisionomias do uso da terra. As categorias utilizadas para as imagens do Landsat 5 possuem um menor nível de detalhe que a utilizada no mapa de 2019 em função do nível de detalhamento que a imagem permite visualizar (Quadro 9). A classificação do uso do solo foi realizada a partir de uma adaptação das classes apresentadas no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Foram adicionadas mais classes para aumentar o nível de detalhe do mapeamento, como por exemplo, as categorias: avicultura, estação experimental e estação de tratamento de esgoto.

O mapeamento de 2019, por possuir um detalhe maior que os anteriores, contou com mais classes. Também foi realizada uma visita de campo, onde aleatoriamente foram selecionados pontos na bacia (próximos de vias e rodovias) para verificar se o uso real do solo foi equivalente ao mapeado. Após a visita de campo, o mapa foi ajustado considerando as possíveis correções ao mapeamento. Essa visita também permitiu aumentar as classes. Por exemplo, foram adicionadas as classes: uso recreativo, unidade prisional, pastagem, área verde urbana, área de recuperação ambiental, entre outras.

O Quadro 9 apresenta as subdivisões realizadas a partir das classes utilizadas nos mapeamentos realizados com as imagens de menor detalhamento, para a imagem de maior detalhe.

**Quadro 9 – Categorias de uso do solo utilizadas no mapeamento.**

<b>Landsat 5</b>	<b>World Imagery</b>
Água	Água
Área de Vegetação Natural	Área de Vegetação Natural
	Área de Recuperação Ambiental
	Área Verde Urbana
Área Industrial e Comercial	Área Industrial e Comercial
Área Urbana	Área urbana
	Área de Uso Recreativo
	Unidade Prisional
Avicultura	Avicultura
Campestre	Campestre
Cerrado	Cerrado – EEI
Cultura Temporária	Cultura Temporária
	Uso Rural
	Pastagem
	Solo Exposto
Estação Experimental	Estação Experimental
Silvicultura	Floresta Plantada
Solo Exposto – uso indefinido	(Todos os usos foram identificados)
ETE	ETE
(nível de detalhe não permitiu mapear rodovias)	Infraestrutura Viária

Fonte: Autora (2019).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1. Uso e ocupação do solo

A Figura 23 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo na bacia do córrego da Água Branca no ano de 2019 e a Tabela 4 apresenta a área e a porcentagem que representa cada uso na bacia. A Figura 24 apresenta a distribuição de cada classe de uso.

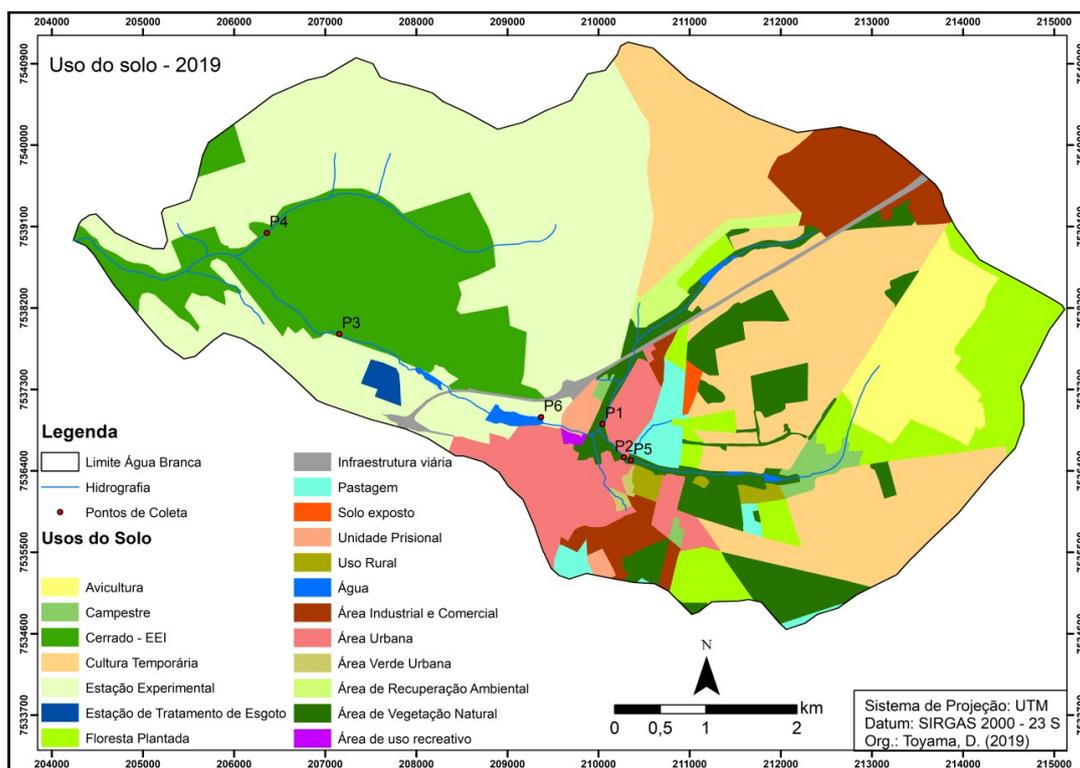


Figura 23 – Uso do solo no ano de 2019. Fonte: Autora (2019).

**Tabela 4 – Área e porcentagem das classes de uso e ocupação do solo na área de estudo.**

<b>Classe</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Estação Experimental	1154,23	28,64
Cultura Temporária	879,21	21,81
Cerrado – Estação Ecológica	557,92	13,84
Vegetação Natural	283,74	7,04
Floresta Plantada	282,23	7,00
Avicultura	215,52	5,35
Área urbana	202,08	5,01
Industrial e Comercial	196,49	4,87
Pastagem	60,90	1,51
Recuperação Ambiental	39,98	0,99
Infraestrutura Viária	36,08	0,90
Campestre	34,48	0,86
Unidade Prisional	22,18	0,55
Uso Rural	19,50	0,48
Represa (Água)	15,45	0,38
ETE	14,03	0,35
Solo Exposto	7,41	0,18
Área Verde Urbana	6,08	0,15
Uso Recreativo	3,08	0,08
<b>TOTAL</b>	<b>4030,61</b>	<b>100,00</b>

**Fonte: Autora (2020).**

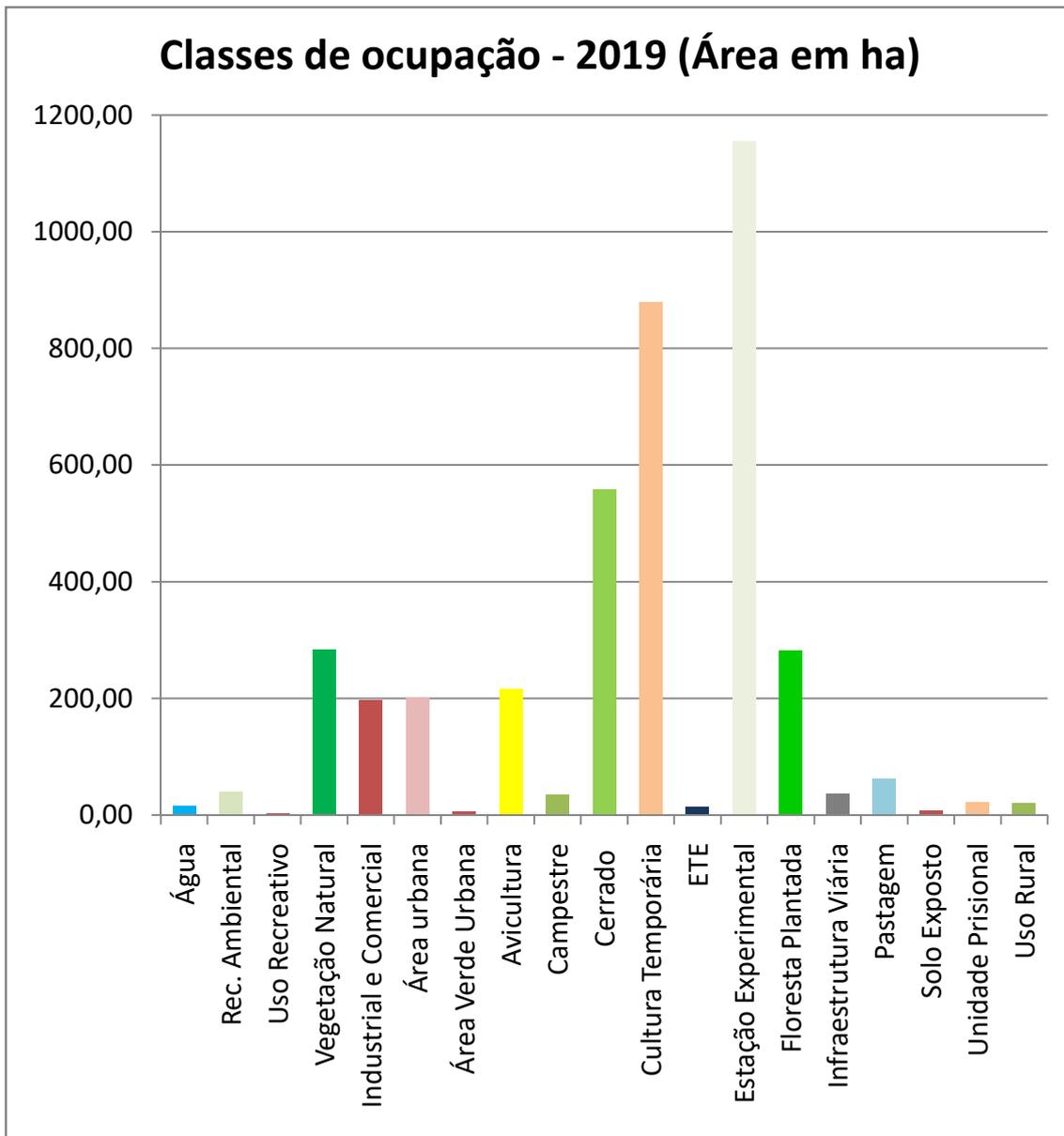


Figura 24 – Distribuição das classes de uso do solo no ano de 2019. Fonte: Autora (2020).

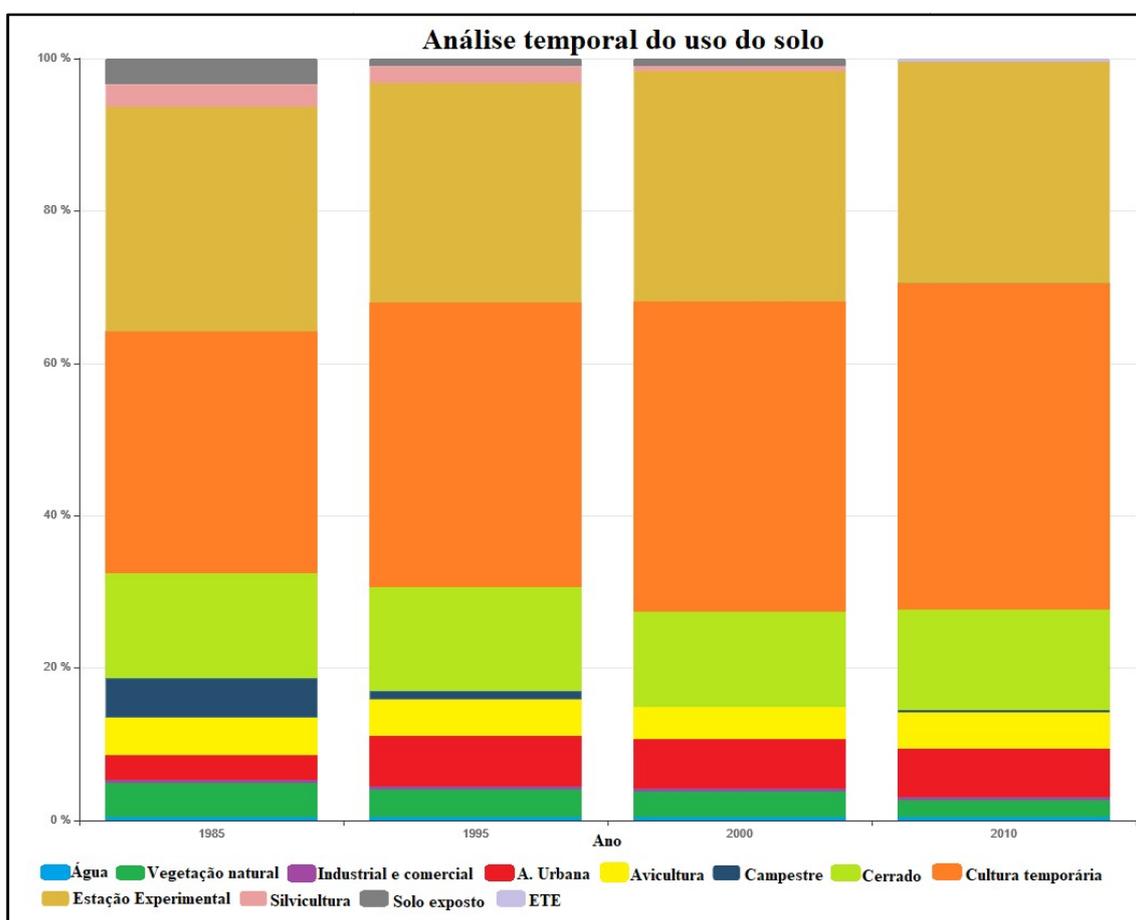
Devido às Unidades de Conservação, 42,48% da bacia está protegida sob os limites das Estações Ecológica e Experimental. O segundo uso mais significativo é a ocupação por culturas temporárias (21,81%).

As principais atividades econômicas identificadas dentro dos limites da bacia foram a produção avícola da empresa Globoaves e a planta da fábrica Honda. Além disso, no uso industrial e comercial, na visita de campo foram observadas as atividades de beneficiamento de madeira e triagem e venda de materiais metálicos (ferro-velho).

Com relação às atividades turísticas, na área urbana há um estabelecimento denominado Pousada Paraíso das Águas, localizado próximo a represa Tibiriçá (único estabelecimento identificado na bacia).

Em suma, as atividades que mais contribuem com a artificialização do sedimento na bacia são a ocupação urbana e as atividades industriais e comerciais que ali ocorrem.

A Figura 25 apresenta a distribuição das classes de uso do solo ao longo do período entre os anos de 1985 e 2010. Nota-se que conforme reduziram as áreas de vegetação natural, aumentaram as áreas de ocupação urbana e de culturas temporárias.



**Figura 25 – Evolução do uso do solo de 1985 a 2010 na bacia do córrego da Água Branca em Itirapina. Fonte: Autora (2019).**

A Figura 26 apresenta uma série temporal da transformação dos limites da área urbana dentro da bacia do córrego da Água Branca. Pode se observar que entre 1985 e 1995 o município cresceu nas regiões norte e nordeste devido a instalação da unidade

prisional e construção habitacional. Entre 1995 e 2010 não ocorreu a expansão urbana malha urbana, mas a densidade demográfica é crescente em todo período estudado (Figura 27), com provável adensamento da área urbana. Em 2018 o município apresentou expansão do limite urbano na região sudeste (devido à instalação de um loteamento residencial próximo à área industrial) e central do município.

Durante a evolução da área urbana aumentou a degradação do córrego da Água Branca e do seu afluente (córrego sem nome). O primeiro evento de expansão (observado no mapeamento de 1995) causou pressão sobre o afluente do córrego da Água Branca, ocorrendo também a supressão do remanescente da mata ciliar, observada no mapeamento de 2018 (região do ponto P1). A expansão da região sudeste em 2018 causou impactos no córrego da Água Branca (montante aos pontos P5 e P2). Destaca-se que esse loteamento está em processo de instalação; no futuro a degradação da qualidade dos recursos hídricos poderá ser evidente se não forem tomadas medidas de gestão ambiental.

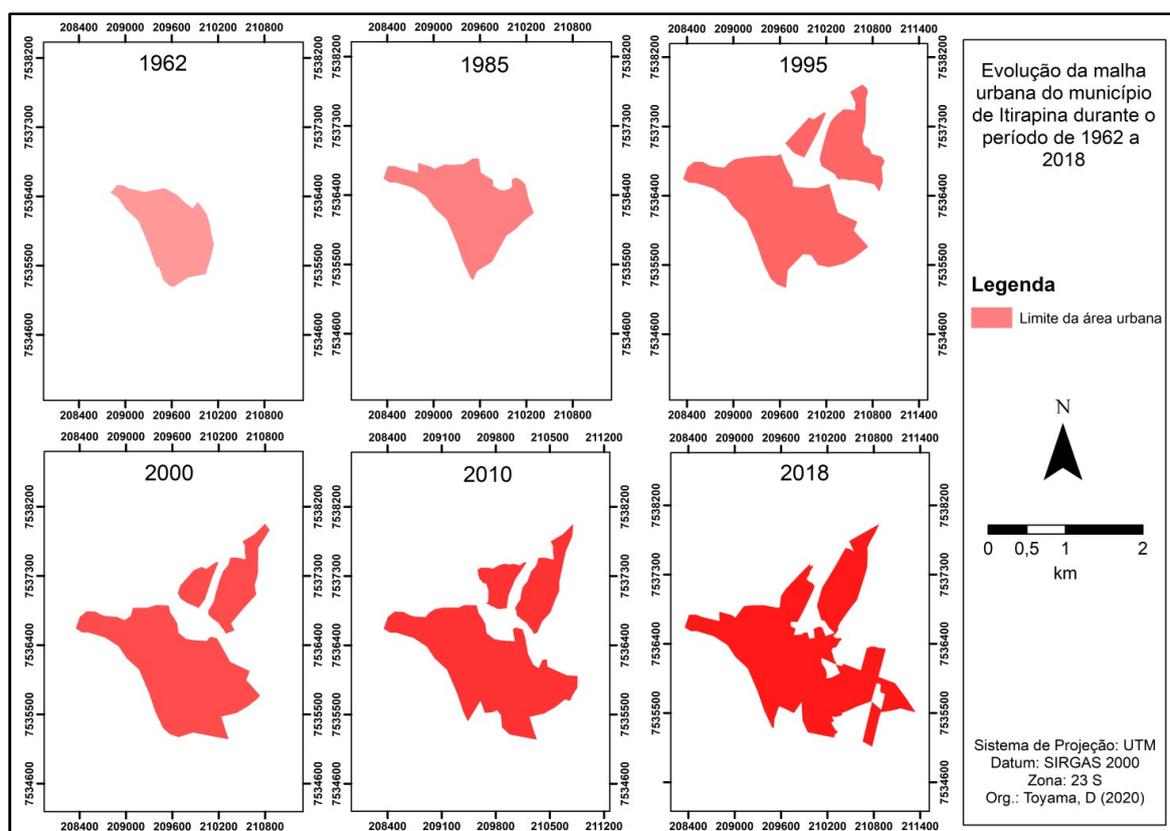
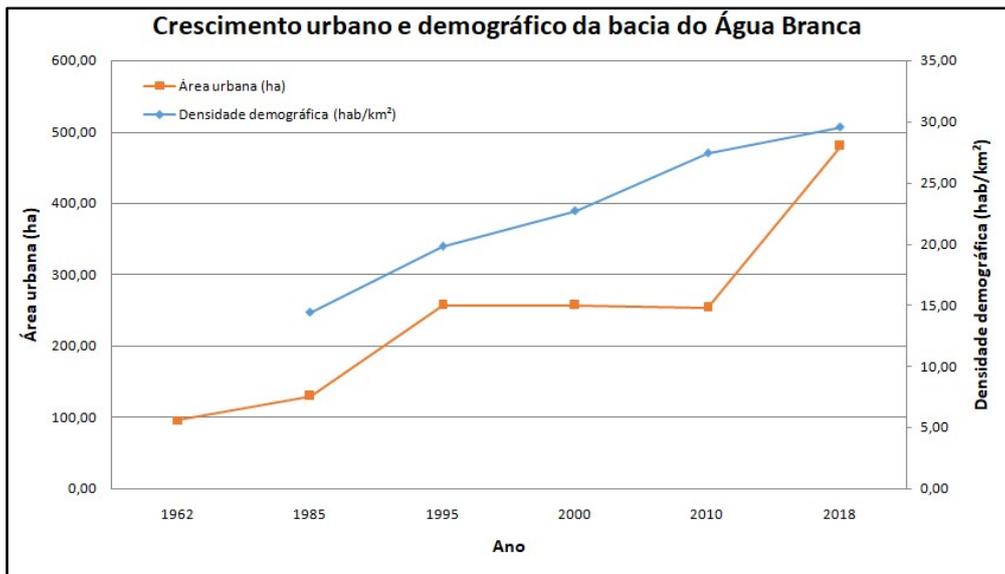


Figura 26 – Evolução do uso urbano na bacia do córrego da Água Branca entre 1962 e 2018. Fonte: Autora (2020).



**Figura 27 – Tendência de crescimento da área urbana na bacia do córrego da Água Branca entre 1962 e 2018. Fonte: Autora (2020).**

## 6.2. Caracterização do sedimento da área de estudo

O sedimento coletado nos pontos de estudo foram divididos considerando camadas deposicionais distintas. Alguns indícios que revelam camadas diferentes são as mudanças na textura (granulometria), na coloração e no tipo de material sedimentado (p. e. uma camada com muita matéria orgânica na superfície seguida por uma camada mais arenosa).

Considerando a geologia da bacia e a análise granulométrica, os sedimentos são de matriz arenosa, com pouco silte e argila. A Figura 28 apresenta um registro do sedimento visualizado sob estereomicroscópio. Ocorre o predomínio de grãos de quartzo, alguns minerais opacos (alguns ferrosos com atração magnética) e micas. Também se pode observar material orgânico incorporado ao sedimento e componentes artificiais, como o plástico.

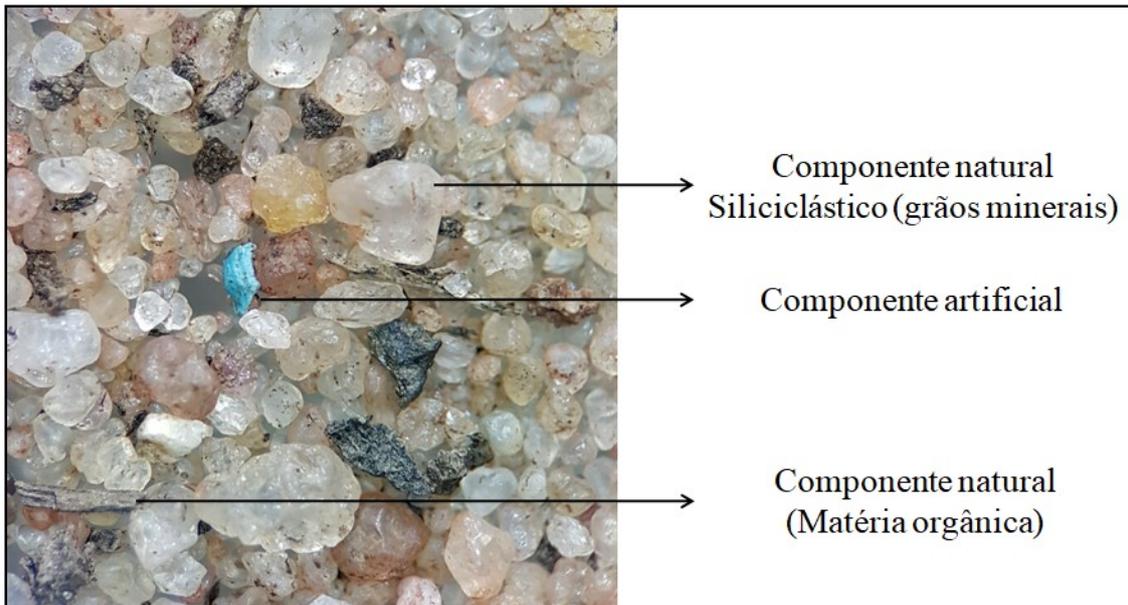


Figura 28 – Composição do sedimento fluvial. Fonte: Autora (2020).

As figuras a seguir apresentam uma breve descrição dos perfis coletados neste estudo e também sua composição granulométrica.

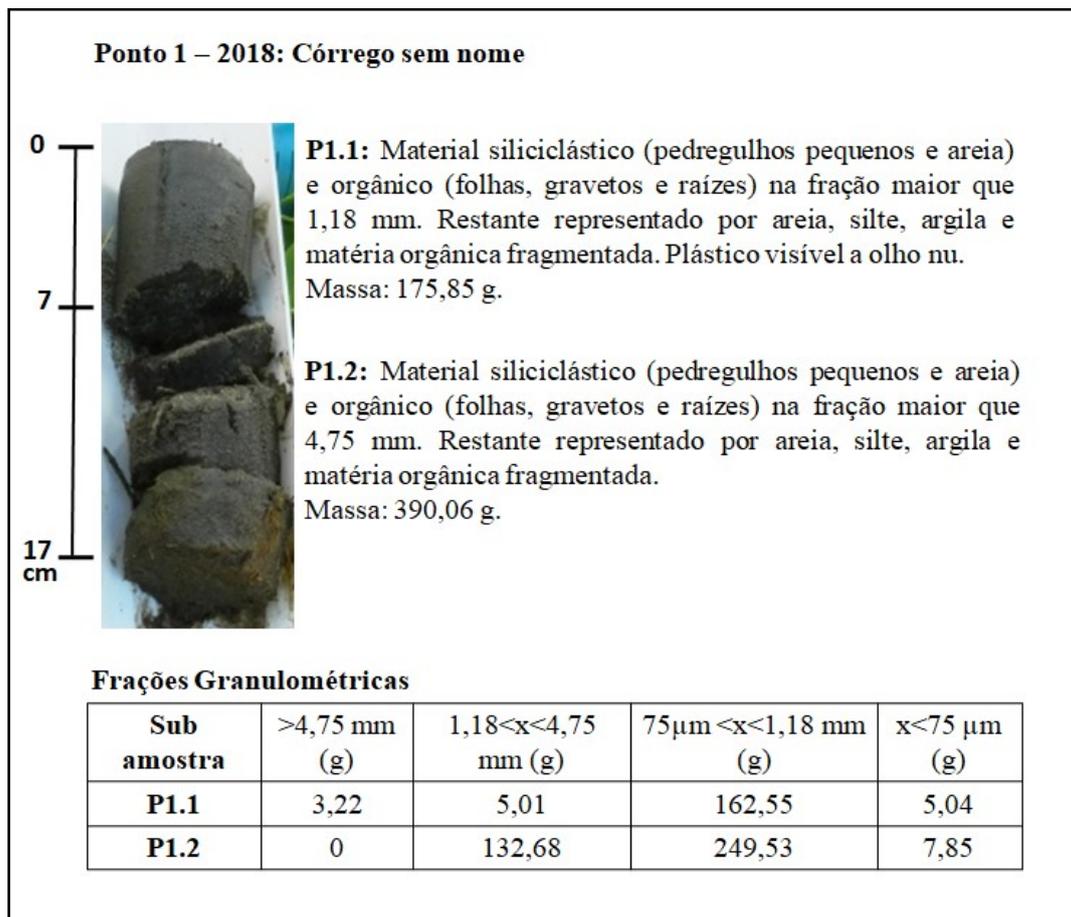
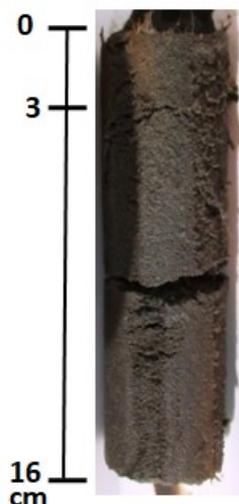


Figura 29 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 1 em 2018. Fonte: Autora (2020).

**Ponto 1 – 2019: Córrego sem nome**



**P1.1:** Material siliciclástico (pedregulhos pequenos e areia) e orgânico (folhas, gravetos e raízes) na fração maior que 1,18 mm. Restante representado por areia, silte e argila. Plástico visível a olho nu.  
Massa: 74,89 g.

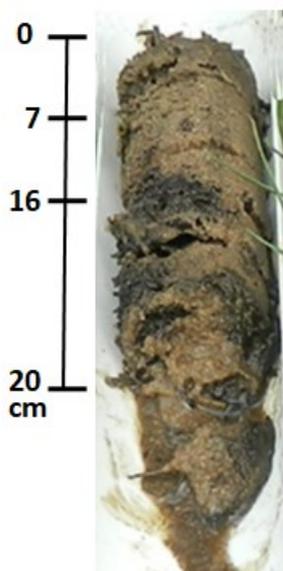
**P1.2:** Material siliciclástico e orgânico na fração maior que 1,18 mm. Restante representado por areia, silte, argila e matéria orgânica fragmentada.  
Massa: 58,52 g.

**Frações Granulométricas**

Sub amostra	>4,75 mm (g)	1,18<x<4,75 mm (g)	75µm <x<1,18 mm (g)	x<75 µm (g)
P1.1	0,43	1,50	70,34	2,62
P1.2	0,42	5,57	43,47	9,06

Figura 30 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 1 em 2019. Fonte: Autora (2020).

**Ponto 2 – 2018: Córrego da Água Branca – Centro urbano (trecho canalizado)**



**P2.1:** Material siliciclástico (pedregulhos e areia), bioclástico (asas de insetos) e orgânico (folhas, gravetos e raízes) na fração maior que 75  $\mu\text{m}$ . Restante representado por areia fina, silte e argila. Plástico visível a olho nu.  
Massa: 59,97 g.

**P2.2:** Material siliciclástico e orgânico na fração maior que 1,18 mm. Restante representado por areia, silte e argila e matéria orgânica fragmentada. Menor quantia de MO em relação a camada superior. Plástico visível a olho nu.  
Massa: 81,75 g.

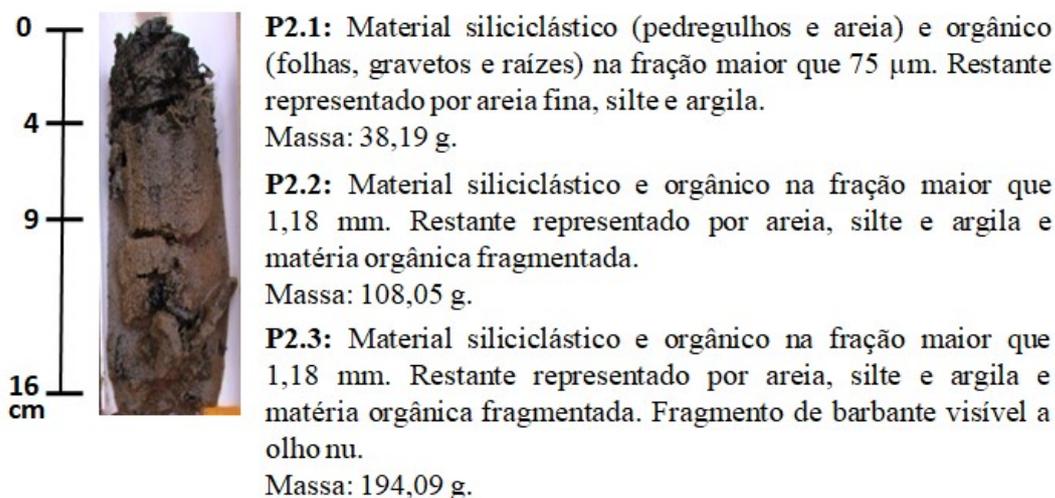
**P2.3:** Material siliciclástico e orgânico na fração maior que 1,18 mm. Restante representado por areia, silte e argila e matéria orgânica fragmentada em quantia menor que a camada superior.  
Massa: 157,24 g.

**Frações Granulométricas**

Sub amostra	>4,75 mm (g)	1,18<x<4,75 mm (g)	75 $\mu\text{m}$ <x<1,18 mm (g)	x<75 $\mu\text{m}$ (g)
<b>P2.1</b>	0	6,21	52,62	1,14
<b>P2.2</b>	0	1,11	79,88	0,76
<b>P2.3</b>	0	8,45	148,06	0,73

Figura 31 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 2 em 2018. Fonte: Autora (2020).

**Ponto 2 – 2019: Córrego da Água Branca – Centro urbano (trecho canalizado)**



**Frações Granulométricas**

Sub amostra	>4,75 mm (g)	1,18<x<4,75 mm (g)	75 $\mu\text{m}$ <x<1,18 mm (g)	x<75 $\mu\text{m}$ (g)
<b>P2.1</b>	2,99	1,70	32,86	0,64
<b>P2.2</b>	1,22	0,76	105,75	0,32
<b>P2.3</b>	3,26	3,16	186,96	0,71

Figura 32 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 2 em 2019. Fonte: Autora (2020).

**Ponto 3 – 2018: Córrego da Água Branca – saída da ETE**



**P3.1:** Material siliciclástico (pedregulhos e areia) e orgânico (folhas, gravetos e raízes) na fração maior que 1,18 mm. Restante representado por areia fina, silte, argila e MO fragmentada.

Massa: 320,18 g.

**P3.2, P3.3, P3.4, P3.5:** Camadas de composição semelhante. A fração maior que 1,18 mm é composta por areia grossa e material orgânico. O restante é composto por areia mais fina, silte e argila, com fragmentos menores de MO.

Massa:

P3.2: 142,44 g.

P3.3: 156,46 g.

P3.4: 104,84 g.

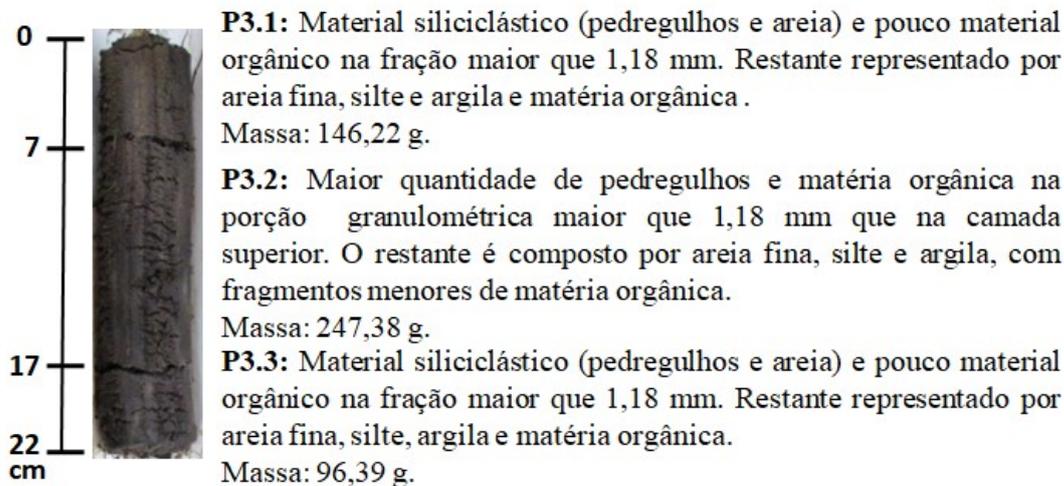
P3.5: 257,91 g.

**Frações Granulométricas**

Sub amostra	>4,75 mm (g)	1,18<x<4,75 mm (g)	75µm <x<1,18 mm (g)	x<75 µm (g)
<b>P3.1</b>	0,17	0,09	259,23	60,69
<b>P3.2</b>	0,07	0,38	120,31	21,68
<b>P3.3</b>	5,95	3,59	115,52	31,40
<b>P3.4</b>	0,53	1,30	80,82	22,19
<b>P3.5</b>	1,97	2,81	193,34	59,79

Figura 33 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 3 em 2018. Fonte: Autora (2020).

**Ponto 3 – 2019: Córrego da Água Branca – saída da ETE**



**Frações Granulométricas**

Sub amostra	>4,75 mm (g)	1,18<x<4,75 mm (g)	75µm <x<1,18 mm (g)	x<75 µm (g)
<b>P3.1</b>	0,20	1,80	142,24	1,98
<b>P3.2</b>	0,63	8,29	234,13	4,33
<b>P3.3</b>	0	1,86	92,55	1,98

Figura 34 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 3 em 2019. Fonte: Autora (2020).

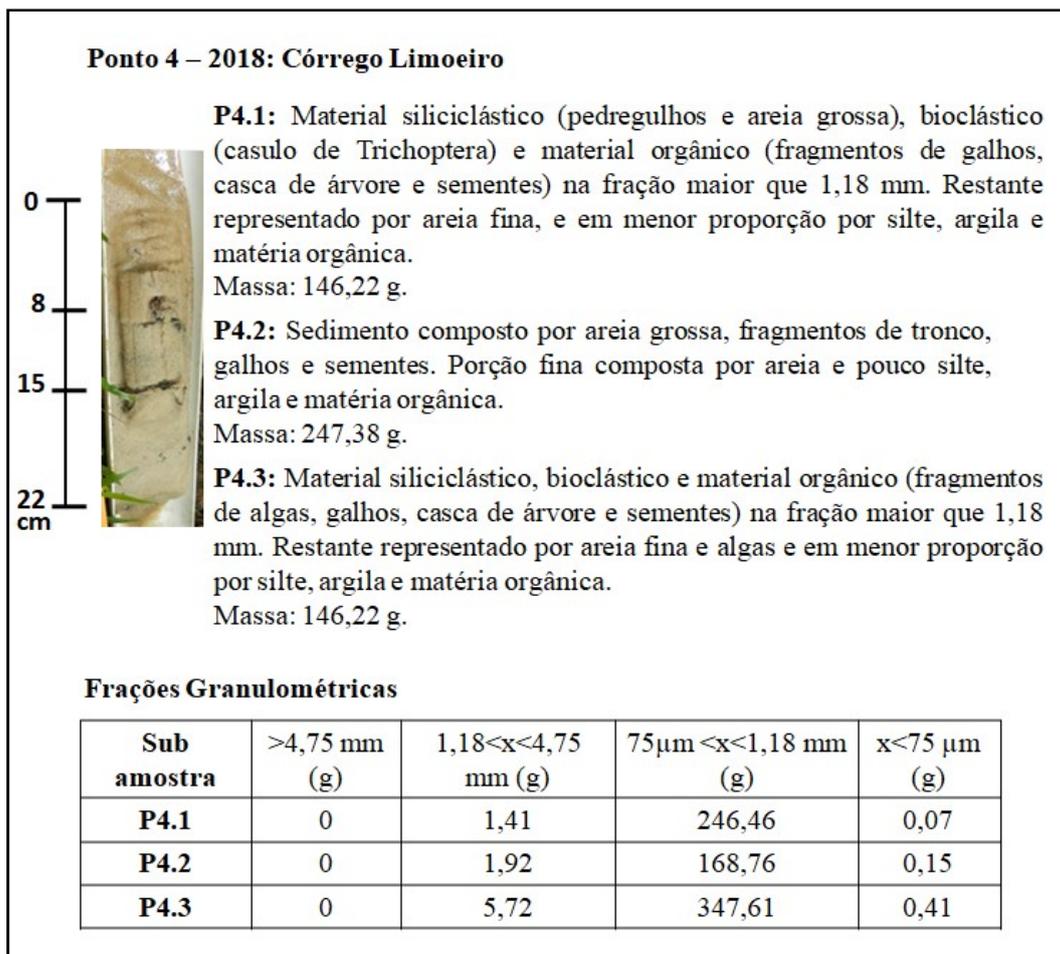


Figura 35 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 4 em 2018. Fonte: Autora (2020).

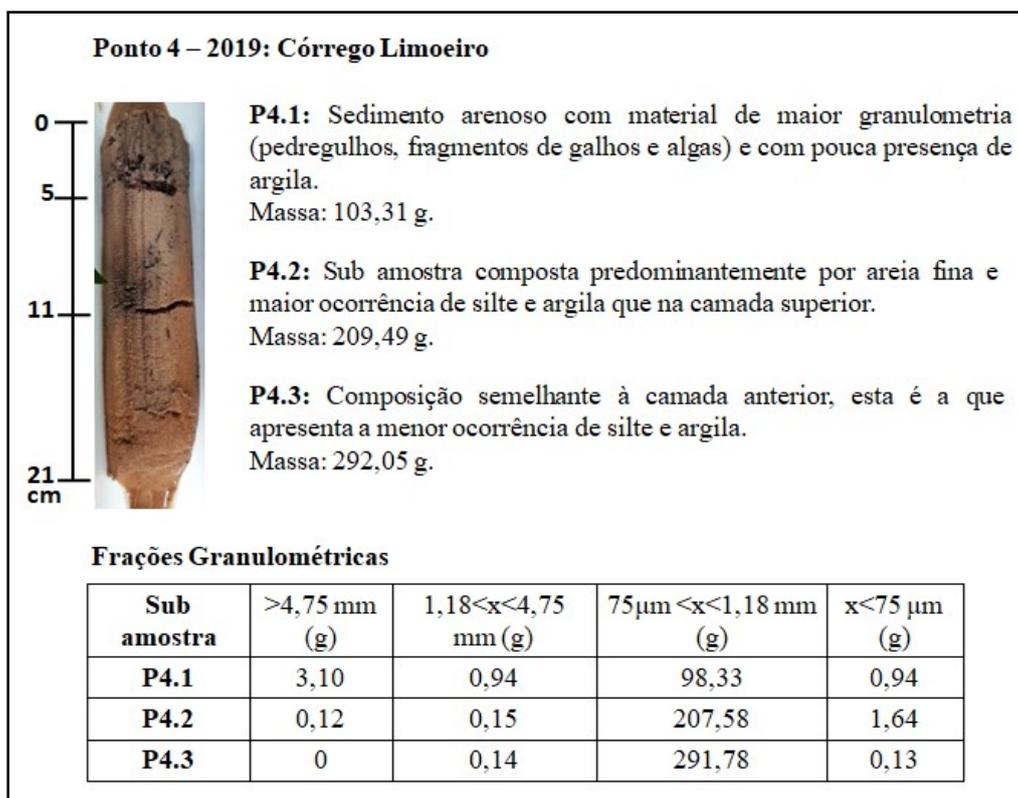


Figura 36 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 4 em 2019. Fonte: Autora (2020).

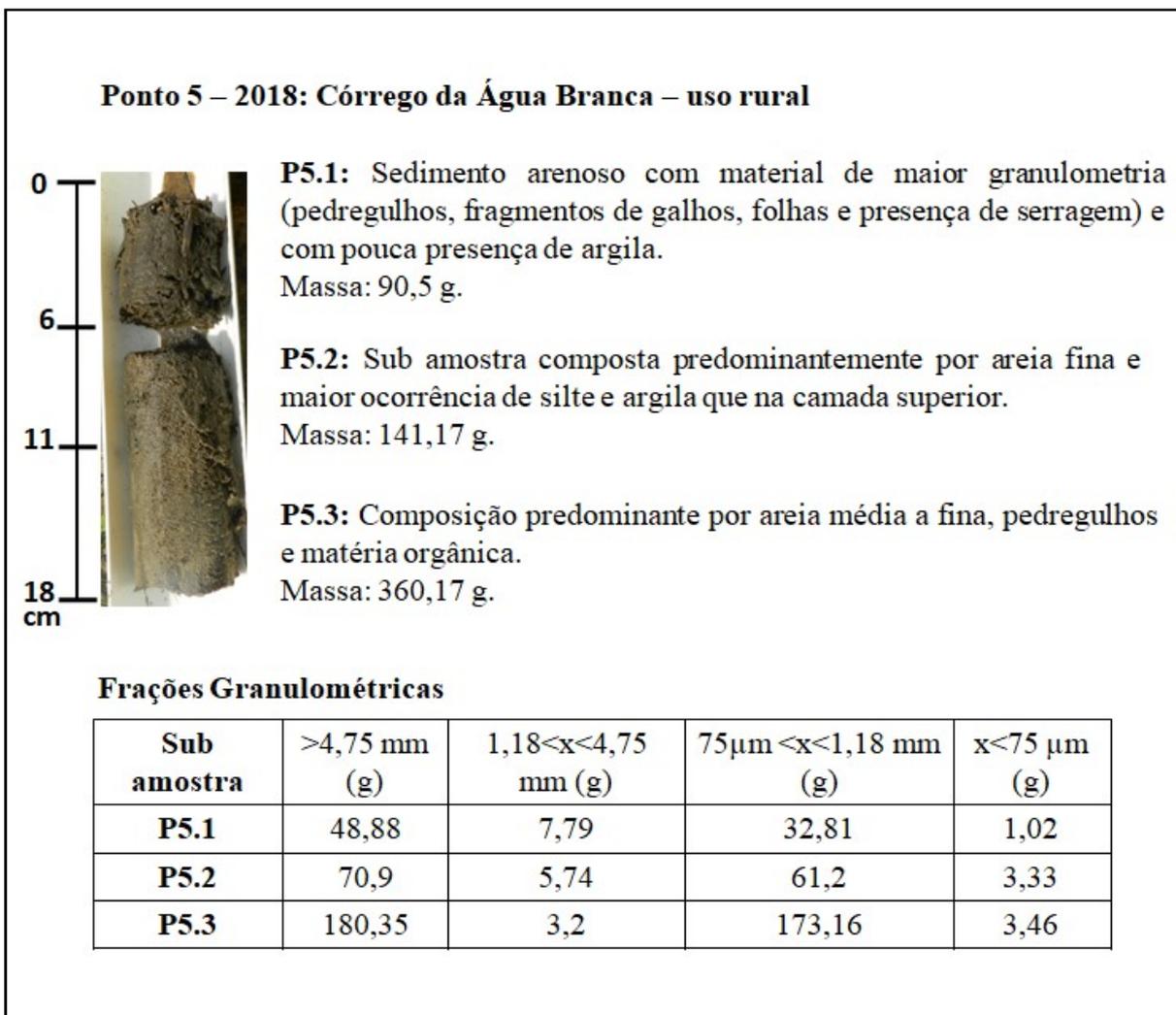
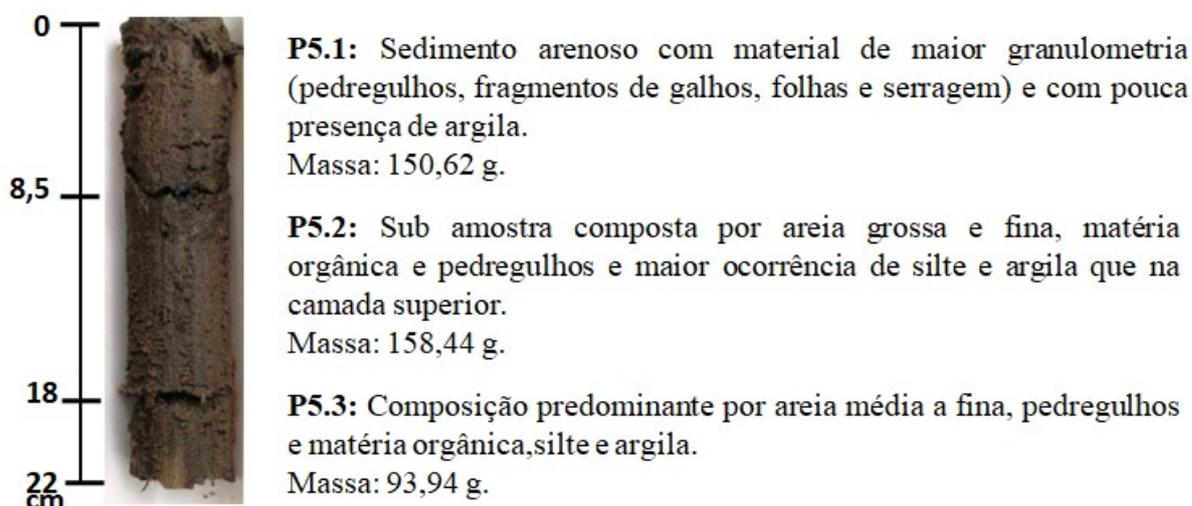


Figura 37 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 5 em 2018. Fonte: Autora (2020).

### Ponto 5 – 2019: Córrego da Água Branca – uso rural



#### Frações Granulométricas

Sub amostra	>4,75 mm (g)	1,18<x<4,75 mm (g)	75µm <x<1,18 mm (g)	x<75 µm (g)
<b>P5.1</b>	3,92	8,10	137,54	1,06
<b>P5.2</b>	4,72	18,81	131,08	3,83
<b>P5.3</b>	0,22	2,18	89,94	1,60

Figura 38 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 5 em 2019. Fonte: Autora (2020).

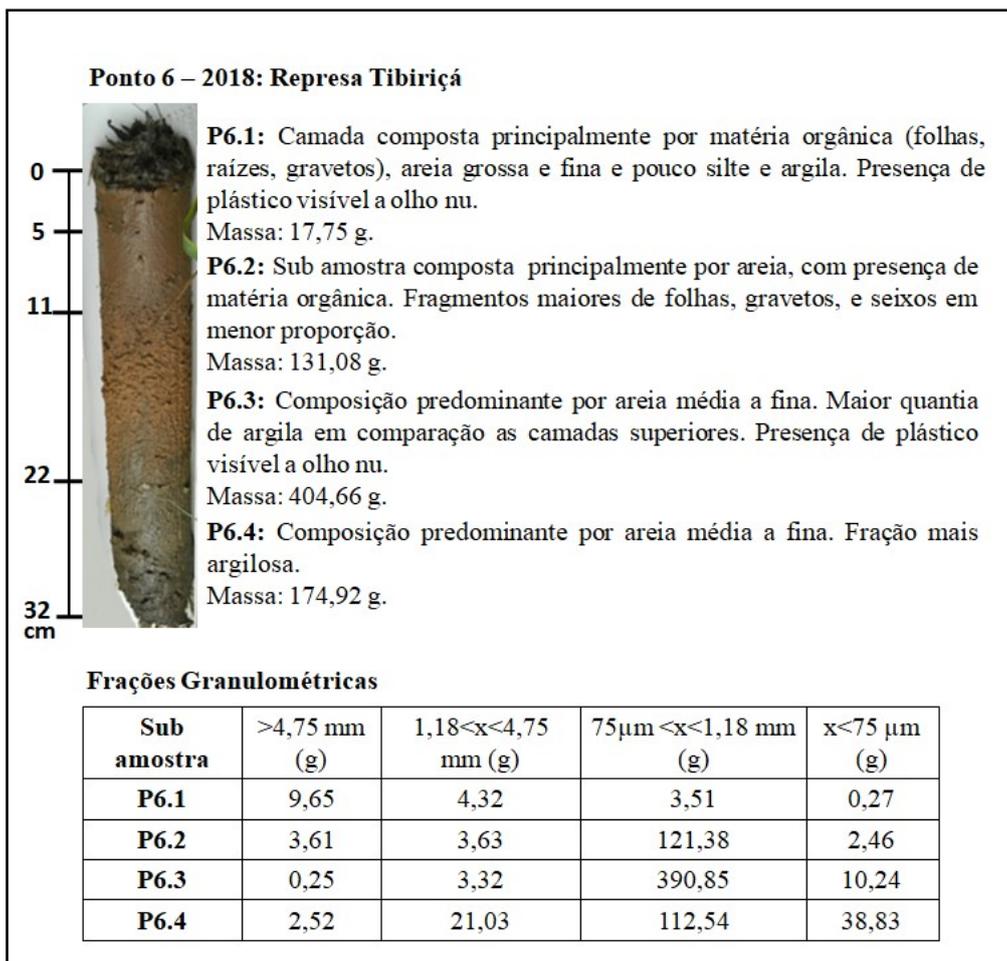


Figura 39 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 6 em 2018. Fonte: Autora (2020).

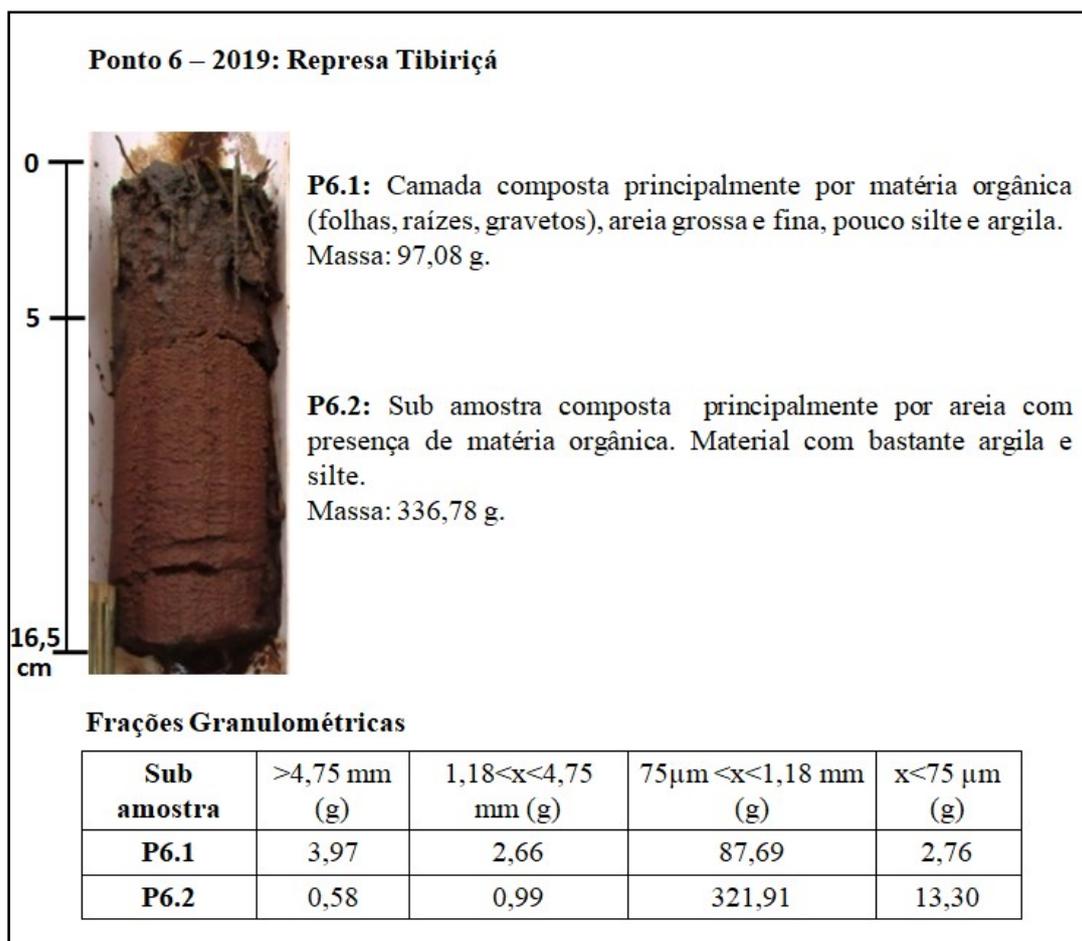


Figura 40 – Caracterização do perfil coletado no Ponto 6 em 2019. Fonte: Autora (2020).

### 6.3. Antropização dos sedimentos fluviais

O principal resíduo antrópico observado foi o plástico (macro e microplástico). A economia da área de estudo não é significativamente impactada pela produção industrial, desta forma os usos da bacia são predominantemente urbanos (habitação) e comerciais (venda de produtos finalizados e prestação de serviços); os materiais artificiais encontrados nas amostras são reflexos dessa ocupação. As seções a seguir apresentam os resultados e discussão de cada ponto estudado.

#### 6.3.1 Vestígios da artificialização dos depósitos fluviais

Foi observada a ocorrência de deposição de materiais de origem artificial no leito dos corpos hídricos em alguns pontos. As subseções seguintes detalham os pontos em que foram observados vestígios macroscópicos da artificialização do sedimento.

### **6.3.1.1 Córrego sem nome – área urbana (P1)**

Localizado próximo a um talude e de frente a uma linha férrea, no local há ocupação urbana em uma das vertentes e descarte irregular de resíduos sólidos no momento da visita. Não há mata ciliar e a vegetação é formada por gramíneas. No leito do córrego é possível observar a deposição de resíduos artificiais como plástico e papelão (Figura 41).



**Figura 41 – Leito do córrego do P1 onde se observa materiais de origem antrópica sedimentados. Fonte: Autora (2019).**

### **6.3.1.2 Córrego da Água Branca – área urbana (P2)**

Neste ponto, o entorno é intensamente urbanizado e sem mata ciliar. A coleta foi realizada no trecho canalizado do córrego, onde há deposição de material artificial. Sedimentado, é possível observar telhas, fragmentos de tijolos, calçados e outros plásticos (Figura 42) e foi observada a presença de peixes e macro invertebrados aquáticos.



**Figura 42 – Leito do córrego Água Branca no centro urbano. Fonte: Autora (2019).**

### **6.3.1.3 Represa Tibiriçá (P6)**

Este ponto caracteriza-se como um local de transição de ambiente lótico para lântico. Toda a drenagem da bacia à montante contribui com a composição do sedimento nesta região. A margem da represa apresenta um acúmulo de materiais artificiais (Figura 43) visualmente maior que nos outros pontos. Durante as duas coletas de sedimento foram coletados também os objetos sedimentados para caracterização (Quadro 10).



**Figura 43 - Resíduos observados às margens da Represa Tibiriçá em 2018. Fonte: Autora (2018).**

**Quadro 10 – Objetos coletados na represa Tibiriçá.**



**Descrição:** embalagem plástica de xampu. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** 1993

**Material:** não consta



**Descrição:** embalagem plástica de óleo de motor. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** 1998

**Material:** não consta



**Descrição:** garrafa plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** sem data

**Material:** polietileno de alta densidade (PEAD)



**Descrição:** garrafa plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** 2009

**Material:** polietileno de alta densidade (PEAD)



**Descrição:** garrafa plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** sem data

**Material:** não consta



**Descrição:** desodorante aerosol. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** 2003

**Material:** alumínio



**Descrição:** embalagem plástica de desodorante. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** sem data

**Material:** polietileno de alta densidade (PEAD)



**Descrição:** bolinha anti-estresse de borracha. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** sem data

**Material:** desconhecido



**Descrição:** tampa plástica de garrafa. **Ano de coleta:** 2018

**Data:** sem data

**Material:** desconhecido



**Descrição:** garrafa plástica de água. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data

**Material:** polipropileno (PP)



**Descrição:** embalagem plástica de desodorante. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data

**Material:** polietileno de alta densidade (PEAD)



**Descrição:** embalagem plástica de alvejante. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data

**Material:** polietileno de alta densidade (PEAD)



**Descrição:** embalagem plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data

**Material:** polietileno de alta densidade (PEAD)



**Descrição:** embalagem de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** 2011

**Material:** alumínio



**Descrição:** embalagem de bebida. **Ano de coleta:** 2019

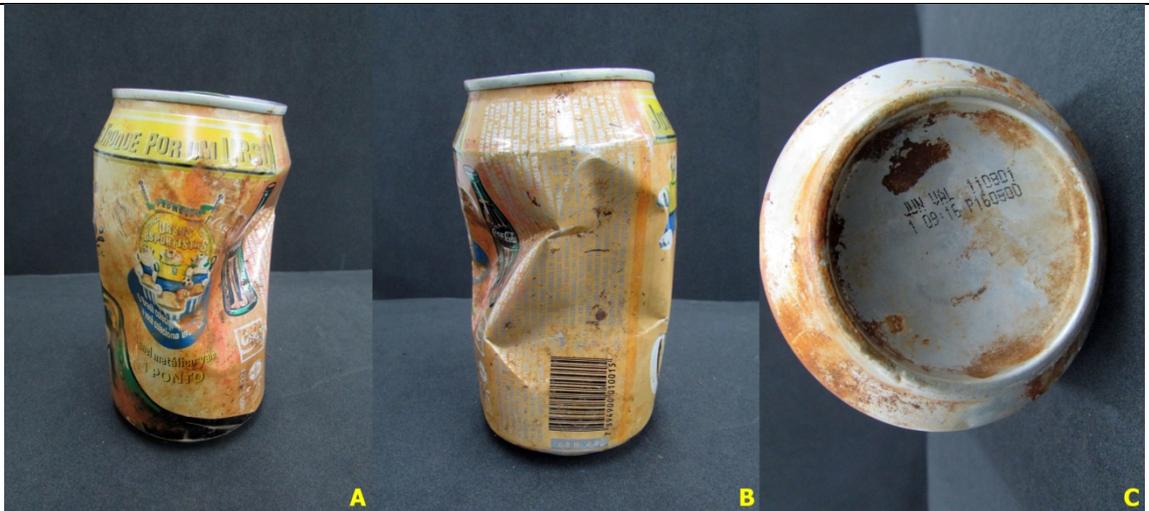
**Data:** 2001

**Material:** tereftalato de polietileno (PET)



**Descrição:** embalagem de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data. Promoção Geloucos circulou entre 1997 e 2000. **Material:** tereftalato de polietileno (PET)



**Descrição:** embalagem de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** 2001 **Material:** alumínio



**Descrição:** embalagem de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** 2004 **Material:** Polietileno de Alta Densidade (PEAD)



**Descrição:** embalagem de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** 2004

**Material:** Polietileno de Alta Densidade (PEAD)



**Descrição:** embalagem plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data. Embalagem comemorativa de 1998

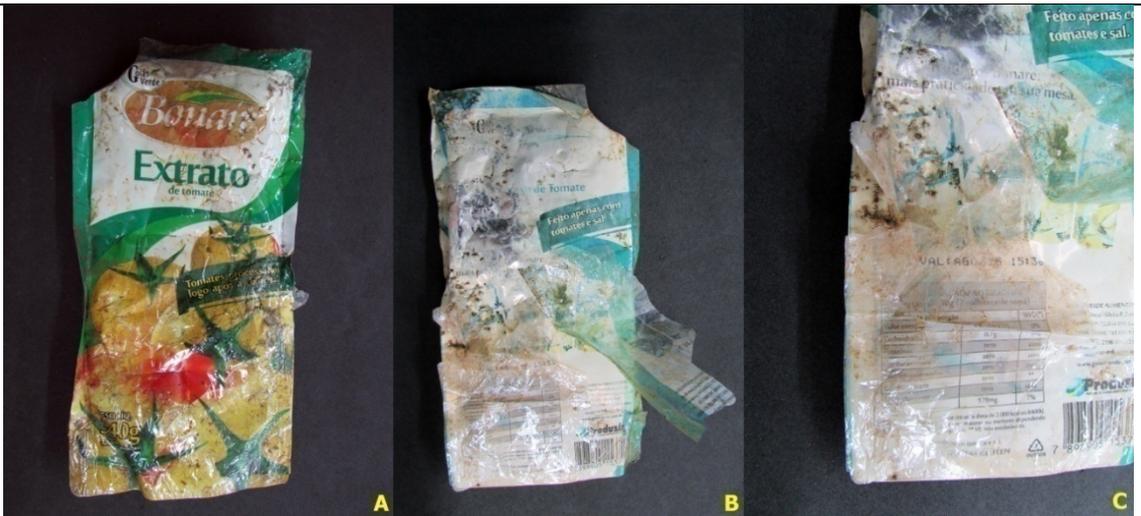
**Material:** não consta



**Descrição:** embalagem de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** não consta

**Material:** vidro



**Descrição:** embalagem de alimento. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** 2015

**Material:** outros plásticos



**Descrição:** embalagem plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data

**Material:** tereftalato de polietileno (PET)



**Descrição:** embalagem plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** 2011

**Material:** tereftalato de polietileno (PET)



**Descrição:** embalagem plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data

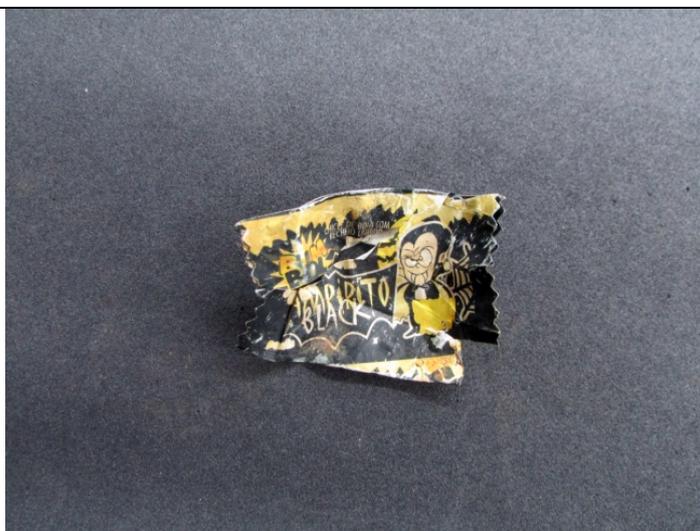
**Material:** tereftalato de polietileno (PET)



**Descrição:** embalagem plástica de bebida. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data

**Material:** tereftalato de polietileno (PET)



**Descrição:** embalagem plástica de goma de mascar. **Ano de coleta:** 2019

**Data:** sem data

**Material:** não consta

**Fonte:** Autora (2019).

A embalagem mais antiga encontrada data o ano de 1993. Isso demonstra a capacidade de retenção da represa de materiais advindos da rede de drenagem. Todos os exemplares coletados estavam expostos às radiações solares. Todos os itens coletados estão em perfeito grau de conservação e a degradação observada em alguns itens está relacionada à ação de abrasão mecânica (p. e. embalagem do desodorante marca Axe). A embalagem mais recente coletada foi datada em 2015.

Apesar de parte do material não possuir data, é possível inferir sua antiguidade considerando que se tratam de embalagens de produtos que não se encontram em

circulação comercial. As observações feitas mostram que ocorre a formação de depósitos artificialmente alterados principalmente nos ambientes de sedimentação mais intensa.

### **6.3.2 Análise do perfil de sedimento**

#### **6.3.2.1 Análise macroscópica**

A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir das análises feitas a olho nu e com o auxílio da lupa de mão.

A amostra coletada no ponto P1 em 2019 apresentou fragmento plástico visível a olho nu na camada mais superficial (0 a 3 cm). A Figura 44 apresenta o registro do material.



**Figura 44 – Macrolástico observado no perfil do sedimento P1.1 em 2019. Fonte: Autora (2020).**

O ponto P2 apresentou macrolásticos nas amostras coletadas em 2018 e em 2019. A Figura 45 apresenta o registro do material observado na primeira e na segunda camada do sedimento, em 2018. A Figura 46 apresenta o material observado na terceira camada do sedimento coletado em 2019.

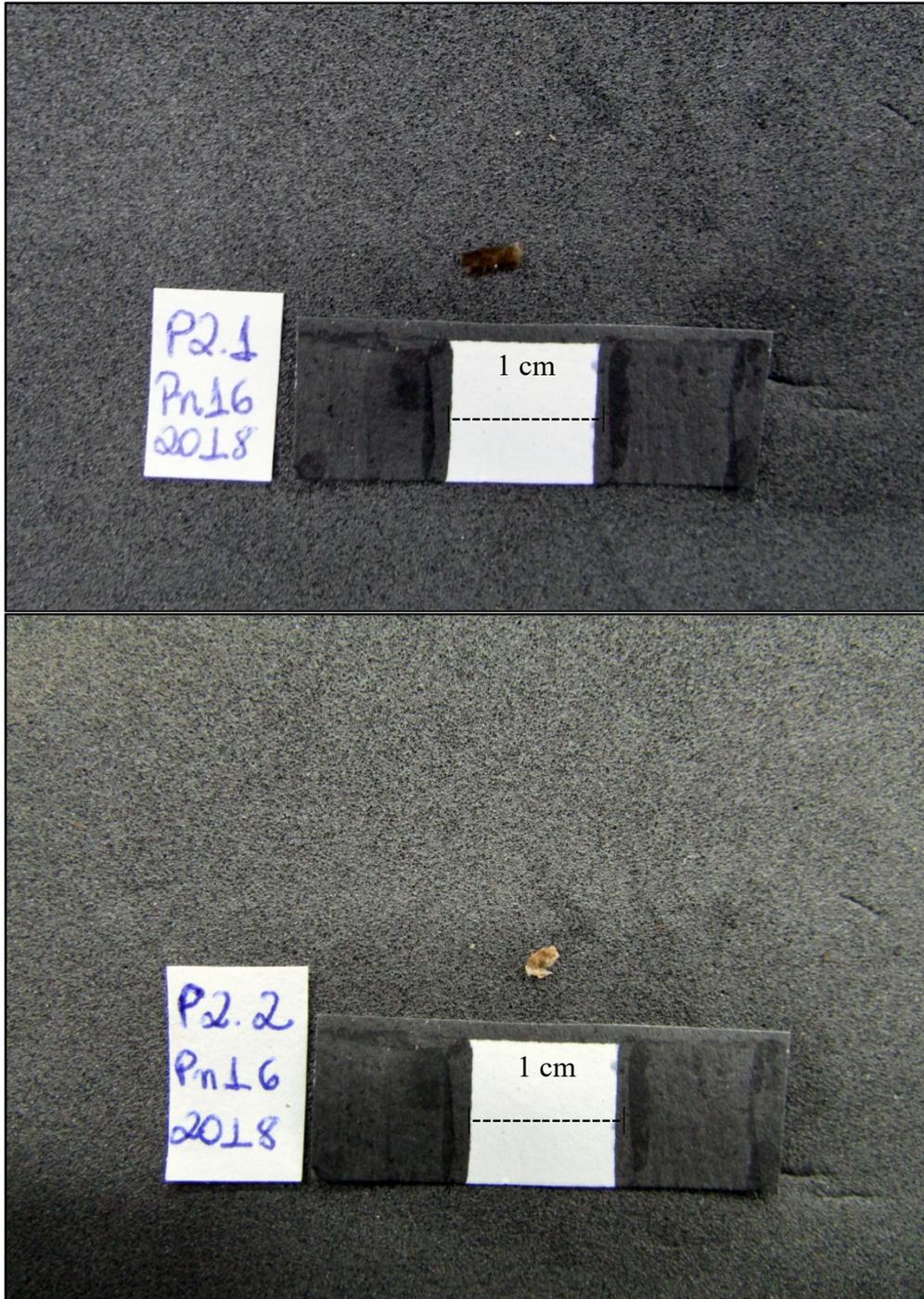


Figura 45 - Fragmentos observados na primeira e na segunda camada do sedimento coletado no P2 em 2018. Fonte: Autora (2020).



**Figura 46 – Fragmento observado na terceira camada do sedimento coletado no P2 em 2019. Fonte: Autora (2020).**

No ponto P3 ocorre o lançamento do efluente da estação de tratamento de esgoto do município. A área é preservada, apresentando vegetação ciliar em ambas as margens.

O ponto P5, em contraste às amostras dos outros pontos, aqui foi observada composição diferente do sedimento, com a ocorrência de um material de aspecto semelhante à serragem, utilizada no recobrimento de canteiros de horticultura (matéria orgânica). Além disso, foram observados gravetos e folhas da mata ciliar que existe nesse trecho.

Toda a drenagem da bacia à montante contribui com a composição do sedimento no ponto P6. Este ponto também foi o que mais apresentou resíduos visíveis a olho nu incorporados no sedimento. A Figura 47 apresenta o registro dos materiais artificiais observados em 2018 e em 2019. Em 2018 foram observados 11 fragmentos e em 2019 apenas 2.



**Figura 47 – Fragmentos de materiais artificiais observados nas amostras de 2018 e 2019 no sedimento da represa Tibiriçá. Escala: quadrado branco possui 1 cm<sup>2</sup>. Fonte: Autora (2020).**

Na camada superficial do ponto P4 observou-se matéria orgânica (fragmento de folhas, gravetos, algas, casulos de macro invertebrados, cascas de sementes), enquanto as camadas mais profundas eram compostas majoritariamente por areia. Neste ponto não foi observada a presença de materiais artificiais.

### ***6.3.2.2 Análise microscópica***

A Tabela 5 apresenta a quantidade observada de fragmentos plásticos, fibras plásticas e outros materiais (papel ou vidro) observados nos perfis estudados (material com tamanho entre 1,18 mm e 75  $\mu\text{m}$ ).

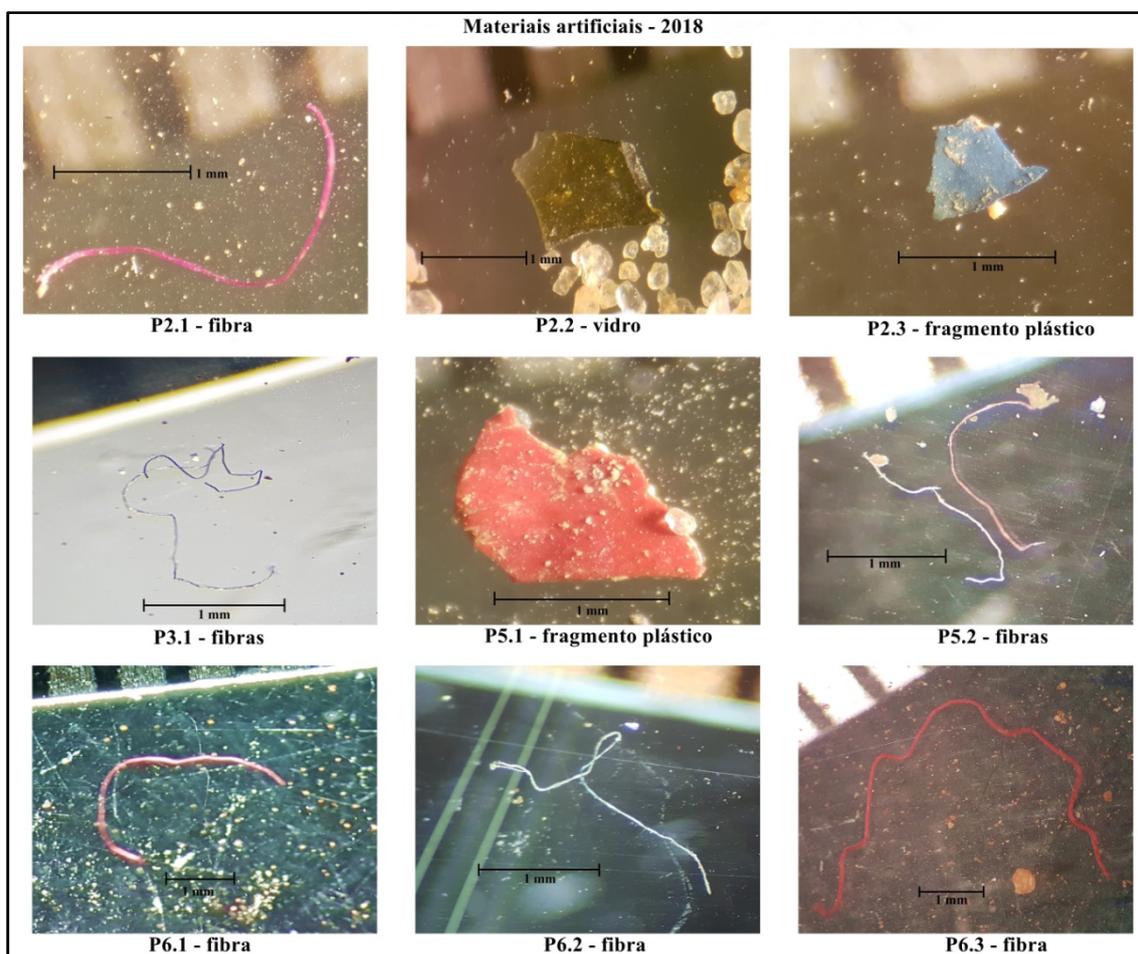
**Tabela 5 – Média de micro materiais artificiais observados no sedimento na área de estudo (triagem com estereomicroscópio, referente à granulometria entre 75 µm e 1,18 mm).**

		Fragmentos		Fibras		Outros		Total	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
<b>P1.1</b>	part./100g	14	9	19	76	0	0	34	85
	part./kg	140	90	190	760	0	0	340	850
<b>P1.2</b>	part./100g	0	49	22	130	0	0	22	179
	part./kg	0	490	220	1300	0	0	220	1790
<b>P2.1</b>	part./100g	20	40	72	29	0	0	92	69
	part./kg	200	400	720	290	0	0	920	690
<b>P2.2</b>	part./100g	8	8	65	40	4	0	77	48
	part./kg	80	80	650	400	40	0	770	480
<b>P2.3</b>	part./100g	11	12	2	0	0	0	13	12
	part./kg	110	120	20	0	0	0	130	120
<b>P3.1</b>	part./100g	2	1	13	16	0	0	15	17
	part./kg	20	10	130	160	0	0	150	170
<b>P3.2</b>	part./100g	0	1	2	10	0	0	2	12
	part./kg	0	10	20	100	0	0	20	120
<b>P3.3</b>	part./100g	0	3	0	0	0	0	0	3
	part./kg	0	30	0	0	0	0	0	30
<b>P3.4</b>	part./100g	0	-	20	-	0	-	20	-
	part./kg	0	-	200	-	0	-	200	-
<b>P3.5</b>	part./100g	0	-	4	-	0	-	4	-
	part./kg	0	-	40	-	0	-	40	-
<b>P4.1</b>	part./100g	0	0	0	0	0	0	0	0
	part./kg	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>P4.2</b>	part./100g	0	0	0	0	0	0	0	0
	part./kg	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>P4.3</b>	part./100g	0	0	1	0	0	0	1	0
	part./kg	0	0	10	0	0	0	10	0
<b>P5.1</b>	part./100g	30	13	6	10	0	0	36	23
	part./kg	300	130	60	100	0	0	360	230
<b>P5.2</b>	part./100g	13	5	32	13	0	0	45	18
	part./kg	130	50	320	130	0	0	450	180
<b>P5.3</b>	part./100g	8	17	12	0	1	0	22	17
	part./kg	80	170	120	0	10	0	220	170
<b>P6.1</b>	part./100g	86	17	430	26	0	0	516	43
	part./kg	860	170	4300	260	0	0	5160	430
<b>P6.2</b>	part./100g	9	3	82	11	0	0	91	14
	part./kg	90	30	820	110	0	0	910	140
<b>P6.3</b>	part./100g	5	-	31	-	0	-	36	-
	part./kg	50	-	310	-	0	-	360	-
<b>P6.4</b>	part./100g	12	-	42	-	0	-	55	-
	part./kg	120	-	420	-	0	-	550	-

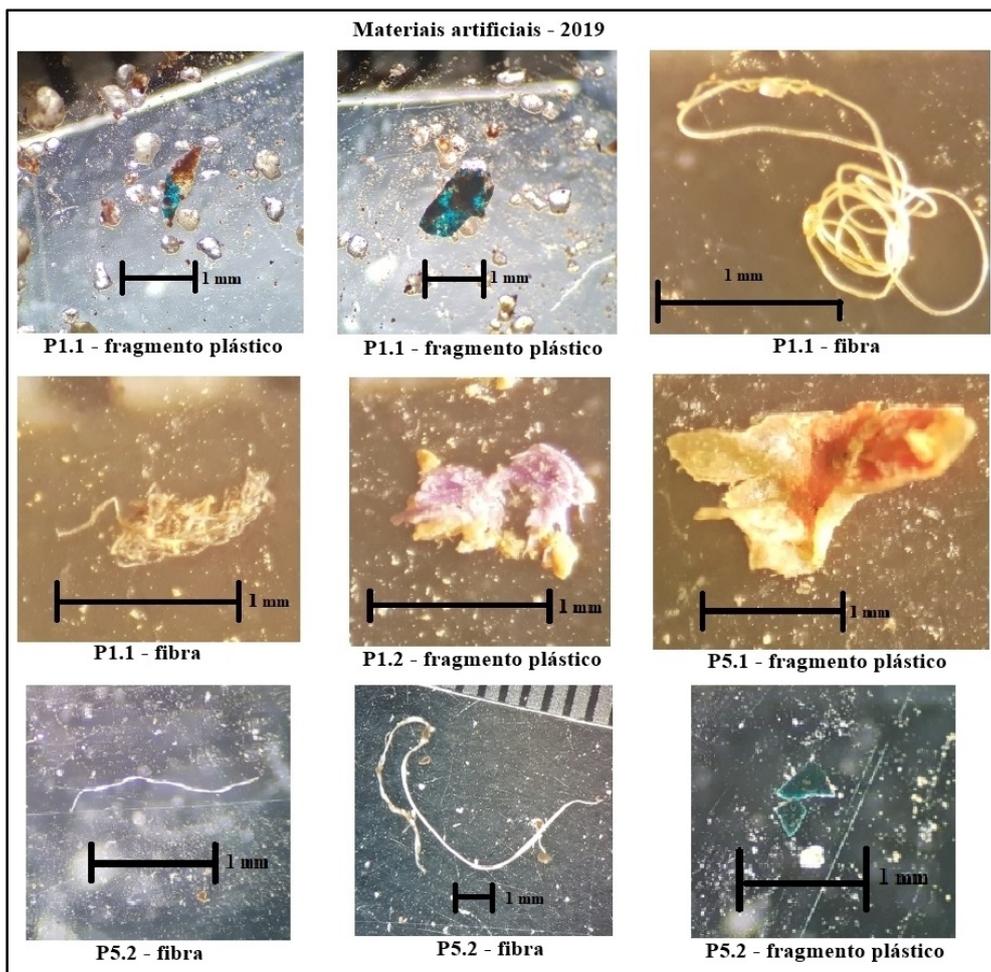
Onde: -, camada inexistente e 0 ausência de fragmentos.

Fonte: Autora (2020).

As Figuras 48 e 49 ilustram alguns dos fragmentos e fibras observados no sedimento.



**Figura 48 – Fragmentos de materiais artificiais observados nas amostras de 2018 no sedimento dos corpos hídricos da bacia do córrego da Água Branca. Escala: 1 mm. Fonte: Autora (2020).**

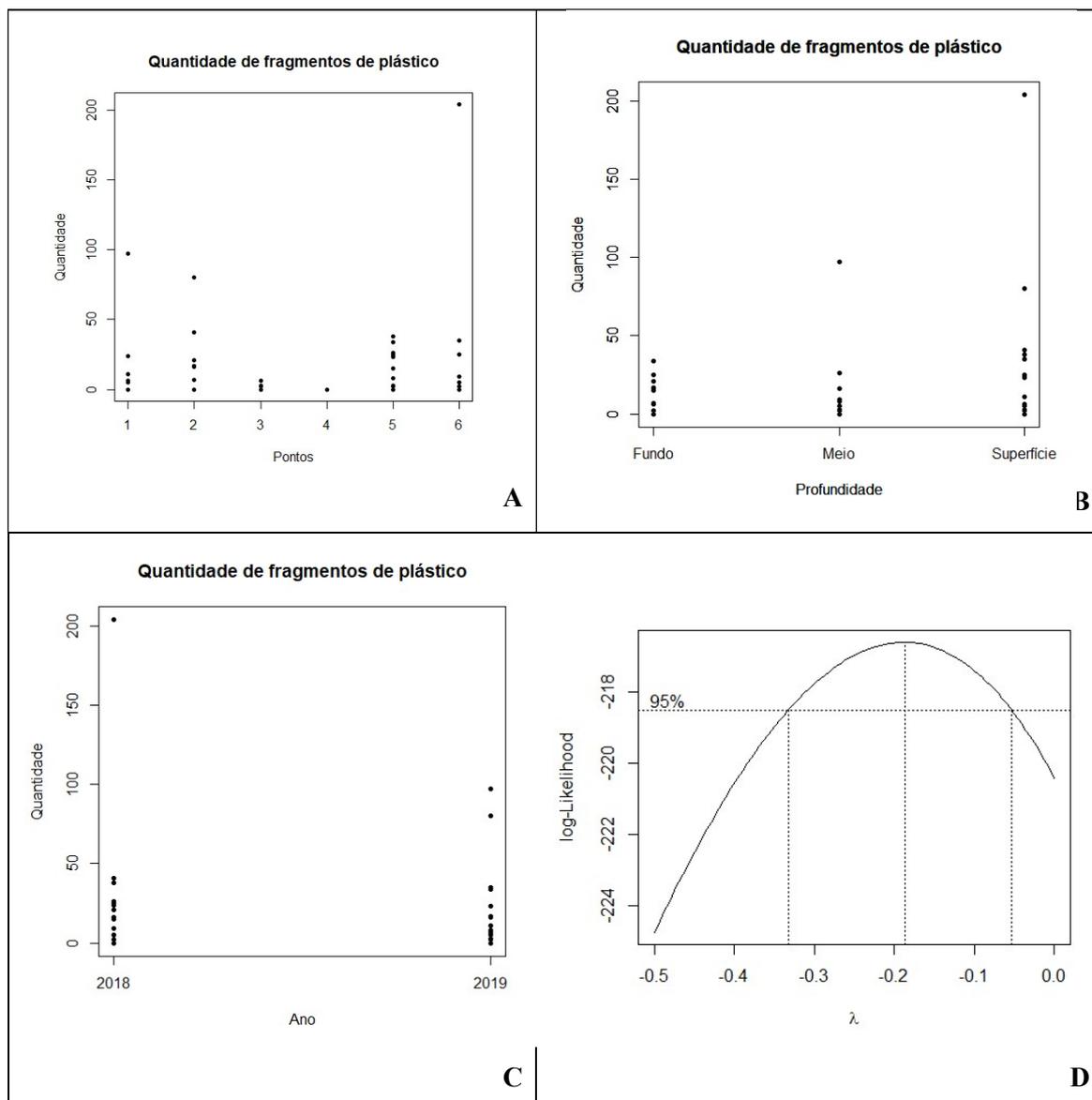


**Figura 49 – Fragmentos de materiais artificiais observados nas amostras de 2019 no sedimento dos corpos hídricos da bacia do córrego da Água Branca. Escala: 1 mm. Fonte: Autora (2020).**

### **6.3.3 Análises descritivas e estatísticas**

- ***Partículas plásticas***

Com relação ao material de granulometria entre 75 µm e 1,18 mm, é possível observar que o local do P6 é o que possui mais partículas de plástico em relação aos outros pontos. O ponto P2 apresentou mais fragmentos que o ponto P1. Os pontos P3 e P4 são os que menos apresentaram fragmentos. A abundância desses fragmentos também diminui em função da profundidade do sedimento e em 2018 foram observados mais fragmentos. A Figura 50 apresenta os gráficos com os valores observados nas análises.



**Figura 50 – A: Stripchart de plásticos por ponto de coleta; B: Stripchart de plásticos por profundidade; C: Stripchart de plásticos por período; D: Gráfico da Transformação Boxcox.**

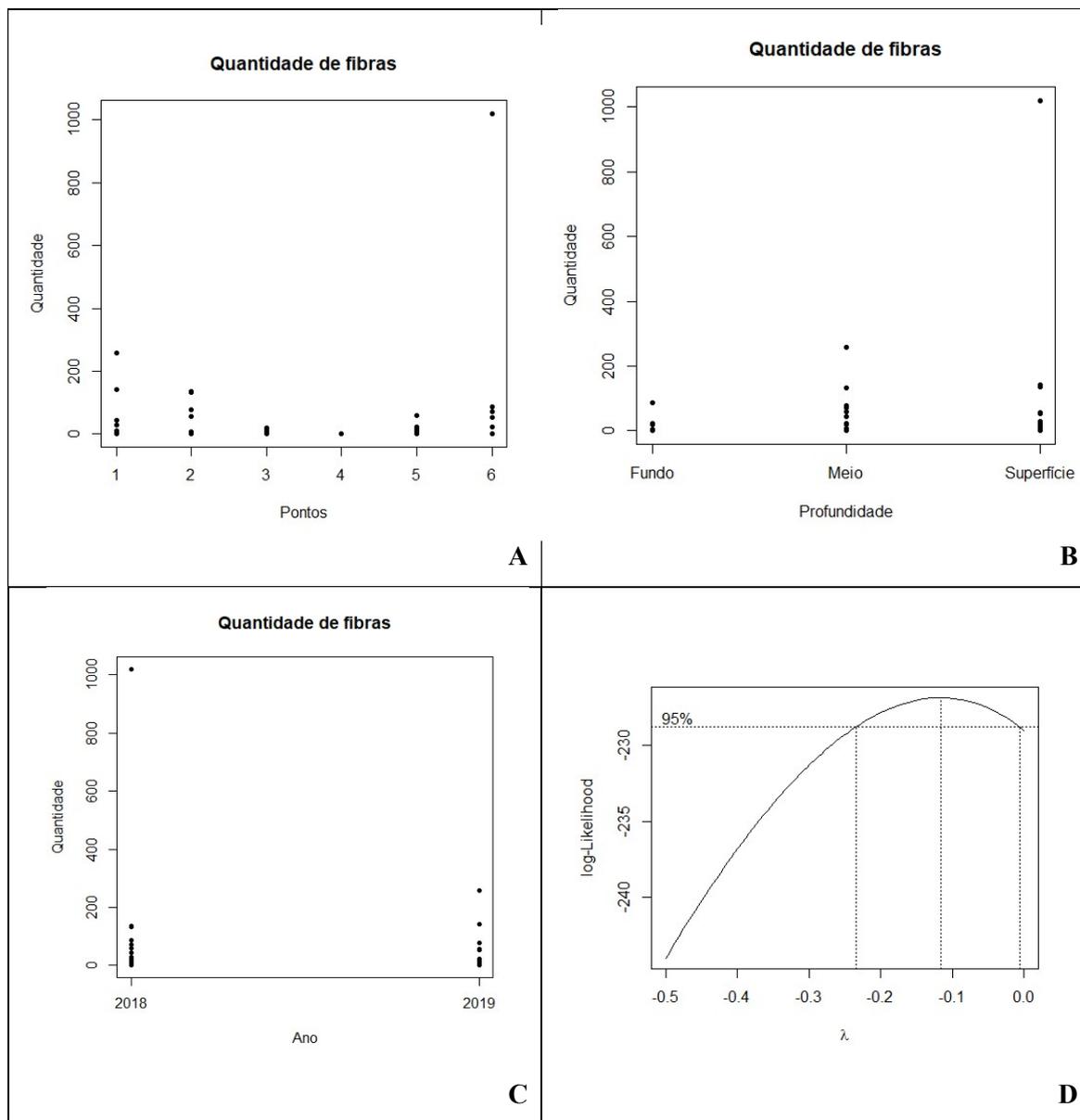
**Fonte: Autora (2020).**

A ANOVA apontou que, no nível de significância de 5%, existe diferença na variável ponto. O teste de Tukey indicou que o P4 é diferente dos P2 e P5, e que não há diferença estatisticamente significativa entre os P1, P3 e P6.

- ***Partículas de fibras***

Com relação ao material de granulometria entre 75  $\mu\text{m}$  e 1,18 mm, o P6 apresentou mais fibras. De modo geral, elas são mais observadas na superfície do sedimento e no material coletado em 2018. A ANOVA indicou que, no nível de significância de 5%, existem diferenças significativas dentro das variáveis ponto e profundidade. Estatisticamente, o P4 é diferente de todos os outros, não apresentando

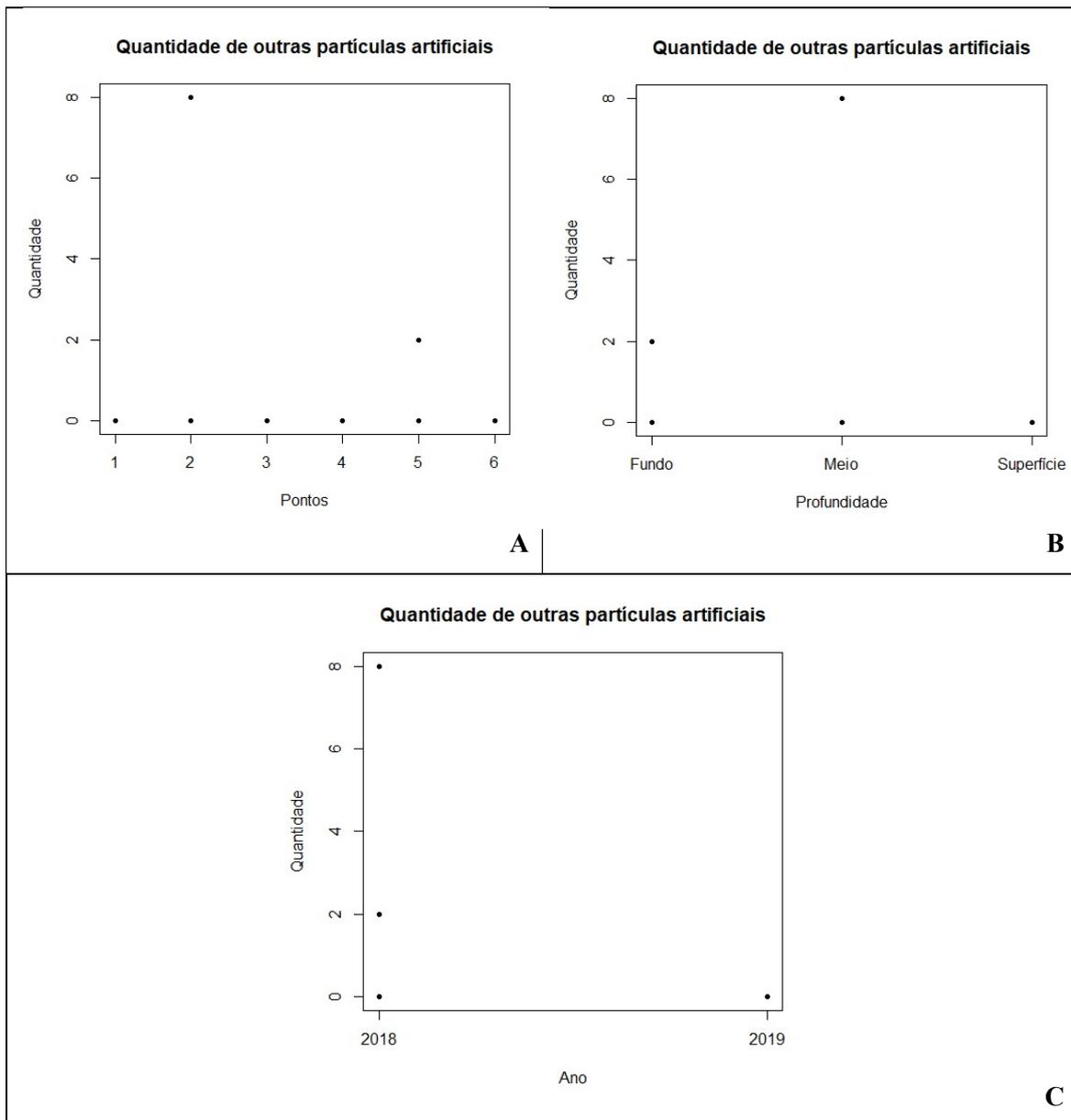
fibras e no fundo também há menos fibras que nas camadas superiores. A Figura 51 apresenta os gráficos com os valores observados nas análises.



**Figura 51 – A: Stripchart de fibras por ponto de coleta; B: Stripchart de fibras por profundidade; C: Stripchart de fibras por período; D: Gráfico da Transformação Boxcox. Fonte: Autora (2020).**

- **Outras partículas artificiais**

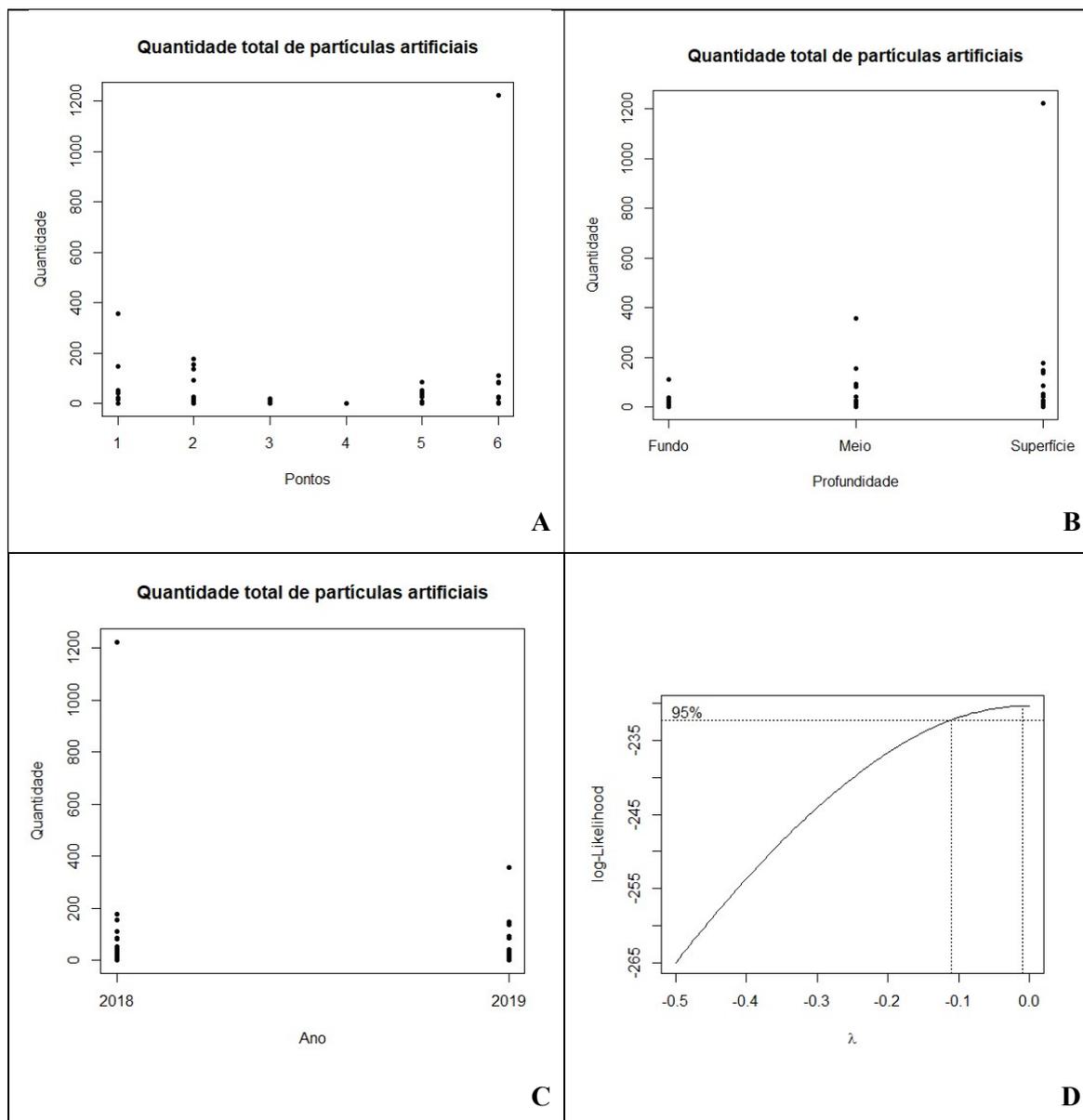
Com relação ao material de granulometria entre 75  $\mu\text{m}$  e 1,18 mm, foram observados apenas dois fragmentos de outros materiais artificiais. No P5 e no P2, no fundo e no meio do perfil do sedimento, no ano de 2018. A ANOVA apontou que, no nível de significância de 5%, não há diferença significativa entre as variáveis estudadas. A Figura 52 apresenta os gráficos com os valores observados nas análises.



**Figura 52 – A: Stripchart de outras partículas artificiais por ponto de coleta; B: Stripchart de outras partículas artificiais por profundidade; C: Stripchart de outras partículas artificiais por período. Fonte: Autora (2020).**

- ***Total de partículas artificiais***

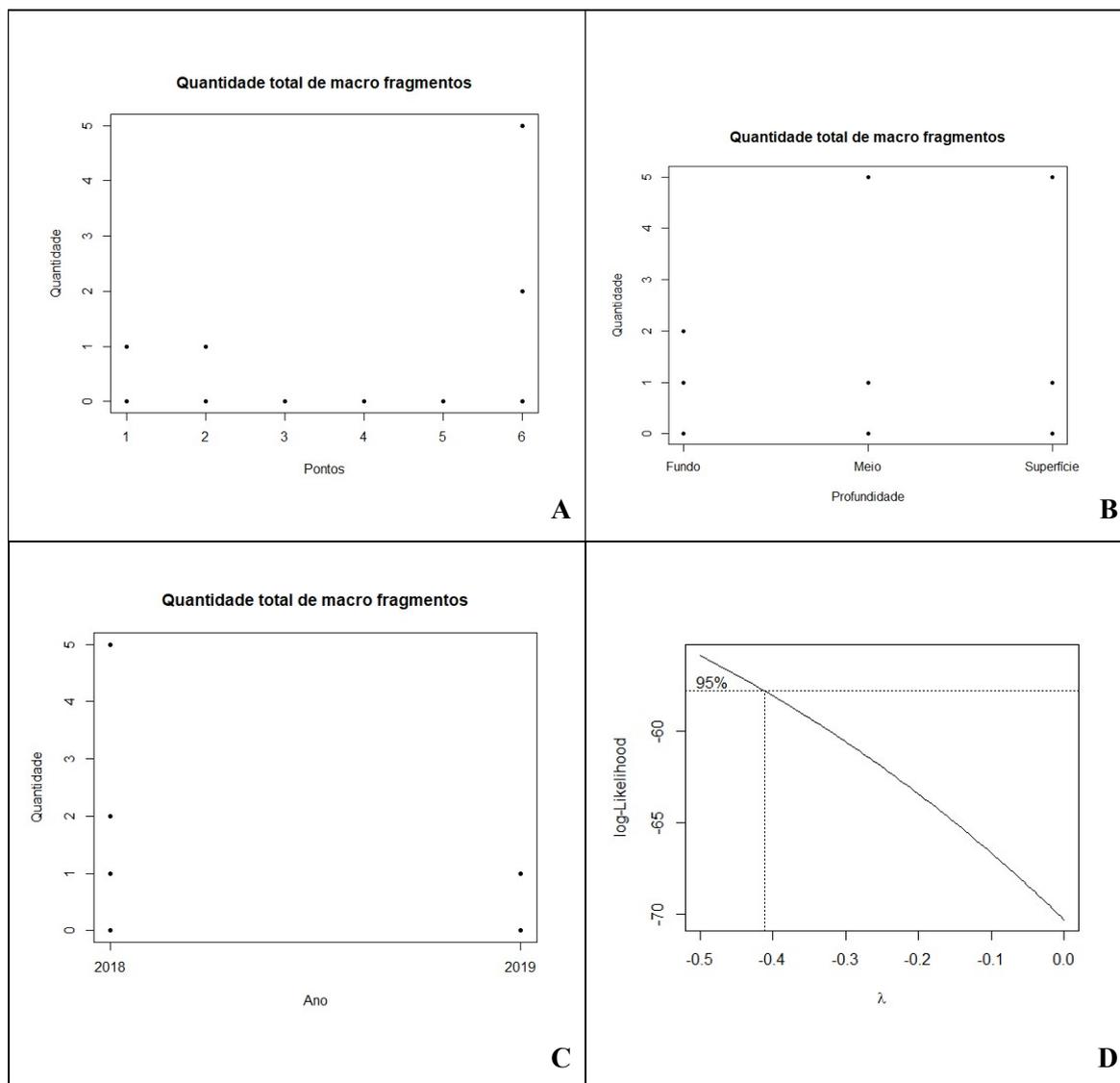
Com relação ao total de material artificial triado no sedimento, de granulometria entre 75  $\mu\text{m}$  e 1,18 mm, o P6 é o de maior abundância. A maioria do material foi observado na superfície e no ano de 2018. A ANOVA indicou que, no nível de significância de 5%, existem diferenças dentro das variáveis ponto e profundidade. O teste de Tukey indicou que o P4 apresentou menos materiais artificiais que os demais pontos e que nas camadas inferiores são observados menos materiais que na camada superior, ou seja, foram observados mais materiais artificiais na superfície que nas camadas seguintes. A Figura 53 apresenta os gráficos com os valores observados nas análises.



**Figura 53 – A: Stripchart do total de partículas por ponto de coleta; B: Stripchart do total de partículas por profundidade; C: Stripchart do total de partículas por período; D: Gráfico da Transformação Boxcox. Fonte: Autora (2020).**

- ***Partículas visíveis a olho nu, observadas no sedimento***

Com relação apenas as partículas observadas na análise com lupa de mão e a olho nu (maiores que 1,18 mm), o P6 apresentou mais macro materiais artificiais incorporados ao sedimento que os outros locais. Foram observados mais na superfície e no meio do perfil e no ano de 2018. A ANOVA indicou que, no nível de significância de 5%, não há diferença entre as variáveis analisadas. A Figura 54 apresenta os gráficos com os valores observados nas análises.



**Figura 54 – A: Stripchart do total de partículas visíveis a olho nu por ponto de coleta; B: Stripchart do total de partículas visíveis a olho nu por profundidade; C: Stripchart do total de partículas visíveis a olho nu por período; D: Gráfico da Transformação Boxcox. Fonte: Autora (2020).**

- **Análise descritiva das médias obtidas**

A Tabela 6 apresenta as médias obtidas nas análises. Em média, foram observados mais materiais artificiais na primeira camada do sedimento (mais superficial) e no ano de 2018.

Os pontos P6 e P2 foram os que apresentaram maior quantidade de fragmentos plásticos incorporados ao sedimento. Os pontos P1, P2 e P6 foram os que mais apresentaram fibras. Considerando o total de material artificial observado no sedimento, os pontos P1, P2 e P6 apresentaram maior concentração.

Com relação aos macroplásticos observados no perfil do sedimento, em média o ponto P6 apresentou as maiores quantias, seguidos pelo P2. Nas duas primeiras camadas (mais superficiais) ocorreram mais macroplásticos que na mais profunda e também foi observada maior abundância dessas partículas no ano de 2018.

**Tabela 6 – Médias obtidas nas análises estatísticas.**

		<b>Plástico</b>	<b>Fibras</b>	<b>Outros</b>	<b>Total</b>	<b>Macro</b>
Ponto	1	11,92	41,33	0,0	53,33	0,16
	2	16,50	34,50	0,66	51,75	0,50
	3	1,08	7,58	0,00	8,75	0,00
	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5	14,42	12,25	0,16	26,91	0,00
	6	21,00	92,33	0,00	113,25	2,00
Profundidade	Superfície	19,37	57,75	0,00	77,08	0,58
	Meio	7,83	30,75	0,33	39,00	0,50
	Fundo	5,25	5,50	0,08	10,91	0,25
Coleta	2018	11,75	42,69	0,27	54,69	0,77
	2019	9,88	19,97	0,00	29,97	0,11

**Fonte: Autora (2020).**

#### **6.3.4 Análise química**

Esta seção apresenta resultados de análises qualitativas e descritivas. Não foram realizadas análises estatísticas para estes dados.

Devido a pandemia do COVID-19 enfrentada pelo Brasil desde março de 2019, as análises químicas das amostras foram prejudicadas. Devido a impossibilidade de utilizar os laboratórios desde então, algumas das amostras não foram analisadas. No Quadro 11 podem ser consultados quais métodos de análise química foram empregados em cada amostra, referente ao material menor que 75 µm.

**Quadro 11 – Análises químicas realizadas nas amostras.**

		<b>2018</b>	<b>2019</b>
Ponto	1	MEV-EDS	MEV-EDS
	2	MEV-EDS; DSC	MEV-EDS; DSC
	3	MEV-EDS	MEV-EDS
	4	DSC	MEV-EDS, DSC
	5	DSC	MEV-EDS, DSC
	6	MEV-EDS; DSC	MEV-EDS, DSC

**Fonte: Autora (2020).**

Este tópico está organizado em subseções que apresentaram os resultados na seguinte ordem: MEV-EDS 2019 (análises realizadas pela autora), MEV-EDS 2018 (análises realizadas por técnicos do Laboratório de Caracterização Estrutural) e DSC

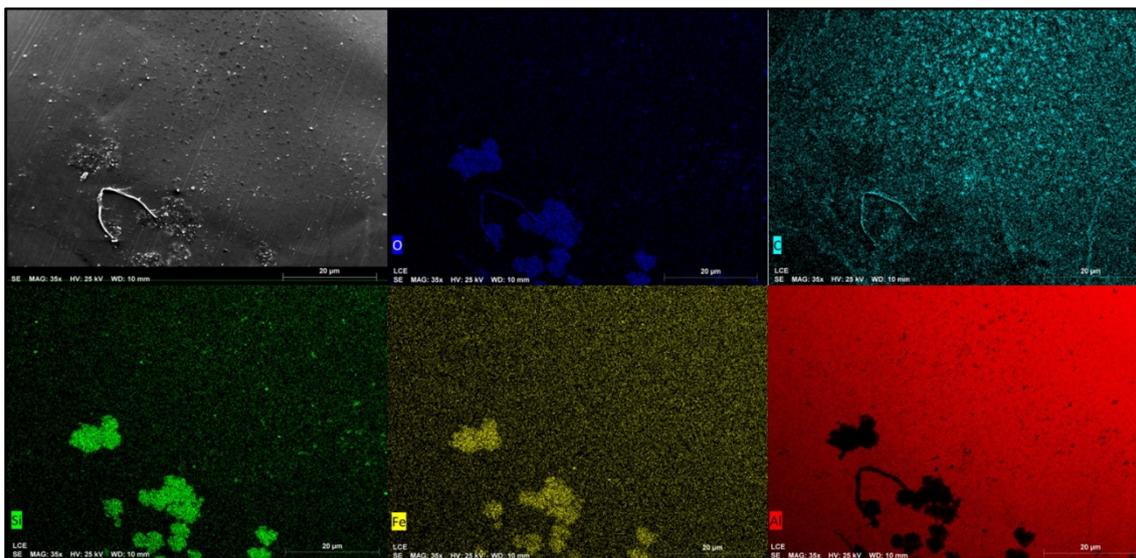
2018/2019 (análises realizadas por pesquisador do Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais).

- ***MEV-EDS: Amostras de 2019 (período seco)***

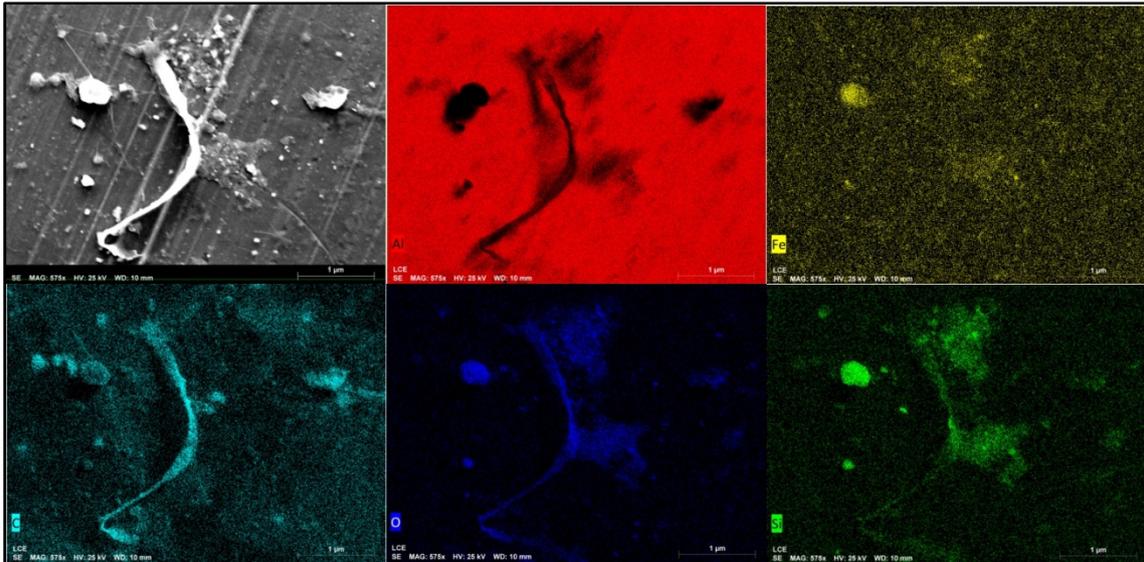
Alguns pontos apresentaram partículas compostas por carbono e oxigênio, com morfologia de materiais artificiais. Neste estudo adotaremos a nomenclatura de micropartículas antropogênicas para referir-se a elas. Outras partículas apresentavam associação ao silício e ao nitrogênio, que podem indicar polímeros que possuem esses elementos em sua composição. O silicone possui silício, enquanto o náilon e kevlar possuem nitrogênio, conforme exposto no Quadro 3.

Também foram observadas algumas diatomáceas, também conhecidas como algas douradas. Possuem parede celular composta por sílica e resistem após a oxidação da matéria orgânica sendo inclusive mais fáceis de serem observadas após esse processo (CAVALCANTE, 2012). Segundo Cavalcante (2012), diatomáceas são eucariontes unicelulares que ocorrem nos ambientes aquáticos em diversos substratos, como macrófitas, rochas, animais, grãos de areia e sedimento.

As Figuras 55 e 56 apresentam fibras observadas no P1.1 em 2019, a primeira composta por carbono e oxigênio e a segunda por carbono, oxigênio e silício.

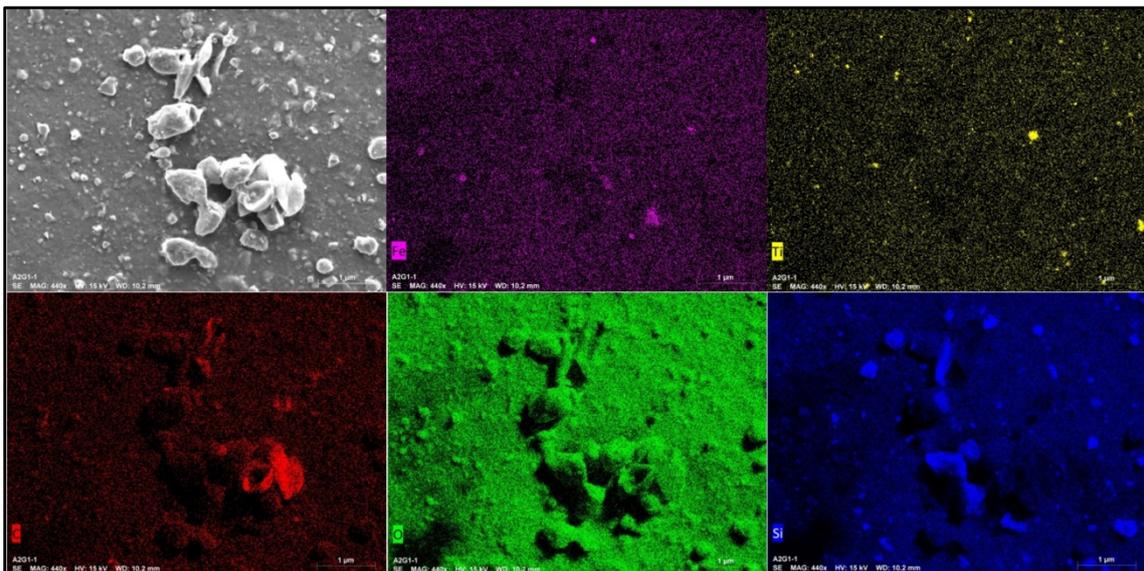


**Figura 55 - Mapeamento químico da amostra P1.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. No canto inferior esquerdo é possível observar uma fibra composta por carbono e oxigênio. Fonte: Autora (2020).**



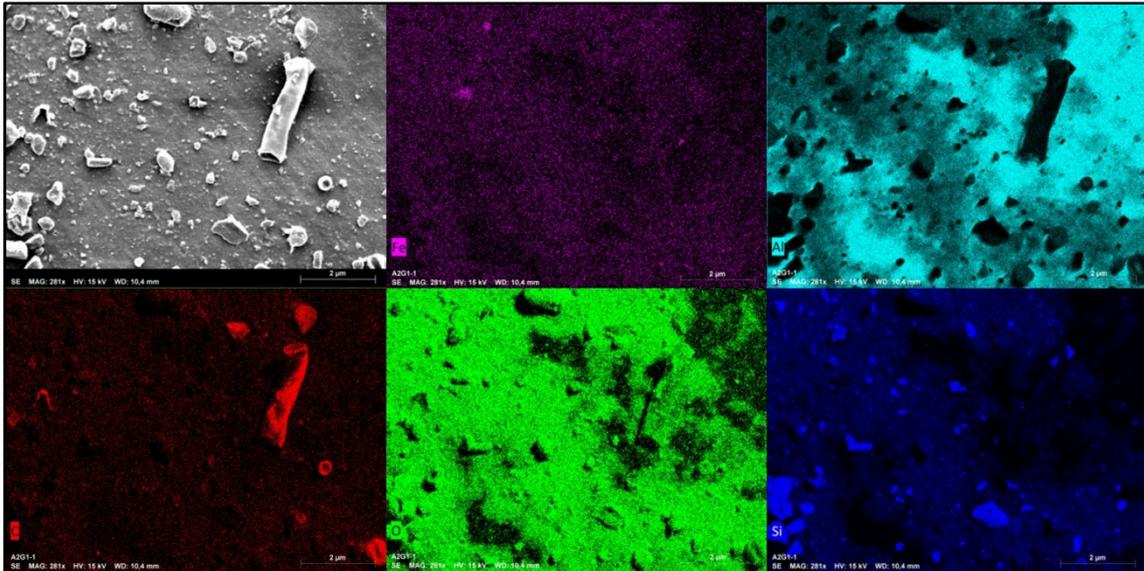
**Figura 56 – Mapeamento químico da amostra P1.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem é possível observar uma fibra composta por carbono e oxigênio, apresentando sinal mais fraco para o silício. Fonte: Autora (2020).**

A Figura 57 apresenta o mapeamento de um aglomerado formado na amostra do P1.2, no ano de 2019. No canto inferior direito é possível observar o sinal para carbono e oxigênio com bastante intensidade. Além disso, em outras regiões existe o sinal para o elemento titânio, que pode indicar ligas metálicas.



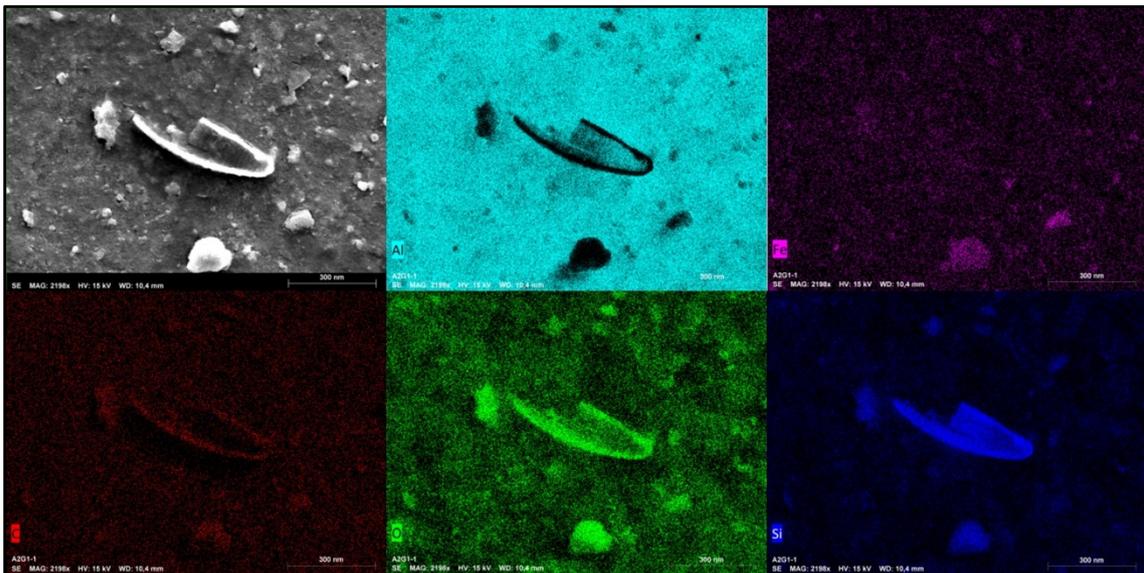
**Figura 57 – Mapeamento químico da amostra P1.2 – 2019, realizado no MEV – EDS. Fonte: Autora (2020).**

A Figura 58 apresenta o mapeamento químico de uma região da amostra do ponto P2.1 – 2019. Do lado direito da amostra é possível observar uma partícula formada por carbono e oxigênio.



**Figura 58 – Mapeamento químico da amostra P2.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. Fonte: Autora (2020).**

A Figura 59 apresenta o mapeamento químico de uma diatomácea observada na amostra do ponto P2.1 – 2019. A Figura 60 apresenta uma partícula composta por carbono, oxigênio e nitrogênio, observada na mesma amostra.



**Figura 59 – Mapeamento químico da amostra P2.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem observa-se uma diatomácea. Fonte: Autora (2020).**

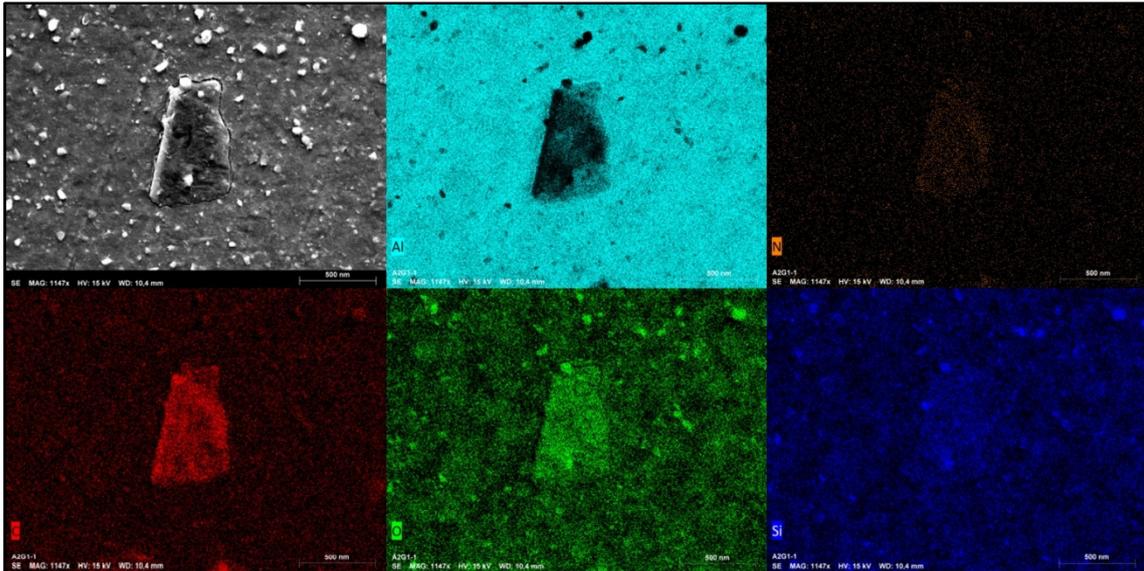


Figura 60 – Mapeamento químico da amostra P2.1 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem observa-se uma partícula composta por C-O-N. Fonte: Autora (2020).

A Figura 61 apresenta o mapeamento químico de uma fibra observada no ponto P2.2 – 2019, composta por carbono, oxigênio e silício. A Figura 62 apresenta uma molécula que possui carbono, oxigênio e cloro em sua composição. Pode indicar um plástico, o PVC que é bastante utilizado que possui cloro em sua composição.

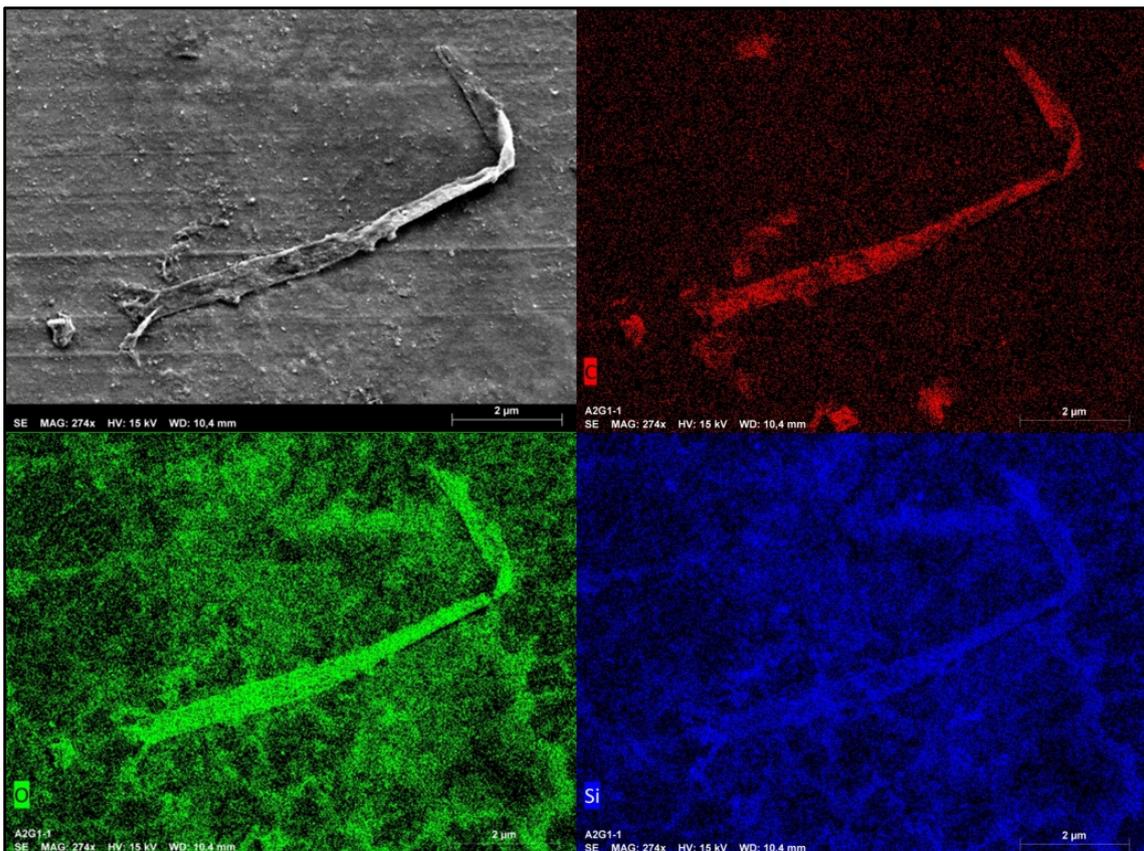
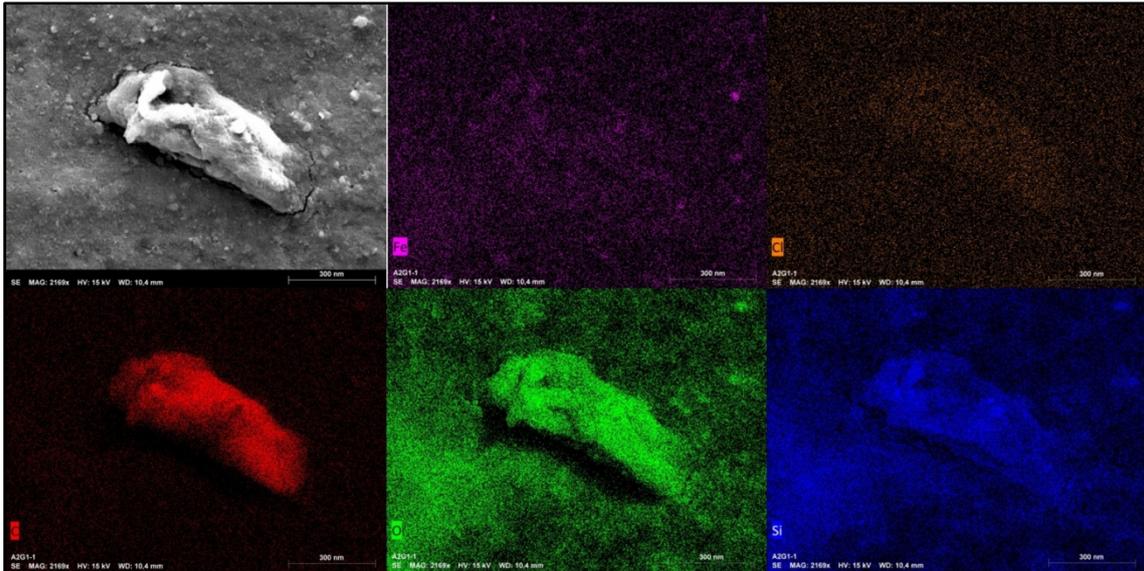
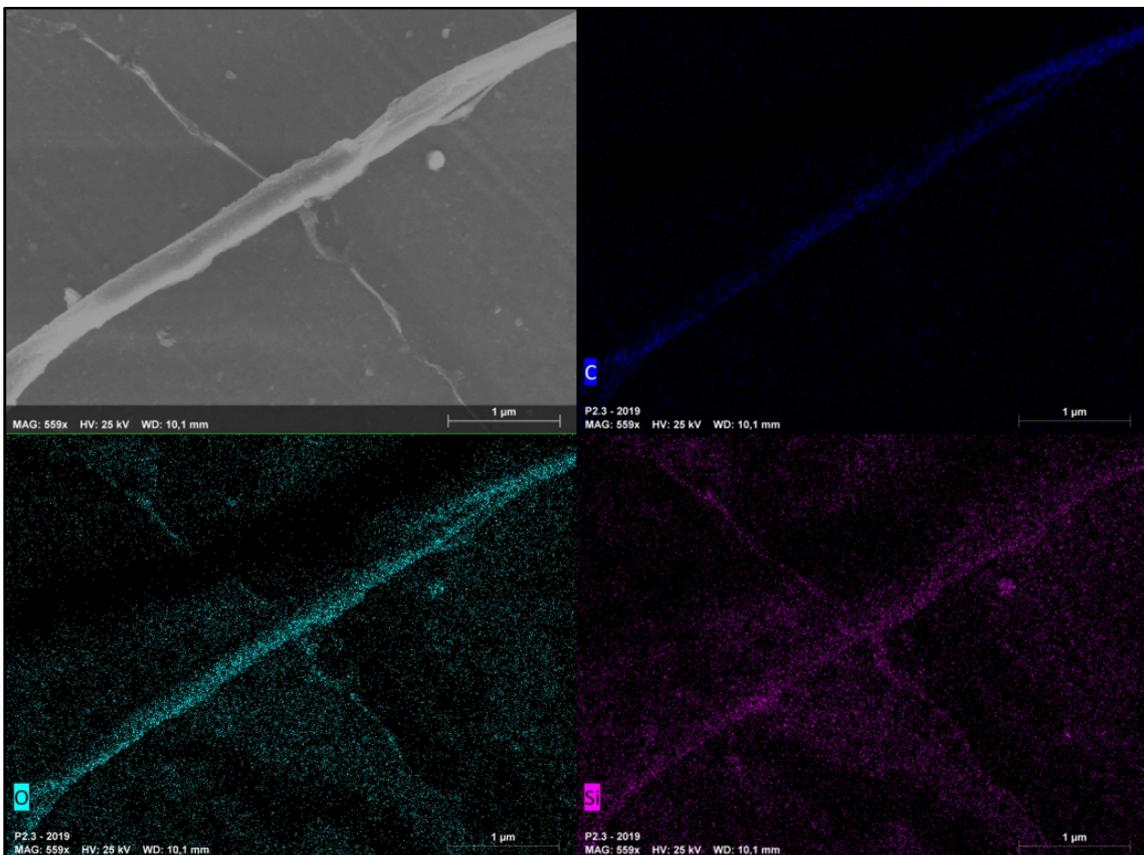


Figura 61 – Mapeamento químico da amostra P2.2 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem observa-se uma fibra composta por C-O-Si. Fonte: Autora (2020).



**Figura 62 – Mapeamento químico da amostra P2.2 – 2019, realizado no MEV – EDS. No centro da imagem observa-se uma partícula composta por C-O-Cl. Fonte: Autora (2020).**

No ponto P2.3-2019 também foram observadas fibras compostas por carbono e oxigênio. A Figura 63 apresenta o mapeamento químico de uma fibra observada. A Figura 64 apresenta o mapeamento de uma região da amostra P3.2- 2019, onde é possível observar uma micropartícula antropogênica composta por carbono e oxigênio.



**Figura 63 – Mapeamento químico de fibra observada na amostra P2.3 – 2019, realizado no MEV – EDS. Fonte: Autora (2020).**

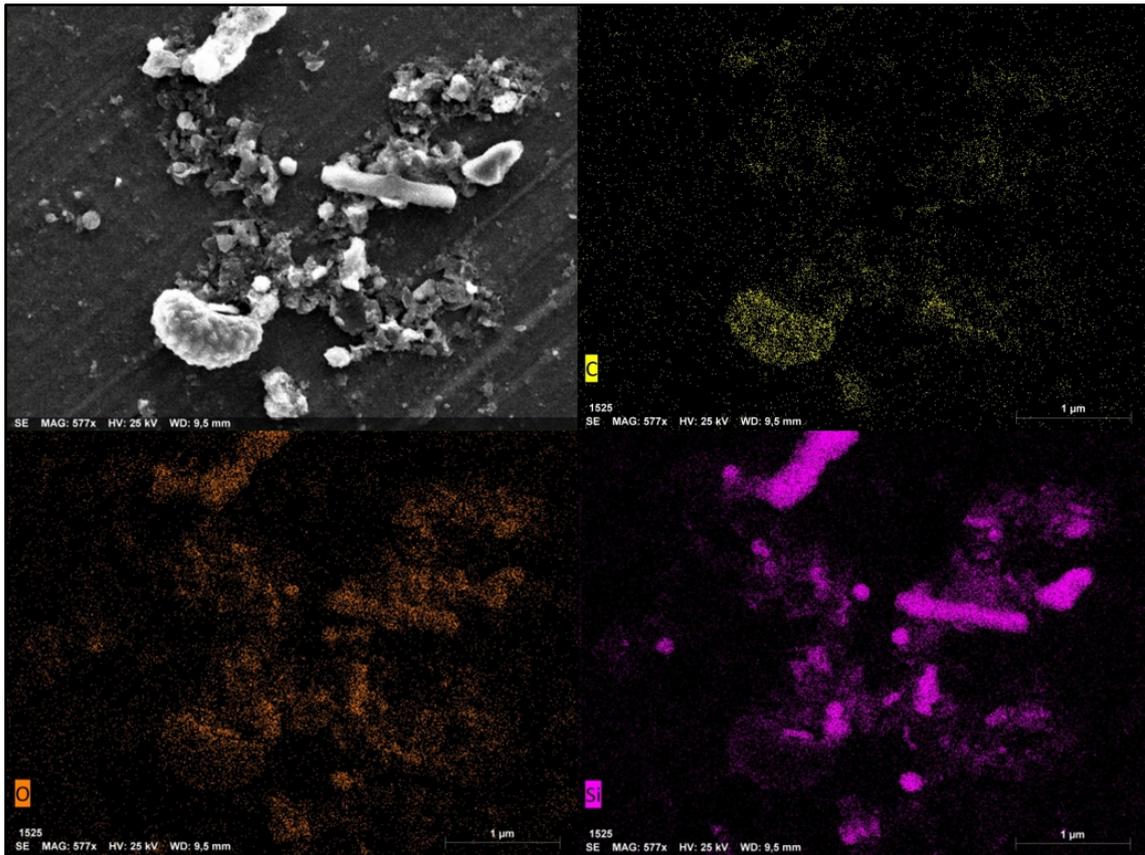


Figura 64 – Mapeamento químico da amostra P3.2 – 2019, realizado no MEV – EDS. Fonte: Autora (2020).

No ponto P3.2-2019 também foram observadas diatomáceas (Figura 65).

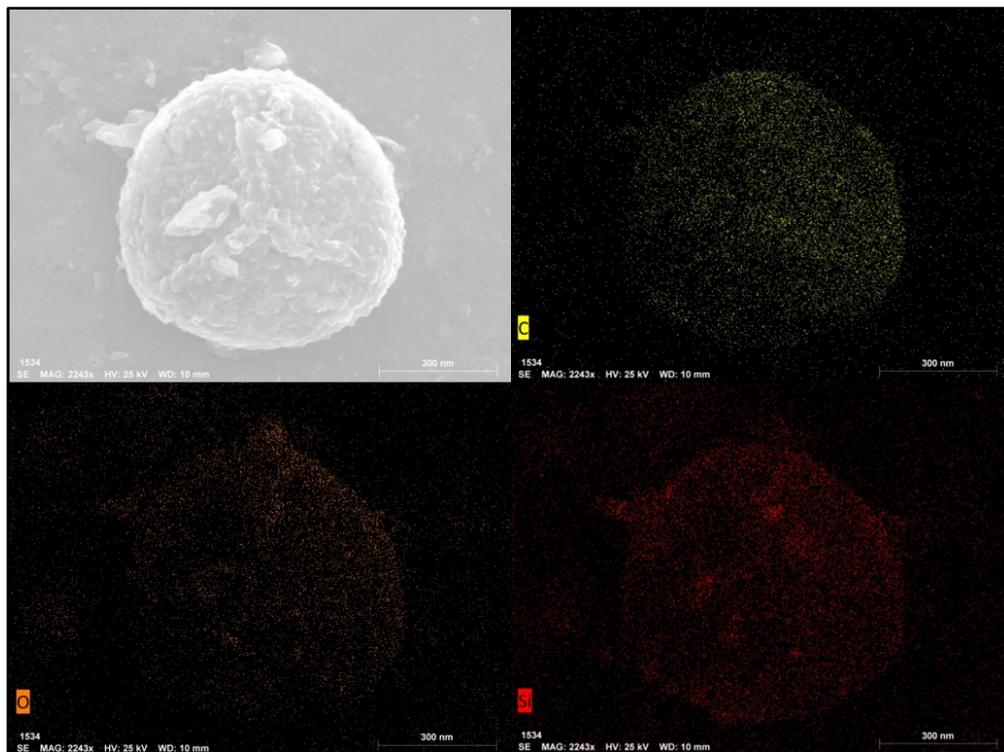


Figura 65 – Diatomácea observada na amostra do ponto P3.2 – 2019. Fonte: Autora (2020).

Na amostra do ponto P3.3-2019 foram observadas micropartículas antropogênicas compostas por carbono, oxigênio, silício e cálcio e uma com titânio em sua composição (Figura 66). Também foi observada uma partícula composta por carbono e oxigênio (Figura 67).

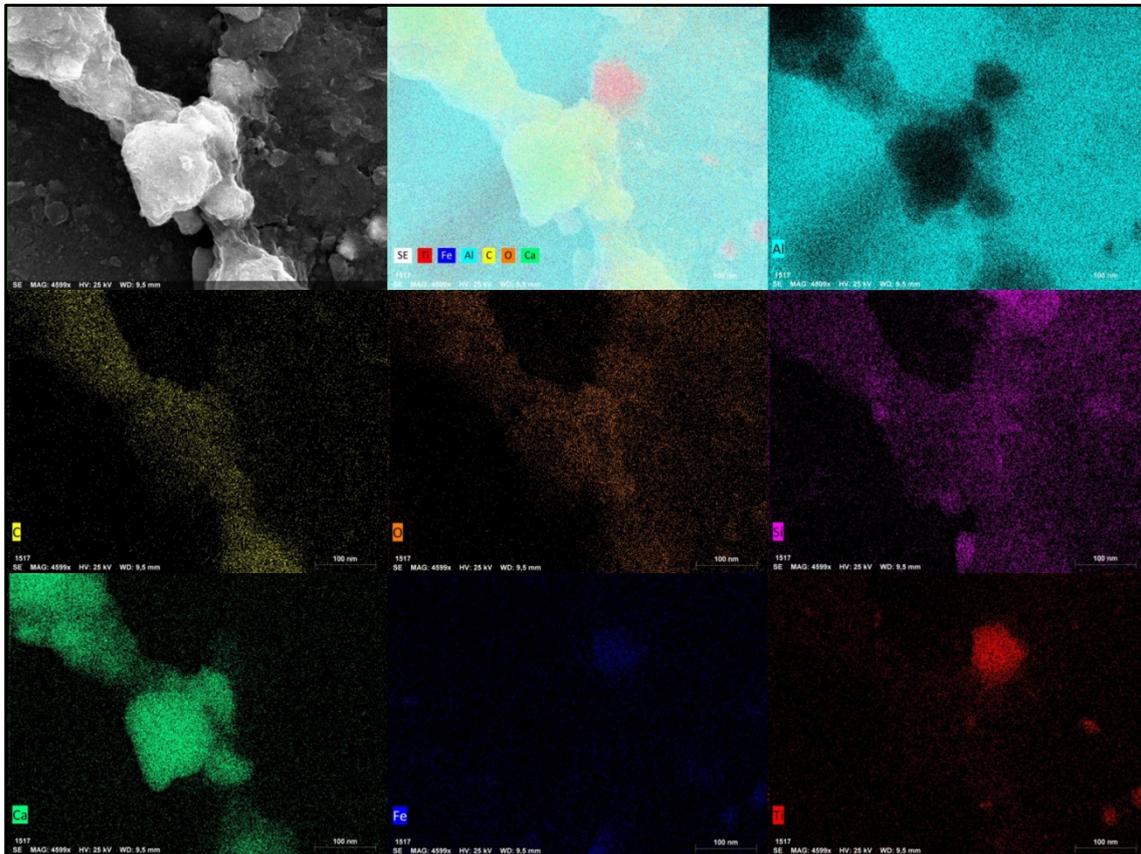
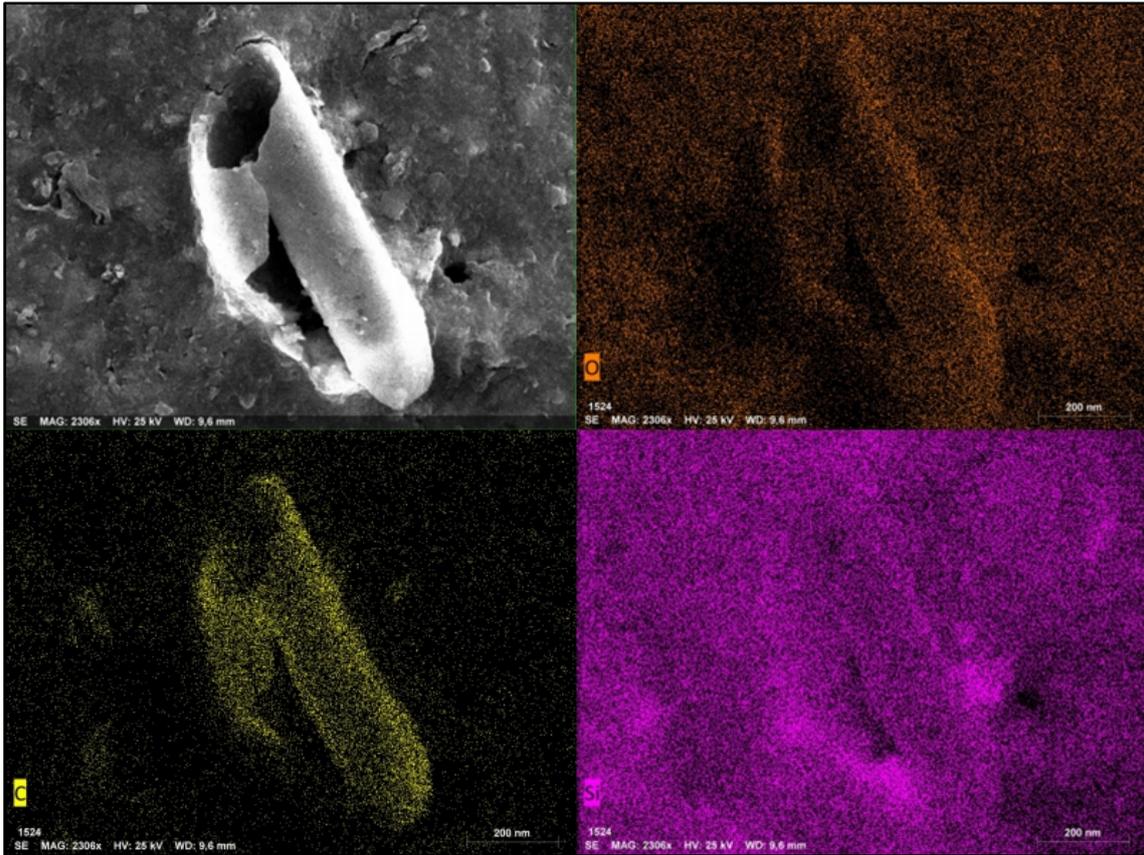
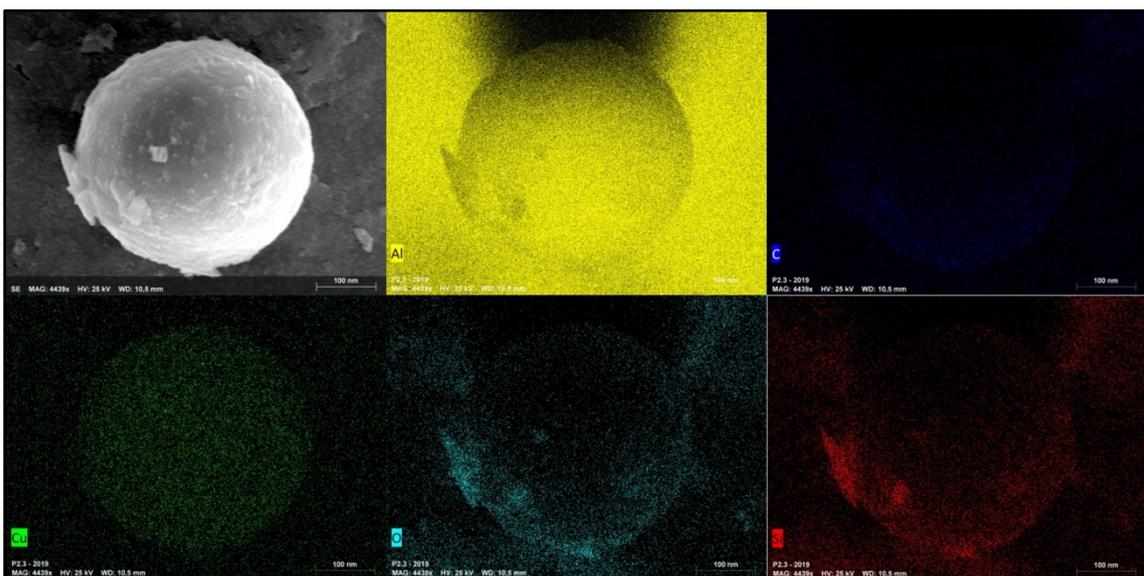


Figura 66 – Partículas observadas na amostra P3.3 – 2019. Fonte: Autora (2020).



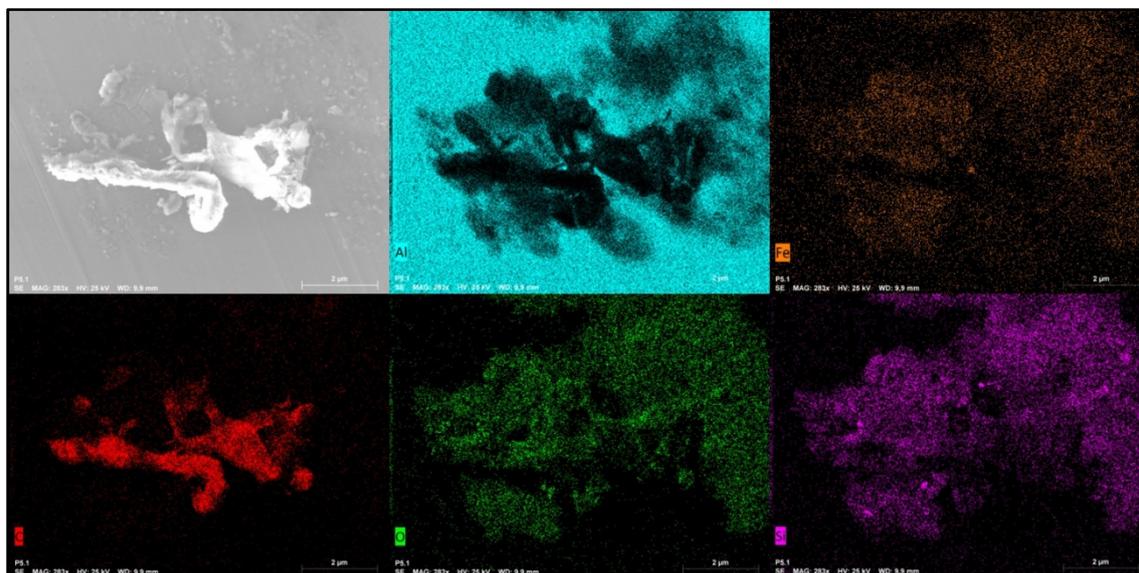
**Figura 67 – Partícula observada na amostra P3.3-2019. Fonte: Autora (2020).**

Na amostra do ponto P4.2-2019 foi observada uma esfera composta por alumínio, carbono, cobre, oxigênio e silício. Os sinais mais intensos são para o alumínio e o cobre, indicando que são compostos predominantemente por esses elementos (Figura 68).

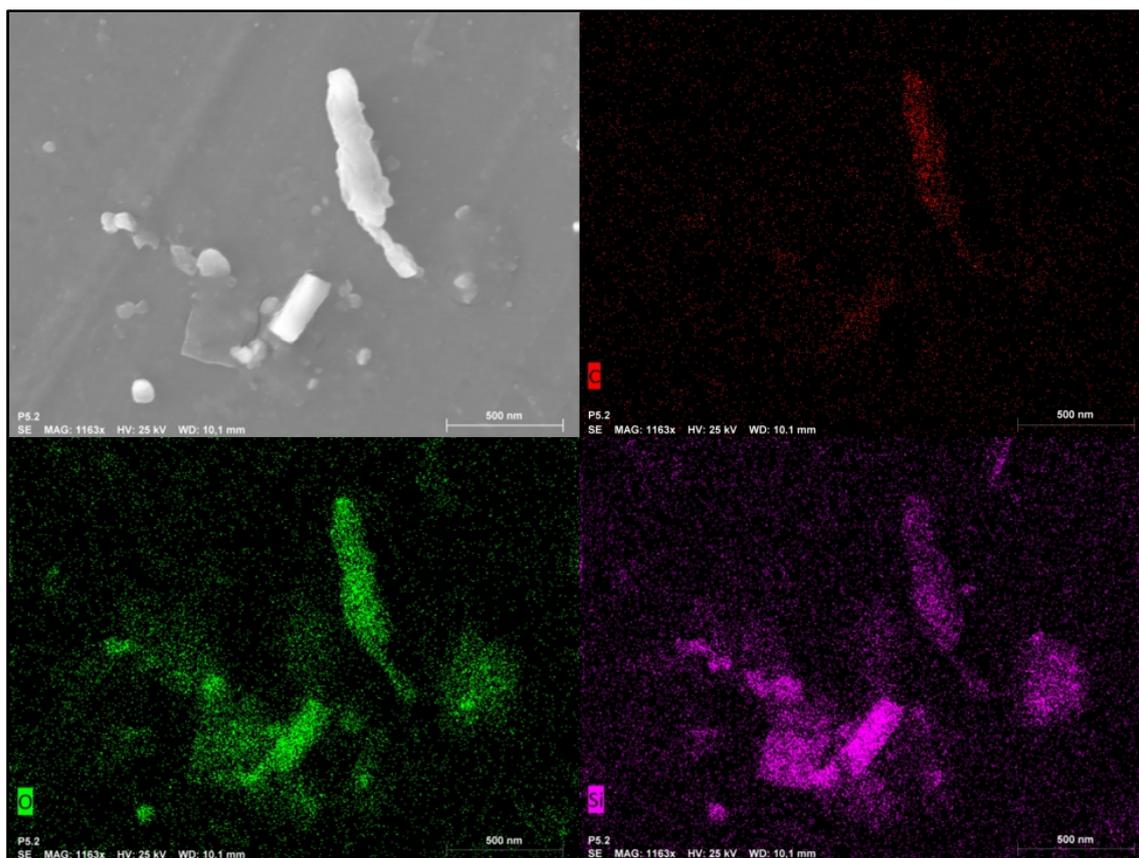


**Figura 68 – Partícula observada na amostra P4.2-2019. Fonte: Autora (2020).**

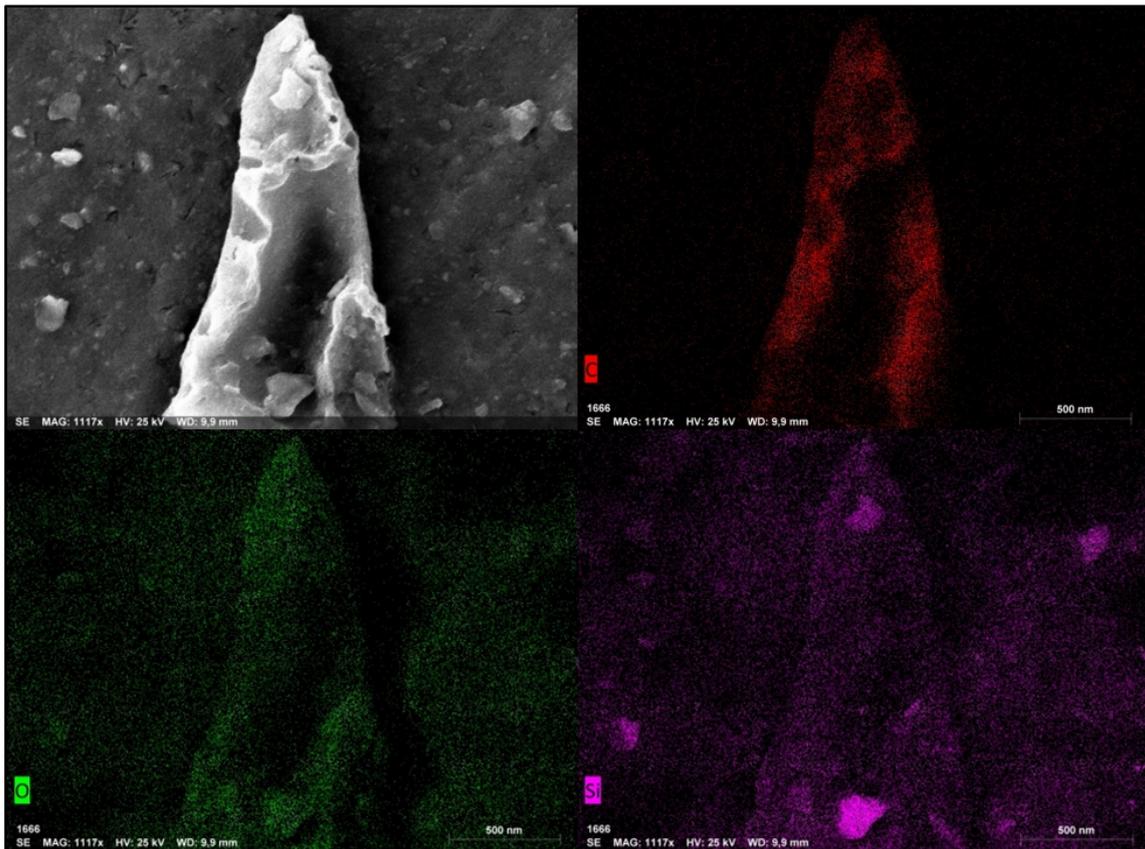
Na amostra do ponto P5.1-2019, P5.2-2019 e P5.3-2019 foram observadas micropartículas antropogênicas compostas por carbono e oxigênio (Figuras 69, 70 e 71).



**Figura 69 – Partículas observadas na amostra P5.1-2019. Fonte: Autora (2020).**



**Figura 70 – Partículas observadas na amostra P5.2-2019. Fonte: Autora (2020).**



**Figura 71 – Partícula observada na amostra P5.3-2019. Fonte: Autora (2020).**

Na amostra do ponto P6.1-2019 foi observada uma fibra composta por carbono e oxigênio (Figura 72).

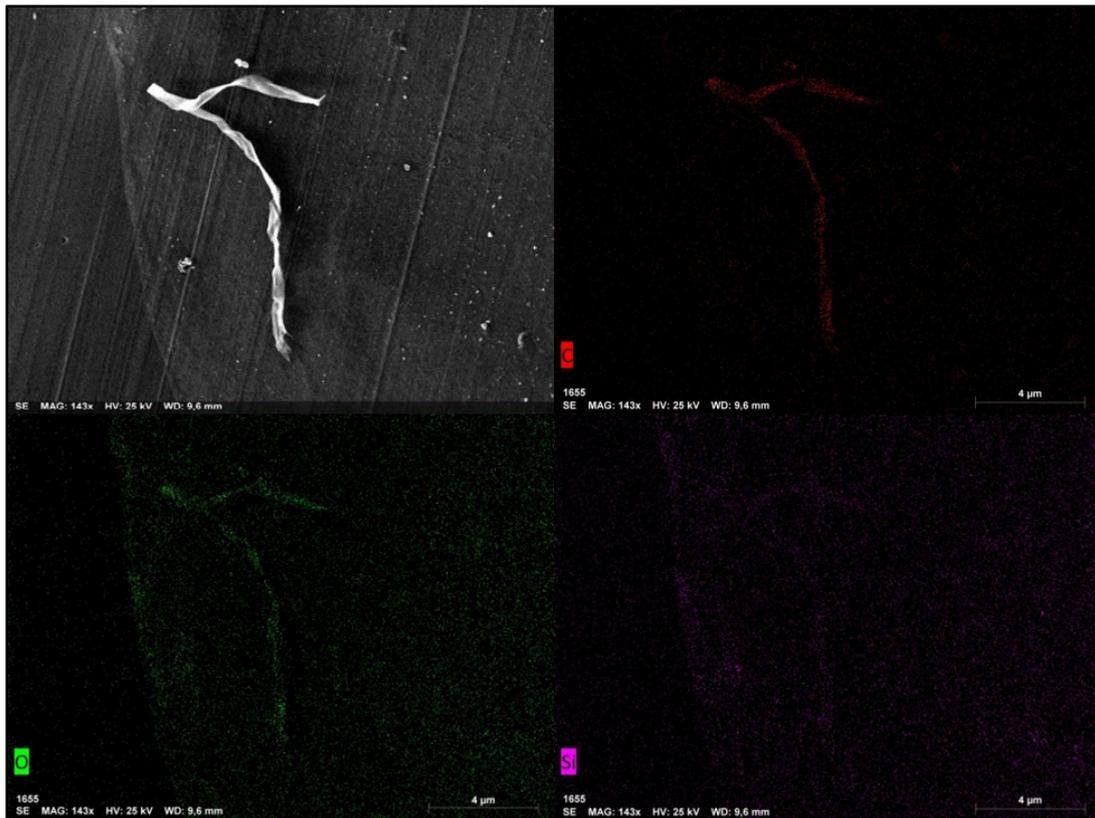


Figura 72 – Fibra observada na amostra P6.1-2019. Fonte: Autora (2020).

- *MEV-EDS: Amostras de 2018 (período chuvoso)*

As Figuras 73 e 74 apresentam a imagem e o mapeamento químico de micropartículas observadas na amostra P1.1-2018. No centro da imagem pode-se observar uma micropartícula composta por carbono e oxigênio.



Figura 73 – Partículas observadas na amostra P1.1-2018. Fonte: LCE (2020).

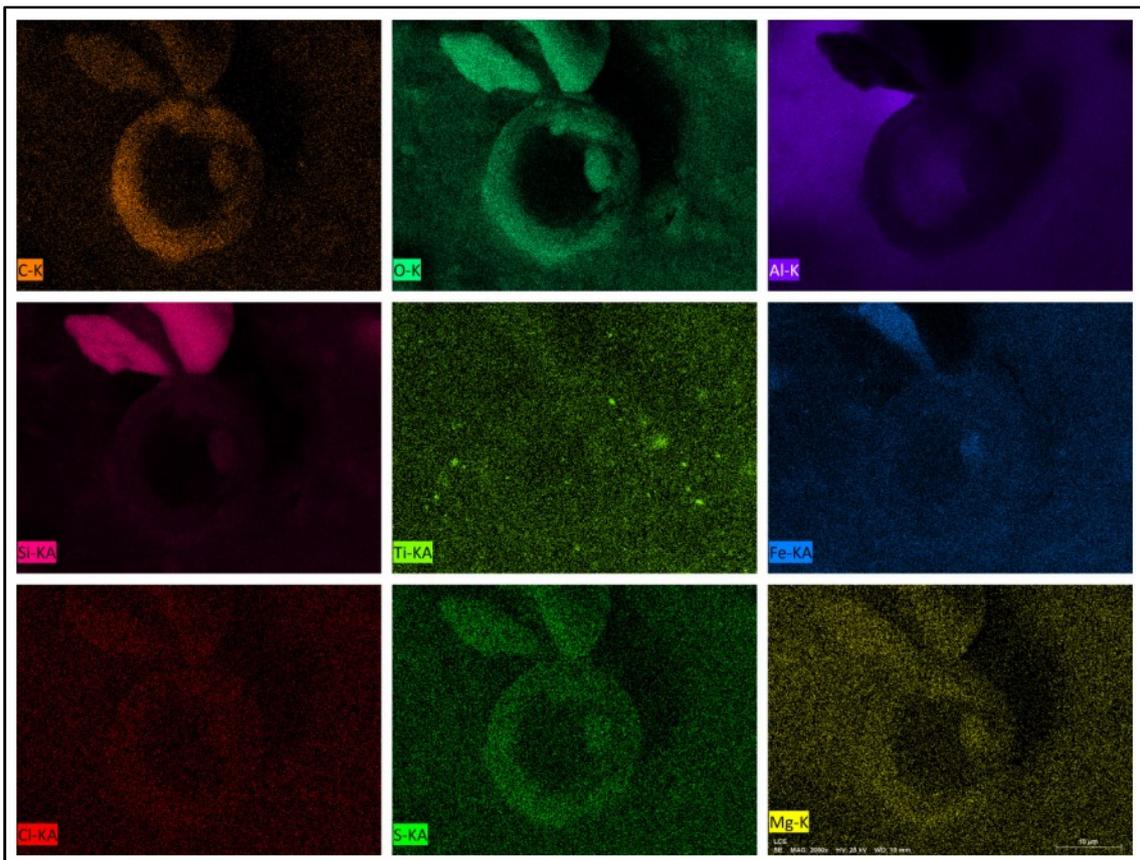


Figura 74 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P1.1-2018. Fonte: LCE (2020).

As Figuras 75 e 76 apresentam a imagem e o mapeamento químico de partículas observadas na amostra P1.2-2018. No canto superior direito possui uma partícula composta por oxigênio e carbono, podendo indicar algum material plástico. Do seu lado esquerdo, há uma partícula composta por titânio. Do lado superior esquerdo, é possível observar um exemplo de grão de sedimento natural.

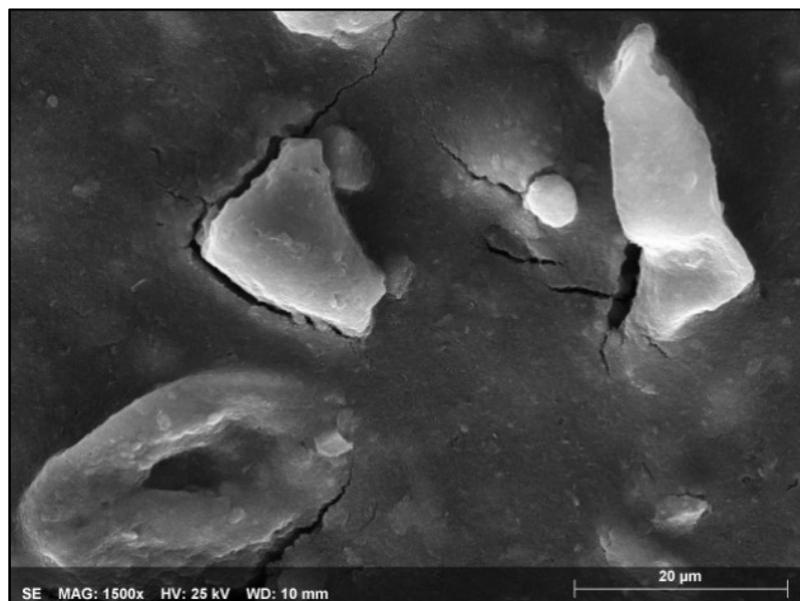


Figura 75 – Partículas observadas na amostra P1.2-2018. Fonte: LCE (2020).

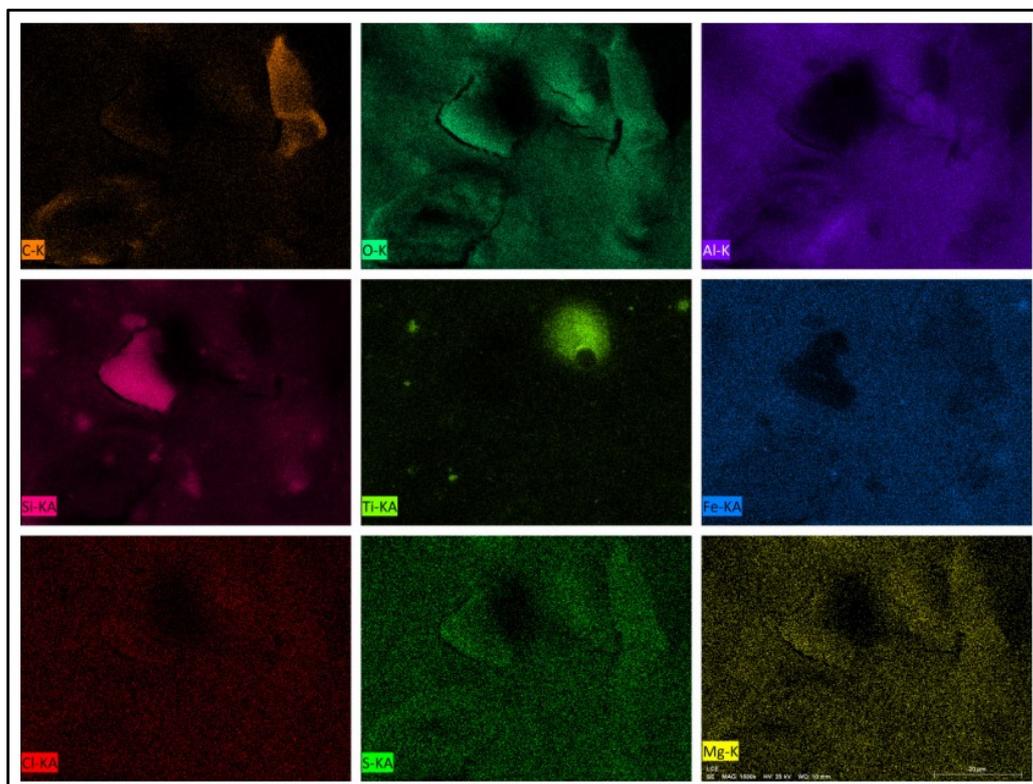


Figura 76 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P1.2-2018. Fonte: LCE (2020).

As Figuras 77 e 78 apresentam a imagem e o mapeamento químico de partículas observadas na amostra P2.1-2018. A partícula apresentada na região central da imagem é composta por carbono e oxigênio, apresentando um sinal menos intenso para o silício, podendo indicar ser um silicone.

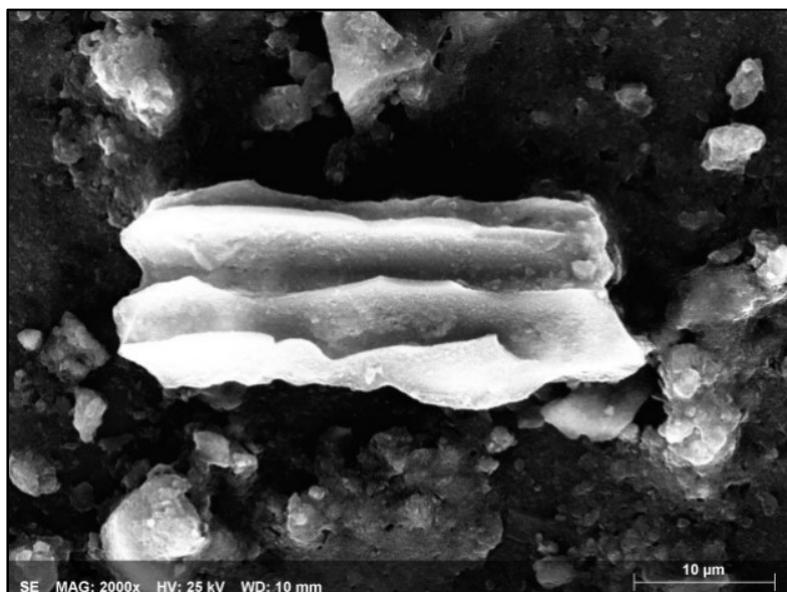


Figura 77 – Partículas observadas na amostra P2.1-2018. Fonte: LCE (2020).

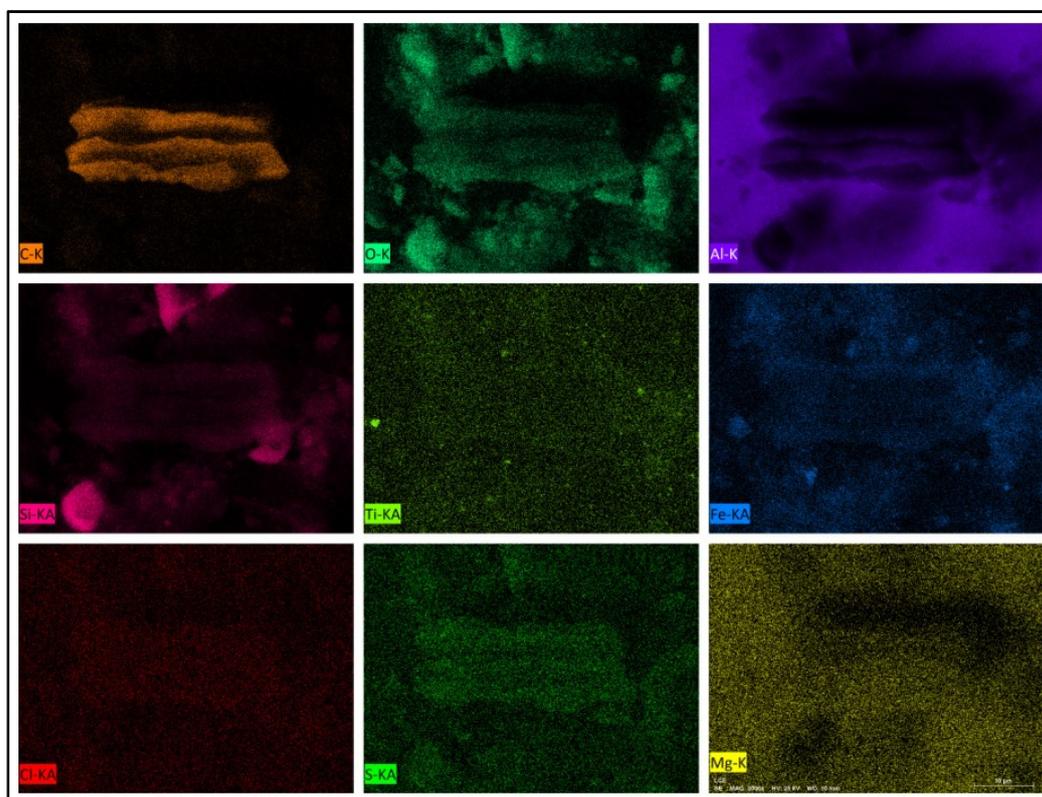
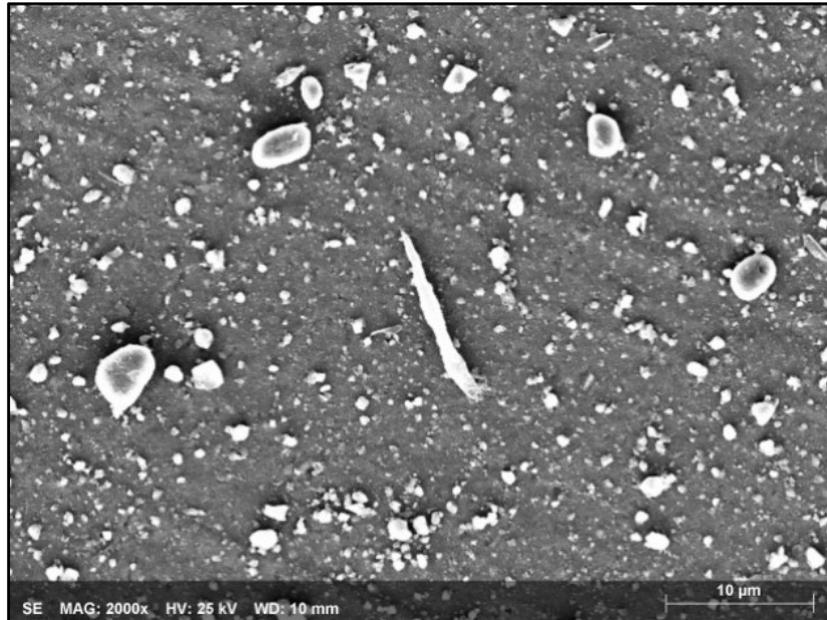


Figura 78 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P2.1-2018. Fonte: LCE (2020).

As Figuras 79 e 80 apresentam a imagem e o mapeamento químico de uma região da amostra P2.3-2018. As partículas com associação de carbono e oxigênio, no centro da imagem, podem indicar micropartículas antropogênicas. Em outras regiões da amostra há partículas compostas por ferro e titânio (ligas metálicas) e oxigênio e silício, apenas, característico de quartzo (material natural). Os elementos restantes podem ser ruídos nas análises químicas. Para maior detalhamento seria necessário maior aproximação das partículas, como feito para as amostras de 2019.



**Figura 79 – Partículas observadas na amostra P2.3-2018. Fonte: LCE (2020).**

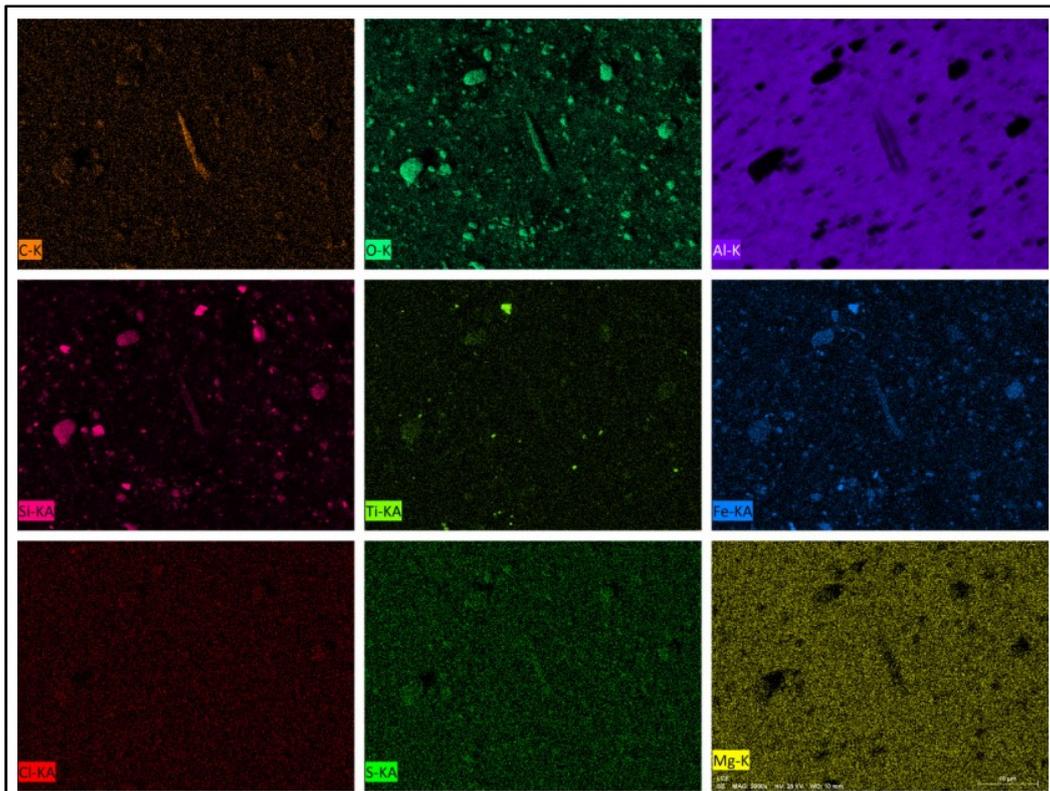


Figura 80 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P2.3-2018. Fonte: LCE (2020).

As Figuras 81 e 82 apresentam a imagem e o mapeamento químico de uma região da amostra P3.1-2018. As partículas com associação de carbono e oxigênio, no centro da imagem, podem indicar micropartículas antropogênicas tanto pela análise da composição quanto da morfologia da fibra. Em outras regiões da amostra há partículas compostas por titânio e ferro, que podem indicar ligas metálicas.

As figuras 83 e 84 apresentam a imagem e o mapeamento químico de outra região da amostra P3.1-2018, onde pode-se observar uma fibra que indica ser uma micropartícula antropogênica devido a composição e morfologia.

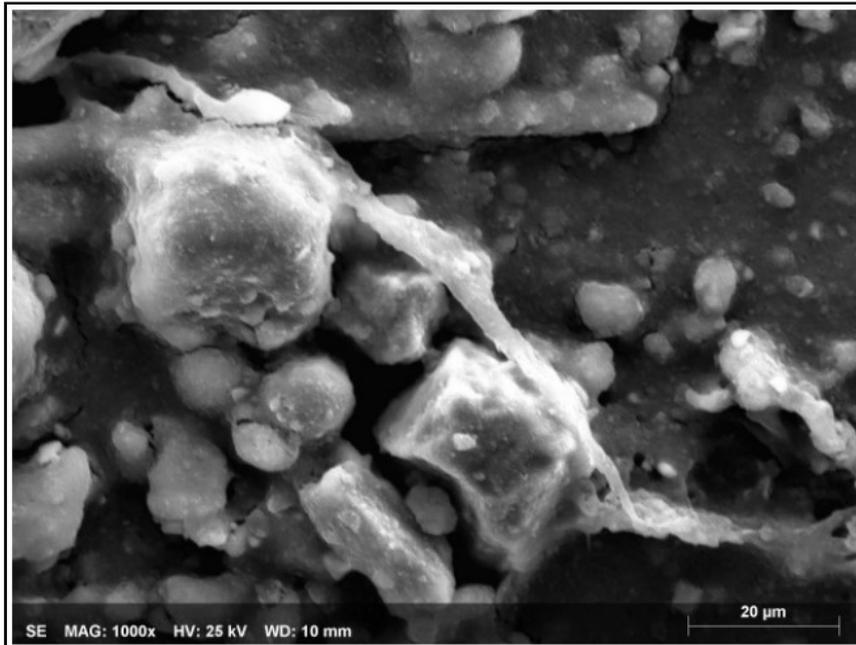


Figura 81 – Partículas observadas na amostra P3.1-2018. Fonte: LCE (2020).

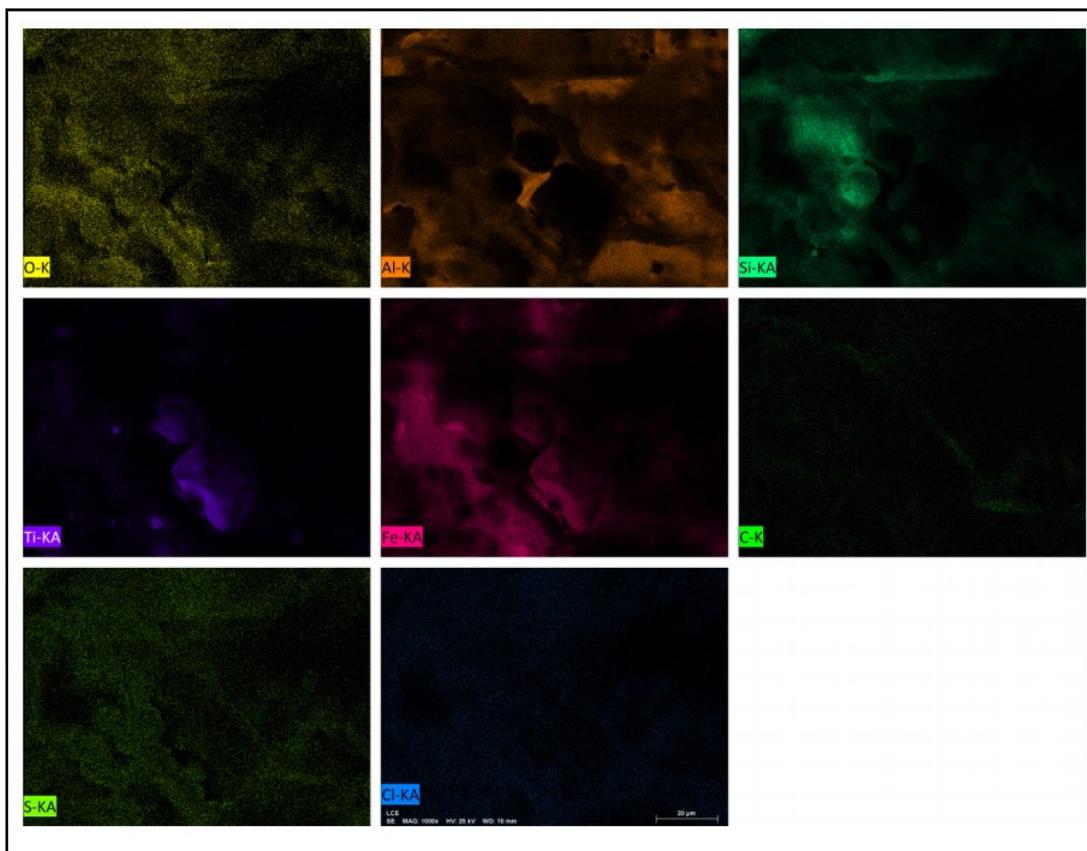
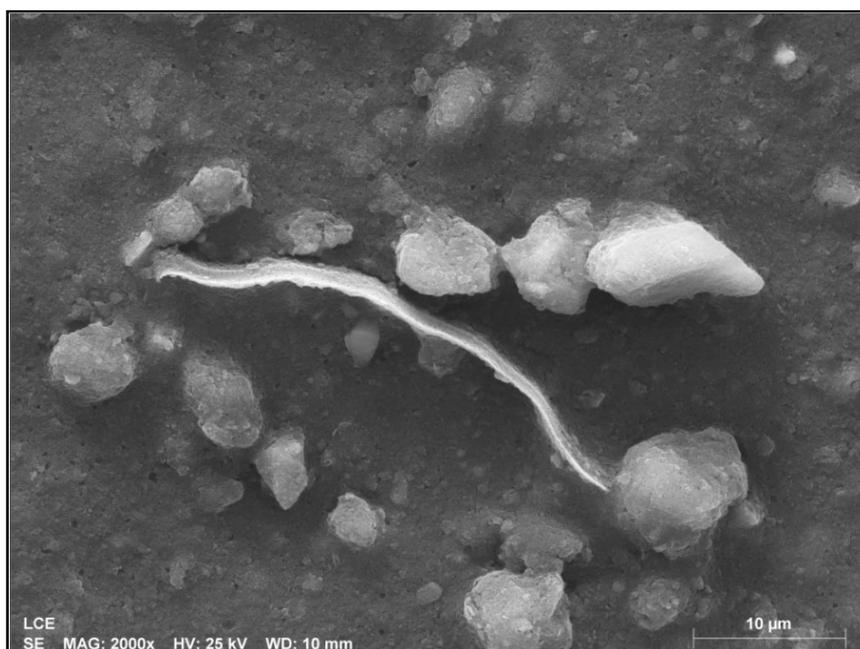
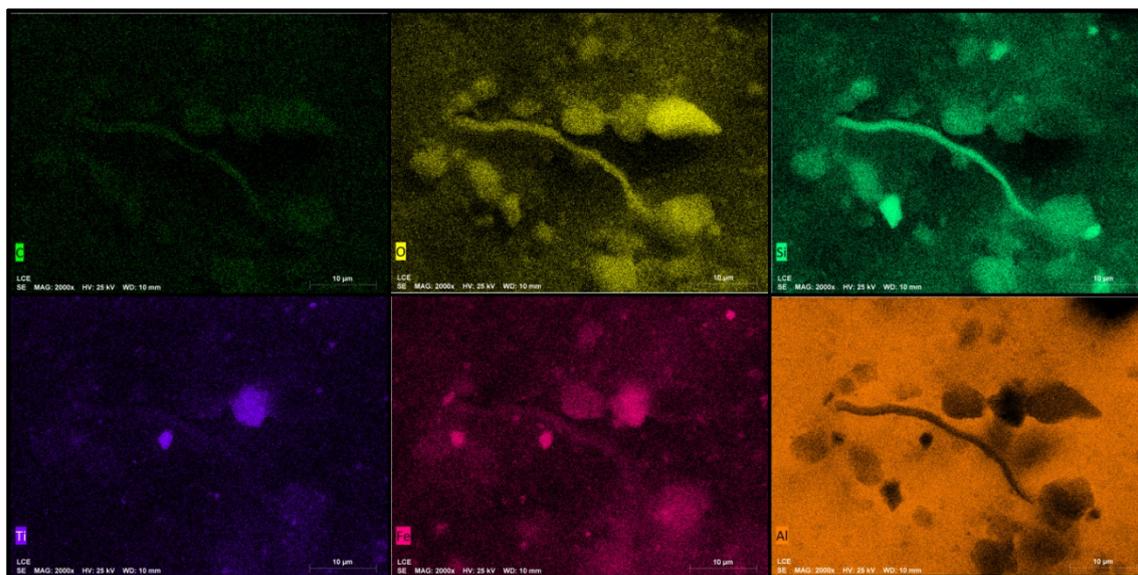


Figura 82 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P3.1-2018. Fonte: LCE (2020).



**Figura 83 – Micropartículas observadas na amostra P3.1-2018. Fonte: LCE (2020).**



**Figura 84 – Mapeamento químico das micropartículas observadas na amostra P3.1-2018. Fonte: LCE (2020).**

As Figuras 85 e 86 apresentam a imagem e o mapeamento químico de uma região da amostra P6.2-2018. Na imagem é possível observar uma partícula, na região central, composta por oxigênio e carbono. Na região superior da imagem é possível observar uma partícula composta por ferro e titânio.



Figura 85 – Partículas observadas na amostra P6.2-2018. Fonte: LCE (2020).

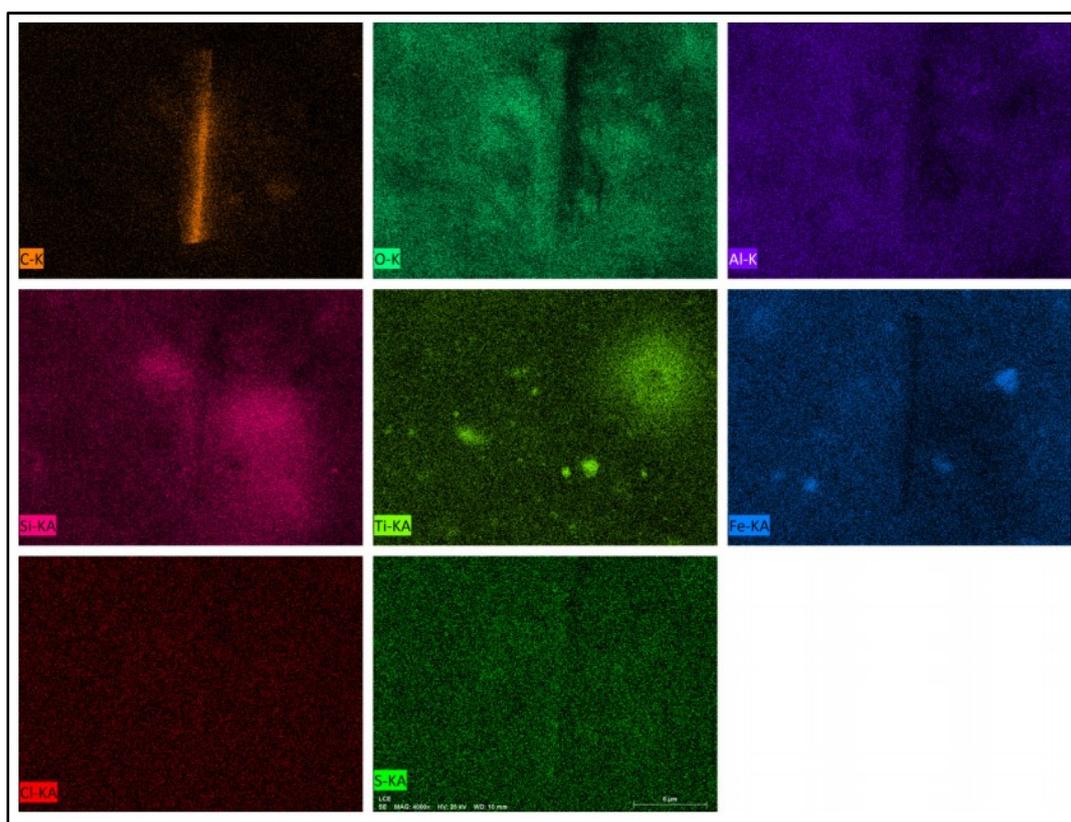


Figura 86 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P6.2-2018. Fonte: LCE (2020).

As Figuras 87 e 88 apresentam a imagem e o mapeamento químico de uma região da amostra P6.3-2018. Nesta imagem é possível observar uma partícula na região central, composta por oxigênio e carbono. No canto esquerdo também é possível observar uma partícula composta por titânio e ferro.

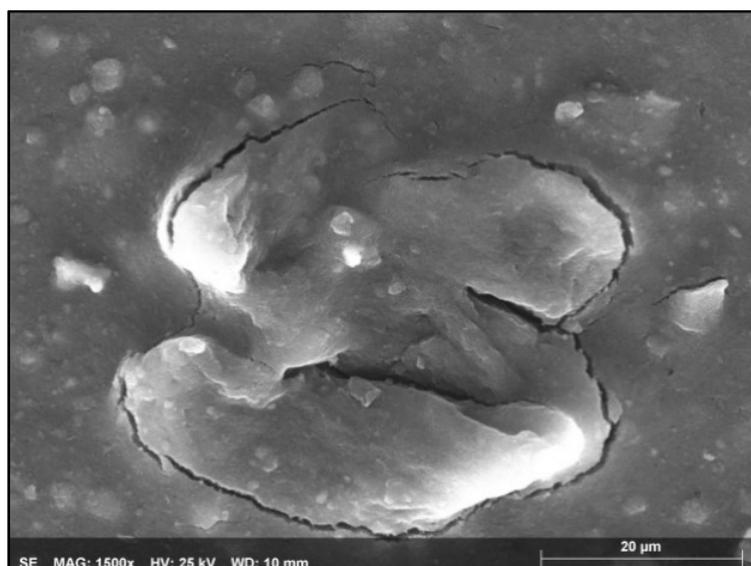


Figura 87 – Partículas observadas na amostra P6.3-2018. Fonte: LCE (2020).

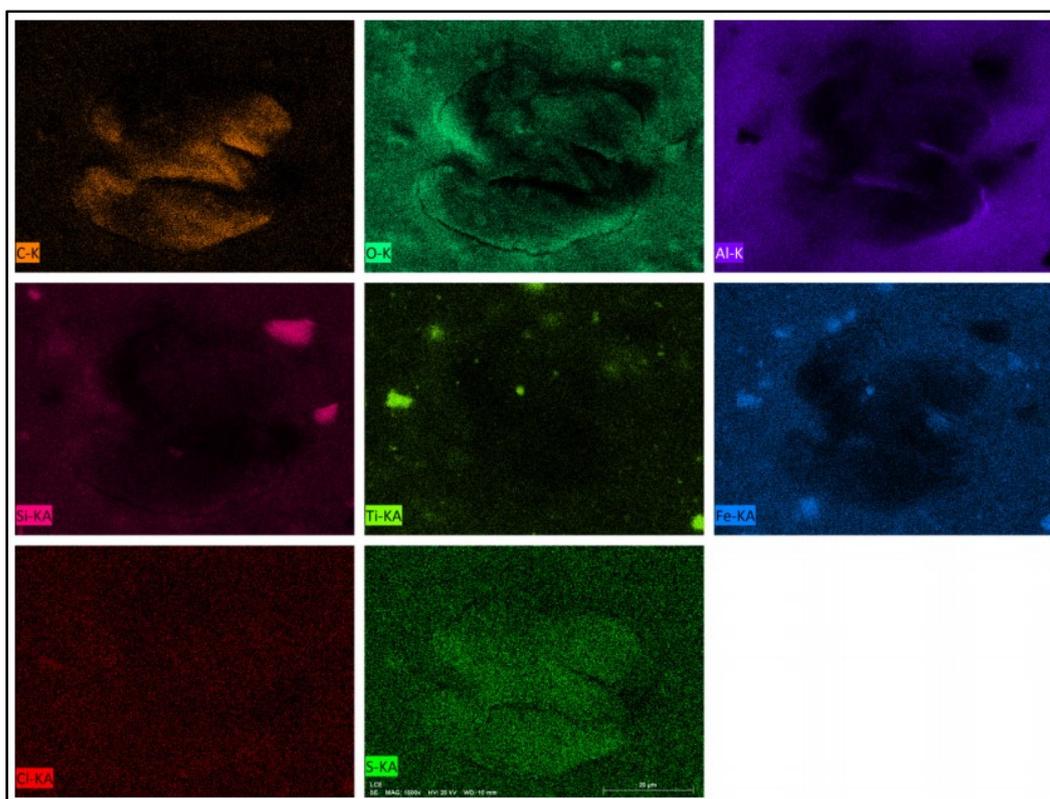


Figura 88 – Mapeamento químico das partículas observadas na amostra P6.3-2018. Fonte: LCE (2020).

- *Caracterização térmica por DSC: 2018/2019*

Os sedimentos foram caracterizados por calorimetria exploratória diferencial (DSC) para descrever as transições térmicas das partículas em diferentes temperaturas,

com foco na investigação de plásticos nas amostras. Esta técnica consiste no aquecimento ou resfriamento da amostra sob um gradiente de temperatura controlado e o fluxo de calor da amostra é medido, podendo-se identificar eventos endotérmicos ou exotérmicos em temperaturas que são características de cada material (CANEVAROLO JR., 2003). No caso de microplásticos, é possível detectar transições térmicas como a transição vítrea ( $T_g$ ) e ponto de fusão ( $T_m$ ) no aquecimento, e cristalização ( $T_c$ ) no resfriamento. A  $T_g$  ocorre como uma inflexão nas curvas de DSC, enquanto a fusão e a cristalização ocorrem como picos endotérmicos e exotérmicos, respectivamente. Os parâmetros térmicos dos principais polímeros termoplásticos são listados na Tabela 7.

**Tabela 7 – Parâmetros térmicos dos principais polímeros termoplásticos.**

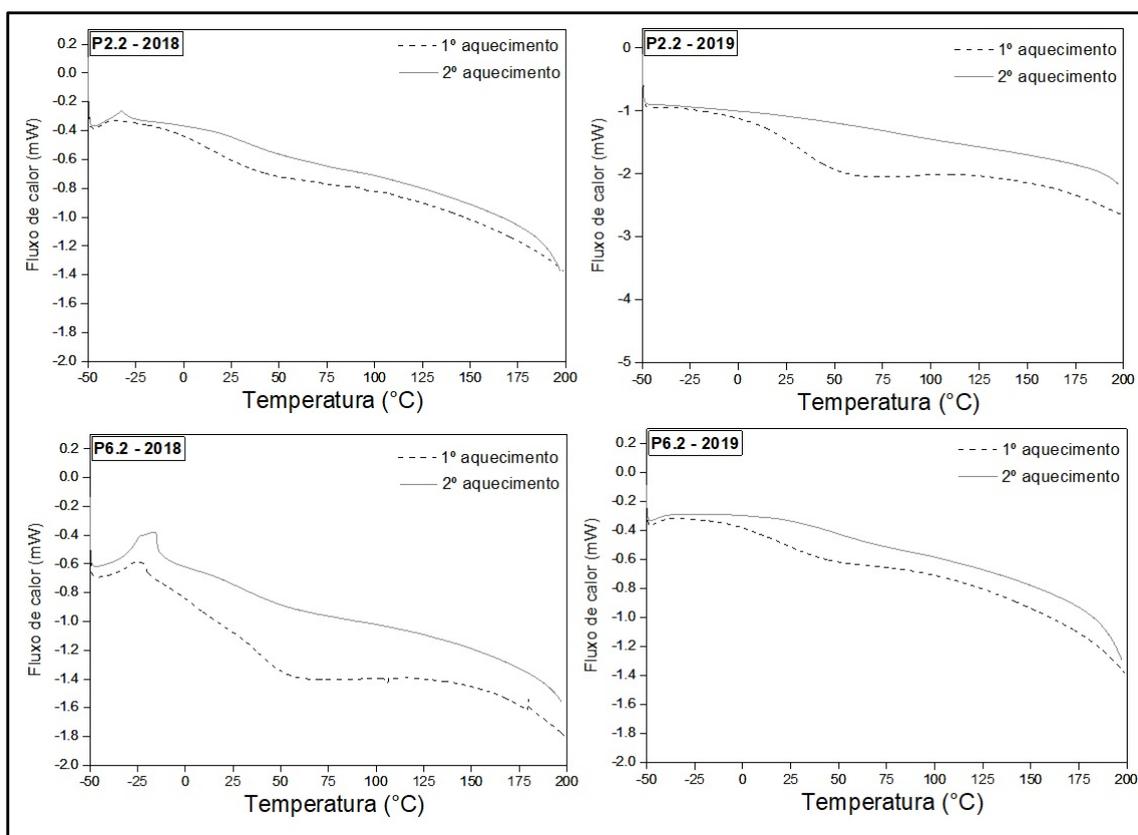
<b>Polímero</b>	<b><math>T_g</math> (°C)</b>	<b><math>T_m</math> (°C)</b>
<b>Polietileno de baixa densidade (PEBD)</b>	-120	115
<b>Polietileno de alta densidade (PEAD)</b>	-90	137
<b>Polipropileno (PP)</b>	-20	175
<b>Poli(cloreto de vinila) (PVC)</b>	105	210
<b>Poli(tereftalato de etileno) (PET)</b>	73	265
<b>Poliamida 6,6 (Nylon 6,6)</b>	57	265

Fonte: Wypych (2018). Org.: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.

Foram caracterizados os sedimentos coletados em 2018 e 2019 com duas sequências de aquecimento. O primeiro aquecimento foi realizado para eliminar a umidade das amostras, uma vez que a evaporação da água pode interferir na detecção das transições térmicas dos microplásticos. Dessa forma, o segundo aquecimento corresponde ao perfil térmico das amostras no estado seco. As curvas de DSC são representadas para as amostras dos pontos P2.2 e P6.2 coletadas em 2018 e 2019 na Figura 89. Todas as curvas podem ser consultadas no Apêndice A.

Para o primeiro aquecimento, é possível observar que todas as curvas apresentam um decréscimo gradual de fluxo de calor com o aumento da temperatura. Nota-se uma inflexão entre 25 – 75 °C com intensidade variando para cada amostra, porém presente em todas as curvas, a qual pode estar associada a eliminação da umidade residual dos sedimentos. Este resultado é confirmado através das curvas termogravimétricas, nas quais foi observada uma perda de massa em torno de 3 % nesta faixa de temperatura (Apêndice B). A análise também indicou que os sedimentos sofrem degradação a partir de 200 °C, o que limitou as análises de DSC até esta temperatura.

Para o segundo aquecimento, diferentes perfis foram observados em função do tipo de sedimento analisados. Em geral, a inflexão na faixa de 25 a 75 °C se manteve nas curvas, embora com uma menor intensidade, o que é ilustrado nas curvas dos sedimentos P2.2 - 2018, P6.2 – 2018 e P6.2 – 2019. Este resultado indica transições térmicas de outras partículas contidas no sedimento nesta faixa de temperatura. Para outros sedimentos, nenhum evento térmico foi observado em toda a faixa de temperatura analisada, indicando a ausência de microplástico nestas amostras. Isto é ilustrado pela curva do sedimento P2.2 – 2019.



**Figura 89 – Curvas de DSC (1º e 2º aquecimentos) dos sedimentos P2.2 e P6.2 coletados em 2018 e 2019. Taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. Atmosfera de N<sub>2</sub> (50 mL min<sup>-1</sup>). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.**

Considerando as temperaturas listadas na Tabela 7, sugere-se a presença de micropartículas de Nylon 6,6 e PET nos sedimentos P2.2 - 2018, P6.2 – 2018 e P6.2 – 2019, uma vez que as  $T_g$  desses plásticos estão compreendidas entre 50 e 75 °C. Estes resultados corroboram com a análise química realizada por MEV-EDS. É importante ressaltar que o valor da  $T_g$  depende da massa molar do polímero (MARK, 2007). Considerando que os microplásticos são materiais erodidos e fragmentados com

diferentes graus de degradação molecular, é esperado que a transição vítrea ocorra em uma faixa ampla de temperatura, ou seja, uma ampla faixa de  $T_g$  (SHABAKA *et al.*, 2019).

A Figura 90 mostra as curvas DSC para o sedimento P6.1 – 2018. Para esta amostra, foi possível detectar uma segunda inflexão em 75 °C, temperatura similar à  $T_g$  do PET, sendo outra indicação da presença desse microplástico no sedimento.

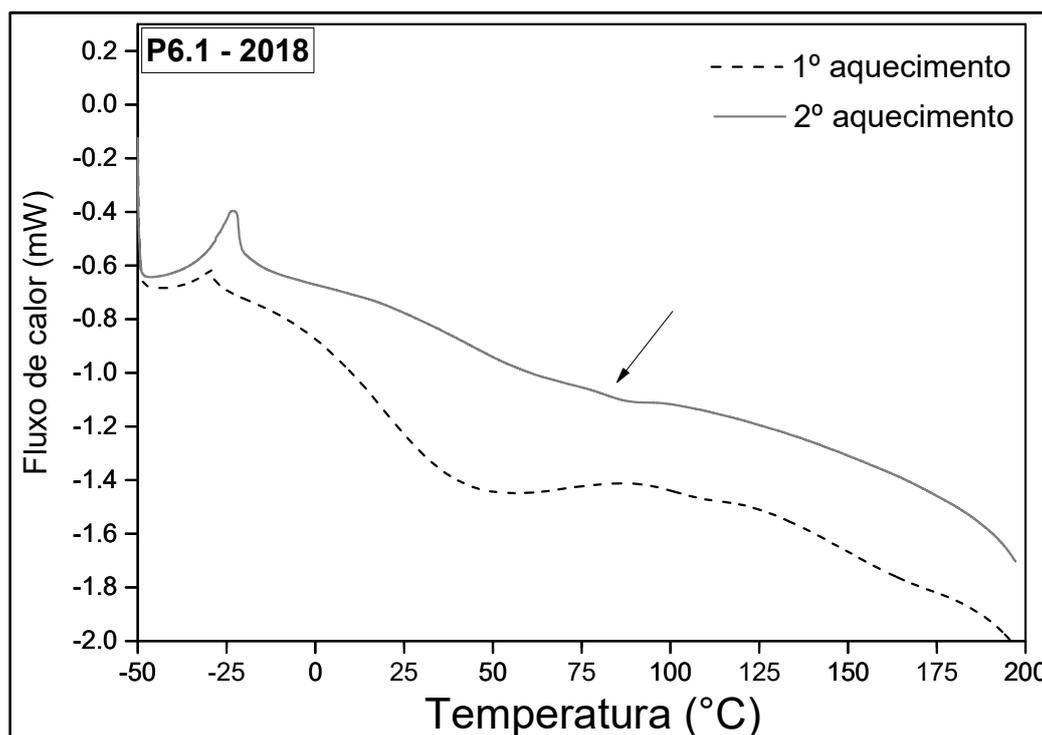


Figura 90 – Curvas de DSC (1º e 2º aquecimentos) do sedimento P6.1- 2018. Taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. Atmosfera de N<sub>2</sub> (50 mL min<sup>-1</sup>). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.

Para os sedimentos coletados em 2018, foi observado um pequeno pico exotérmico em torno de -25°C no 1º e 2º aquecimentos. Este pico pode ser visualizado nas curvas dos sedimentos P2.2 e P6.2. A identificação deste pico não foi possível devido à composição complexa das amostras, podendo estar associado tanto à fração orgânica quanto à fração inorgânica dos sedimentos (WU *et al.*, 2020).

No geral, os sedimentos apresentaram um comportamento homogêneo em relação aos ensaios de DSC. Indicações sobre a presença de outros microplásticos nas amostras não foi possível, o que pode estar associado ao fato de que a concentração desses materiais nos sedimentos estava abaixo do limite de detecção da DSC, embora esta seja uma técnica sensível para polímeros (SHABAKA *et al.*, 2019). Com base na

interpretação das Figuras 89 e 90 e nas curvas do Apêndice A, os possíveis microplásticos presentes nas amostras de sedimentos foram listados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Indicações dos tipos de microplásticos presentes nos sedimentos.**

<b>Sedimento</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>P2.1</b>	-	-
<b>P2.2</b>	PET + Nylon 6,6	-
<b>P2.3</b>	PEBD + PET + Nylon 6,6	-
<b>P4.1</b>	-	-
<b>P4.2</b>	-	-
<b>P4.3</b>	-	-
<b>P5.1</b>	-	-
<b>P5.2</b>	PET + Nylon 6,6	-
<b>P5.3</b>	PET + Nylon 6,6	PET + Nylon 6,6
<b>P6.1</b>	PET + Nylon 6,6	PET + Nylon 6,6
<b>P6.2</b>	PET + Nylon 6,6	PET + Nylon 6,6
<b>P6.3</b>	PET + Nylon 6,6	PET + Nylon 6,6
<b>P6.4</b>	PET + Nylon 6,6	-

Onde -, não foi detectada a presença de microplásticos.

Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.

### **6.3.5 Discussões**

Os pontos P6 e P2 são os que mais apresentaram fragmentos plásticos. E os pontos P6 e P1 apresentaram, em média, mais fibras. São estes três locais os com maiores níveis de materiais artificiais incorporados ao sedimento. Nos pontos P2 e P6 também foram observados mais materiais macroscópicos, principalmente plásticos. A presença de outros materiais como vidro ou papel é inexpressiva em todas as frações analisadas.

Nos pontos P1 e P2 ocorre ocupação urbana no entorno, sendo que no P2 essa atividade é mais intensa, sendo representada por bairros residenciais. O P6 está em uma área de represamento do córrego da Água Branca que vem da zona urbana, apresentando mais material artificial incorporado ao sedimento que os outros pontos, o que é esperado, uma vez que, ao entrar em um ambiente lântico, os sólidos suspensos na água sedimentam. Deve-se considerar também que esse ponto é o receptor de toda drenagem da área urbana assentada na bacia, incluindo toda a diversidade de usos do solo e refletindo também os impactos da urbanização.

No ponto P3, a jusante da ETE, não foi observada uma quantia significativa de material artificial. Neste ponto a ocupação no entorno não é intensa e também há mata

ciliar preservada que pode agir na contenção de resíduos que possam alcançar os recursos hídricos.

Apesar de a ETE ser uma fonte de microplásticos ao ambiente aquático, não foi observada uma quantia expressiva de material artificial no sedimento coletado nessa região. Esse mesmo resultado foi obtido por Crew, Gregory-Eaves e Ricciard (2020), no Canadá. Na pesquisa, não encontraram abundância significativa de microplásticos próximo à ETE. Crew, Gregory-Eaves e Ricciard (2020) e Hoellein et al. (2017) observaram que a concentração de microplástico não se correlaciona com a distância jusante à localização da ETE uma vez que os efluentes são descartados em regiões de fluxo rápido, sendo assim, dispersados e transportados os microplásticos.

O ponto P4, localizado dentro da estação experimental em meio a plantios de pinus e eucalipto, não apresentou material artificial, conforme esperado. Essa diferença é estatisticamente significativa em relação aos outros pontos. Dessa forma, nota-se que a ocupação urbana interfere na composição do sedimento e que ocorre a incorporação de materiais artificiais no leito dos corpos hídricos. O uso do solo florestal, mesmo não sendo natural, não degradou os sedimentos fluviais.

A camada superficial do sedimento possui um maior aporte de materiais artificiais e nas camadas inferiores há menos materiais. É estatisticamente significativa a diferença entre a camada mais profunda do sedimento amostrado e as camadas superiores. Desse modo, podemos inferir que a maior parte do material que é sedimentado é transportada e que pode estar ocorrendo um maior aporte atualmente. Esse transporte pode ocorrer principalmente devido à ação da chuva, que revolve o sedimento e o transporta com o aumento do fluxo do canal.

Também foi observada uma quantia maior de material artificial na coleta de 2018 em comparação à de 2019, o que pode estar associado com os índices pluviométricos da região. No período de abril a julho de 2018 a precipitação na bacia Água Branca foi baixíssima, chovendo em menos de quatro dias por mês e menos de 10 mm. Em agosto, outubro e novembro de 2018, ocorreu uma precipitação maior, chovendo aproximadamente 50 mm em cada mês. Ou seja, ocorreu um momento com chuvas pouco intensas que podiam transportar materiais artificiais para os corpos hídricos, mas que logo sedimentariam nas zonas de remanso.

Após novembro de 2018 as chuvas começaram a aumentar, tanto em volume de precipitação e como em número de dias precipitados. Ocorreu um grande evento no mês de fevereiro, com cerca de 180 mm de precipitação de 14 dias precipitados. Esses eventos podem ter revolvido o sedimento e transportado o material artificial para jusante, uma vez que ocorreu também o aumento do fluxo dos canais.

Com relação às análises realizadas no MEV, foi possível identificar alguns polímeros presentes nas amostras. No sedimento existe polímeros com adição de silício, cloro e nitrogênio. Também foi possível observar algumas ligas metálicas e diatomáceas. O MEV e o mapeamento químico por EDS mostraram-se como ferramentas interessantes para caracterizar o sedimento na microescala e em escala nanométrica. As análises do MEV associadas ao DSC permitiram compreender a composição das amostras e os resultados obtidos foram complementados, permitindo inferir a presença de náilon, PEBD e PET nas amostras, além de possíveis silicones e PVC observados pelo mapeamento químico por EDS.

No ponto P6 foram observados mais vestígios de micro e nanoplásticos no MEV-EDS e nas análises de DSC. O ponto P2 também apresentou mapeamentos químicos que indicam a presença de plásticos e além do PET e náilon, há indícios de PEBD na análise de DSC. No ponto P4, a análise DSC não identificou curvas de comportamentos de materiais plásticos nas amostras. Para melhores conclusões é necessário realizar as análises para todas as amostras.

#### **6.4 Medidas de gestão ambiental**

McEachern *et al.* (2019) afirmam que é impraticável, se não, impossível, retirar microplásticos da coluna d'água ou separar essa contaminação dos sedimentos e que a melhor forma de se diminuir os riscos potenciais dessa contaminação é controlando a fonte de entrada de microplásticos no sistema aquático.

Além disso, é importante destacar a limitação financeira que os municípios brasileiros enfrentam não tendo verba para grandes investimentos na gestão ambiental. A organização World Wildlife Fund - WWF (2018) ressalta que desde 2013, ano a ano o financiamento da área ambiental vem diminuindo em todas as esferas do governo.

É bastante difundido o conhecimento e os impactos dos resíduos no oceano, porém esses impactos nos ambientes de água doce não são popularmente conhecidos, do mesmo modo que a pesquisa nesse campo também é recente, não havendo estudos conclusivos sobre o impacto dos microplásticos no organismo humano, por exemplo.

Dessa forma, é importante destacar a importância da Educação Ambiental nas escolas e nos projetos de extensão das Universidades, onde se podem elaborar projetos de difusão científica sobre o tema e, através de parcerias, levar conhecimento para a comunidade.

Algumas medidas que podem ser adotadas são voltadas à conscientização e sensibilização ambiental sobre a degradação dos ambientes aquáticos, a ingestão de microplástico pelos invertebrados e peixes que, conseqüentemente são consumidos pelos humanos e os possíveis impactos a saúde humana. Ressaltar a importância do consumo consciente, redução do consumo, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos sólidos. Essas medidas de educação podem ocorrer nos ambientes de educação formais, bem como nos não formais. No Apêndice C são apresentadas três propostas de folhetos de educação ambiental com as temáticas abordadas neste trabalho e parte dos resultados encontrados.

Itirapina tem um grande potencial turístico e de Educação Ambiental, considerando os atrativos naturais e as Unidades de Conservação Ambiental. Logo o município pode investir nesse segmento e inserir a pauta de educação ambiental abrangendo a problemática com os microplásticos, uma vez que toda a drenagem urbana deságua na represa Tibiriçá, pertencente à Estação Experimental de Itirapina, sendo, inclusive, um dos pontos de maior acúmulo de micro e macroplásticos na bacia.

O Poder Público Municipal deve investir no cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, investir em políticas de comando e controle, coibindo o descarte inadequado dos resíduos nas margens dos corpos hídricos ou terrenos ociosos. Também é importante a adoção de medidas de fiscalização ao cumprimento da legislação ambiental sobre as áreas de preservação permanente e restauração das matas ciliares, que agem contendo os resíduos sólidos e evitando que os mesmos cheguem ao curso dos córregos.

O Município também pode estimular a logística reversa no comércio através de legislações na esfera municipal que torne obrigatória a logística reversa de alguns

resíduos bem como realizar a fiscalização no comércio local. Além disso, faz-se necessária a divulgação sobre as ações e pontos de logística reversa já existentes no município.

A limpeza das vias públicas também é importante para evitar que o resíduo chegue aos corpos hídricos bem como a limpeza das margens da represa, instalação de lixeiras nas proximidades, uma vez que o mesmo é bastante frequentado pela população, e campanhas de coleta dos resíduos que ficam sedimentados no ambiente de transição de lótico para lêntico do córrego da Água Branca, no início da represa Tibiriçá.

Uma outra medida que pode ser implantada é o tratamento do *first flush* (volume inicial escoado do evento pluviométrico). Esta medida demandaria investimento na readequação das redes de drenagem da cidade. Jorge e Hanai (2020) apresentam um levantamento comparativo de diversas técnicas que podem ser empregadas para o tratamento do *first flush*, e concluíram que a aplicação combinada de *Wetland* (jardim infiltrante) e sementes de moringa são uma alternativa de baixo custo de implementação e alto potencial de tratamento dessa água residuária.

A instalação de grades e/ou caixas coletoras nas bocas de lobo e bueiros também são uma medida estrutural que auxiliam na contenção dos resíduos sólidos, evitando que os mesmos alcancem a os corpos hídricos. O material coletado pode posteriormente ser triado e destinado adequadamente para a reciclagem ou destinação final.

As medidas supracitadas são possíveis de serem aplicadas na realidade do município de Itirapina. Além disso, destaca-se a importância do investimento na pesquisa e desenvolvimento de plásticos biodegradáveis economicamente viáveis de serem produzidos para substituir o empregado atualmente nas embalagens de alimentos, reduzindo assim o impacto desse material à biota bem como o acúmulo de resíduos nos aterros sanitários.

## 7. CONCLUSÕES

---

Nesta pesquisa desenvolvemos o amostrador em PVC geomecânico, que cumpriu com as funções e mostrou-se uma ferramenta viável devido a restrições orçamentárias e ausência de um amostrador do tipo *corer* industrialmente produzido que pudesse ser utilizado. A degradação da matéria orgânica das amostras é importante para facilitar a visualização e identificação óptica dos materiais artificiais incorporados ao sedimento, bem como viabilizar análises químicas no MEV – EDS e DSC. O mapeamento do uso do solo, geologia e declividade aliado às análises do sedimento permitem compreender a dinâmica de composição do sedimento e os impactos da ocupação nesse compartimento.

Pode-se concluir que na bacia do córrego da Água Branca ocorre a artificialização do sedimento dos corpos hídricos da área urbana, sendo que os microplásticos são os materiais mais significativos incorporados ao perfil do sedimento.

No leito dos córregos é possível observar a sedimentação e o acúmulo de materiais visíveis a olho nu (macro fragmentos) como papelões, plásticos e restos de materiais da construção civil.

Por se tratar de um ambiente lântico, a represa Tibiriçá possui maior acumulação de micro e macroplásticos, além de também ser um ponto receptor de toda a drenagem da bacia do córrego da Água Branca. Foi possível coletar embalagens datadas em 1993, mostrando a degradação causada pela má gestão dos resíduos sólidos.

A represa também desempenha o papel de conter que esses resíduos sejam transportados para jusante, dado que, no ponto após a represa não foi encontrada uma quantidade significativa de material artificial.

Do material observado, a menor concentração está na camada mais profunda do sedimento, o que pode indicar que a maior parte do material sedimentado é transportado, principalmente quando ocorrem eventos de chuva, que movimentam o material, aumentando o fluxo dos canais e facilitando seu transporte.

Também deve ser considerada a possibilidade de que as camadas superficiais estejam recebendo maior aporte de materiais artificiais que as anteriores. Para verificar essa possibilidade, é necessário realizar a datação do sedimento e analisar conjuntamente aos dados de crescimento populacional de Itirapina.

Pode-se concluir que o tipo e a intensidade do uso do solo influenciam na quantidade de microplásticos. Considerando os ambientes lóticos, no sedimento coletado no ponto localizado no afluente do córrego da Água Branca, em área urbana (P1), foi observada uma quantidade inferior encontrada no ponto do centro urbano (P2). Nesse afluente ocorre um uso antrópico menos intenso e existe uma vegetação composta por gramíneas nas margens do córrego.

O ponto do centro urbano é cercado pelo uso comercial e habitacional além de não possuir vegetação ciliar. Neste ponto foi observada a maior concentração de materiais artificiais. O ponto localizado em área de uso rural apresentou menos material artificial em relação aos outros dois.

Através do MEV-EDS foi possível observar algumas micropartículas antropogênicas (algumas em escala nanométrica) e o DSC detectou a presença de alguns plásticos. A MEV permitiu entender a morfologia dos materiais, a EDS permitiu entender a composição química das amostras, e a DSC permitiu confirmar a presença de polímeros e inferir qual o tipo de micro e nanoplástico presente na amostra.

Destaca-se a necessidade de intervenção para evitar que, com o crescimento da cidade, essa artificialização se intensifique. Uma vez que os microplásticos são consumidos pelos invertebrados aquáticos e pelos peixes, que por sua vez servem de alimento aos humanos (efeitos deletérios ainda desconhecidos para os humanos).

Algumas medidas de gestão ambiental sugeridas são o investimento da sensibilização e conscientização ambiental, em espaços de educação formais e não formais, restauração da vegetação ciliar, maior fiscalização do descarte inadequado de resíduos e ações de limpeza pública. Essas medidas podem auxiliar no melhor gerenciamento dos resíduos sólidos bem como estimular a redução do consumo, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos sólidos domésticos.

Como perspectivas futuras de pesquisa, destacam-se a importância de investigar os ambientes lênticos, uma vez que estes acumulam grande parte do material drenado. Também é importante estudar o impacto da artificialização à biota, investigando o consumo deste material pelos invertebrados aquáticos e ictiofauna.

Algumas análises adicionais que podem agregar aos resultados obtidos até o momento é realizar a datação do sedimento e realizar as análises químicas para todas as amostras. A datação permitiria analisar se a menor incidência de materiais artificiais nas camadas mais profundas está relacionada com uma quantidade populacional menor no passado. As análises químicas se realizadas em todas as amostras permite gerar comparações embasadas entre os pontos.

Para estudos futuros que busquem estudar a artificialização do sedimento fluvial, sugere-se que seja realizada a separação granulométrica, que o material visível a olho nu seja triado e o restante seja analisado com o auxílio de estereomicroscópio.

Para os materiais maiores que 1 mm, pode-se adotar as metodologias de estudo de microplástico, dado que a presença de outros materiais como papel, vidro e metal incorporados no sedimento não são significativas. A degradação da matéria orgânica é uma etapa que facilita a triagem e identificação dos materiais artificialmente produzidos.

É necessário cuidado com a contaminação da amostra. Evitar o uso de utensílios plásticos durante as análises, utilizar um ambiente controlado, sem correntes de ar e proteção das amostras na etapa de degradação de MO. É importante colocar uma amostra como branco para verificar a contaminação do ambiente.

Nos estudos de partículas microscópicas a nanométricas, o cuidado com a contaminação deve ser ainda maior. Faz-se necessário tomar um cuidado maior com as fontes de contaminação da amostra, como as correntes de ar. Também é necessário filtrar toda a água utilizada na lavagem de vidrarias, inclusive o peróxido de hidrogênio utilizado na degradação da MO.

Uma análise adicional que agrega ao resultado do estudo do sedimento considerando diferentes profundidades é a datação por carbono, associada ao mapeamento do histórico de ocupação do uso do solo, para verificar se existe relação entre a profundidade e a evolução do crescimento urbano de um município.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ALVEZ, V. E. N.; FIGUEIREDO, G. M. Microplastic in the sediments of a highly eutrophic tropical estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 326-335, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X19304886>. Acesso em Jul. 2020.

ANTHROPOCENE WORKING GROUP – AWG. What is the Anthropocene? – current definition and status. S.d. Disponível em: <http://quaternary.stratigraphy.org/working-groups/anthropocene/>. Acesso em Jul. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST. **Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico - Perfil 2017**. 2017. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/file/download/2018/Perfil-2017.pdf>. Acesso em: Abr. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2018/2019**. ABRELPE, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: Jul. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM ISSO 3310-2: peneiras de ensaio - requisitos técnicos e verificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS - PLASTICS EUROPE. **Plastics – the Facts 2018: An analysis of European plastics production, demand and waste data**. 60 p. 2018. Disponível em: [https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics\\_the\\_facts\\_2018\\_AF\\_web.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf). Acesso em: Jul. 2019.

BEZERRA, J. M.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M. Caracterização do processo de poluição dos sedimentos do rio Apodi-Mossoró no trecho urbano de Mossoró - RN. **Sociedade&Natureza**, Uberlândia, v. 30, n.3. p. 108-126. Set./Dez. 2018. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/37349>. Acesso em jul. 2019.

BIGINAGWA, F. J. et al. First evidence of microplastics in the African Great Lakes: recovery from Lake Victoria Nile perch and Niletilapia. **Journal of Great Lakes Research**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 146–149, Feb. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-great-lakes-research/vol/42/issue/1>. Acesso em Jul. 2019.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v. 26, n. 2, p. 211-252. 1964. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~abe/lista/pdfQWacMboK68.pdf>. Acesso em Jul. 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso em Dez. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso em: Ago. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em Out. 2019.

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011. Disponível em: [http://www.etecgv.com.br/docs/atividades/quimica/q\\_qualitativa\\_rosana\\_2le2h.pdf](http://www.etecgv.com.br/docs/atividades/quimica/q_qualitativa_rosana_2le2h.pdf). Acesso em Jun. 2020.

BROWNE, M. A. et al. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. **Environ. Sci. Technol.** Washington, v.45, p. 9175-9179, Sep. 2011. Disponível em: [https://www.plasticsoupfoundation.org/wp-content/uploads/2015/03/Browne\\_2011-EST-Accumulation\\_of\\_microplastics-worldwide-sources-sinks.pdf](https://www.plasticsoupfoundation.org/wp-content/uploads/2015/03/Browne_2011-EST-Accumulation_of_microplastics-worldwide-sources-sinks.pdf). Acesso em Jul. 2019.

BUENO, L. M. M. Faixas marginais aos rios urbanos: o que fazer? **Revista Oculum Ensaios**, [s. l.], n. 6. 2006. Disponível em: <http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/oculum/article/viewFile/380/360>. Acesso em: Mai. 2016.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F.; POVINELLI, J. **Sustentabilidade: um desafio na gestão de recursos hídricos.** São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 80 p. 2010.

CANDIAN, L. M. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CANEVAROLO JR. **Técnicas de Caracterização de Polímeros.** Artiliber Editora. São Paulo. 448 p. 2003.

CAVALCANTE, K. **Diatomáceas – as algas douradas.** 2012. Disponível em: [https://docs.ufpr.br/~veiga/ficologia/diatomaceas.html#:~:text=Diatom%C3%A1ceas%20s%C3%A3o%20microrganismos%20eucariontes%20unicelulares,%20sedimento%20\(epip%C3%A9licas\).](https://docs.ufpr.br/~veiga/ficologia/diatomaceas.html#:~:text=Diatom%C3%A1ceas%20s%C3%A3o%20microrganismos%20eucariontes%20unicelulares,%20sedimento%20(epip%C3%A9licas).) . Acesso em Jul. 2020.

COELHO, T. M.; CASTRO, R.; GOBBO JR. J. A. PET containers in Brasil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 55, n. 3, p. 291-299, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/8864>. Acesso em: Jul. 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos - 2017.** Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. 2017. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2018/06/inventario-residuos-solidos-urbanos-2017.pdf>. Acesso em: Jun. 2019.

CÔRTEZ, Ariane Raissa Pinheiro. **Fácies e associação de fácies da formação Pirambóia na região de Descalvado/SP**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo. 2013.

COX et al. Human Consumption of Microplastics. **Environ. Sci. Technol.** v. 53, p. 7068-7074. 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.9b01517>. Acesso em: Jan. 2020.

CREW, A.; GREGORY-EAVES, I.; RICCIARDI, A. Distribution, abundance, and diversity of microplastics in the upper St. Lawrence River. **Environ Pollut**, [s. l.], v. 260, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119348419>. Acesso em: Jul. 2020.

CRUZ, M. A. S. et. al. Valorização da água no meio urbano: um desafio possível. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais [...]**. Aracaju, 2001.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras. Materiais Poliméricos, metálicos e semicondutores**. 2007. Centro de Microscopia Eletrônica e Microanálise, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

DEMO, P. **Introdução à Sociologia - Complexidade, Interdisciplinaridade e Desigualdade Social**. Atlas, São Paulo, 2002.

DIKAREVA, N.; SIMON, K. S. Microplastic pollution in streams apanning na urbanisation gradient. **Environ Pollut**, [s. l.], v. 258, p. 292–299, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119302222>. Acesso em: Jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. **Súmula...** Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª Ed, Rio de Janeiro, 212 p, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Ed, Rio de Janeiro, 306 p, 2006. E-book. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: Jul. 2019.

FABRO, A. T.; LINDEMANN, C.; VIEIRA, S. C. Utilização de sacolas plásticas em supermercados. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 15-23, 2007. Disponível em:

<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/70>. Acesso em: Jul. 2019.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. A. Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, [s. l.], v. 12, n.1, p. 1-10, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9876.pdf>. Acesso em: Jul. 2019.

FREE, C. M. et al. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. **Mar. Pollut. Bull**, Bethesda, v. 85, n. 1, p. 156–163, Aug. 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24973278>. Acesso em: Jul. 2019.

FRÍAS, A. C.; LEMA, I. I.; GARCÍA, A. G. La situación de los envases de plástico en México. **Gaceta Ecológica**, México, n. 69, p. 67-82, Oct./ Dic. 2003. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906905.pdf>. Acesso em: Jul. 2019.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE. **Perfil dos municípios paulistas: Itirapina**. Disponível em: <http://www.perfil.seade.gov.br/?>. Acesso em: Abr. 2020.

FUNVERDE – Organização Não Governamental. **A evolução do plástico – A origem das sacolas plásticas**. s/d. Disponível em: <https://www.funverde.org.br/blog/sacolas/evolucao-do-plastico/>. Acesso em: Fev. 2019.

G1. Honda abre fábrica de Itirapina, SP, pronta e fechada desde 2016. **Auto Esporte**. 27/02/2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/carros/noticia/2019/02/27/honda-inaugura-nova-fabrica-de-itirapina-sp-com-producao-do-fit.ghtml>. Acesso em: jul. 2019.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. Amostragem de sedimentos para análise de metais pesados. In: FILIZOLA, H. F. GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. (org.). **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise de qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 119-126. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129660/1/2006OL-008.pdf>. Acesso em: Jul. 2019.

GUARIENTO, A. **Itirapina: Relato de sua história (de 1883 a 1936)**. Editora Ave Maria Ltda. São Paulo, 64 p. 1987.

HANVEY, J. S. et al. A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments. **Anal. Methods**, v. 9, p. 1369-1386. 2017. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/AY/C6AY02707E#!divAbstract>. Acesso em Jul. 2020.

HIDALGO-RUZ, V. et al. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. **Environ. Sci. Technol.** v. 46, 2012. p. 3060-3075. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es2031505>. Acesso em Jul. 2020.

HOELLEIN, T. J. et al. Longitudinal patterns of microplastic concentration and bacterial assemblages in surface and benthic habitats of na urban river. **Freshwater**

**Science**, v. 36, n. 3. 2017. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/citedby/10.1086/693012>. Acesso em Jul. 2020.

HONORATO, Eliane Valentim. **Sedimentos da Lagoa Olho D'água: geocronologia e acumulação de metais traços**. 2002. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

IMHOF, H. K. et al. Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. **CurrBiol**, [s. l.], v. 23, n. 19. p. 867–868, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24112978>. Acesso em: Jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades: Itirapina**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/itirapina/panorama>. Acesso em: Jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manuais técnicos em geociências. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª Ed. Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO FLORESTAL. **Estações Ecológica e Experimental de Itirapina**. 2017. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/Itirapina/>. Acesso em: Mar. 2018.

JESUS, H. C. et al. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória - ES. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422004000300004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000300004). Acesso em: Jul. 2019.

JIANG, C. et al. Microplastic pollution in the river of the Tibet Plateau. **Environ Pollut**, [s. l.], v. 249, p. 91-98, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30884397/>. Acesso em Jul. 2020.

JORGE, N. L.; HANAI, F. Y. Gestão de águas pluviais urbanas: potencialidades da adoção de sistemas de tratamento de águas residuárias para o *first flush*. **R. Gest. Sust. Ambient**. Florianópolis, v. 9, n. 2. P. 492-489. Abr/Jun. 2020.

KAY, P. et al. Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments. **Environmental Science and Pollution Research**, Bethesda, v. 25, n. 20, p. 20264-20267, Jun. 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29881968>. Acesso em: Jul. 2019.

KHAN, F. R. et al. Microplastics in inland African waters: presence, sources and fate. In: WAGNER M.; LAMBERT S. **Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants?** Switzerland: Springer, v. 58, Jul. 2017. p. 101-124. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-61615-5.pdf>. Acesso em Jul. 2019.

KLEIN, S. et al. Analysis, Occurrence, and Degradation of Microplastics in the Aqueous Environment. In: WAGNER M.; LAMBERT S. **Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants?** Switzerland: Springer, v. 58, Jul. 2017. p. 51-

67. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-61615-5.pdf>. Acesso em Jul. 2019.

KOELMANS, A. A. Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. **Environ. Sci. Technol.** v. 50, n. 7, Mar. 2016. p. 3315-3326. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b06069>. Acesso em Jan. 2020.

LAVINA, E. L. C. Formação Pirambóia: um episódio de desertificação da Bacia do Paraná ao final do Permiano? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE. **Anais [...]**, Rio de Janeiro, p. 8-9, 1989.

LECHNER, A. et al. The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter out numbers fish larvae in Europe's second largest river. **Environ Pollut**, [s. l.], v. 188, n. 100, p. 177-181, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3989055/>. Acesso em: Jul. 2019.

MUMFORD, L. **A cidade na história** – Suas origens, transformações e perspectivas. Editora Martins Fontes. 1982.

MANI, T. et al. Microplastics profile along the Rhine River. **Sci. Rep.**, [s. l.], v. 5, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep17988.pdf>. Acesso em: Jul. 2019.

MAPBIOMAS. **Coleção de mapas de uso e cobertura do solo**. Disponível em: <http://mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em: Abr. 2019.

MARK, J. E. **Physical Properties of Polymers Handbook**, 2<sup>nd</sup> edition, Springer Science + Business Media, LLC, Spring Street, New York (NY), p. 187 – 216, 2007.

MASSOLI, Marcos. **Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, no município de Ribeirão Preto (SP), e sua aplicação na prospecção de águas subterrâneas**. 2007. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

MAUELSHAGEN, F. Reflexiones acerca del Antropoceno. **Desacatos**, México, n. 54, p. 74-89, maio/agosto 2017. Disponível em: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1607-050X2017000200074&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-050X2017000200074&lng=es&nrm=iso). Acesso em: Abr. 2018.

MCEACHERN, K. et al. Microplastics in Tampa Bay, Florida: Abundance and variability in estuarine waters and sediments. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v.148, p. 97-106, Nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X19306083?via%3Dihub>. Acesso em: Jul. 2020.

MIGUENS, F. C. et al. Microscopia Analítica como Ferramenta no Estudo de Sedimentos. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 3, n. p. 60 – 67, 2011. Disponível em: <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v3n2a02.pdf>. Acesso em Jul. 2019.

MOORE, C. J. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, [s. l.], v. 108. P. 131-139. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>. Acesso em Out. 2020.

MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. **Projeto QualiSed – Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce**. Editora Cubo. São Carlos. 244 p. 2006.

MURPHY, F. et al. Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environ. Sci. Technol.*, [s. l.], v. 50, n. 11, p. 5800-5808, May 2016. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b05416>. Acesso em: Jul. 2019.

NAPPER, I. E.; THOMPSON, R. C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, [s. l.], v. 112, n. 1-2, p. 39-45, 2016. Disponível em: <http://www.inquirylearningcenter.org/wp-content/uploads/2015/08/Napper2016.pdf>. Acesso em: Jul. 2019.

NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A. **Tabelas para determinação de minerais**: Material Didático do Curso de Geologia. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 224p. 2018. Disponível em: <https://museuhe.com.br/site/wp-content/uploads/2018/05/Navarro-G.-R.-B.-Zanardo-A.-2018.-Tabela-Determinação-de-Minerais.-Rio-Claro-São-Paulo-Brasil.-222-p..pdf>. Acesso em Jul. 2020.

NISHIYAMA, Luiz. **Mapeamento Geotécnico preliminar da quadricula de São Carlos**. 1991. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.5, nº6 p.777-788. Nov/Dez. de 2008. Disponível em: [http://www.nutritime.com.br/arquivos\\_internos/artigos/076V5N6P777\\_788\\_NOV2008\\_.pdf](http://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/076V5N6P777_788_NOV2008_.pdf). Acesso em Fev. 2020.

OLIVEIRA, A. M. S. Estudos sobre o Tecnógeno do Brasil. 2005. In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA. *Anais [...]*. Disponível em: [http://www.abequa.org.br/trabalhos/0304\\_antonio\\_manuel\\_de\\_oliveira.pdf](http://www.abequa.org.br/trabalhos/0304_antonio_manuel_de_oliveira.pdf). Acesso em: Abr. 2019.

PARAGUASSU, A. B. Experimental Silicification of Sandstone”. *Geological Society of America Bulletin*, [s. l.], v. 83, p. 2853-2858, 1972.

PAULINA, Luísa Cimatti. **Estudo de sistemas microemulsionados utilizando água do mar na recuperação avançada de petróleo**. 2007. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2007.

PELOGGIA, A. U. G. O que produzimos sob nossos pés? Uma revisão comparativa dos conceitos fundamentais referentes a solos e terrenos antropogênicos. *Revista UNG – Geociências*. Guarulhos. V. 16, n.1, p. 102-127, 2017.

PELOGGIA, A. U. G.; OLIVEIRA, A. M. S. Tecnógeno: um novo campo de estudos das geociências. In: Anais... Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 2005. Disponível em: [http://www.abequa.org.br/trabalhos/0268\\_tecnogeno.pdf](http://www.abequa.org.br/trabalhos/0268_tecnogeno.pdf). Acesso em Out./2020.

PENG, G. et al. Microplastics in freshwater river sediments in Shanghai, China: A case study of risk assessment in mega-cities. . **Environ Pollut**, [s. l.], v. 234, p. 448–456, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117332797>. Acesso em: Jul. 2020.

PEREIRA, J. C. et al. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1249-1255, 2007. Disponível em: [http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=1762](http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1762). Acesso em: Jul. 2019.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. EDUFAL, Alagoas. 51 p. 2005.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE ITIRAPINA – PMSBI. Instituído pela Lei 2.805 de 23 de novembro de 2016. Itirapina, 158 p. 2016.

PLASTVAL – Melhor Ambiente. **Reciclagem: Identificação de plásticos**. s/d. Disponível em: <http://www.plastval.pt/index.asp?info=reciclagem/identificacao>. Acesso em: Fev. 2020.

PRATA, J. C. et al. Environmental exposure to microplastics: na overview on possible human health effects. **Science of the Total Environment**. v. 702. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719344468?via%3Dihub>. Acesso em: Jun. 2020.

POLETO, C. et al. Urban Sediment Particle Size and Pollutants in Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, [s. l.], v. 17, n. 9, p. 317- 327, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/225726988\\_Urban\\_sediment\\_particle\\_size\\_and\\_pollutants\\_in\\_Southern\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/225726988_Urban_sediment_particle_size_and_pollutants_in_Southern_Brazil). Acesso em: Jul. 2019.

POLETO, C.; MARTINEZ, L. L. G. Sedimentos urbanos: ambiente e água. **HOLOS Environment**, Rio Claro, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2011. Disponível em: <https://www.ce.unesp.org.br/holos/article/view/3053>. Acesso em: Jul. 2019.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**. [s. l.], v. 22, n. 63, p.43-60. 2008.

PRATA, J. C. et al. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. **Science of The Total Environment**. v. 702. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719344468>. Acesso em Jan. 2020.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RAMÍREZ-ÁLVAREZ, N. et al. Microplastics: Sources and distribution in surface Waters and sediments of Todos Santos Bay, Mexico. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 703. Nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719348302?via%3Dihub>. Acesso em Jul. 2020.

REDONDO-HASSELERHARM, P. E. et al. Microplastic Effect Thresholds for Freshwater Benthic Macroinvertebrates. **Environ. Sci. Technol.** v. 52, n. 4. P. 2278-2286. 2018. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.7b05367>>. Acesso em: Fev. 2020.

REIS, Lúcia Vidor de Soza. **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial do município de Piracicaba**. 2004. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro, 2009. 396 p. Disponível em: [https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5\\_tema\\_4.pdf](https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf). Acesso em: Jul. 2019.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Eng. Sanit. Ambient.**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n6/1809-4457-esa-22-06-1109.pdf>. Acesso em: Jul. 2019.

RODRIGUES, M. O. et al. Spatial and emporam distribution of microplastics in water and sedments of a freswahter system (Antuã River, Portugal). **Science of the Total Environment**, v. 633, p. 1549-1559. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29758905/>. Acesso em Jul. 2020.

ROLNIK, R. La democracia em el filo de la navaja: limites y posibilidades para la implementación de una agenda de reforma urbana en Brasil. **EURE**, Santiago, v. 35, n. 104, abril 2009. Disponível em: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-71612009000100001](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612009000100001). Acesso em: Jul. 2019.

SABAINI, Raphael Tadeu. **Uma cidade entre presídios: ser agente penitenciário em Itirapina – SP**. 2012. Dissertação (Mestrado em Antropologia Social) - Departamento de Antropologia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SÃO PAULO. **Santa Gertrudes e Itirapina ganham tratamento de esgoto**. 2012. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/santa-gertrudes-e-itirapina-ganham-tratamento-de-esgoto-1/> . Acesso em: Ago. 2020.

SCHNEIDER, R. L. et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Mapa Geológico: Folha São Carlos do Pinhal** – SF-23-Y-A-I. Escala 1:100.000. Convênio CPRM – IGCE UNESP Rio Claro. Coord. Prof. Dr. Norberto Morales. 2008. No prelo.

SHABAKA, S. H. et al. Identification of marine microplastics in Eastern Harbor, Mediterranean Coast of Egypt, using differential scanning calorimetry. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, p. 494-503, 2019.

SHRUTI, V. C. et al. Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla City, Mexico. **Science of the Total Environment**, v. 654, p. 154-163. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718344012> . Acesso em Jul. 2020.

SILVA-CAVALCANTI et al. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environmental Pollution*. V. 221. P. 218-226. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974911632396X?via%3Dihub>>. Acesso em: Fev. 2020.

SILVA, E. C. N.; NUNES, J. O. R. O tecnógeno na cidade de Presidente Prudente-SP. **Soc. & Nat.**, Uverlândia, v. 26, n. 3, p. 483-496. 2014.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Bulletin Geological Society America**, v.63, p.923-38, 1952.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização**. Geografia Contexto. 97 p. 1994.

TAGG, A. S. et al. Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging. **Anal. Chem.** v. 87, p. 6032-3040. 2015. DOI:10.1021/acs.analchem.5b00495. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.analchem.5b00495>. Acesso em: Jul. 2020.

TIBBETTS, J. et al. Abundance, Distribution, and Drivers of Microplastic Contamination in Urban River Environments. **Water**, [s. l.],v. 10, n. 11, 14 p., Nov. 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/328796380\\_Abundance\\_Distribution\\_and\\_Drivers\\_of\\_Microplastic\\_Contamination\\_in\\_Urban\\_River\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/328796380_Abundance_Distribution_and_Drivers_of_Microplastic_Contamination_in_Urban_River_Environments). Acesso em: Jul. 2019.

TRISCHLER, H. El Antropoceno, ¿un concepto geológico o cultural, o ambos? **Desacatos**, México, n. 54, p. 40-57, maio-agosto 2017. Disponível em: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1607-050X2017000200040&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-050X2017000200040&lng=es&nrm=iso). Acesso em: Abr. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Ministério das Cidades, Global Water Partnership, World Bank, Unesco, 2005.

UHL, W.; EFTEKHARDADKHAH, M.; SVENDSEN, C. Mapping microplastic in Norwegian drinking water. **Norwegian Water Report**. Noruega. n. 241. 2018.

VARLENGIA, W. **Itirapina de ontem Itirapina de hoje**. 1ª ed. Editora Palavra Muda. Campinas, São Paulo, 89 p. 1987.

VASCONCELOS, A. M. N.; et al. Da utopia à realidade: uma análise dos fluxos migratórios para o Aglomerado Urbano de Brasília. In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP. **Anais [...]**. Caxambú - MG, 2006.

VERMAIRE, J. C. et al. Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries. **FACETS**, v. 2, p. 301-314. Disponível em: <https://www.facetsjournal.com/doi/10.1139/facets-2016-0070>. Acesso em Jul. 2020.

VIANA, M. B. **Sacolas plásticas: aspectos controversos de seu uso e iniciativas legislativas**. Câmara dos Deputados – Consultoria Legislativa, Brasília, 2010.

WALDSCHLÄGER, K; SCHÜTTRUMPF, H. Erosion Behavior of Different Microplastic Particles in Comparison to Natural Sediments. **Environ. Sci. Technol.** v. 53, n. 22, Out. 2019. p. 13219-13227. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.9b05394>. Acesso em Jan. 2020. Acesso em Jan. 2020.

WANG, W. et al. Microplastics in surface Waters of Dongting Lake and Hong Lake, China. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 633. p. 539-545. Mar. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718327268>. Acesso em: Jul. 2019.

WATERS, C. N. et al. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. **Science**. V. 351, n. 6269, p. 137-147. 2016.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo. Artliber Editora, 352 p. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Microplastics in drinking-water**. Disponível em: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/microplastics-in-drinking-water/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/microplastics-in-drinking-water/en/). Acesso em Jan. 2019.

WORLD WILDLIFE FUND – WWF. **Financiamento Público em Meio Ambiente: Um balanço da década e perspectivas**. 2018. Disponível em: [https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/financiamentomma\\_final2\\_web.pdf](https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/financiamentomma_final2_web.pdf). Acesso em: Jul. 2020.

WU, M. et al. Microplastics in waters and soils: Occurrence, analytical methods and ecotoxicological effects. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 202, 110910, 2020.

WYPYCH, G. **Handbook of polymers**. 2<sup>nd</sup> edition, ChemTec Publishing, Earswick drive, Ontario, Ontario – Canadá, p. 706, 2016

YUAN, E. et al. Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 170, p. 180-187. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651318312715>. Acesso em Jul. 2020.

ZALASIEWICZ, J. Disputed start dates for Anthropocene. **Nature**. v. 520, n. 7548 p. 436, 23 de abril de 2015. Disponível em: <https://rdcu.be/b5thz>. Acesso em Jul. 2020.

ZALASIEWICZ, J. et al. The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. **Anthropocene**, [s. l.], v. 13, p. 4-17, março 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213305416300029?via%3Dihub>. Acesso em: Abr. 2018.

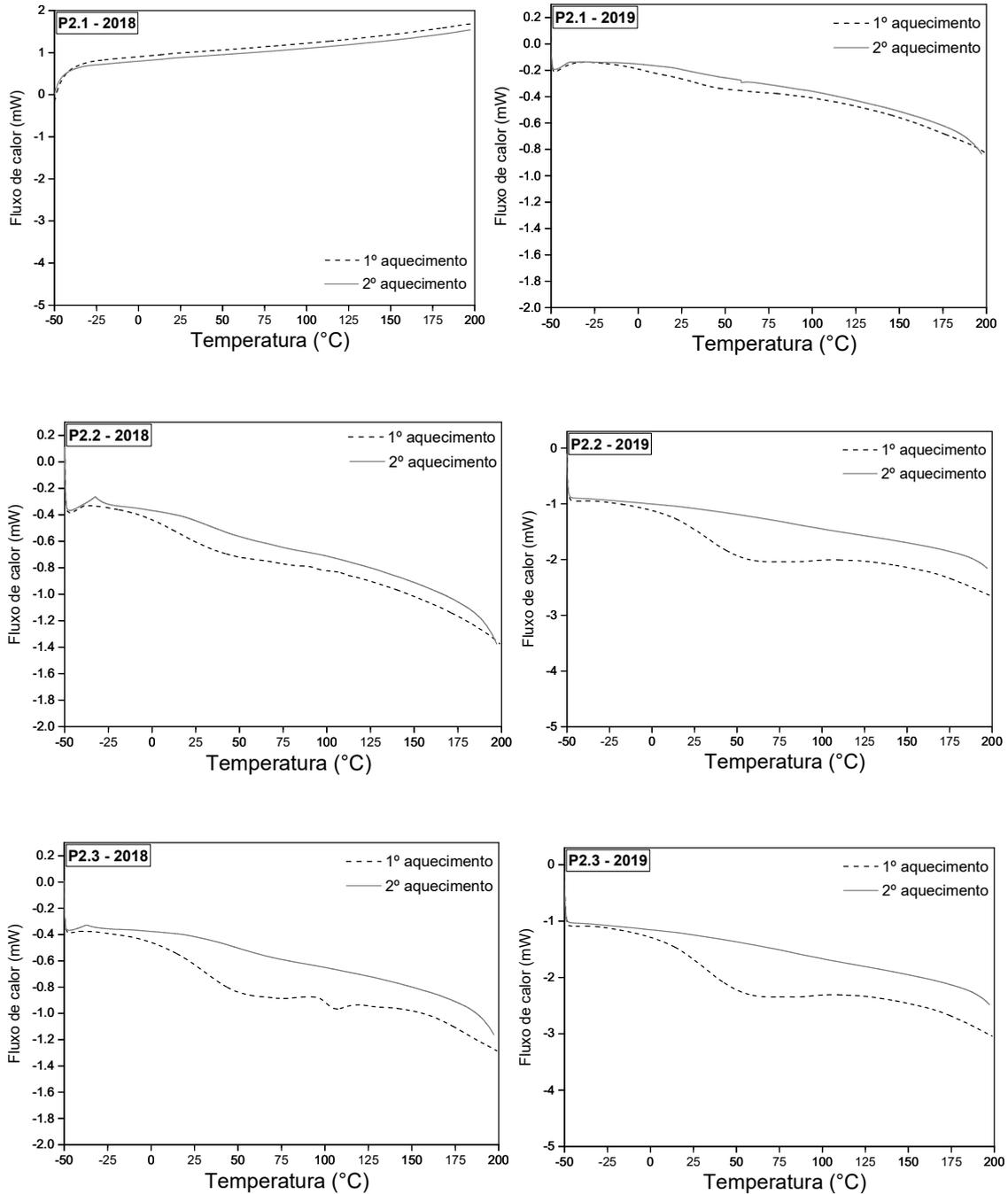
ZALASIEWICZ, J.; GABBOTT, S.; WATERS, C. Plastic Waste: How Plastics Have Become Part of the Earth's Geological Cycle. In: **Waste**. Elsevier. 2019.

ZBYSZEWSKI, M.; CORCORAN, P. L.; HOCKIN, A. Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. **J. Great Lakes Res.**, [s. l.], v. 40, p. 288–299, 2014. Disponível em: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/5465882>. Acesso em: Jul. 2019.

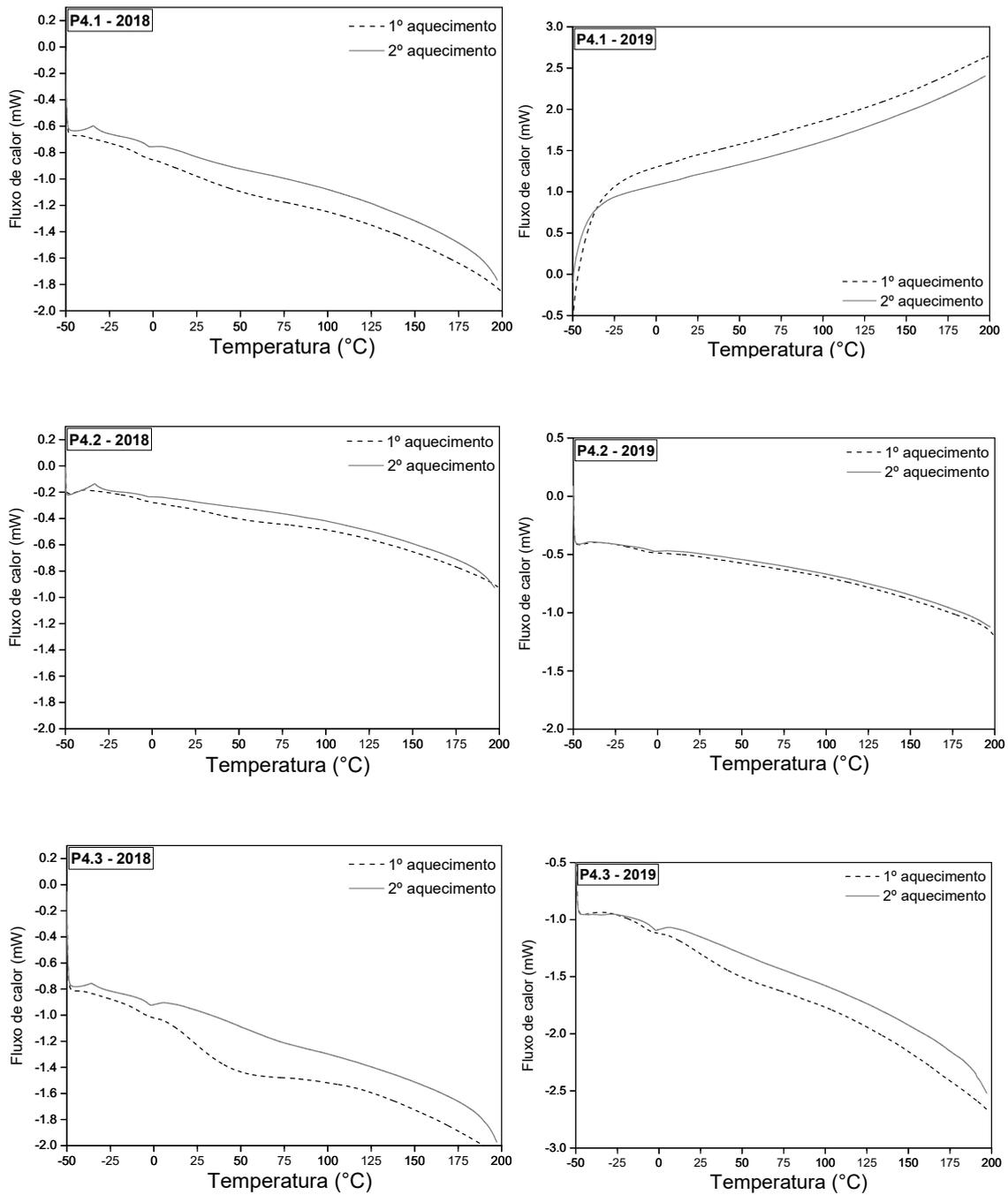
ZHAO, S. Y.; ZHU, L. X; LI, D. J. Microplastic in three urban estuaries, China. **Environ Pollut.**, [s. l.], v. 206, p. 597–604, Aug. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26312741>. Acesso em: Jul. 2019.

## Apêndices

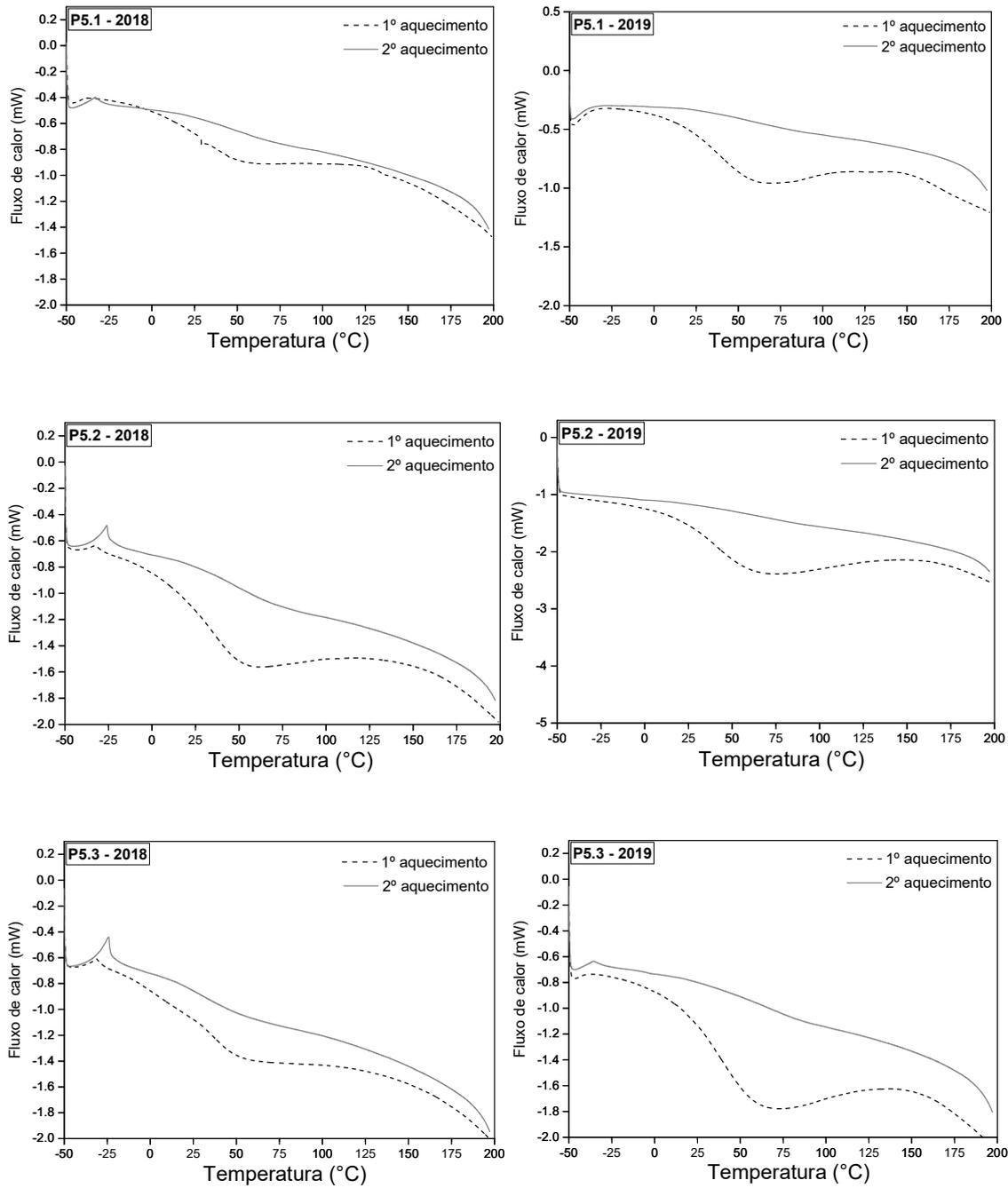
### APÊNDICE A: Caracterização dos sedimentos por calorimetria exploratória diferencial (DSC).



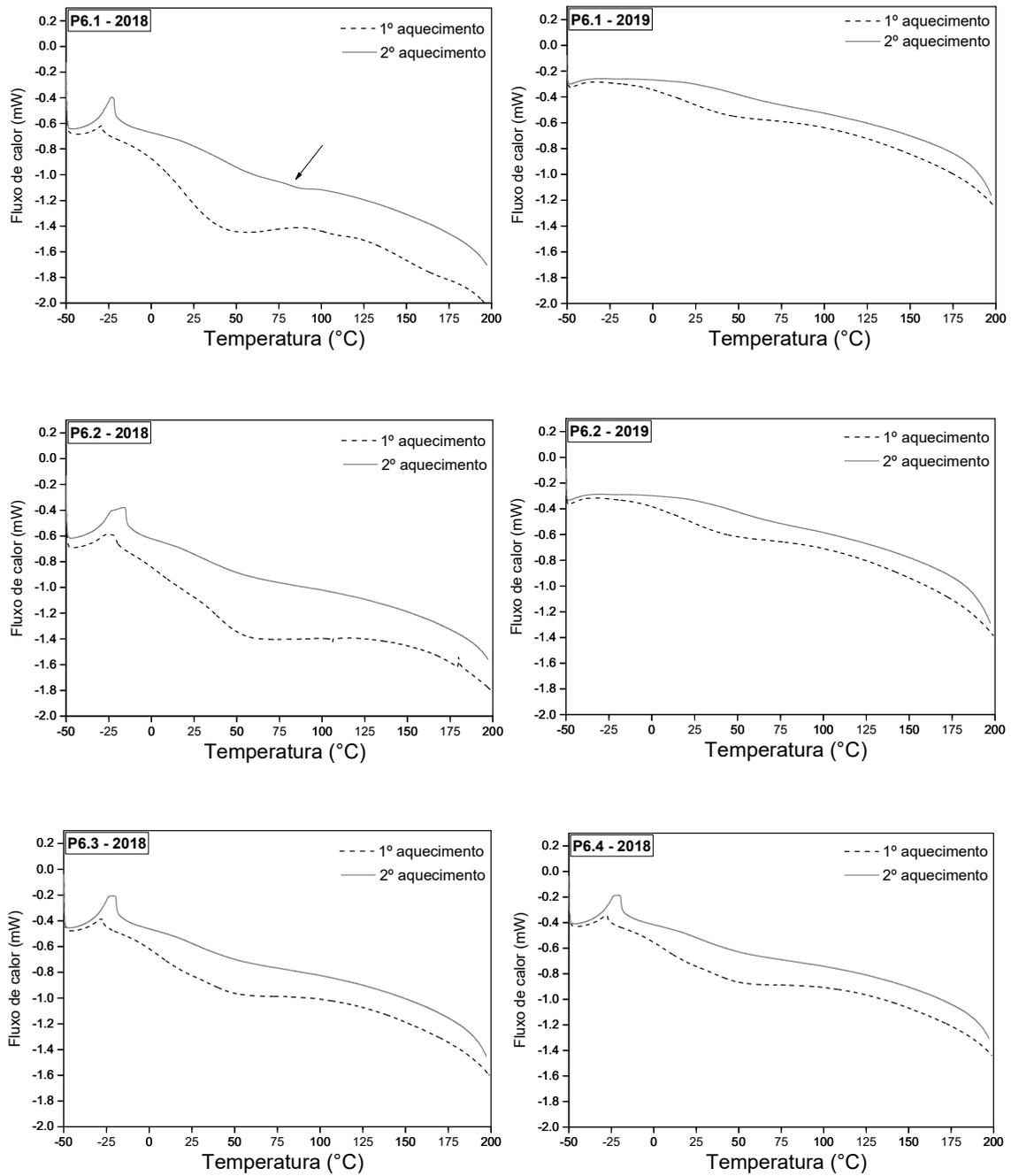
**Figura A1: Curvas de DSC (1º e 2º aquecimentos) dos sedimentos do grupo P2 coletados em 2018 e 2019. Taxa de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ . Atmosfera de  $\text{N}_2$  ( $50\text{ mL min}^{-1}$ ). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.**



**Figura A2: Curvas de DSC (1º e 2º aquecimentos) dos sedimentos do grupo P4coletados em 2018 e 2019. Taxa de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ . Atmosfera de  $\text{N}_2$  ( $50\text{ mL min}^{-1}$ ). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.**



**Figura A3: Curvas de DSC (1º e 2º aquecimentos) dos sedimentos do grupo P5 coletados em 2018 e 2019. Taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. Atmosfera de N<sub>2</sub> (50 mL min<sup>-1</sup>). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.**



**Figura A4: Curvas de DSC (1º e 2º aquecimentos) dos sedimentos do grupo P6 coletados em 2018 e 2019. Taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. Atmosfera de N<sub>2</sub> (50 mL min<sup>-1</sup>). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.**

APÊNDICE B: Caracterização dos sedimentos P2.1 e P6.1 por termogravimetria (TG).

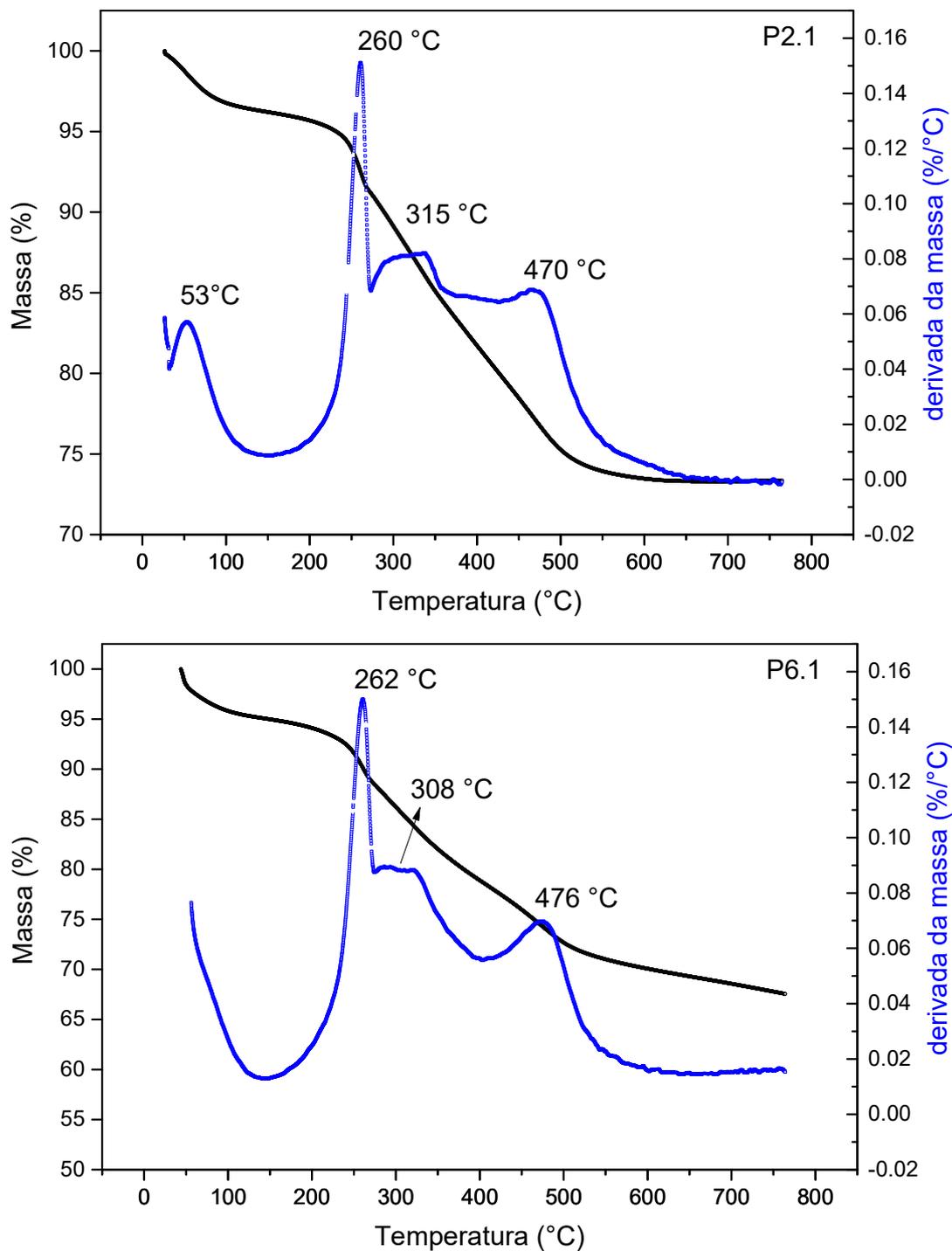


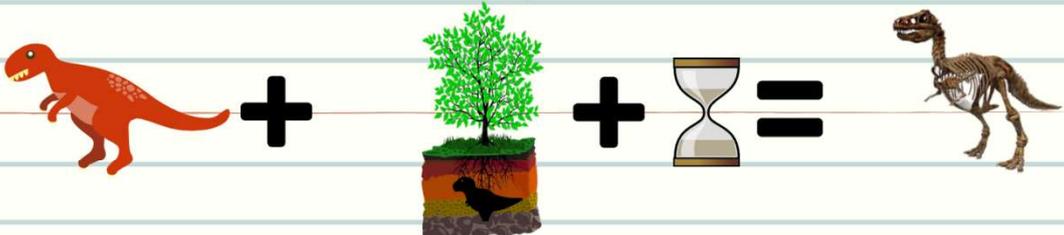
Figura B1: Curvas TG (preto) e curvas DTG (azul) dos sedimentos P2.1 e P6.1. Taxa de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ . Atmosfera de  $\text{N}_2$  ( $50\text{ mL min}^{-1}$ ). Fonte: Laboratório de Polímeros – Departamento de Engenharia de Materiais.

APÊNDICE C: Proposta de folhetos educativos sobre a problemática dos plásticos e materiais artificiais no ambiente aquático e no solo.

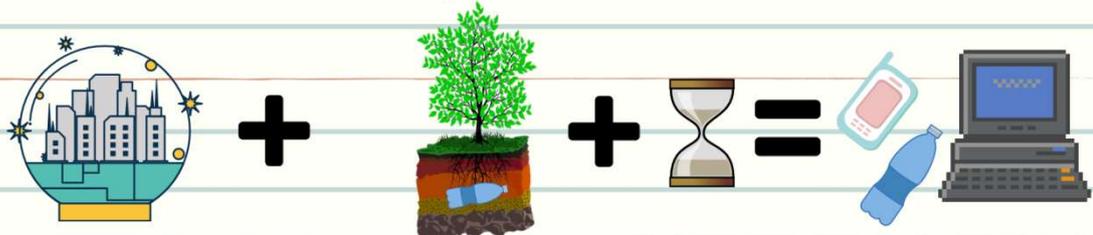
# O que são tecnofósseis?

TECNOFÓSSIL É A FOSSILIZAÇÃO DE UM MATERIAL ARTIFICIALMENTE PRODUZIDO OU SEJA, PRODUZIDO PELA TECNOLOGIA

Atualmente encontramos fósseis de mamíferos, répteis, insetos, plantas...



Enquanto a população do futuro encontrará principalmente alumínio, plástico e concreto.



UFSCAR  
Autora: Daniele Toyama. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001. Contato: danitoyama01@gmail.com

PPGEU  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Figura C1: Folheto “O que são tecnofósseis?”. Fonte: Autora (2020).

# EXISTE PLÁSTICO NA ÁGUA QUE EU BEBO?

## SIM!

Pesquisas estimam que ao tomar água da torneira podemos ingerir 4 mil partículas de microplásticos (fragmentos de plástico menores que 5 mm) por ano.

Se o consumo for realizado apenas com água engarrafada (vendida em mercados), esse valor sobe para 90 mil partículas.

Além da água, os microplásticos podem estar presentes no alimento e também podem ser inalados.

Por ano, cada pessoa pode ingerir de 39 mil a 52 mil partículas de microplásticos.

## POR QUE ISSO OCORRE?

Quando descartamos o nosso lixo plástico em locais inadequados, a água da chuva transporta esse resíduo até as águas dos rios que vão transportá-lo até o mar. Porém, nesse caminho ele vai se fragmentando. Os invertebrados aquáticos, peixes tartarugas e aves podem confundir os plásticos com alimentos e ingeri-los. A cidade também pode captar água dos rios para abastecimento urbano. Por se tratar de fragmentos plásticos de escala microscópica a nanométrica, o sistema de tratamento da água não consegue retirar esse material.



## FAZ MAL À NOSSA SAÚDE?



Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), os estudos sobre os efeitos prejudiciais dos microplásticos no organismo humano ainda são inconclusivos.

Para alguns pesquisadores, o crescimento de doenças neurodegenerativas, desordens imunológicas e câncer pode estar relacionado com o aumento da exposição a contaminantes ambientais, incluindo os microplásticos. Mas para os animais podem ser fatais.

## O QUE EU POSSO FAZER?



Praticar os 3 R's: Reduzir, reutilizar e reciclar todos os resíduos produzidos.



Descartar os resíduos nos locais adequados.



Ensinar sua família e amigos sobre o que acabou de aprender.



## REFERÊNCIAS



COX et al. Human Consumption of Microplastics. *Environ. Sci. Technol.* v. 53, p. 7068-7074, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.9b01517>. Acesso em: Jan. 2020.

PRATA, J. C. et al. Environmental exposure to microplastics; na overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, v. 702, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719344468?via%5Dihub>. Acesso em: Jun. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Microplastics in drinking-water. Disponível em: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/microplastics-in-drinking-water/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/microplastics-in-drinking-water/en/). Acesso em Jan. 2019.



Autoria: Daniele Toyama. Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001. Contato: danitoyama01@gmail.com

PPGEU  
Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Urbana

Figura C2: Folheto “Existe plástico na água que eu bebo?”. Fonte: Autora (2020).

# Plásticos na represa Tibiriçá

Você sabia que essa represa é um ambiente de contenção, inclusive de todo material jogado na cidade e transportado pelos rios? Apesar de estar inserida em uma área protegida, ela sofre degradação pelo processo de urbanização de Itirapina.

<sup>1</sup>PEAD: Polietileno de Alta Densidade

As seguintes embalagens foram coletadas na represa em 2018. O plástico demora 450 anos e o alumínio 200 anos para decompor.



Descrição:  
embalagem de xampu  
Material: plástico  
Data: 1993



Descrição:  
embalagem de óleo de motor  
Material: plástico  
Data: 1998



Descrição:  
embalagem de desodorante  
Material: plástico PEAD<sup>1</sup>  
Data: sem data, produto fora de circulação



Descrição:  
embalagem de desodorante  
Material: alumínio  
Data: 2003

Como podemos observar, essas embalagens estão em perfeito estado de conservação. Além desses materiais, também foram coletados borracha e vidro. Isso nos mostra a importância de destinar os resíduos corretamente para a reciclagem!



Figura C3: Folheto “Plásticos na represa Tibiriçá”. Fonte: Autora (2020).