



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ÍCARO DE SENA ALMEIDA

**Potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos de um solo no município de
São Paulo – SP.**

(Versão Corrigida)

São Paulo

2019



ÍCARO DE SENA ALMEIDA

**Potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos de um solo no município de
São Paulo – SP.**

Versão Corrigida

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Sheila A. C. Furquim

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fim de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

A447p Almeida, Icaro de Sena
Potencial de fornecimento de serviços
ecossistêmicos de um solo no município de São Paulo -
SP. / Icaro de Sena Almeida ; orientadora Sheila
Aparecida Correia Furquim. - São Paulo, 2019.
209 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas da Universidade de São
Paulo. Departamento de Geografia. Área de
concentração: Geografia Física.

1. Solo Urbano. 2. Serviço ecossistêmico. 3.
Qualidade do solo. 4. São Paulo. I. Furquim, Sheila
Aparecida Correia , orient. II. Título.



ENTREGA DO EXEMPLAR CORRIGIDO DA DISSERTAÇÃO/TESE

Termo de Ciência e Concordância do (a) orientador (a)

Nome do (a) aluno (a): Icaro e Sena Almeida

Data da defesa: 01/11/2019

Nome do Prof. (a) orientador (a): Sheila Aparecida Correa Furquim

Nos termos da legislação vigente, declaro **ESTAR CIENTE** do conteúdo deste **EXEMPLAR CORRIGIDO** elaborado em atenção às sugestões dos membros da comissão Julgadora na sessão de defesa do trabalho, manifestando-me **plenamente favorável** ao seu encaminhamento e publicação no **Portal Digital de Teses da USP**.

São Paulo, 30/12/2019

(Assinatura do (a) orientador (a))

ALMEIDA, I. C. **Potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos de um solo no município de São Paulo - SP.** Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Sheila A. C. Furquim

Instituição: FFLCH – USP

(Presidente)

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento: _____

Assinatura: _____

À Rayane, com amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma etapa concluída em minha vida.

Agradeço à prof^a. dr^a. Sheila Furquim pela orientação nesse trabalho, pelos “puxões de orelha” quando necessários e conselhos, e por acreditar no desenvolvimento da pesquisa e do pesquisador em formação. Agradeço a minha família pelo apoio nesses anos, alicerce fundamental para essa caminhada científica.

Agradeço aos amigos que já tinha de graduação pela convivência e grandes trocas de ideias, tanto fora quanto dentro do âmbito da pesquisa, que proporcionou novas leituras e olhares sobre diversos temas.

Agradeço o apoio das pessoas que conheci durante o período da pós-graduação e às novas amizades que pude fazer, em especial o Thiago, Bruna, Wagner, Jéssica e Camila, pelo tanto que me ajudaram com amostragem de campo, procedimentos laboratoriais, protocolos de análise, ideias para a escrita da dissertação e muitas conversas de bancada de laboratório.

Agradeço aos técnicos de laboratório Marcos do LABOPED – DG/USP e Kátia do NATEPE/UNIFESP Diadema pelo auxílio nas análises de granulometria e microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia de energia dispersiva (EDS), respectivamente.

Agradeço a Rayane pelo apoio incondicional, pelo seu carinho, compreensão e cumplicidade no período de realização do mestrado e no caminhar da vida.

Agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa para realização da pesquisa.

RESUMO

ALMEIDA, I. S. **Potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos de um solo no município de São Paulo - SP**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2019.

As interferências antrópicas no meio físico urbano representam um novo agente de transformação na superfície terrestre. Tal interferência é realizada de forma contínua e muitas vezes de maneira irreversível, alterando drasticamente os capitais naturais em cidades. Esforços de estudos para a compreensão dessas interferências vêm sendo realizados para as paisagens, águas e ar. Iniciativas mais recentes têm discutido o comportamento das mudanças em solos urbanos, embora tais superfícies ainda sejam negligenciadas no planejamento ambiental urbano. Com isso, o presente estudo pretende caracterizar um solo localizado em densa área urbanizada e avaliar seu potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos, importantes na consideração de possíveis ações de planejamento urbano de uso e ocupação do local. Análises morfológicas de campo e laboratoriais de rotina foram realizadas em amostras para a identificação características químicas, físicas e biológicas. Com base em tais dados, a aplicação de metodologia para avaliação do índice de qualidade do solo (IQS) se mostrou apropriada para analisar um solo significativamente interferido por atividades antrópicas e fornecer subsídios para a avaliação do potencial das funções desse solo. Resultados demonstraram que, embora o cobertura pedológica da área de estudo apresente características que podem implicar em “desserviços”, a cobertura pedológica apresenta o potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos. Tais serviços podem ser melhor alcançados com medidas corretivas em algumas características do solo.

Palavras-chave: Solo urbano – Serviços ecossistêmicos – Qualidade do solo – São Paulo

ABSTRACT

ALMEIDA, I. S. **Potential to provide soil ecosystem services in São Paulo – SP.** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2019.

Anthropic interference in the urban physical environment represents a new transformation agent on the earth's surface. Such interference is performed continuously and often irreversibly, altering drastically the natural capitals in cities. Efforts to understand these interferences have been carried out for landscapes, waters and air. More recently, initiatives have discussed the behavior of changes in urban soils, although such surfaces are still neglected in urban environmental planning. Thus, the present study intends to characterize a soil located in a dense urbanized area and evaluate its potential to provide ecosystem services, regarding the possibility of urban planning actions of use and occupation of the site. Field morphological descriptions and routine laboratory analyzes were performed on samples to identify chemical, physical and biological characteristics. According to these data, the application of methodology for evaluation of the soil quality index (QSI) proved to be appropriate to analyze a soil significantly interfered by anthropic activities and to provide aids for the evaluation of the potential of soil functions. Results showed that although the pedological coverage of the study area presents characteristics that may imply “disservices”, the soil has the potential to provide ecosystem services. Such services can best be achieved with corrective measures on some soil characteristics.

Key-words: Urban Soil – Ecosystem services – Soil quality – São Paulo

Índice

1. Introdução	1
2. Objetivos e Hipótese	3
3. Referencial Teórico	4
3.1 A influência antrópica no meio ambiente e como um fator de formação dos solos.	4
3.2 Solos antropogênicos e solos urbanos	6
3.3 Serviços ecossistêmicos e solos urbanos	13
3.4 Índice de qualidade do solo (IQS) e The Soil Management Assessment Framework (SMAF)	18
3.5 Sistemas de classificações relacionados a antropossolos e solos urbanos	24
4. Materiais e Métodos	39
4.1 Caracterização da Área de Estudo	39
4.2 Levantamento de campo e coleta de amostras de solo	58
4.3. Procedimentos laboratoriais	61
5. Resultados	71
5.1. Descrição morfológica	71
5.2 Análises físicas	78
5.3. Análises químicas	85
5.4 Análises biológicas	99
5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)	101
5.6 Índice de Qualidade do Solo (IQS)	108
6. Discussão dos resultados.	109
6.1 Relação entre os solos estudados e os solos antrópicos e urbanos.	109
6.2 Relação entre o solos estudados e sistemas de classificações de solos.	113

6.3 Relação com os SUITMAS e serviços ecossistêmicos	117
7. Considerações Finais	124
8. Bibliografia	125
APÊNDICE A – Descrição Morfológica dos perfis analisados	146
ANEXO A – Imagens do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e gráficos de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)	155

Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura básica de funcionamento do <i>Soil Management Assessment Framework</i> (SMAF).	22
Figura 2 - Equação da função aditiva para integração dos <i>scores</i> e definição do IQS.	23
Figura 3 - Quadro esquemático da Classificação <i>Anthroposols</i> , com as qualidades principais e complementares.	32
Figura 4 - Quadro esquemático da Classificação <i>Technosols</i> , com as qualidades principais e complementares.	33
Figura 5 - Imagem de satélite apresentando a área de estudo (em vermelho). Em amarelo, área da antiga indústria de galvanoplastia.	38
Figura 6 - Localização da área de estudo.	38
Figura 7 - Visualização geral da área de estudo.	39
Figura 8 - Visão Geral do Terreno pela face oeste.	39
Figura 9 - Limites do núcleo urbano até 1881. A mancha menor representa os subúrbios iniciais do Brás do lado direito do Rio Tamanduateí.	40
Figura 10 - Planta geral do núcleo urbano de São Paulo em 1881. A demarcação em vermelho representa a Rua do Brás, atual Av. Celso Garcia, cortada pela linha férrea Sorocabana.	41
Figura 11 - Expansão da área urbanizada de São Paulo no início do século XX.	43
Figura 12 - Fragmento da Planta Geral de São Paulo, de 1913, dos bairros do Brás e Mooca. A área destacada em vermelho indica a localização do lote do presente estudo, na rua Visconde de Parnaíba.	44
Figura 13 - Fragmento do levantamento aerofotogramétrico realizado pela prefeitura na região do Brás, de 1940. Em destaque a área de estudo, densamente ocupada.	45
Figura 14 - Foto aérea da região da área de estudo (demarcada em vermelho) em 1958. É possível notar galpões na região, porém há o início da saída de indústrias para outras localidades.	45
Figura 15 - Figura retirada do levantamento fotográfico de 2004 realizada pela Prefeitura de São Paulo (MDC/PMSP), com a área de estudo demarcada em vermelho, utilizada atualmente como estacionamento. Há o predomínio de construções menores, com presença de torres residenciais ao norte da linha férrea.	46
Figura 16 - Fragmento do Mapa de zonas de uso e ocupação para a região da Mooca e Brás definidas pelo PDE - Plano Diretor Estratégico para o Município de São Paulo. A imagem localiza a área de estudo demarcada em vermelho e seus arredores.	47
Figura 17 - Mapa de Localização da área de Estudo e Contexto Geológico.	50

Figura 18 - Fragmento do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981). A área em vermelho demarca aproximadamente a posição da RMSP.	52
Figura 19 - Mapeamento da Morfologia Original Da Região Metropolitana de São Paulo. Escala: 1:500.000, o ponto em vermelho identifica o local aproximado do local de estudo.	53
Figura 20 -Localização das trincheiras na áreas de estudo.	55
Figura 21 - Vista da TR02/TRAD2 aos fundos da empresa de motores.	56
Figura 22 – Local escolhido para abertura da trincheira TR01/TRAD1, próximo ao muro de antiga indústria de galvanoplastia.	56
Figura 23) a) Abertura da trincheira TR02/TRAD2 (tirada em Agosto, 2017); b) - Abertura da trincheira TR01/TRAD1 (tirada em Maio, 2017).	57
Figura 24 -Perfil de solo descrito da trincheira TR01/TRAD1.	69
Figura 25 - Croqui do perfil da TR01/TRAD1.	69
Figura 26 - Perfil de solo descrito da trincheira TR02/TRAD2.	70
Figura 27 - Croqui do perfil da TR02/TRAD2.	70
Figura 28 - Medidas das classes granulométricas para as trincheiras analisadas.	77
Figura 29 - Valores de densidade do solo (Ds) para horizontes analisados.	79
Figura 30 - Valores de Densidade de partícula (Dp) para as trincheiras analisadas.	80
Figura 31 - Porosidade Total para as TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.	82
Figura 32 - Variação dos valores de pH em HOR20 e KCl por horizontes das trincheiras.	84
Figura 33 - Valores de Al^{+3} e $Al^{+3} + H^{+}$ para os perfis estudados.	86
Figura 34 - Valores de Na^{+} e K^{+} para as trincheiras TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.	89
Figura 35- Valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} para os horizontes da TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.	91
Figura 36 - Valores de Soma de Bases (S) e Saturação de Bases (V%) das trincheiras analisadas.	93
Figura 37 - Porcentagem dos valores de bases trocáveis.	94
Figura 38 - Soma dos valores de bases trocáveis por trincheiras, em $mmol_c kg^{-1}$.	94
Figura 39 - Valores de CTC para as trincheiras analisadas em $mmol_c kg^{-1}$.	95
Figura 40 - Valores de carbono orgânico para as trincheiras analisadas.	97
Figura 41 - MEV aplicado no campo 3 da amostra do horizonte HOR1 da TR01/TRAD1. As demarcações em vermelho apontam presença de caulinita, em azul, óxidos de Fe e Al e em verde, mineral Ilita.	101
Figura 42 - MEV aplicado no campo 2 da amostra do horizonte HOR4 da TR01/TRAD1. As demarcações em vermelho apontam presença de caulinita, em azul, óxidos e, em verde, Ilita.	102
Figura 43 - Presença de Ilita, com formato de ripa, no campo 2 do horizonte HOR3 da TR02/TRAD2.	102
Figura 44 - MEV aplicado ao campo 3 da amostra do horizonte HOR11 (grupo Misto) da TR01/TRAD1.	103
Figura 45 - MEV aplicado ao campo 1 da amostra do horizonte H9 (grupo Misto) da TR02/TRAD2.	103
Figura 46 - MEV aplicado ao campo 1 da amostra do horizonte HOR16 (grupo Orig) da TR01/TRAD1.	104
Figura 47 - MEV aplicado ao campo 3 da amostra do horizonte HOR15 (grupo Orig) da TR02/TRAD2.	104
Figura 48 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR01/TRAD1 - campo 1.	153
Figura 49 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR01/TRAD1 - campo 2	153

Figura 50- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR01/TRAD1 - campo 3.	154
Figura 51 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR01/TRAD1 - campo 4.	154
Figura 52 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 -TR01/TRAD1 - campo 5.	155
Figura 53 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR4 -TR01/TRAD1 - campo 1.	155
Figura 54 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR4 -TR01/TRAD1 - campo 2.	156
Figura 55 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR4 - TR01/TRAD1 - campo 3.	156
Figura 56 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR4 -TR01/TRAD1 - campo 4.	157
Figura 57 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR4 - TR01/TRAD1-campo 5	157
Figura 58- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR01/TRAD1-campo 1.	158
Figura 59- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR01/TRAD1 - campo 2	158
Figura 60 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR01/TRAD1 - campo 3.	159
Figura 61 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR01/TRAD1 - campo 4.	159
Figura 62- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR01/TRAD1 - campo 5.	160
Figura 63 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR11 - TR01/TRAD1 - campo 1.	160
Figura 64 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR11 - TR01/TRAD1 - campo 2.	161
Figura 65 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR11 - TR01/TRAD1 - campo 3.	161
Figura 66 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR11 - TR01/TRAD1 - campo 4.	162
Figura 67 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR11 - TR01/TRAD1 - campo 5.	162
Figura 68 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR12 - TR01/TRAD1 - campo 1.	163
Figura 69 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR12 - TR01/TRAD1 - campo 2.	163
Figura 70 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR12 - TR01/TRAD1 - campo 3	164
Figura 71 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR12 - TR01/TRAD1 - campo 4.	164
Figura 72- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR12 - TR01/TRAD1 - campo 5	165
Figura 73- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR14 - TR01/TRAD1 - campo 1.	165
Figura 74- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR14 - TR01/TRAD1 - campo 2.	166
Figura 75 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR14 - TR01/TRAD1 - campo 3.	166
Figura 76 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR14 - TR01/TRAD1 - campo 4.	167
Figura 77 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR14 - TR01/TRAD1 - campo 5.	167
Figura 78- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR16 - TR01/TRAD1 - campo 1.	168
Figura 79 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR16 - TR01/TRAD1 - campo 2.	168
Figura 80 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR16 - TR01/TRAD1 - campo 3.	169
Figura 81 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR16 - TR01/TRAD1 - campo 4.	169
Figura 82 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR16 - TR01/TRAD1 - campo 5.	170
Figura 83- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR02/TRAD2 - campo 1.	170
Figura 84 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR02/TRAD2 - campo 2.	171
Figura 85 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR02/TRAD2 - campo 3.	171
Figura 86 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR02/TRAD2 - campo 4.	172
Figura 87 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR02/TRAD2 - campo 5.	172
Figura 88 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte H9 - TR02/TRAD2 - campo 1.	173
Figura 89 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte H9 - TR02/TRAD2 - campo 2.	173
Figura 90 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte H9 - TR02/TRAD2 - campo 3.	174
Figura 91 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte H9 - TR02/TRAD2 - campo 4.	174
Figura 92 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte H9 - TR02/TRAD2 - campo 5.	175

Figura 93 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR15 - TR02/TRAD2 - campo 1.	175
Figura 94 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR15 - TR02/TRAD2 - campo 2.	176
Figura 95 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR15 - TR02/TRAD2 - campo 3.	176
Figura 96 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR15 - TR02/TRAD2 - campo 4.	177
Figura 97 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR15 - TR02/TRAD2 - campo 5.	177

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Grupos de solos antropogênicos conforme interferências antrópicas.	7
Tabela 2 - Grupos e funções ecossistêmicas disponíveis.	14
Tabela 3 - Serviços ecossistêmicos por categorias.	15
Tabela 4 - Serviços ecossistêmicos atribuídos a solos em áreas urbanas.	17
Tabela 5 - Estrutura do sistema de Classificação de solos dos Estados Unidos.	26
Tabela 6 - Descrição de horizontes antrópicos conforme US Taxonomy.	27
Tabela 7 - Qualificadores atribuídos ao grupo dos Anthrosols da World Reference Base (WRB/FAO).	30
Tabela 8 - Qualificadores atribuídos ao grupo dos <i>Technosols</i> da World Reference Base (WRB/FAO).	32
Tabela 9- Denominações para as categorias da Ordem Antropossolos.	36
Tabela 11 - Definições da Zonas de Uso definidas pelo PDE e aplicadas à região da área de estudo.	46
Tabela 12 - Resultados das análises físicas para as trincheiras analisadas.	75
Tabela 12 - Valores dos resultados dos indicadores químicos para TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.	82
Tabela 14 - Valores de Carbono orgânico em g/kg para as trincheiras analisadas.	94
Tabela 14 - Elementos identificados nas amostras por MEV/EDS para as trincheiras analisadas, em partes por milhão.	98
Tabela 15 - Índice de qualidade dos solos para as trincheiras analisadas.	103
Tabela 16 - Valores orientadores de contaminação conforme CETESB (2014) para os potenciais contaminantes encontrados nos solos analisados da TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2/TAD2.	116

1. Introdução

O desenvolvimento da industrialização no Brasil ocorreu de forma contínua ao longo do século XX e o processo de urbanização do país acompanhou esse crescimento, formando grande aglomerações e centros urbanos (GROSTEIN, 2001). Tal crescimento ocorreu sem preocupação da qualidade ambiental e bem estar da população (FORATTINI, 1991), o que tem provocado desequilíbrios ambientais pelo expressivo impacto das ações antrópicas no meio físico urbano (DA COSTA & CINTRA, 1999). De acordo com EL ARABY (2002), esses desequilíbrios consistem no desconhecimento dos mecanismos ecológicos e em apropriado planejamento ambiental integrado da urbanização.

Um dos elementos naturais mais afetados no meio físico urbano é o solo, que tem sido intensamente modificado por diversos usos e ocupações ao longo do tempo. Tal interferência contribui para a formação dos solos denominados “antropogênicos” ou “antrópicos” em cidades, reconhecidos como “solos urbanos”. Há um restrito entendimento acerca de tais solos, especialmente sob regime climático tropical ou subtropical. No Brasil pouco se remonta o seu reconhecimento, com vistas à identificação de propriedades particulares dos solos urbanos. Estudos apresentam uma caracterização com base em dados de sondagens geotécnicas (MASSAD, 1980; COZZOLINO, 1980), mas esta abordagem utiliza-se de classificações mais restritivas relacionadas à construção civil, atribuindo-se pouca ênfase ao enfoque pedológico e aos vários outros serviços ecossistêmicos que os solos podem exercer nos centros urbanos.

O estudo de um solo urbano e eventualmente seu manejo, altamente subestimado em políticas ambientais de planejamento, deve envolver seus potenciais de uso e limitações. Partindo-se do reconhecimento desses usos, deve-se obter os dados de propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos. A dificuldade de reconhecer tais características muitas vezes são decorrentes da aplicação de técnicas de estudo utilizadas em áreas agrícolas pouco efetivas em cidades e a dificuldade de

medir a extensão e variabilidade de atividades antrópicas, ocasionando erros amostrais e de apresentação de resultados (PEDRON *et al.*, 2007).

A multiplicidade de usos exercidos em diferentes cidades é importante para o norteamento dos estudos de solos urbanos, já que pode afetar, em maior ou menor grau, todo o perfil de solo e representar maior complexidade genética. Ainda, tal complexidade também é proveniente da peculiar característica dos solos urbanos em comportar variados materiais fabricados pelo ser humano e suas interações com o substrato original (BURGHARDT *et al.* (2015).

As dificuldade envolvidas nos estudos dos solos altamente afetados por atividades antrópicas e, conseqüentemente, do conhecimento de suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, dificultou a atribuição de conceitos e classificações relacionados a eles. De maneira geral, solos influenciados pelo ser humano são designados por diversos termos em classificações taxonômicas e outros genéricos, como solos alterados, depósitos, solos impactados etc. Porém, a noção mais difundida remete a solos antropogênicos (ICOMANTH, 2003) e, dentro dessa classe, solos urbanos correspondem àqueles localizados em cidades, sendo o fator antrópico o agente mais importante de sua formação.

O solo é capaz de exercer diversas funções às populações humanas, sendo tomado como fonte de serviços ecossistêmicos. Entretanto, as ações antrópicas podem prejudicar tais funções, diminuindo sua capacidade de fornecimento de serviços (CRAUL, 1991; BURGHARDT, 1994; PEDRON *et al.*, 2004). Com isso, para abordar de forma direcionada as especificidades dos solos antrópicos e especificamente solos urbanos com base na potencialidade de fornecimento de serviços, foi criado o grupo denominado SUITMAS (*Soils in Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas*), no Congresso Internacional de Solos realizado em Montpellier (França) pela *International Union of Soil Science* (1998).

BURGHARDT *et al.* (2015) consideram que o SUITMAS, mesmo com características variadas e distintas de solos naturais, podem representar um capital natural importante no fornecimento de serviços ecossistêmicos para moradores urbanos. Esses serviços estão relacionados à capacidade do solo alterado em suportar obras civis,

produção de alimentos e gerenciamento de resíduos, controle de inundações, entre outros (MOREL *et. al.*, 2015). Com isso, o solos urbanos desempenhariam parte importante no desenvolvimento das ações humanas e políticas voltadas ao gerenciamento ambientalmente equilibrado do bem estar da população.

Contudo, devido às lacunas de gestão sustentável no meio físico urbano, atividades antrópicas podem alterar as propriedades químicas, físicas e biológicas naturais dos solos importantes para o fornecimento de serviços ecossistêmicos. Tal alteração representa possíveis “desserviços”, como a concentração de elemento tóxicos contaminantes no solo, provocando alterações de pH, e mudanças no teor de bases trocáveis pela adição de artefatos e resíduos. Conseqüentemente, há a liberação de agentes orgânicos e inorgânicos variados para meio, podendo ser nocivos à saúde humana. Outros “desserviços” podem ser provocados por alterações físicas e biológicas, como a compactação dos horizontes, que interfere no ciclo hidrológico com a diminuição da infiltração, e a redução do material orgânico pela retirada mecânica de horizontes superficiais.

A estimativa dessas alterações vem sendo feitas a partir das avaliações e atribuições de índices de qualidade do solo com interferência antrópica. Para mensurar tais índices são necessárias informações de propriedades inerentes de tais solos, além daquelas relacionadas ao seus usos e manejos. O estabelecimento de *scores* para tais parâmetros e sua unificação em uma medida para o cálculo do índice auxiliam no reconhecimento da capacidade dos solos em desempenhar funções ecossistêmicas, tanto em áreas rurais como em áreas urbanas.

2. Objetivos e Hipótese

A pesquisa tem como objetivo central o estudo de um solo urbano em antiga área industrial localizada no município de São Paulo, com vistas à avaliação de sua qualidade e sua capacidade em fornecer serviços ecossistêmicos à população urbana.

Como objetivos específicos, o estudo pretende apresentar:

- A caracterização morfológica, química e física do solo urbano selecionado;

- A identificação e quantificação do índice de qualidade para o solo estudado;
- A avaliação da capacidade do solo em poder fornecer serviços e “desserviços” ecossistêmicos para os habitantes.

Parte-se da hipótese de que determinadas atividades antrópicas não afetariam a qualidade e capacidade da cobertura pedológica em fornecer ao menos alguns serviços ecossistêmicos à população urbana, mesmo tratando-se de solos altamente alterados.

3. Referencial Teórico

3.1 A influência antrópica no meio ambiente e como um fator de formação dos solos.

As intensas ações humanas na dinâmica dos ambientes naturais representam, especialmente a partir do século XX, um novo modificador da superfície terrestre em diferentes escalas (MARSH, 1864; SHERLOCK, 1922; VERNADSKY, 1926; THOMAS, 1956; CHEMEKOV, 1983; TER-STEPHANIAN, 1988). Diante desta crescente interferência antrópica, alguns autores tem considerado que a humanidade atualmente vive em um novo período geológico que substitui o período Holoceno (10000-12000AP), denominado de Antropoceno, termo proposto por CRUTZEN & STOERMER (2000).

A interferência antrópica pode ser notada pelas mudanças de uso do solo e expansão populacional mundial, emissões de poluentes na atmosfera pela queima de combustíveis fósseis e alteração do fenômeno do efeito estufa, introdução de contaminante em rios e solos, desmatamento de florestas, entre outros (CRUTZEN, 2002a; 2002b). Embora tais impactos possam ser notados em escalas globais, ainda há um debate na comunidade científica sobre a inserção do período Antropoceno, considerando se sua importância estratigráfica é suficiente para a definição de uma época geológica (GOUDIE & VILES, 2016).

STEFFEN *et al.* (2007) subdividiram o período Antropoceno em três estágios. O primeiro consiste na “Era Industrial” (Industrial Era), e abrange o intervalo entre 1800 do século XVII a 1945 do século XX. Tal estágio inicia-se com o nascimento da indústria e criação de novas fontes de energia sobretudo pela queima de combustíveis

fósseis, o que possibilitou o aparecimento contínuo de novas tecnologias e aumento de eficiência de produção. O segundo estágio do Antropoceno foi denominado de “Grande Aceleração” (Great Acceleration), com o início no pós-Segunda Guerra Mundial (1945) no século XX até o ano de 2015 do século XXI. Esse intervalo representa um dramático crescimento populacional mundial, expansão da urbanização e modificações radicais no uso do solo, o aumento da utilização de fontes de energia provenientes de combustíveis fósseis, consumo de recursos naturais como a água e solo. O último estágio iniciou-se em 2015 e percorre os dias atuais, denominado “Administradores do Sistema Terra” (Stewards of the Earth System), o que corresponde a maneira cada vez mais consciente pela qual as atividades humanas são reconhecidas por afetar a estrutura e funcionamento de todo o Sistema Terra. Um contraponto à essa divisão é apresentada por RUDDIMAN (2003), que considera o início do período Antropoceno a partir das primeiras interferências na atmosfera por atividades antrópicas a cerca de 5000 anos atrás, conforme registro de aumento anômalo da concentração de CO₂ e CHOR₄ na atmosfera.

No campo das Ciências da Terra, relacionada ao fator geológico, iniciativas tem sido realizadas no estudo de interferências antrópicas em sistemas geomorfológicos, com a denominação de “Antropogeomorfologia” e discutidas em algumas obras de referência (NIR, 1983, GOUDIE & VILES, 2016). Tal impacto nos sistemas geológicos e geomorfológicos tem como consequências ações de deposição e remoção de material por escavação mecânica, práticas de cultivo agrícola, construções de barragens provocando interferência no transporte natural de sedimentos, entre outras (PRICE *et al.*, 2011). Conforme os autores, tais medidas constituem um grupo de forças deliberadas, conscientes da mudança do meio físico, em contrapartida das forças não intencionais que precisam de ações naturais, como agentes eólicos e hídricos. Esforços de reconhecimento da interferência intencional é demonstrada em LIMA(1990), RODRIGUES (1997, 2010), RODRIGUES *et al.* (2019) em conjunto com grupo de trabalho que aplica a temática da Antropogeomorfologia para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Tais pesquisas utilizam-se do reconhecimento dos sistemas hidrogeomorfológicos pretéritos e atuais para a avaliação da magnitude das interferências antrópicas provocadas pela urbanização nessa região.

Para os solos, a noção de que o fator humano pudesse influenciar na cobertura pedológica foi apresentada e revisada em BIDWELL & HOLE (1965). De acordo com os autores, o início dessa interferência ocorre nas primeiras revoluções neolíticas e desenvolvimento da agricultura. Com o progresso tecnológico, a ação antrópica potencializou alterações profundas no solo, como introdução de fertilizantes e aceleração de processos erosivos. Dessa forma, tais interferências foram capazes de manipular os fatores clássicos de formação (rocha, relevo, clima, organismos e tempo) de acordo com as propriedades e usos exercidos nos solos.

A consideração da atividade humana como um dos fatores de formação dos solos foi indicada como processo de “metapedogênese” (YAALON & YARON, 1966). De acordo com os autores, essa noção abrange a incorporação do fator antrópico à equação de fatores de formação de solos de JENNY(1941). Foi considerado que a manipulação do homem no solo não afetou somente uma ou algumas propriedades, mas resultou em uma rede simultânea e interrelacionada de mudanças em vários parâmetros dos solos, como uma estrutura de processo-resposta. Dessa forma, a estrutura do processo de “metapedogênese” inclui um perfil pedológico anterior às alterações, considerando os fatores clássicos de formação (S_1) e posterior a influência humana (S_2) (YAALON & YARON, 1966).

Adotando as premissas de YAALON & YARON (1966), EFFLAND & POUYAT (1997) e POUYAT (1991) afirmaram que a equação de formação do solo pode fornecer subsídios para compreender a transição na faixa de solos naturais ou rurais para aqueles em áreas urbanas, destacando o agente antrópico separado dos demais. Dessa forma, a influência humana diferencia-se do impacto de outros organismos porque é realizada de maneira proposital, em maior intensidade e em diferentes escalas espaço-temporais, de acordo com sua complexidade. Assim, as mudanças na escala humana geralmente desenvolvem-se em curto espaço de tempo em comparação com as mudanças naturais, e mesmo sendo parte do meio biótico, o potencial tecnológico de impacto coloca o ser humano em posição diferenciada das outras espécies (EFFLAND & POUYAT; 1997; POUYAT, 1991), como um sexto fator

de formação pedológica identificado nos denominados solos antropogênicos (DUDAL, 2004).

3.2 Solos antropogênicos e solos urbanos

Os solos denominados antropogênicos (ou antrópicos) englobam uma ampla gama de coberturas pedológicas, porém são apresentados muitas vezes de maneira genérica (DUDAL, 2002). Basicamente, tais coberturas correspondem a um corpo de solo formado por materiais antropogênicos, ou que tiveram suas propriedades relativamente alteradas por atividades e técnicas antrópicas, distribuídos por diferentes regiões (cidades, áreas rurais, florestas etc.) (ICOMANTH, 2003). A dificuldade de se reconhecer a extensão da interferência antrópica nos processos pedogenéticos impediu um tratamento mais detalhado dessas coberturas (CAPRA *et al*, 2015), enquanto a generalização, dificuldade de discernimento de características e variabilidade de ações antrópicas nos solos ocasionou uma proliferação de termos em sistemas de classificação (DUDAL, 2004). Para considerar uma possível influência antrópica em solos, termos como “agrozeims”, “anthrepts”, “anthrosols”, “urbanozeims”, “hortisols” entre outros, além de solos “artificiais” ou “construídos”, foram e são utilizados para designá-los em sistemas taxonômicos.

A multiplicidade de termos indicada pode ocasionar uma fragmentação e falta de precisão dos conceitos de solos antropogênicos (DUDAL, 2004). Neste sentido, DAZZI & LO PAPA (2015), apresentando a proposta de DUDAL *et al*. (2002), organizam os principais tipos reconhecidos pela ação antrópica para tais solos, necessária para evitar a divisão em inúmeras classificações e promover o discernimento e organização do conceito de solos antropogênicos de acordo com as variadas intervenções antrópicas. Tais ações e exemplos são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Grupos de solos antropogênicos conforme interferências antrópicas.

Tipos de alterações pela formação de solos antropogênicos	Definições atribuídas	Exemplos representativos
Mudança de classificação de solos	Representam solos pré-existentes que foram alterados por atividades	- Cambisolos formados pela

por alterações antrópicas	agrícolas e desenvolveram uma nova cobertura de classificação taxonômica diferente da anterior.	drenagem artificial de Gleysolos; - Nitossolos <i>anthraquic</i> formados a partir de Nitossolos háplicos.
Solos que apresentam novos horizontes diagnósticos antrópicos.	Horizontes ou características diagnósticas formadas pela ação humana por longo período de tempo, como a aplicação de matéria orgânica ou cultivo alagado.	- “Man-made humus soil” (Classificação de solos da Inglaterra e País de Gales); “Anthrosols” (WRB)
Solos formados de novos materiais de origem.	Solos formadas por materiais ou artefatos orgânicos ou inorgânicos como rejeitos de aterros, mineração e resíduos industriais produzidos pela atividade humana e que sofrem decomposição pelos outros fatores de formação do solo	- Potisols (Fanning <i>et al.</i> , 1978); - Methanosols (Blume, 1989)
Alteração de solos em grandes profundidades	Solos de áreas que passaram por obras com escavações rasas ou profundas para manejo agrícola; não apresentam horizonte diagnóstico ou materiais dispostos de maneira discernível.	- Solos do subgrupo Aric (WRB);
Alterações no relevo	Solos em áreas que foram niveladas por técnicas agrícolas para cultivo por grande período de tempo, transformando o relevo original.	Todos os solos impactados que modificaram formas do relevo.

Alteração superficial de solos.	Áreas com alteração dos <i>topsoil</i> por atividades antrópicas como desmatamento, fertilização e contaminação.	Qualquer solo com modificação no horizonte superficial.
Construção/reconstrução de solos	Solos que foram “recuperados” de eventos naturais extremos ou da forte interferência antrópica.	Sem classificação definida.

Fonte: DUDAL, 2002; DAZZI & LO PAPA, (2015).

Apesar do esforço em sistematizar ações e produtos relacionados aos solos antropogênicos, a diversidade e sobreposição de conceitos ainda é grande. Talvez isto esteja relacionado ao fato da maioria das pesquisas nas ciências do solo terem sido aplicada para o entendimento de solos em regiões naturais e para o uso agrícola, havendo muito maior restrição na quantidade dos estudos voltados para solos ditos antropogênicos (BURGHARDT, 1994; DE KIMPE & MOREL, 2000, CAPRA *et al*, 2015). Pode-se entender que tal atenção limitada à ação humana deve-se, ao menos parcialmente, ao fato de ocorrer até meados do século XX pouca densidade populacional mundial e reduzida interferência antrópica com métodos agrícolas, mesmo ocorrendo a um longo período de tempo (DUDAL, 2002).

Os estudos pioneiros não denominavam solos como “antropogênicos”, contudo já introduziam o efeito geral da ação antrópica (WHITNEY, 1925, BIDWELL & HOLE, 1965, YAALON & YARON, 1966). A popularização dos estudos de solos antropogênicos somente ocorre a partir das décadas de 1960 a 1980 (CAPRA *et al*, 2015). Há um crescente interesse em estudo de solos em áreas de minas com objetivo de recuperá-los para outros usos (TYNER & SMITH, 1946, LOSCHE & BEVERAGE, 1967, SENCINDIVER; AMMONS; DELP, 1978). Algumas denominações para tais solos foram propostas, como “human/man-influenced soils” (FANNING *et al.*, 1978) e “man-made soils” (YAALON & YARON, 1966).

A dificuldade de reconhecimento dos solos antropogênicos para área urbana certamente colaborou para a forte negligência do entendimento de tais solos em cidades. Poucas pesquisas anteriores a década de 1960 voltaram-se ao estudo de solos urbanos e

seu reconhecimento como um tipo de solo antropogênico, havendo indicativos na obra de Ferdinand Senft (1847) sobre solos em áreas urbanas, industriais e de mineração; o mapeamento de solos na área urbana de Brottop, Alemanha, realizado por Mückenhausen and Müller (1951). Cabe destacar que a primeira citação do termo “solo urbano” foi realizada na pesquisa de identificação de propriedades de solos em Moscou realizada por Zemlyanitskiy (1963) (LEHMANN & STAHR, 2007).

Os impulsos para os estudos acerca dos solos ditos “urbanos” foram iniciados na década 1970, coincidindo com as pesquisas sobre solos antropogênicos. Conforme BURGHARDT *et al.* (2015), o interesse pelos solos urbanos cresce com a influência das ciências de planejamento territorial, havendo o desenvolvimento de iniciativas nesse sentido em algumas cidades, como em Perth, Australia (ANDREWS, 1971), Washington D.C, EUA (SMITH, 1976; SHORT & PATTERSON, 1984), e Berlin, Alemanha (GRENZIUS & BLUME, 1983). Outras pesquisas voltaram-se ao reconhecimento de contaminantes presentes em atividades humanas, provenientes, por exemplo, do tráfego e da pintura das casas (JORDAN & HOGAN, 1975; BLUME & RUNGE, 1978). Com a crescente investigação de solos em áreas urbanas, alguns autores contribuíram com estudos de referência sobre “solos urbanos”, delimitando conceitos e identificando características de tais solos perturbados pelas atividades antrópicas (CRAUL, 1985; 1992; BULLOCK & GREGORY, 1991).

Conforme BOCKHEIM (1974) e CRAUL (1985), solos urbanos são materiais que apresentam camadas antrópicas não agrícolas com mais de 50cm de espessura, que sofreram manipulação, perturbação ou transporte por atividades humanas. Um dos pontos destacados para o estudo e caracterização dos solos urbanos é a diferenciação de materiais que constituem as camadas do perfil do solo. Os materiais misturam-se entre os naturais próprios da formação do solo original e substâncias antrópicas tais como plásticos, concreto, restos de construção, que podem liberar contaminantes no corpo do solo. Com isso, decorre que a mistura e disposição dos materiais antrópicos, bem como a compactação, exercem o fator diferenciador dos solos urbanos dos periurbanos e rurais.

HOLLIS (1991) considera que a definição dos autores não comporta solos existentes em áreas urbanas que sofreram poucas ou nenhuma alteração em suas características. Além disso, o autor considera que, seguindo recomendações de FANNING *et al.*(1978), para a definição anterior não são considerados solos que contêm contaminantes tóxicos para plantas mas que podem ter o *potencial* para manutenção de vegetação caso sua contaminação seja corrigida. Dessa forma, com a necessidade de uma denominação mais ampla e que seja útil para classificações taxonômicas, HOLLIS (1991, p. 5) apresenta que os solos urbanos constituem “*qualquer* material inconsolidado mineral ou orgânico da superfície que tem o potencial de suportar o crescimento de plantas”.

Esta definição é seguida por EFFLAND & POUYAT (1997), que consideram que solos urbanos apresentam uma trama misturada de formações pouco alteradas a muito alteradas, dependendo do seu uso e ocupação. Os autores trabalham com a ideia “gradiente de uso do solo urbano-rural” (MCDONELL & PICKETT, 1990), considerando a variação de solos interferidos ou solos naturais conforme a proximidade com os centros urbanos e as áreas suburbanas e rurais. Com isso, solos menos perturbados em núcleos urbanos são limitadas a locais de áreas verdes, mais escassas no centro da cidade, havendo aumento de sua presença conforme o distanciamento do centro. Em contrapartida, solos fortemente alterados são mais presentes em centros urbanizados, tornando-se menos concentrados em direção à periferia.

Solos urbanos apresentam determinadas características que os diferenciam de demais formações superficiais, identificado por diversos autores (CRAUL, 1985; BURGHARDT, 1994; EFFLAND & POUYAT 1997; NORRA & STUBEN, 2003; POUYAT *et al.*, 2010; LEHMANN & STAHR, 2007, MOREL *et al.*, 2005; BURGHARDT *et al.*, 2015, MOREL; CHENU; LORENZ, 2015; BURGHARDT, 2017). De maneira geral, as principais características são: a) grande variabilidade espacial e vertical; b) alta compactação e possível presença de crosta superficial em solo exposto geralmente impermeável, ocasionando restrição de infiltração e aeração do solo; e) modificação do ciclo biogeoquímico e redução da atividade orgânica, com perda de fertilidade; f) presença de materiais antrópicos, denominados artefatos, tais

como concreto, tijolos, telhas, plásticos, brita, lixo resíduos industriais, compostos de hidrocarbonetos, dejetos de minas e outros; g) mudanças no regime de temperatura e umidade dos solos; h) introdução de contaminantes, como elementos metálicos, compostos clorados e óleos, ao mesmo tempo que pode funcionar como meio de depuração de tais substâncias; i) alterações de pH, que geralmente sofre aumento com a introdução de artefatos a base de calcário; j) alteração da proporção de sequestro de carbono (C) e perda de nitrogênio (N); l) mistura ou mobilização de camadas e horizontes.

Obras sobre solos urbanos em CRAUL (1985) e BULLOCK & GREGORY (1991) focaram nas características próprias dos solos desenvolvidos em áreas urbanas, contudo, pouca foi a ênfase dada nos tipos de uso exercidos no solo que implicam nas alterações de suas características, diferentemente do direcionamento dado por EFFLAND & POUYAT (1997) e POUYAT *et al.* (2007), que atribuem o peso do uso do solo para alterações antrópicas nas formações superficiais. Conforme BURGHARDT *et al.* (2015), as pesquisas que envolvem solos urbanos necessitariam abordar características próprias das cidades, como o uso do solo, topografia da cidade, impermeabilização, introdução de componentes perigosos, morfologia, matéria orgânica e gases, carbono orgânico e inorgânico, acidez e atividade biológica do solo. Da mesma forma, PEDRON *et al.* (2004), indica que o termo “solo urbano” teria, inicialmente, a função de ressaltar o uso do solo e apontar para um conjunto de possíveis modificações em suas propriedades. Haveria uma interação entre o solo natural e os tipos de uso exercidos em determinado local. Os resultados dessa interação são mudanças em propriedades morfológicas, químicas e físicas do solo em relação àquelas encontradas em condições de solo não alterado.

Para um estudo sistematizado dos usos urbanos e de suas características modificadas, foi proposto um grupo de trabalho durante 16º Congresso Internacional de Ciência do Solo, realizado em 1998, na cidade de Montpellier. Esse grupo foi denominado SUITMAs (*Soils in Urban, Industrial, Traffic and Military Areas*), como reunião dos estudos voltados a solos dessas áreas pela *International Soil Science Society*

(ISSS – atual IUSS – *International Union Soil Science*) (MOREL *et al.*, 2015; BURGHARDT *et al.* 2015; LEVIN, *et al.*, 2017).

De acordo com MOREL *et al.* (2017), os SUITMAS correspondem às coberturas pedológicas com pouca alteração a intensivamente alteradas por atividades antrópicas, incluindo as atividades urbanas. Tal abrangência segue o sentido proposto por HOLLIS (1991) e EFFLAND & POUYAT (1997) e vai além pela consideração dos usos atribuídos a esses solos.

Segundo essa definição, atividades antrópicas provocam transformações, adições, translocações e remoções de materiais na cobertura pedológica original. Materiais adicionados podem ser variados artefatos antrópicos, como resíduos de construção civil (concreto, tijolos, madeira, metais, etc), industriais (efluentes, lodos líquidos, cinzas, metais, resíduos de alcalinos ou ácidos, combustíveis) e urbanos (esgoto, lixo doméstico). Esses resíduos são incorporados ao solo inicial, podendo alterar o regime hídrico, a quantidade de material orgânico presente, estrutura, características químicas, a densidade do solo e a textura (pela presença de material grosseiro) (BURGHARDT, 2017). A inserção de resíduos da construção civil (especialmente concreto) pode, por exemplo, aumentar a proporção de carbonatos e, conseqüentemente, elevar os valores de pH do solo.

Mudanças como as indicadas pelos SUITMAS foram apresentadas em HILLER (2000) no estudo de solos antrópicos em antigos pátios ferroviários em zonas industriais no Ruhr, Alemanha. Inicialmente, a presença de materiais grossos alterou a textura e densidade da cobertura pedológica e, conseqüentemente, a capacidade de retenção de água e o suporte para desenvolvimento de plantas e os conteúdos de nitrogênio (N), carbono orgânico (C) e fósforo (P).

Alterações de características dos solos por influências antrópicas também foram demonstradas em GREINERT (2015), no estudo da área urbana de Zielona Gora, na Polônia. Diversas amostras foram retiradas de locais com variados usos urbanos, como parques e praças, áreas próximas à construções e pavimentadas. O estudo constatou a variabilidade vertical e horizontal da cobertura pedológica, deposição de materiais antrópicos e mistura com os solos originais. Ocorreu a alteração de propriedades

químicas, como aumento do conteúdo de carbonato de cálcio proveniente dos materiais de construção e diferenças de condutividade elétrica entre os solos de diferentes usos dentro da cidade.

De maneira geral, variadas modificações podem produzir diversas camadas/horizontes diferenciadas daquelas em ambiente original, tanto em sua estrutura e organização quanto nos processos pedogenéticos de solos alterados. Para o presente trabalho, é aceita e utilizada a definição de solos urbanos conforme os SUITMAS, concordando com o gradiente de interferências de tais solos pelas ações antrópicas. Com o impacto variado no solo e a aplicação dos princípios dos SUITMAS, é possível indicar as potencialidades de fornecimento de serviços ecossistêmicos pelos solos urbanos para os habitantes das cidades.

3.3 Serviços ecossistêmicos e solos urbanos

Serviços ecossistêmicos consistem nos fluxos de massa, energia e informação provenientes do capital natural que, combinados com os serviços de capital humano e manufaturado, produzem os bens para as necessidades humanas (COSTANZA et al., 1997). O capital natural deriva da noção de uso dos recursos naturais para necessidades humanas em ambientes naturais ou com algum impacto antrópico, com o objetivo de usufruir as funções de um ecossistema local. Ecossistema é entendido como uma comunidade interrelacional e complexa de animais, plantas, microorganismos e elementos não vivos que formam uma unidade funcional (MEA, 2003). Dessa forma, o ser humano faz parte dessa estrutura.

Derivando de uma noção econômico-ecológica, um ecossistema representa um “capital natural”, que corresponde ao conjunto e estoque de funções ecossistêmicas e representam os elementos naturais e ecológicos, como o ar, água, microorganismos (COSTANZA & DALY, 1992; ANDRADE & ROMEIRO, 2009). Conforme DOMINATI; PATTERSON; MACKAY (2010), funções e serviços ecossistêmicos são os fluxos benéficos que são retirados desses estoques para satisfazerem as necessidades humanas. Com isso, serviços e bens fornecidos pelas funções ecossistêmicas são recursos que podem ser tangíveis (materiais) ou intangíveis (imaterias, sentimentais,

sensoriais etc.) provenientes do capital natural e podem ser consumidos pelos habitantes de uma região (DAILY, 1997).

As funções ecossistêmicas referem-se às características do habitat, propriedades ecológicas e processos que ocorrem nos ecossistemas. Devido à complexa interrelação dos fatores naturais, elas foram agrupadas em quatro tipos primários (DE GROOT *et al*, 2000; DE GROOT *et al*, 2002) (Tabela 2):

- a) Funções de regulação: relacionadas ao potencial de ecossistemas naturais e semi-naturais de manter os processos ecológicos essenciais de seu funcionamento, por meio de ciclos biogeoquímicos e outros processos biológicos;
- b) Funções de habitat: funções de proteção, reprodução e moradia para fauna e flora em ecossistemas naturais, o que também contribui para sua preservação;
- c) Funções de produção: processos de seres autótrofos para a produção de biomassa para variados consumos humanos;
- d) Funções de informação: relação entre ecossistemas naturais e os seres humanos por oportunidade de reflexão espiritual, cognitiva, recreação e experiência estética.

Tais funções descritas apresentam uma relação não unívoca para os denominados serviços ecossistêmicos (COSTANZA *et al.*, 1997; DE GROOT *et al*, 2002; ANDRADE & ROMEIRO, 2009). Dessa forma, um serviço pode ser fornecido por uma ou mais de uma função ecossistêmica, e vice-versa. Os autores, ainda, indicam cerca de vinte e três funções ecossistêmicas (Tabela 2) capazes de fornecer serviços ecossistêmicos, separadas conforme os grupos citados.

Tabela 2 - Grupos e funções ecossistêmicas disponíveis.

FUNÇÕES ECOSSISTÊMICAS			
Regulação	Habitat	Produção	Informação
- Regulação atmosférica	- Funções de refúgio natural	- Alimentos	- Estética
- Regulação climática	- Funções de berçário natural	- Matérias primas	- Recreação
		- Recursos genéticos	- Informação cultural e artística

<ul style="list-style-type: none"> - Prevenção de catástrofes naturais - Regulação hídrica - Fornecimento hídrico - Preservação do solo - Formação do solo - Regulação de nutrientes - Tratamento de resíduos - Polinização - Controle Biológico de populações 		<ul style="list-style-type: none"> -Recursos medicinais - Recursos ornamentais 	<ul style="list-style-type: none"> Informação espiritual e histórica - Ciência e educação
---	--	--	---

Adaptado de: DE GROOT *et al.*, 2002

A partir dessa ligação direta com as funções ecossistêmicas, os serviços ecossistêmicos podem ser organizados em quatro categorias essenciais, conforme a Avaliação do Milênio (MEA, 2003): provisão, regulação, culturais e de suporte (Tabela 3).

Tabela 3 - Serviços ecossistêmicos por categorias.

Categorias de serviços	Serviços fornecidos
Provisão	Produtos obtidos dos ecossistemas: água, alimentos, medicinais etc.
Regulação	Obtidos da regulação de processos ecossistêmicos: climáticos, desastres, hídricos etc.
Culturais	Recursos não materiais: religiosos e espirituais, estéticos, educacionais etc.

Suporte	Serviços essenciais para a produção de todos os outros serviços: formação de solos, ciclo de nutrientes, produção primária
---------	--

Fonte: MEA, 2003.

Nota-se a estreita relação entre funções e serviços ecossistêmicos, indicando a relação contínua e não unilateral entre eles (DE GROOT *et al.*, 2002). No caso, funções de regulação, produção e informação são vinculadas aos serviços de regulação, provisão e culturais, respectivamente, embora, por exemplo, alguma mudança climática influenciando uma função de regulação possa afetar um serviço de provisão, no caso, a produção de alimentos. Ressalta-se os serviços de suporte e habitat, não ligados diretamente a uma função de determinado grupo, mas podendo abranger grupos de funções diferentes.

Os solos podem ser considerados como capitais naturais porque exercem importante papel no fornecimento de serviços ecossistêmicos (DOMINATI; PATTERSON; MACKAY, 2010). Reconhecer as funções do solo é como descrever o que ele faz (SEYBOLD *et al.*, 1997). Conforme a Tabela 2, os solos têm importante papel nos serviços de regulação e na Tabela 3 demonstra-se que suas propriedades fornecem serviços de suporte a todos os outros serviços.

As divisões apresentadas acima pretendem abarcar a maior quantidade de funções possíveis de serem desempenhadas por capitais naturais e capazes de fornecer serviços ecossistêmicos. Porém, para os solos, falham em não reconhecer as diferenças existentes entre esses e suas capacidades de fornecer serviços ecossistêmicos e não deixam explicitados como os solos atuam nesse fornecimento (DOMINATI; PATTERSON; MACKAY, 2010).

Os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos solos em áreas urbanas podem variar conforme o estágio de conservação ou interferência de suas propriedades, em comparação àqueles apresentados pelas formações superficiais em áreas naturais e rurais (MOREL; CHENU; LORENZ, 2015). Com isso, um solo urbano pode ou não

fornecer determinado serviço em comparação a uma outra cobertura pedológica não interferida por atividades humanas.

Em ambientes urbanos, funções ecossistêmicas desempenhas são utilizados em uma ampla gama de necessidades humanas. Para esses locais, mesmo com solos interferidos por atividades antropicas, BLANCHART et al. (2018) indicaram, baseados em serviços fornecidos por solos de maneira geral, dezessete tipos possíveis de serviços aplicados à áreas urbanas(Tabela 4):

Tabela 4 - Serviços ecossistêmicos atribuídos a solos em áreas urbanas.

Grupos de Serviços	Indicadores
Regulação	Regulagem da qualidade do ar
	Regulagem climática
	Tratamento de resíduos
	Purificação hídrica
	Atenuação de ruído
	Mitigação de ameaças naturais
Fornecimento/Suporte	Produção de alimentos
	Suporte para atividades humanas e serviços
	Suporte para infraestruturas antrópicas
	Suporte de habitat para animais
	Fornecimento de fibras e matérias primas
	Energia
	Produtos bioquímicos e recursos medicinais
	Recursos ornamentais
	Transporte de fluidos
Cultural	Conservação patrimonial e laser

Fonte: BLANCHART et al., 2018.

Apesar de sua importância no gerenciamento sustentável dos recursos naturais e no fornecimento de serviços, os solos são relevados a uma categoria secundária devido à dificuldade dos cientistas do solo de comunicarem seus resultados para os planejadores urbanos, a fim de efetuar uma aplicação prática dos serviços ecossistêmicos (MOREL; CHENU; LORENZ, 2015). Ao mesmo tempo, algumas características de solos urbanos referidas anteriormente, tais como a compactação, perda de material e a introdução de contaminantes e substâncias perigosas podem ocasionar “desserviços” dos solos, porém passíveis de serem regulados por uma manejo adequado.

Nesse sentido, o grupo denominado SUITMAs vem como uma proposta de indicar uma classificação com base nas potencialidades em fornecer serviços ecossistêmicos, como aplicação prática e abrangente para áreas urbanas. Com isso, de acordo MOREL *et al.* (2017), os SUITMAs podem ser organizados em quatro grupos principais:

1) *Pseudo-natural SUITMAs* – reúne o grupo de solos que apresenta características semelhantes aos solos naturais, podendo fornecer serviços ecossistêmicos similares a esses. Podem ser encontrados em áreas agrícolas ou de florestas urbanas;

2) *Vegetated engineered SUITMAs* – solos “construídos” para preencher determinadas funções e fornecer serviços ecossistêmicos em deficiência nos solos locais. Esses serviços podem estar alocados em parques, bosques ou os denominados “telhados verdes” em coberturas de edifícios. Cumprem funções como infiltração de água no solo, crescimento de plantas e regulação climática;

3) *Dumping sites SUITMAs* – são solos desenvolvidos em áreas de aterros ou a partir de resíduos sólidos antrópicos, como materiais de construção civil, resíduos industriais variados e bota-foras. Podem preencher determinados serviços ecossistêmicos, como áreas para construção de edificações, parques e estacionamentos, mas menos que as outras duas categorias, podendo até configurar áreas abandonadas ou *bronwfields* em áreas urbanas;

4) **Sealed SUITMAs** – são solos com pouca ou nenhuma vegetação que preenche serviços específicos, relacionados à atividades antrópicas como construções e transporte de pessoas, bens, energia e outros. Este grupo, portanto, está relacionado às infraestruturas urbanas e representa o conjunto de coberturas pedológicas descaracterizadas de suas propriedades naturais.

3.4 Índice de qualidade do solo (IQS) e The Soil Management Assessment Framework (SMAF)

Os solos são considerados corpos dinâmicos e complexos que desempenham funções essenciais na superfície terrestre (DORAN & PARKIN, 1994). Identificar e reconhecer o fornecimento de serviços ecossistêmicos por solos de acordo com suas funções admite ferramentas de medição para essa capacidade. Tais ferramentas são voltadas a avaliação da qualidade do solo (QS), referente aos efeitos antrópicos no uso e manejo de suas funções (SEYBOLD *et al.*, 1997; KARLEN *et al.*, 1997; LARSON & PIERCE, 1991; DORAN & PARKIN, 1994).

Esforços iniciais de definição da qualidade do solo e desenvolvimento de protocolos de avaliação já haviam sido publicados a partir da década de 1970 com Alexander em 1971 e Warkentin e Fletcher em 1977 (KARLEN *et al.*, 2008), devido a importância dos solos em desempenhar serviços ecossistêmicos, como produção de alimentos e depuração de resíduos (KARLEN *et al.*, 2003). Porém, é somente na década de 1990 que os estudos relacionados à qualidade do solo intensificaram-se, aplicados à coberturas com uso agropecuário e agroflorestais (NCR, 1993).

Conforme KARLEN *et al.* (1997, p.6), qualidade do solo é “a capacidade de um tipo de solo em funcionar, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, de suportar a produtividade animal e vegetal, manter ou melhorar a qualidade a água e do ar e sustentar a saúde humana e habitação”. A qualidade é reconhecida à partir do desempenho das funções pedológicas, tais como promover o crescimento de plantas e sua produtividade, regular e distribuir a água no ambiente e funcionar como uma espécie de filtro natural e reciclagem de diversos elementos do meio (LARSON & PIERCE, 1991; SEYBOLD *et al.*, 1997). Sua importância no manejo do solo abrange da

utilização dessa avaliação para agricultores à “saúde” do solo, tanto a presente, quanto para o futuro (DORAN & PARKIN, 1994).

A qualidade referente aos solos pode ser interpretada de duas formas: a) como aquela proveniente das propriedades básicas inerentes de um solo e; b) como a natureza dinâmica dos solos influenciados pelo uso e manejo humano (SEYBOLD *et al.*, 1997, p. 388; KARLEN *et al.*, 1997, p.5). Conforme os autores, a primeira considera que os solos têm capacidades intrínsecas diferentes para comportar uma determinada quantidade de funções. Tal capacidade pode ser quantificada, podendo ser comparáveis entre tipo de solos diferentes; a segunda forma de interpretação relaciona-se às mudanças nos solos provocadas pelo uso humano, o que pode acarretar perdas de material por erosão ou da fertilidade e reduzindo a qualidade, comparadas com uma condição pedológica anterior.

Para acessar e mensurar as diferentes qualidades dos solos, diferentes métodos podem ser utilizados, tanto qualitativos, quanto quantitativos. Métodos qualitativos foram apresentados por ROMIG *et al.*, (1996) HARRIS *et al.* (1996); SHEPHERD (2000) e SHEPHERD *et al.*, (2000) com base em *scorecards*, que consistem na verificação visual em campo de parâmetros como estrutura e consistência, cor do solo, pedoturbação, entre outras. Tais métodos são básicos e direcionados a pessoas não *expert*, com prática e rápida aplicação para avaliação da qualidade do solo.

Os métodos quantitativos são amplamente utilizados, abrangendo quantificação de propriedades físicas, químicas e biológicas que interagem entre si para definição das funções ecossistêmicas dos solos (GREGORICH *et al.*, 1994; SARRANTONIO *et al.*, 1996; ANDREWS *et al.*, 2004). Propriedades químicas podem ser representadas pelo pH, bases trocáveis e taxa de adsorção de cátions, CTC, proporção C:N e condutividade elétrica; propriedades físicas como densidade, condutividade hidráulica, capacidade de retenção de água, estabilidade de agregado e textura; e propriedades biológicas como conteúdo de carbono orgânico e matéria orgânica e respiração basal do solo (SEYBOLD *et al.*, 1997).

O desenvolvimento de um Índice de Qualidade do Solo (IQS), abordagem proposta em KARLEN & STOTT (1994), tornou-se uma metodologia bastante

utilizada, abrangendo trabalhos que desenvolveram um conjunto básico de indicadores, ou *minimum data set* (MDS) (LARSON & PIERCE, 1991) na avaliação da qualidade dos solos. A integração das informações obtidas com um MDS pode ser operada pelo desenvolvimento de um IQS (SEYBOLD *et al.*, 1997; KARLEN *et al.*, 2008; ANDREWS *et al.*, 2002). Para a escolha desses dados, alguns critérios devem ser considerados (DORAN & PARKIN, 1994): a) conter processos ecossistêmicos e relação com a modelagem de processos; b) integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos; c) ser acessível a muitos usuários e aplicável em variados contextos; d) ser sensível à variações de manejo e clima e; e) quando possível, ser um componente de um banco de dados de solos.

Diversos estudos aplicaram metodologias para avaliação de um IQS desenvolvidas a partir das diferentes propriedades pedológicas e fatores externos (contexto climático, tipo de uso, entre outros) (DORAN & PARKIN, 1994; VEUM *et al.*, 2015; ANDREWS *et al.*, 2004). Tais propostas trabalham com a ideia de utilização de um MDS e definição de *scores*, como uma espécie de pontuação para cada indicador que, de forma integrada a outros indicadores, formam índice geral de qualidade.

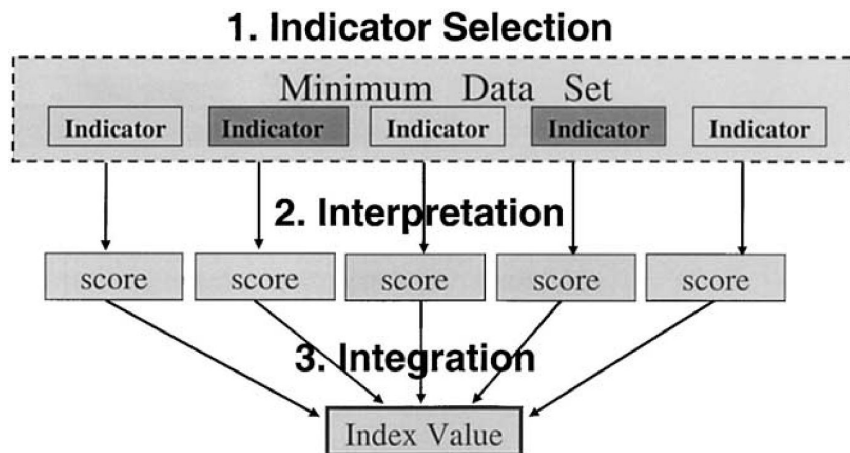
A grande maioria dos estudos aplicados à avaliação da qualidade do solo é voltada às atividades e necessidade agrícolas. A proporção desses estudos aplicados à solos urbanos é reduzida perante às áreas de cultivo. Porém, alguns autores já buscam operacionalizar índices de qualidade do solo voltados a áreas urbanas.

VRSCAJ, POGGIO & MARSAN. (2008) apresentam o método *Urban SMS* para avaliar funções, processos e qualidade de solos em diversas áreas em cidades baseado no cálculo de um índice 3 para 1, englobando o índice de qualidade do solo para determinado uso planejado, um índice de qualidade ambiental do solo para a performance das funções ecológicas essenciais do solo, e um índice de mudanças de uso do solo para avaliar o impacto desse nas funções fornecidas pelos solos. O método é operacionalizado, por dois procedimentos, um voltado ao controle da qualidade do solo urbano, e outro referente à avaliação da qualidade pela mudança de usos para planejadores urbanos.

BLANCHART *et al.* (2018), introduz o DESTISOL, sistemas de decisão para planejadores urbanos com uma análise integrativa de indicadores de qualidade, funções do solos urbanos e seus serviços ecossistêmicos de forma semi-quantitativa. HORVATH *et al.* (2016) avalia as interferências antrópicas na introdução e concentração de metais pesados contaminantes nos solos urbanos em usos como parques, florestas, jardins, residências, tráfego de veículos, indústria e outros em Sopron, Hungria. Os indicadores utilizados foram metais pesados (Cd, Co, Cu, Ni, Pb e Zn), pH, CaCO₃, granulometria, matéria orgânica e compactação. Os resultados demonstraram que a presença de CaCO₃ de origem natural e antrópico provocou aumento do pH em quase todos os usos, menos os de florestas, e contribuiu para a diminuição da mobilidade dos contaminantes do solo. Somente os elementos Pb, Cd e Cu apresentaram valores maiores de concentração estipulados pela legislação. BERNISTON *et al.* (2014) avaliou os efeitos negativos das atividades de demolição de edificações em dois lotes com perspectivas de uso para agricultura urbana. Testes de introdução de material orgânico mostraram-se positivos na melhoria das propriedades dos solos desses locais e aumento do índice de qualidade.

Nesse trabalho, é utilizada a ferramenta proposta em ANDREWS *et al.* (2004), denominada *Soil Management Assessment Framework* – SMAF. Tal metodologia segue as recomendações anteriormente apresentadas para a avaliação das funções ecossistêmicas dos solos e apresenta versatilidade na troca e utilização de indicadores, com abrangência de 81 parâmetros potenciais para avaliação (BUNEMANN *et al.*, 2018). O SMAF (Figura 1) consiste em três fases: seleção de indicadores para um MDS, interpretação de indicadores e atribuição de um valor índice de qualidade (KARLEN *et al.* 2008; ANDREWS *et al.*, 2004; STOTT *et al.*, 2010). O cálculo do índice é operacionalizado por meio de tabelas Excel com fórmulas e algoritmos para correlacionar os indicadores utilizados.

Figura 1 - Estrutura básica de funcionamento do *Soil Management Assessment Framework* (SMAF).



Fonte: ANDREWS *et al.* (2004).

A escolha dos indicadores inseridos na avaliação do índice sugere um sistema de regras de decisão dentro da estrutura do programa de cálculo da planilha para a recomendação de indicadores conforme metas de uso ou manejo estipuladas pelos usuários. Por exemplo, se há a necessidade de adição de adubo, a quantidade de P é sugerida pelo algoritmo como um indicador de avaliação (KARLEN *et al.*, 2008). A tabela pode realizar uma escolha automatizada de indicadores, obedecendo o conjunto de dados interno ao algoritmo de correlação de índices, ou escolha de indicadores de forma manual, como também em outros métodos de avaliação de qualidade.

Após a escolha de indicadores, o segundo procedimento é a interpretação dos indicadores, etapa na qual tais parâmetros são transformados em *scores*, calculados por funções matemáticas de curvas de pontuação, processo operacionalizado pelo programa. Tais curvas de pontuação são desenvolvidas a partir de um processo multifásico de identificação de um indicador, determinação da natureza da relação entre esse indicador e uma ou várias funções do solo, alinhamento e programação de um conjunto de algoritmos e/ou afirmações lógicas matemáticas que descrevem essa relação e a valida em uma curva de pontuação resultante (WIENHOLD *et al.*, 2009). Dessa forma, tais algoritmos e afirmações determinam e definem matematicamente os indicadores empíricos como *scores* normalizados, refletindo a performance do serviço ecossistêmico ou das funções do solo (ANDREWS *et al.*, 2004). No SMAF, tal *score* varia entre 0 a

1, sendo que quanto mais próximo de 1 melhor a qualidade de um solo para o desenvolvimento de determinada função.

As curvas e funções utilizadas para as conversões de curvas de *scores* em funções dos solos são basicamente de três: a) “*more is better*” (curvas assintóticas-sigmoides positivas); b) “*less is better*” (curvas assintóticas-sigmoides negativas) e; c) ponto médio ótimo (função gaussiana) (STOTT *et al.*, 2010 ; ANDREWS *et al.*, 2004; WIENHOLD *et al.*, 2009; BUNEMANN *et al.*, 2018). Com isso, indicadores como carbono orgânico total e estabilidade de agregados dependem de funções “*more is better*”, pois maiores valores desses parâmetros são importantes na fertilidade e estabilidade estrutural do solo, respectivamente (TIESSSEN *et al.*, 1994; HERRICK & WANDER, 1998; ANDREWS *et al.*, 2004). Em contrapartida, para funções “*less is better*”, são usados indicadores como a densidade do solo, que com sua elevação pode inibir o crescimento de raízes e a porosidade do solo, diminuindo o IQS (GROSSMAN *et al.*, 2001). Indicadores que variam em uma determinada faixa de valores ótimo para determinada cultura agrícola, como pH, P e condutividade elétrica, são condicionados por funções de ponto médio (TANJI, 1990; HANSEN; GRATTAN; FULTON, 1992; SMITH & DORAN, 1996, ANDREWS *et al.*, 2004).

A última etapa da ferramenta SMAF consiste na integração dos *scores* em um único valor, feito por igual ou diferentes pesos para os indicadores selecionados na avaliação, dependendo de sua importância para a função do solo que se quer trabalhar. Tal etapa é necessária caso seja feita a comparação entre diferentes áreas e manejos. ANDREWS *et al.* (2002) fez comparação entre várias técnicas de funções objetivas para integração dos dados, e escolheu o método mais simples, o índice aditivo, para essa fase. Com isso, esta etapa é realizada somando as pontuações para cada indicador, dividindo pelo número total de indicadores e depois multiplicando por 10 (Figura 2).

Figura 2 - Equação da função aditiva para integração dos *scores* e definição do IQS.

$$SQI = \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \right) \times 10$$

Fonte: ANDREWS *et al.*, 2004.

Onde S representa o valor do *Score* e *n* é o número de indicadores do MDS.

No Brasil, alguns estudos abordaram a proposta do SMAF para solos brasileiros. CHERUBIN *et al.* (2016) aplicou a ferramenta para a avaliação da mudança da qualidade do solo entre transições de usos, ou seja, da vegetação nativa passando pelo uso pecuário e, por fim, no cultivo de cana-de-açúcar. Oito indicadores foram utilizados para compor o MDS, além da aplicação de outras duas abordagens no estudo do QS, os índices de estoque de carbono orgânico no solo e a Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS, em inglês). Os resultados demonstraram a eficiência da utilização do SMAF em solos brasileiros submetidos ao cultivo de cana, que indicou a qualidade do solo inicial (vegetação nativa) com o funcionamento de 87% de sua capacidade, ocorrendo a perda com a atividade pecuária, reduzindo o funcionamento do solo a 70%, e novo aumento na introdução da cultura de cana provocado pela elevação da fertilidade do solo.

Em outra análise, LISBOA *et al.* (2019) avalia a qualidade do solo em dois locais de cultivo de cana-de-açúcar mecanizados, onde a retirada da palha da cana pode comprometer algumas algumas funções do solo, como a desagregação da camada superficial pelo impacto das gotas de chuva, ou a perda de regulação de temperatura do solo pela presença da camada fina da palha. Resultados do SMAF demonstraram que, para um dos solos analisados, a remoção total da proteção da palha provocou a redução do índice de qualidade em comparação com a total cobertura. No segundo solo estudado, a retirada da palha não ocasionou perda do índice de qualidade.

A bibliografia de utilização e adaptação do SMAF em áreas urbanas no Brasil ainda é escassa. Um único estudo fez a aplicação do SMAF em cidades, representado por GOMES (2019), que analisou solos de antiga área industrial no município de Diadema (SP), utilizando dados de pH, K, carbono orgânico e densidade do solo.

Os resultados apresentaram, no geral uma baixa qualidade do solo para todos os perfis analisados, notadamente na parte subsuperficial. Entretanto, um maior valor foi encontrado nos horizontes superficiais, inferindo-se um aumento na capacidade do solos de fornecer alguns serviços ecossistêmicos.

3.5 Sistemas de classificações relacionados a antropossolos e solos urbanos

As tentativas de padronização e classificações de tipos de solos são temas de pesquisa antigos referentes às ciências que estudam as coberturas pedológicas. De maneira geral, muitos países desenvolveram classificações próprias, utilizando como referência metodologias próprias ou advindas de outras classificações ao redor do mundo. As classificações são obtidas por meio de avaliações de características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos perfis representativos, resultado das características do contexto ambiental adjacente, como clima, relevo e geologia local.

Dessa forma, conforme PEDRON (2004), quase a totalidade dos sistemas de classificação usam critérios morfológicos relacionados aos processos pedogenéticos para atribuição de classes. Com isso, determinados sistemas englobam a categoria de “solos antrópicos”, embora haja certa dificuldade de definição de critérios de classificação. Isso devido à complexidade das atividades urbanas que utilizam o solo para seu desenvolvimento, como suporte para diversas obras civis, descarte de resíduos, áreas verdes, agricultura urbana e infiltração de águas pluviais. Aqui serão apresentadas brevemente algumas classificações usualmente utilizadas e que servem de parâmetro para classificações ao redor do mundo e no Brasil e suas considerações para os solos antrópicos e urbanos.

3.5.1 Sistema de Classificação de Solos – Estados Unidos da América (*US Soil Taxonomy*)

Conforme BUOL *et al.* (2007) e USDA (2014), as definições das classes taxonômicas são realizadas com base na diferenciação de propriedades dos solos e seus horizontes diagnósticos, incluindo o status sazonal dinâmico da temperatura e umidade do solo. A pedogênese não é empregada para determinar a classificação dos *táxons*, mas é utilizada como guia para a relevância e ponderação das propriedades dos solos.

Com isso, a estrutura do sistema de classificação dos solos norte americana possui seis categorias, sendo essas subdivididas na sequência de maior para menor grau de generalização: Ordem, Subordem, Grande Grupo, Subgrupo, Família e Série. Cada uma divide as entidades de solos, e partindo-se da primeira categoria (Ordem), aumenta-se a complexidade e especificação da classificação. Assim sendo, no sentido contrário de categorização, classes mais baixas tem menor abrangência que as superiores. Na Tabela 5 são apresentadas as especificações de cada categoria.

Tabela 5 - Estrutura do sistema de Classificação de solos dos Estados Unidos.

Categorias	Número de <i>táxons</i>	Natureza das características diferenciadoras
Ordem	12	Presença ou ausência dos principais horizontes diagnósticos, propriedades mineralógicas e regimes extremos de temperatura e umidade do solo.
Subordem	61	Regime de umidade do solo e horizontes diagnósticos
Grande Grupo	316	Grau de expressão dos horizontes diagnósticos dentro de cada Subordem
Subgrupo	2484	Propriedade interligadas aos <i>táxons</i> de outras ordens, subordens, e grupos ou não relacionados a materiais não pedológicos
Família	-	Regimes de temperatura do solo, tamanho de partícula e mineralogia do horizonte diagnóstico
Série	18.000 (nº aproximado nos EUA)	Alguma propriedade consistente não especificamente identificada

Fonte: Buol et al., 2007.

Na classificação pedológica norte-americana não são identificados como Ordem taxonômica solos antrópicos. Para esse caso, a *Soil Taxonomy* apresenta os horizontes diagnósticos superficiais denominados *anthropic epipedons*, que apresenta características diagnósticas como a localização nos denominados “relevos antrópicos”, que podem ser áreas de aterro diversos, terraços, plantios prolongados, áreas de corte feitas por maquinário para obras, diques e outros. Apresentam isenção da influência da rocha parental e são formados essencialmente por atividades antrópicas, comportando atributos e propriedades dessas interferências (USDA, 2014). Dividem-se em dois grupos: *human-altered materials* e *human-transported materials* (USDA, 2014; LEVIN *et al*, 2017).

Os primeiros comportam materiais mobilizados por várias razões por meio da mistura ou introdução de artefatos sem o transporte do corpo do solo para outras áreas fora do contexto de formação, geralmente representando alterações dos solos originais. Esses tipos de materiais podem ser compostos por matéria orgânica ou mineral, podendo conter artefatos que indicam uso agrícola, restos de animais e plantas (USDA, 2014). O segundo grupo representa materiais remobilizados e transportados por atividades antrópicas para outras áreas com mistura ou sobreposição nas camadas receptoras (LEVIN *et al*, 2017). Podem conter descontinuidade litológicas e/ou horizontes dos solos originais soterrados por essa nova camada. Como no primeiro grupo, podem conter artefatos humanos variados, fabricados ou não pelo homem. Ainda, a classificação norte-americana apresenta as *Manufactured layers*, camadas artificiais de artefatos, construídas para proporcionar uma barreira impermeável no solo. Elas podem ser compostas por geomembranas, concreto, asfalto, brita ou plásticos.

Foram estabelecidos, ainda, subgrupos para os *human-altered materials* e *human-transported materials*, que podem ser combinados com outras propriedades dos solos, como conteúdo de material orgânico ou presença de materiais sulfatados. Esses adjetivos correspondem a subgrupos que permitem detalhar determinada característica presente em determinado solo, porém não podem ser combinados com outros subgrupos

de outros táxons. As definições, conforme LEVIN *et al.* (2017), são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Descrição de horizontes antrópicos conforme US Taxonomy.

Denominação de horizontes antrópicos	Características (de acordo com a US taxonomy)
<i>Anthraquic</i>	solos com horizonte resultado de atividades de irrigação agrícola;
<i>Anthrodensic</i>	solos com horizontes de compactação contínua;
<i>Anthropic</i>	solos com horizonte superficial significativamente compactado;
<i>Plaggic</i>	solos com horizonte superficial espesso criado por prolongada adição de adubo e fertilizantes;
<i>Haploplaggic</i>	superfície de característica análoga aos <i>plaggic</i> , mas menos espessa, entre 25 a 50cm;
<i>Anthroportic</i>	horizonte com espessura de 50cm ou mais de materiais transportados pelo ser humano;
<i>Anthraltic</i>	materiais com mais de 50cm de espessura alterados pelo homem em áreas onde algumas atividades mecânicas de terraplenagem foram realizadas para quebrar solos compactados.

Dessa forma, nota-se que a inserção do fator antrópico no sistema de classificação norte-americano limita-se à uma determinada superfície diagnóstica e um conjunto de propriedades consideradas *extragrades*, o que somente permite identificações da atividade humana em níveis subordinados às categorias superiores.

3.5.2 A Classificação de solos da FAO/ONU – *World Reference Base for Soils Resources* (WRB)

A ampla classificação desenvolvida pela Food and Agriculture Organization (FAO) das Nações Unidas (ONU) foi resultado de esforços de diversos autores em cooperação com a *International Union of Soil Sciences* (IUSS), que tratou de reconhecer, e na medida do possível, mapear as unidades de solo em nível mundial. Suas origens estão nos levantamentos realizados na década de 1970 e 1980 para o Mapa de Solos do Mundo (*Soil Map of the World*, FAO/UNESCO – 1971/1981).

A WRB, conforme FAO/ONU (2006; 2014), é um sistema de classificação para nomeação de solos e criação de legendas de mapas, com a finalidade de harmonizar e correlacionar linguagens técnicas relacionadas às pesquisas de solos ao redor do mundo. Ao mesmo tempo, WRB não tem a intenção de substituir outros sistemas de classificação, mas servir como um denominador comum para comunicação em nível internacional. Sua primeira edição aconteceu em 1998, no 16º Congresso Mundial de Ciências do Solo, em Montpellier (NACHTERGAELE, 2003) e a segunda edição ocorreu no 18º Congresso, na Philadelphia, em 2006 (FAO/ONU, 2014).

A classificação de solos é baseada nas propriedades definidas em termos de horizontes diagnósticos, propriedades diagnósticas e materiais diagnósticos, nos quais a maior extensão possível deve ser mensurada e observada em campo. Ao mesmo tempo, esses fatores de classificação possuem estreita ligação com a *Soil Taxonomy* norte americana (ESWARAN *et al.*, 2002). Na medida do possível, no alto nível de generalização, características diagnósticas que são de significância para o manejo de solos são selecionadas. Outro quesito é que, diferentemente da *Soil Taxonomy*, parâmetros climáticos não são atribuídos à classificação dos solos, entendidos como fatores de interpretação na gênese do solo.

O WRB compreende dois níveis de categoria de detalhe: a) No Primeiro Nível (*First Level*), contendo 32 *Reference Soil Groups* - RSGs (“Grupos de Referências de Solos” – tradução livre), as classes são diferenciadas principalmente conforme as características dos solos produzidas pela pedogênese, exceto quando o material parental exerce importância primordial; e no Segundo Nível, que consiste no nome de um RSG combinado com o conjunto de qualidades principais e complementares, os solos são diferenciados de acordo com processos de formação secundários que afetaram significativamente as características primárias (FAO/ONU; 2014; BUOL *et al.* 2007). Muitos RSGs são representativos dos principais solos regionais assim como fornecem uma visão abrangente da cobertura pedológica global.

A nomenclatura utilizada para distinguir grupos de solos conserva termos que são tradicionalmente utilizados ou que podem ser facilmente utilizados na linguagem corrente. Eles são definidos de maneira precisa, para evitar confusões na ocorrência de nomes utilizados para diferentes conotações.

Para solos influenciados pela atividade antrópica, a WRB desenvolveu uma classificação em sua última atualização (FAO/ONU, 2014), fornecendo duas Ordens que partem da perturbação nas estruturas pedológicas: os *Anthrosols* e *Technosols*. A classe dos *Anthrosols* (Figura 3), abrange solos em regiões agrícolas modificados através de atividades humanas por prolongado período de tempo, normalmente restringindo-se aos horizontes superficiais e diferenciando-se dos horizontes não perturbados. Essa modificação pode ser exemplificada pelo cultivo e irrigação de solos, disposição de resíduos domésticos e outros materiais orgânicos e minerais. Os horizontes modificados devem possuir espessura superior a 50cm, podendo ser classificados conforme os qualificadores da Tabela 7. Tais qualificadores tem correlação aos horizontes antrópicos da *U.S Taxonomy*:

Tabela 7 - Qualificadores atribuídos ao grupo dos Anthrosols da World Reference Base (WRB/FAO).

Qualificadores	Descrição atribuída
<i>Hortic</i>	Solos com horizontes superficial com cultivo agrícola profundo e alta fertilização por aplicação humana prolongada.

<i>Irragric</i>	Solos construídos a partir de irrigação antrópica com quantidades significativas de sedimentos.
<i>Terric</i>	Solos com horizonte superficial desenvolvido a partir da adição de adubo, lodos e lamas por um período prolongado.
<i>Plaggic</i>	Solos com horizontes superficiais pretos ou brunos com baixa saturação de bases e pode conter artefatos.
<i>Anthraquic</i>	Solo superficial sob cultivo agrícola em áreas alagadas.
<i>Hydragric</i>	Horizonte subsuperficial que resulta de atividades antrópicas associados à áreas de cultivo alagado.
<i>Pretic</i>	Solos com horizontes pretos resultado da adição antrópica de cinzas e carvão e artefatos antrópicos (ferramentas, ossos, cerâmica), representativos de civilizações antigas. No Brasil, é descrito como “Terra Preta de Índio”.

Adaptado de: FAO/ONU, 2014.

Figura 3 - Quadro esquemático da Classificação *Anthroposols*, com as qualidades principais e complementares.

Key to the Reference Soil Groups	Principal qualifiers	Supplementary qualifiers
Other soils having: <ol style="list-style-type: none"> 1. a <i>hortic</i>, <i>irragric</i>, <i>plaggic</i> or <i>terric</i> horizon ≥ 50 cm thick; or 2. an <i>anthraquic</i> horizon and an underlying <i>hydragic</i> horizon with a combined thickness of ≥ 50 cm; or 3. a <i>pretic</i> horizon, the layers of which have a combined thickness of ≥ 50 cm, within ≤ 100 cm of the mineral soil surface. <p>ANTHROSOLS</p>	Hydragic/ Irragic/ Horti/ Plaggic/ Pretic/ Terric	Acric/ Lixic/ Alic/ Luvic Alcalic/ Dystric/ Eutric Andic Arenic/ Clayic/ Loamic/ Siltic Calcic Dolomitic/ Calcaric Escalic Ferralic/ Sideralic Fluvic Gleyic Endoleptic Novic Oxyaquic Salic Skeletic Sodc Spodic Stagnic Technic Toxic Vertic Vitric

Fonte: FAO/WRB, 2014.

A segunda classificação apresentada pela WRB para solos modificados é o conjunto dos *Technosols* (Figura 4), que remete às coberturas pedológicas em que os processos pedogenéticos e propriedades estão correlacionados às atividade técnicas, objetos e outros materiais de origem antrópica. Seu qualificadores principais, assim como nos *Anthrosols*, são apresentados na Tabela 8.

Figura 4 - Quadro esquemático da Classificação *Technosols*, com as qualidade principais e complementares.

Key to the Reference Soil Groups	Principal qualifiers	Supplementary qualifiers
Other soils:	Ekranic	Alcalic/ Dystric/ Eutric
1. with all of the following:	Linic	Andic
a. having $\geq 20\%$ (by volume, weighted average) artefacts in the upper 100 cm from the soil surface or to continuous rock or technic hard material or a cemented or indurated layer; and	Urbic	Anthraquic/ Irragric/ Hortic/ Plaggic/ Pretic/ Terric
b. not having a layer containing artefacts that qualifies as an argic, Chernic, duric, ferralic, ferric, fragic, hydragic, natric, nitic, petrocalcic, petroduric, petrogypsic, petroplinthic, pisoplinthic, plinthic, spodic or vertic horizon starting ≤ 100 cm from the soil surface, unless buried; and	Spolic	Archaic
c. not having continuous rock or a cemented or indurated layer starting ≤ 10 cm from the soil surface; or	Garbic	Arenic/ Clayic/ Loamic/ Siltic
2. having a continuous, very slowly permeable to impermeable, constructed geomembrane of any thickness starting ≤ 100 cm from the soil surface; or	Cryic	Aridic
3. having technic hard material starting ≤ 5 cm from the soil surface.	Isolatic	Calcic
	Leptic	Cambic
	Subaquatic/ Tidalic	Carbonic
	Reductic	Densic
	Hyperskeletal	Dolomitic/ Calcaric
		Drainic
		Fluvic
		Folic/ Histic
		Gleyic
		Gypsic
		Gypsiric
		Humic/ Ochric
		Hyperartefactic
		Immissic
		Loxic
		Lignic
		Mollic/ Umbric
		Novic
		Oxyaquic
		Raptic
		Relocatic
		Salic
		Sideralic
		Skeletal
		Sodic
		Protosodic
		Stagnic
		Sulfidic
		Tephric
		Thionic
		Toxic
		Transportic
		Vitric
TECHNOSOLS^a		

Fonte: FAO/WRB, 2014.

Tabela 8 - Qualificadores atribuídos ao grupo dos Technosols da World Reference Base (WRB/FAO).

Qualificadores Principais	Descrição
Ekranic	Horizonte superficial com material tecnogênico grosso entre os primeiros 5cm da superfície do solo;
Linic	Apresenta uma superfície de geomembrana construída, impermeável ou pouco impermeável e contínua de qualquer espessura, entre os primeiros 100cm da superfície do solo;

Urbic	Apresenta uma camada > 20cm de espessura, entre 100cm ou menos da superfície do solo, com 20% ou mais (em vol.) de artefatos contendo 35% ou mais (vol.) de resíduos de construção civil.
Spolic	Horizonte com 20cm ou mais de espessura entre os 100cm ou menos da superfície do solo, com 20% ou mais (em vol.) de artefatos com 35% ou mais (vol.) de resíduos industriais (restos de mineração, dragagem, esgoto, cinzas etc.)
Garbic	Apresenta uma camada > 20cm de espessura, entre 100cm ou menos da superfície do solo, com 20% ou mais (em vol.) de artefatos contendo 35% ou mais (vol.) de resíduos orgânicos.
Isolatic	Ter, acima de material tecnogênico, geomembrana ou camada de artefatos entre os primeiros 100cm ou menos da superfície material pedológico fino sem contato com outro material pedológico de terra fina.
Reductic	Apresenta condições redutoras em >25% de volume da terra fina entre os 100cm da superfície do solo, provocada por emissões de gases, tais como metano e dióxido de carbono, por intrusões líquidas diferentes da água, como compostos de hidrocarbonetos.

Adaptado de: CHARZYNSKY *et al.*, 2017.

Tais solos podem conter significativa quantidade de artefatos (cerca de 20%) e outros materiais criados pelo ser humano, distintos dos materiais da cobertura pedológica original e introduzidos em sua matriz. Esses materiais devem estar comportados nos 100cm superiores, ou a partir dos 5cm de profundidade. Podem conter geomembranas que impermeabilizam as camadas até 100cm da superfície.

Diferentemente dos Anthrosols, os *Technosols* são relacionadas aos tipos de uso e ocupação em áreas urbanas e industriais. Além da modificação da estrutura mais acentuada, decorre a maior compactação e impermeabilização de horizontes originais,

com possível introdução de agentes contaminantes. Com isso, em comparação ao sistema norte-americano, há uma aplicação prática de caracterização dos solos antrópicos e especificamente de solos urbanos mais objetiva e direta presente no WRB. Para esses últimos, a ordem *Technosols* apresenta a qualificador *Urbic*, indicativo específica de solos urbanos. Tal grupo abrange solos que apresentam espessura igual ou maior que 20cm dentro de 100cm na superfície do solo, com 20% ou mais de artefatos (em volume, média ponderada) representados por 35% ou mais de entulho e outros resíduos antrópicos (FAO/ONU, 2014).

3.5.4 A Classificação Brasileira de Solos – Embrapa

A classificação de solos brasileira, através do século XX, passou por um processo de atualizações e revisões, porém tem sua base fundada nos princípios e conceitos centrais do sistema norte-americano de classificação (EMBRAPA, 2006; BUOL *et al.*, 2007) e posterior assimilação de divisões do sistema de classificações da FAO/ONU. Dessa forma, a estruturação do sistema brasileiro segue linha lógica de divisão desses últimos (PALMIERI *et al.*, 2003). Outras contribuições do meio acadêmico em parte conceituais, comitês de pesquisa e levantamentos pedológicos realizados pelo território brasileiro concentraram esforços na identificação e sistematização de novas unidades pedológicas a serem reconhecidas.

As modificações no sistema de classificação iniciaram-se na década de 50, com levantamentos progressivos da comissão de solos da CNEPA em conjunto com as ideias provenientes da classificação americana e da FAO/ONU (EMBRAPA, 2006). Algumas modificações de critérios, criação de categorias e alterações de conceitos acompanharam a necessidade de suprir carências que com o tempo fossem surgindo para atribuir classificações aos novos solos reconhecidos (EMBRAPA, 2006). Dessa forma, os seguintes levantamentos em estados brasileiros voltaram-se à evolução de critérios diagnósticos e novas alterações. Mesmo com a influência dos sistemas de classificação norte americano e da FAO/ONU, as experiências e contribuições de cientistas brasileiros proporcionaram algumas diferenciações do sistema brasileiro para os anteriores, especificamente no contexto do uso e manejo do solo (PALMIERI *et al.*, 2003). A última revisão acerca da classificação de solos brasileiros foi realizada em

2018 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, como atualização das propostas anteriores.

Mesmo com essa evolução, a questão de solos antrópicos foi inicialmente negligenciada, a ponto de sucessivas classificações de solos não apresentarem uma ordem taxonômica para essa categoria. Ainda, na última revisão da classificação (EMBRAPA, 2018), não está presente a ordem que organiza coberturas pedológicas influenciadas pelo homem. É indicado somente o horizonte A superficial antrópico, que de acordo com a classificação, incorpora camadas formadas ou modificadas por ações humanas em lugares de residência ou cultivos prolongados, com adição de artefatos produzidos pelo homem misturados ou não ao material mineral. Dessa forma, esses horizontes podem caracterizar coberturas pedológicas classificadas no sistema brasileiro.

A deficiência para a classificação de solos antrópicos é discutida em CURCIO, LIMA & GIAROLA (2004), com a apresentação de proposta de primeira aproximação para uma classe estruturada dos *Antropossolos*, ordem que foi sugerida para ser introduzida ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Os autores apontam que as coberturas pedológicas fortemente influenciadas pelo ser humano possuem atributos muito diferenciados em função do processo de formação, técnicas de deposição/ adição de materiais e o tempo, resultando em características variadas. Ao mesmo tempo, são os tipos de solos com maior expansão geográfica em área atualmente.

A proposta para a classificação dos *Antropossolos*, conforme CURCIO, LIMA & GIAROLA. (2004) consiste no delineamento entre o conceito aplicado a essa Ordem e ao horizonte diagnóstico A antrópico. Para isso, inicialmente foi reconsiderado o conceito do horizonte A antrópico presente no atual Sistema de Classificação Brasileiro. Conforme os autores, seria possível admitir que mesmo o designado “horizonte” não poderia ser assim chamado, pois não apresenta na maioria das vezes estrutura formada, seja pelo tempo de formação, materiais e técnicas constitutivas. O mais correto, portanto, seria denominá-lo simplesmente de “camada antrópica”.

Um segundo fator para diferenciar essas classificações seria que os Antropossolos poderiam ser identificados em qualquer condição de uso contínuo ou não. Diferentemente do horizonte A antrópico, que pode ser caracterizado em áreas de cultivo ou de residências, os Antropossolos podem ser detectados em qualquer situação, desde que sua formação tenha sido obra humana atual ou pretérita. Outra reconsideração é que as camadas antrópicas podem ocorrer em superfície ou subsuperfície, e dessa forma, seria necessário criar uma sessão de controle para classe dos Antropossolos, essa tendo acima de 40cm de espessura.

Os autores estruturaram a divisão dos Antropossolos em quatro subordens, quinze grandes-grupos e noventa subgrupos. As nomenclaturas seguem o raciocínio já aplicado para o Sistema de Classificação oficial, ressaltando as propriedades morfológicas dos horizontes até o terceiro nível. Essas propriedades indicam o tipo de intervenção humana e/ou a natureza dos materiais constitutivos, que foram destacados como: a) Adição; b) Decapitação; c) Mobilização, conforme Tabela 9.

Tabela 9- Denominações para as categorias da Ordem Antropossolos.

CLASSE	ELEMENTO FORMATIVO	TERMOS DE CONOTAÇÃO E MEMORIZAÇÃO
SUBORDENS		
Líxico	Lix	Lixo. Detritos domésticos ou industriais
Decapítico	Decapit	Decapitado. Remoção de horizontes do solo
Sômico	Som	Soma. Adição de horizontes do solo
Mobilico	Móbil	Mobilização. Movimentação de horizontes do solo
GRANDES GRUPOS		
Áquico	Áqu	Água. Sujeito a saturação por água
Órtico	Órt	Típico. Condição habitualmente encontrada
Totálico	Total	Inteiro. Retirada total do solo
Parciálico	Parciál	Parte. Retirada de partes do solo
Mésclico	Méscil	Mistura. Mistura de horizontes do solo

Camádico	Camád	Camada. Materiais do solo dispostos em camadas
Êquico	Êqu	Igual. Camadas dispostas semelhantes ao solo original
Inéquico	Inequ	Desigual. Camadas dispostas não semelhantes ao solo original.
SUBGRUPOS		
Tóxico	Tóx	Nocivo. Presença de materiais nocivos ao ambiente
Séptico	Sépt	Nocivo. Presença de organismos patogênicos
Eutrófico	Eutróf	Rico. Alta saturação por bases
Distrófico	Distróf	Pobre. Baixa saturação por bases
Alumínico	Alumín	Alumínio. Altos teores de alumínio trocáveis
Homogênico	Homogên	Homogêneo. Constituição uniforme
Heterogênico	Heterogên	Heterogêneo. Constituição desuniforme
Saprolítico	Saprolít	Decomposto. Rocha intemperizada

Fonte: CURCIO, LIMA & GIAROLA, 2004

Dessa forma, a proposta organizada pelos autores apresenta uma tentativa de estruturação de solos com intervenção humana e variados tipos. O foco está direcionado mais nas condicionantes de formação das camadas do que identificação de locais de ocorrência, como solos em minas, áreas industriais, urbanas etc. Nota-se que, especificamente para solos urbanos, não se apresenta uma categoria nominal que designa volumes pedológicos, mas sim um conjunto de ações antrópicas que podem formar coberturas descritas na proposta de classificação. Cabe destacar, entretanto, que apesar da publicação de Curcio e colaboradores ter sido realizada pela Embrapa há 15 anos, ainda não houve incorporação da proposta ou o seu debate pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, o qual também é coordenado pela Embrapa.

4. Materiais e Métodos

4.1 Caracterização da Área de Estudo

4.1.1 Localização da área de estudo e ocupação histórica.

A área de pesquisa do presente estudo representa um terreno baldio localizado na Rua Visconde de Parnaíba, no bairro do Brás, região central do município de São Paulo. Está na Latitude 23°32'49 S e Longitude 46°36'30 W. O lote pertence à Companhia Metropolitana de Habitação – COHAB e, antigamente, em parte da área desenvolviam-se atividades industriais. A região de estudo é densamente urbanizada, com significativo histórico de ocupação e modificações no entorno (figuras 5 e 6). A área de estudo está em frente, na face norte, à estação Bresser-Moooca e à linha férrea do Metrô, que liga o bairro de Itaquera ao bairro da Barra Funda, e da CPTM, que por sua vez liga a região central da cidade de São Paulo à cidade de Mogi das Cruzes (Figuras 7 a 8). Além dos trilhos, encontram-se no local, ao sul, uma empresa de telecomunicações, uma fábrica de motores automotivos, alguns estabelecimentos comerciais e residenciais.

Figura 5 - Imagem de satélite apresentando a área de estudo (em vermelho). Em amarelo, área da antiga indústria de galvanoplastia.



Adaptado pelo autor. Fonte: Google Earth, 2017.

Figura 6 - Localização da área de estudo.



Elaborado por: Almeida, 2019.

Figura 7 - Visualização geral da área de estudo.



Fonte: Almeida, 2017.

Figura 8 - Visão Geral do Terreno pela face oeste.

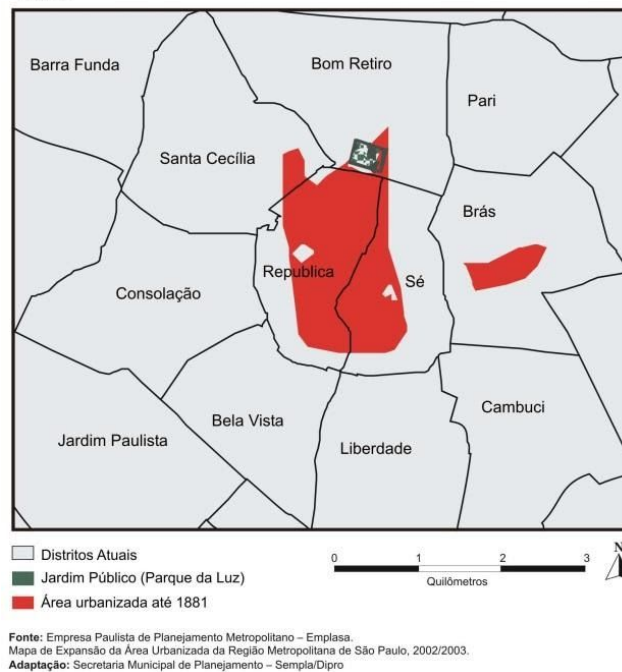


Fonte: O autor, 2017.

O bairro do Brás confunde-se com a própria formação e desenvolvimento histórico de São Paulo como a cidade mais urbanizada do país. Tal bairro fazia parte do subúrbio inicial da cidade, separado do núcleo urbano principal, esse localizado entre o antigo Jardim Botânico, atualmente Parque da Luz, e colinas baixas interfluviais entre o Rio Anhangabaú e Rio Tamanduateí (Figura 9 e 10).

Figura 9 - Limites do núcleo urbano até 1881. A mancha menor representa os subúrbios iniciais do Brás do lado direito do Rio Tamanduateí.

Área Urbanizada 1872



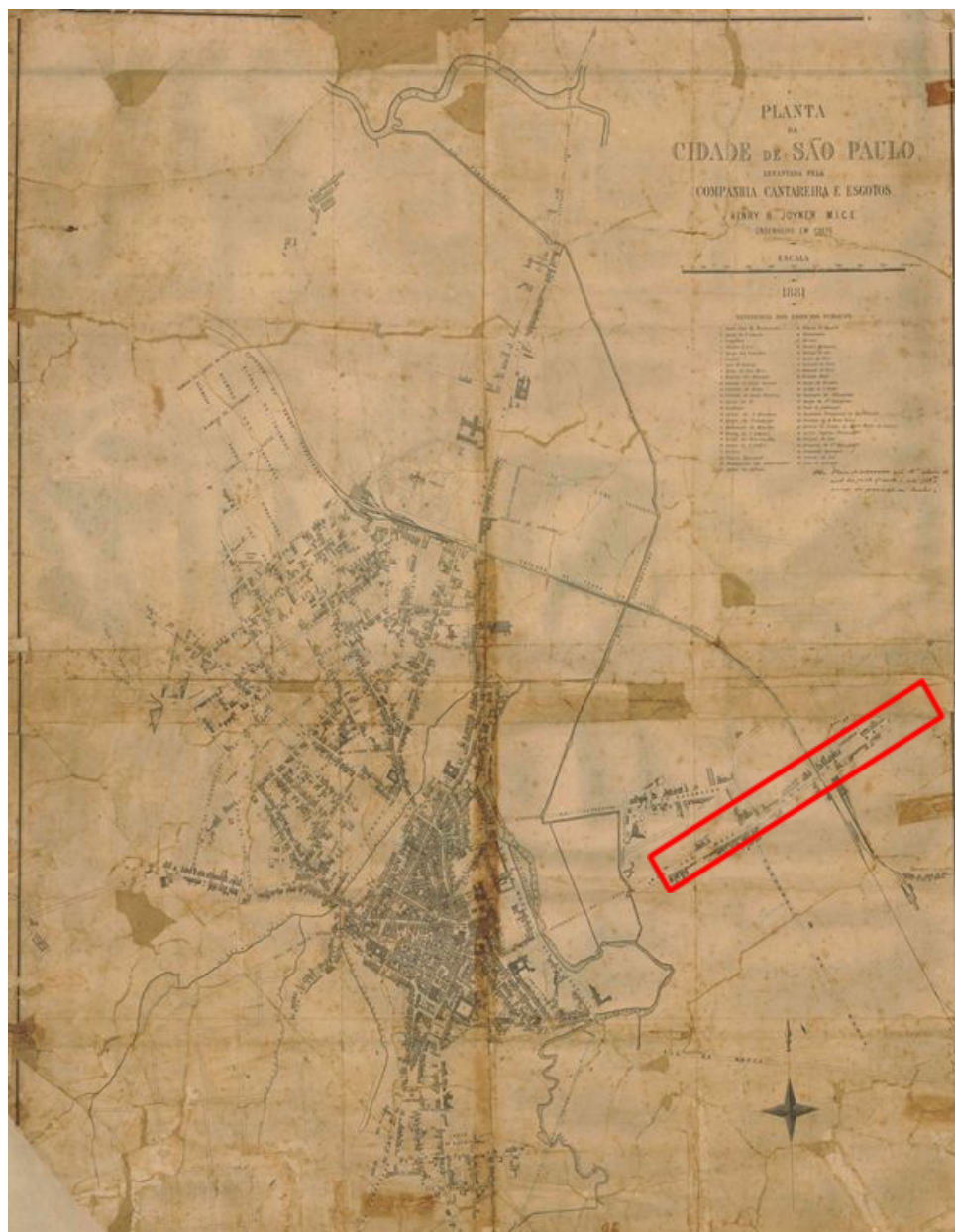
Fonte: http://smul.prefeitura.sp.gov.br/historico_demografico/img/mapas/urb-1872.jpg.

Anterior à década de 1870, tal subúrbio era composto por núcleos de povoamento nascente que dariam origem a bairros como Brás, Moóca, Belenzinho, Ipiranga e outros, sendo constituído por notáveis chácaras e sítios, baixa densidade demográfica e praticamente nenhuma atividade comercial ou industrial (PETRONE, 1958, ANDRADE, 1994, LANGENBUCH, 1974). O núcleo do Brás era interligado ao núcleo urbano principal pelo “Caminho da Penha”, atualmente Av. Rangel Pestana e Av. Celso Garcia, que representava o eixo do primeiro povoamento da região

O impulso para urbanização da capital paulista e, especificamente, do bairros do Brás e Mooca teve como uma das principais causas o fluxo de imigração europeia e seu assentamento nessas regiões a partir da década de 1870, em princípio para o trabalho nas lavouras de café no interior da antiga província de São Paulo (MENDES, 1958). Para a recepção do contingente de imigrantes, papel importante foi exercida pela Hospedaria do Imigrante (ANDRADE, 1991; GONÇALVES, 2017), fundada oficialmente em 1888 e localizada na rua Parnaíba no bairro do Brás, posteriormente denominada Rua Visconde de Parnaíba até os dias atuais, onde também se localiza a área de estudo.

Ao mesmo tempo da chegada desse contingente no final do século XIX e início do século XX, no núcleo urbano principal de São Paulo começam a ocorrer mudanças na estrutura física da cidade, como inovações da rede de energia e iluminação, aumento do número de domicílios, abastecimento de água, rede de esgoto, sistema de transporte por bondes e construção das estações e linhas férreas da “São Paulo-Rio de Janeiro” e a “São Paulo Railway”, que liga o porto de Santos às áreas rurais do interior do estado (ANDRADE, 1994).

Figura 10 - Planta geral do núcleo urbano de São Paulo em 1881. A demarcação em vermelho representa a Rua do Brás, atual Av. Celso Garcia, cortada pela linha férrea Sorocabana.

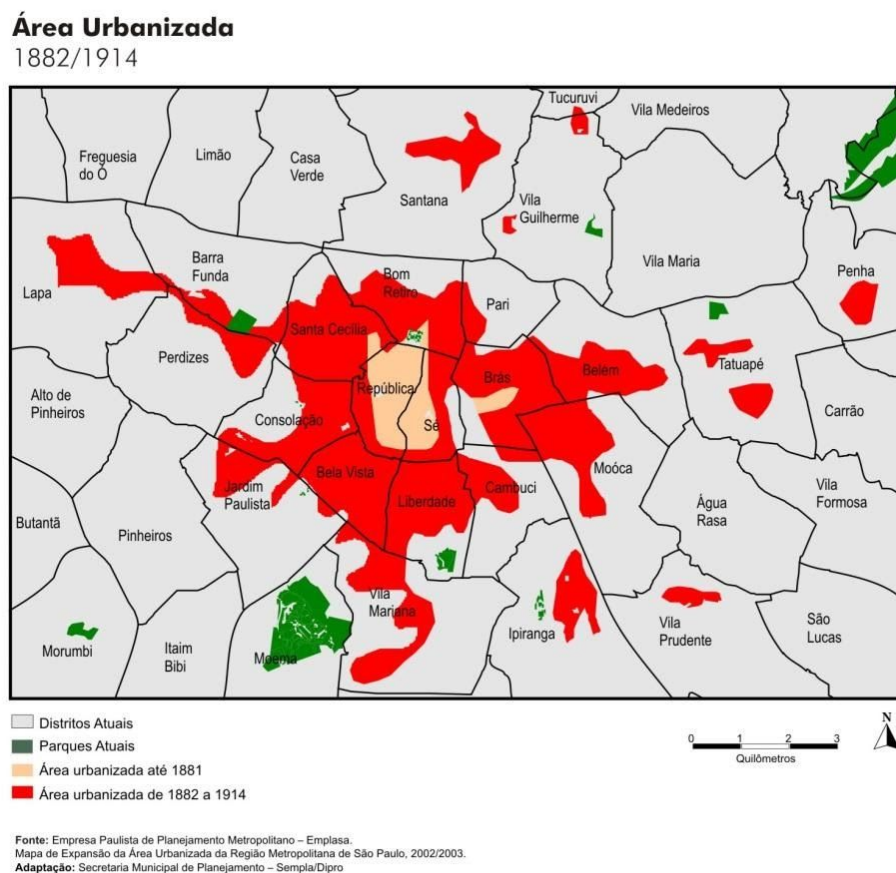


Retirado de: http://smul.prefeitura.sp.gov.br/historico_demografico/img/mapas/1881.jpg.

Outro fator importante decorre da industrialização na capital paulistana, que representou o início da expansão horizontal da cidade (Figura 11), e o estabelecimento de inúmeras fábricas, principalmente de bens de consumo não duráveis como têxteis e alimentícias, de variados tamanhos, presentes ao longo das linhas férreas. Obras de canalização do Rio Tamanduateí foram executadas nessa época, o que ampliou os espaços para a expansão urbana e da indústria, que aproveitou os baixos preços de tais áreas e a ligação com a linha ferroviária (PETRONE, 1958). A estratégia da imigração

européia e embelezamento do centro urbano desenvolvida pela elite paulistana em conjunto com o governo da província foi decisiva para formação dos bairros operários e manutenção da atividade fabril nesses pólos, afastados da região considerada “refinada” da cidade, tais como Av. Paulista e Campos Elísios (ANDRADE, 1991). Com o processo de industrialização se estabelecendo nos subúrbios da cidade, estabeleceu-se bairros industriais e operários em tais regiões, com paisagem de inúmeras habitações baixas, sem áreas verdes e majoritariamente pobres, de vez em quando intercaladas por unidades fabris têxteis, de ferramentas, alimentícias e outras que tomavam grande parte de quarteirões, e oficinas pequenas, muitas vezes localizadas em garagens e quintais residenciais (PETRONE, 1958).

Figura 11 - Expansão da área urbanizada de São Paulo no início do século XX.

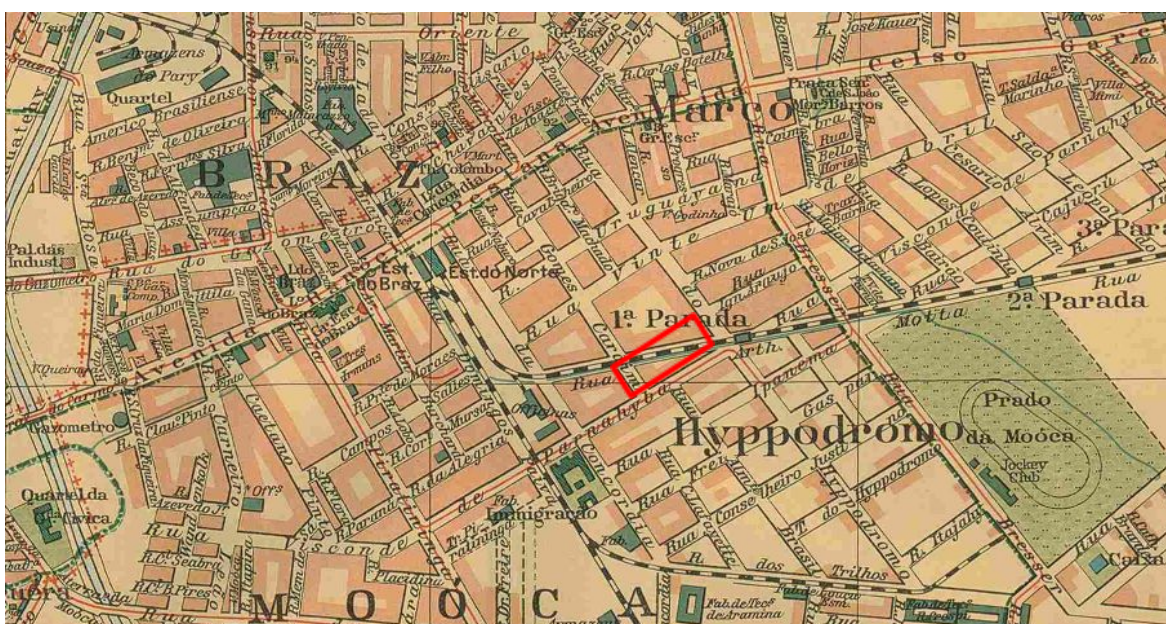


Fonte: http://smul.prefeitura.sp.gov.br/historico_demografico/img/mapas/urb-1890-1900.jpg.

Com esses fatores, o núcleo do Brás sofre forte aumento demográfico, passando de Freguesia menor populosa de São Paulo, com cerca de 2300 habitantes em 1872

para a segunda mais populosa, com 32.387 habitantes, atrás somente da Freguesia central da Santa Ifigênia, com papel importante da indústria e da linha ferroviária na interligação dos bairro em crescimento com a região central da cidade (ANDRADE, 1991). Ao mesmo tempo, o bairro aproxima-se ao núcleo urbano central e tem sua paisagem natural intensamente modificada pela urbanização e industrialização (Figura 12), com resultados praticamente irreversíveis. Tais modificações definem o lote da área de estudo.

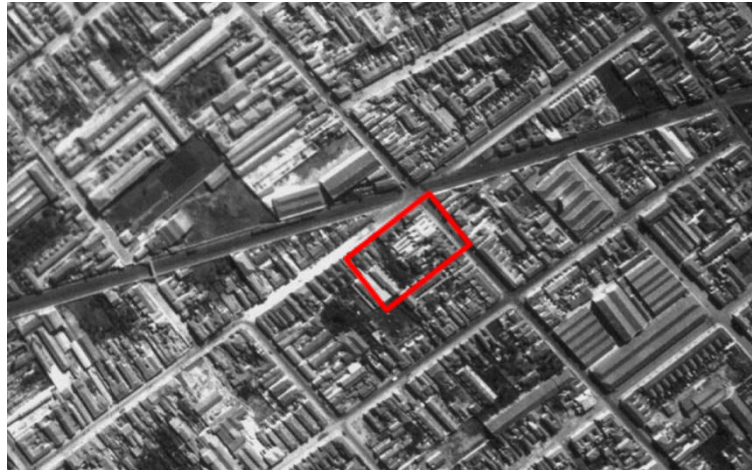
Figura 12 - Fragmento da Planta Geral de São Paulo, de 1913, dos bairros do Brás e Mooca. A área destacada em vermelho indica a localização do lote do presente estudo, na rua Visconde de Parnaíba.



Retirado de: http://smul.prefeitura.sp.gov.br/historico_demografico

O bairro do Brás, assim como outros núcleos que viveram o impulso da industrialização, sofreram uma série de transformações no decorrer do século XX. A indústria tem seu franco desenvolvimento até meados desse século, abastecida por um mercado interno e mão-de-obra principalmente imigrante européia que se volta para o trabalho nas fábricas (ANDRADE, 1991). Nas figuras 13 e 14 nota-se a urbanização consolidada para a região da área de estudo e, especificamente no lote da COHAB Bresser IV, traçados de alguns empreendimentos. Muitos pequenos industriais que montaram suas oficinas começaram a prosperar e acabaram abandonando os bairros operários como local de moradia, integrando-se às elites locais.

Figura 13 - Fragmento do levantamento aerofotogramétrico realizado pela prefeitura na região do Brás, de 1940. Em destaque a área de estudo, densamente ocupada.



Fonte: SÃO PAULO, 2019.

Figura 14 - Foto aérea da região da área de estudo (demarcada em vermelho) em 1958. É possível notar galpões na região, porém há o início da saída de indústrias para outras localidades.



Fonte: GEOPORTAL, 2019.

Com a saída de algumas indústrias e empresários que prosperaram com elas e o encarecimento das habitações da região do Brás, Mooca e Belenzinho em meados da década de 1940, há um processo de esvaziamento desses bairros pela população mais pobre, forçada a se instalarem nas franjas da expansão urbana e acelerando a metropolização de São Paulo (ANDRADE, 1994). Ao mesmo tempo, ocorre nesse período uma mudança nos tipos de indústrias instaladas na região do Brás e arredores, com o estabelecimento de indústria pesada a partir da segunda metade do século XX, e finalmente a saída expressiva da atividade fabril nesses bairros a partir da década de

1970 para outras regiões do estado e do país (LAURENTINO, 2002). Esse fator abriu uma desestruturação desses bairros, notadamente do Brás, considerado industrial anteriormente, abrindo espaço cada vez maior para atividades comerciais do terceiro setor e residenciais novos (ROLNIK & FRÚGOLI JR., 2001). A perda da importância da ferrovia, em adoção ao modelo rodoviário (LANGENBUCH, 1974), e a pressão imobiliária na utilização dos terrenos de galpões deixados pelas indústrias (ROLNIK & FRÚGOLI JR., 2001) constitui outro fator importante para a desindustrialização da área e mudança no seu tipo de uso e ocupação. Ocorre a mudança da massa trabalhadora com a chegada da mão-de-obra nacional proveniente do nordeste do Brasil, que passou a ocupar e desenvolver atividades comerciais na região do Brás, em troca da massa imigrante anterior.

É possível notar as grandes transformações nas áreas dos bairros operários e industriais mais recentemente, com relativa descaracterização física de construções anteriormente ocupadas por grandes galpões fabris e habitações constituídas principalmente de cortiços que serviam de moradia para os trabalhadores migrantes. Recentemente, nota-se a justaposição de variados usos e ocupações em regiões do Brás, tais como para atividades industriais, comerciais e residenciais, e crescente processo de verticalização e reaproveitamento das antigas áreas industriais (Figura 15). Tal justaposição é percebida quando se analisa no Plano Diretor do Município de São Paulo (PMSP, 2014) para o Distrito da Mooca (que engloba o bairro do Brás – figura 16) e suas determinações de construções e ocupações propostas a essa região por meio de “zonas de uso” (Tabela 10).

Figura 15 - Figura retirada do levantamento fotográfico de 2004 realizada pela Prefeitura de São Paulo (MDC/PMSP), com a área de estudo demarcada em vermelho, utilizada atualmente como estacionamento. Há o predomínio de construções menores, com presença de torres residenciais ao norte da linha férrea.



Fonte: SÃO PAULO, 2019.

Figura 16 - Fragmento do Mapa de zonas de uso e ocupação para a região da Mooca e Brás definidas pelo PDE - Plano Diretor Estratégico para o Município de São Paulo. A imagem localiza a área de estudo demarcada em vermelho e seus arredores.



Fonte: PMSP, 2014.

Tabela 10 - Definições da Zonas de Uso definidas pelo PDE e aplicadas à região da área de estudo.

Zonas de Uso conforme Plano Diretor Estratégico (PDE) para a região da área de estudo	Atribuições
ZEU – Zona Eixo de Estruturação e Transformação Urbana	Zonas destinadas a promoção de usos residenciais e não residenciais com densidades construtivas e demográficas

	altas e de qualificação paisagística articulada ao sistema de transporte coletivo.
ZEPAM – Zona Especial de Proteção Ambiental	Zonas destinadas à proteção de vegetação nativa.
ZC – Zona de Centralidade	Zonas destinadas a usos não residenciais ligadas às atividades típicas de áreas centrais.
ZEIS – 3 – Zonas Especiais de Interesse Social	Zonas destinadas ao uso predominantemente residencial para população de baixa renda, promovendo melhorias urbanísticas e provisão de unidades habitacionais de interesse popular.
ZDE - 1 – Zona de Desenvolvimento Econômico	Zona destinada ao uso industrial com foco em conhecimento e alta tecnologia.

Fonte: PMSP, 2014.

Analisando a Figura 16, a região da área em estudo reflete as mudanças de padrões de ocupação em comparação aos registros de usos passados e torna-se uma área “abandonada” das antigas construções. Atualmente, é utilizada como área de estacionamento, porém disponível para eventuais investimentos imobiliários. A construção ao lado do local de estudo representada pela antiga indústria de galvanoplastia não apresenta mais atividades de produção.

4.1.2 Geologia Regional e Local

A unidade macroestrutural que abrange a área em estudo é designada de *Rift Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB)*, conforme RICCOMINI (1989; 2004), com embasamento de terrenos policíclicos do Cinturão de Dobramentos Ribeira (HASUI *et al.*, 1975; RICOMINI, 1989). O *Rift* é uma feição alongada e deprimida desenvolvida entre os estados do Paraná e do Rio de Janeiro, com extensão aproximada de 900 km (RICOMINI, 1989; RICCOMINI *et al.*, 2004). Essa região sofreu reativação dos

falhamentos antigos durante a ruptura continental e abertura do Oceano Atlântico Sul. Conforme, essas reativações condicionaram deposições e deformações nos sedimentos cenozóicos posteriormente. Dessa forma, a origem do *Rift* emerso está atrelada à ruptura adjacente à Bacia de Santos, oceânica, devido à reativação das falhas no Terciário, resultante de esforços verticais originados do basculamento termomecânico dessa Bacia (RICCOMINI *et al.*, 1992).

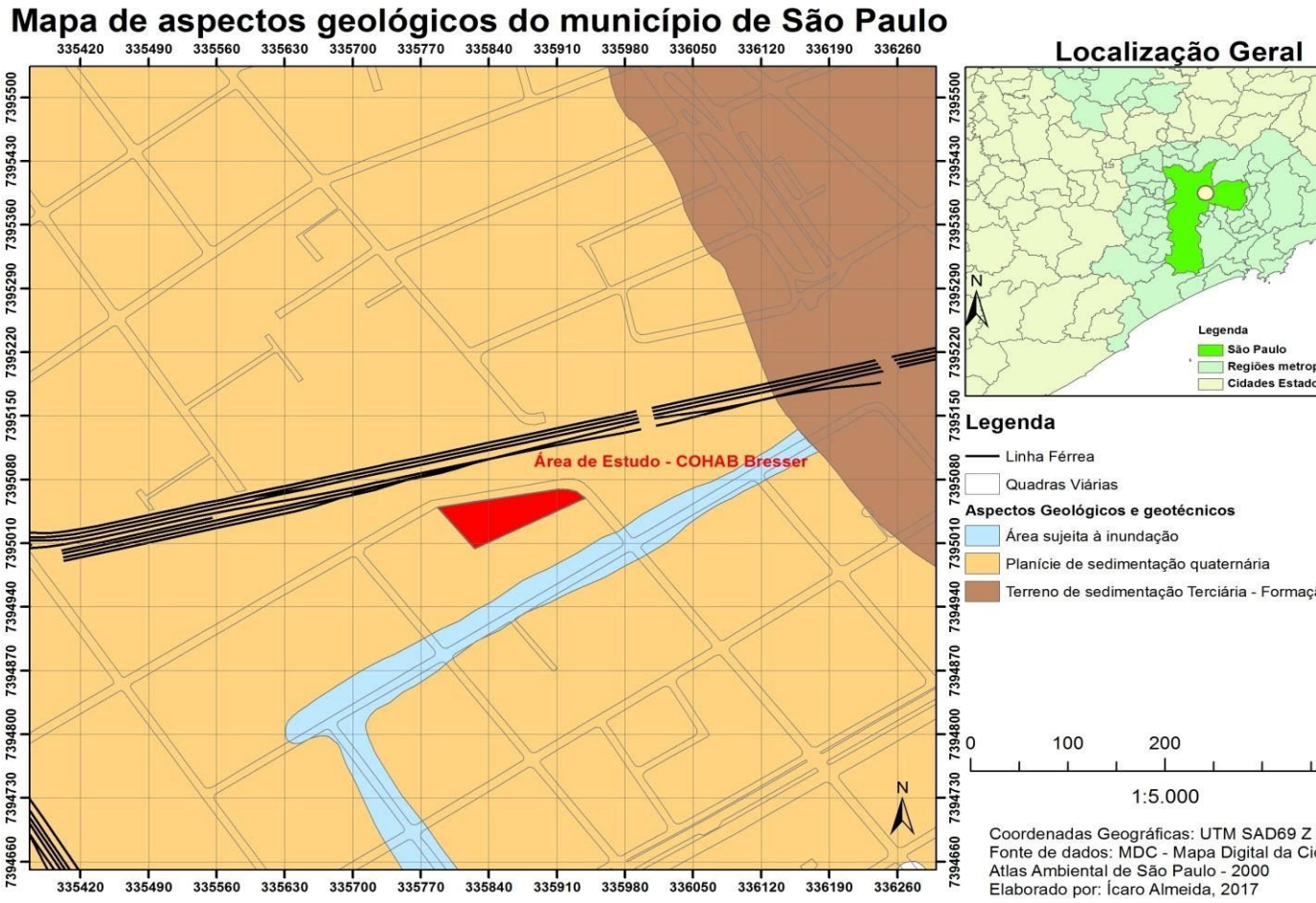
O RCSB apresenta bacias sedimentares, designadas bacias tafrogênicas em HASUI *et al.* (1978), geradas pelo basculamento de rochas antigas. No presente estudo, trataremos sobre a unidade da Bacia Sedimentar de São Paulo (BSP), que engloba a área de pesquisa. A Bacia está assentada sobre o terreno pré-Cambriano adjacente (COUTINHO, 1980). De idade que remonta ao pré-Cambriano (4 bilhões de anos), este embasamento apresenta como principais conjuntos litológicos o Complexo Embu e Grupo São Roque (HASUI *et al.* 1976; COUTINHO, 1980; JULIANI, 1992). Há também intrusões graníticas na forma de janelas em trechos da Bacia, como embasamento de terrenos mais elevados (HASUI *et al.*, 1978; JULIANI, 1992). A delimitação da BSP é controlada ao sul pelos contatos irregulares com o embasamento cristalino e ao norte pelas Falhas de Taxaquara e Jaguari (HASUI & CARNEIRO, 1980; RICCOMINI *et al.*, 1992). As atividades tectônicas imprimiram importante modelamento na BSP e condicionaram fácies das camadas sedimentares depositadas, essas por resultado da decomposição das rochas intrusivas do embasamento antigo (JULIANI, 1992).

A BSP possui 5.000 km², está situada entre 719 e 900m de altitude e engloba quase toda a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com relevo de colinas, morros e espigões baixos, alta densidade de drenagem e apresenta duas unidades litológicas (RICCOMINI *et al.*, 1992; SANTOS *et al.* (2010). A primeira é corresponde a terrenos terciários sedimentares do Cenozóico (inferiores a 65Ma), e que apresentam origem fluvial e lacustre, relacionados ao trabalho fluvial da rede de drenagem. São predominantemente arenosos em determinadas áreas, variando para silto-argilosos em outras (HASUI & CARNEIRO 1980). Em tais terrenos, são reconhecidos em quatro litofácies: a) **Formação Resende**: unidade de distribuição generalizada, com mais de

80% do preenchimento na BSP. É composta por leques aluviais de depósitos de rios entrelaçados (*braided*) e proximais, compostos por diamictitos, lamitos e arenitos; b) **Formação Tremembé**: formação de depósitos de origem lacustre, compreendendo camadas tabulares de argilas verdes maciças, com intercalação de argilas cinza-escuro a pretas, com distribuição na região nordeste do município de São Paulo; c) **Formação São Paulo**: correspondente aos depósitos de sistema fluvial meandrante, sendo composta por arenitos grossos a médios e argilitos e siltitos. Essa formação recobre áreas centrais mais altas da BSP; d) **Formação Itaquaquetuba**: unidade resultante de depósitos marginais dentro de um sistema fluvial anastomosado e também entrelaçado. Sua ocorrência está sob os aluviões do Holoceno dos principais rios da Bacia, Pinheiros, Tietê e Tamandateí, e comportam litofácies de arenitos maciços e estratificados, conglomerados e lamitos.

A segunda unidade litológica é representada pelos depósitos colúvio-aluviais depositados pelo trabalho erosivo e deposicional dos principais rios da Bacia e seus afluentes. São datados em idades pleistocênicas, com depósitos de colúvios argilo-arenosos, a holocênicas, essas últimas recobrimo áreas de várzeas e terraços fluviais, não ultrapassando 10 metros de profundidade, porém com distribuição generalizada (RICCOMINI *et al.*, 1992). A área em estudo (Figura 17) está localizada na segunda unidade litológica, sendo parte do conjunto de sedimentos do Quaternário depositados pelo trabalho fluvial do Rio Tamandateí, um dos principais afluentes do Rio Tietê na região. Compreende planícies de inundação e terraços fluviais dos principais rios e córregos afluentes na Bacia Sedimentar de São Paulo.

Figura 17 - Mapa de Localização da área de Estudo e Contexto Geológico.



Fonte: O autor.

4.1.3 Geomorfologia regional e local da área de estudo.

No contexto geomorfológico regional, a unidade morfoestrutural na qual está inserido a área da COHAB Bresser VI consiste no Cinturão Orogênico do Atlântico (ROSS & MOROZ, 1996), que compreende extensa área do sudeste sul-americano, constituído por rochas graníticas e metamórficas, topografia de morros e algumas fossas tectônicas com preenchimento sedimentar (LOCZY & LADEIRA, 1976 ROSS, 1996). Tal morfoestrutura corresponde aos processos de formação geológica de ciclos de dobramentos, metamorfismos de rochas, intrusões regionais e erosão descritos anteriormente. No Estado de São Paulo, tal conjunto está localizado a leste do Estado, margeando as planícies do litoral, desde o Estado de Minas Gerais até o Paraná.

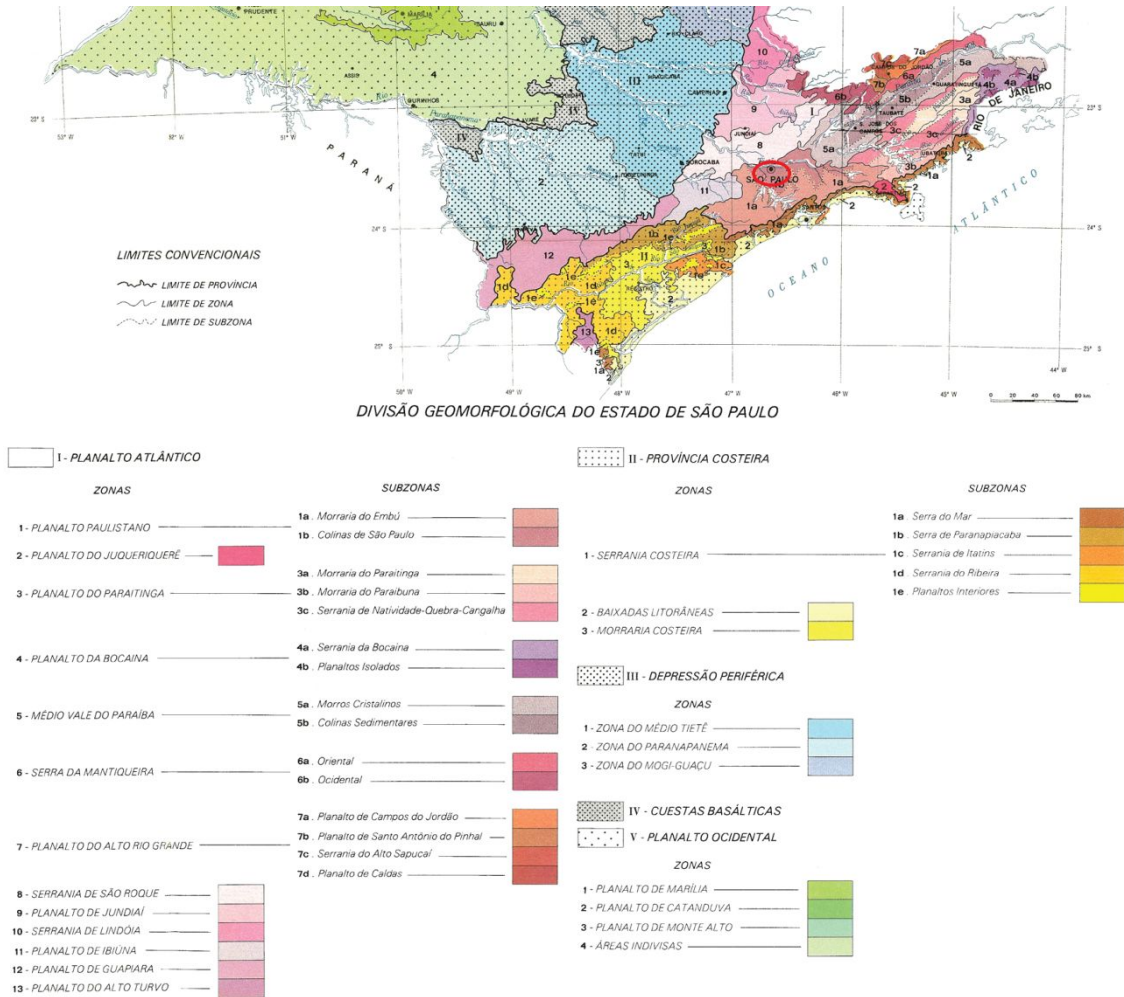
O compartimento morfoescultural do Cinturão Orogênico de maior interesse neste trabalho corresponde a unidade do Planalto Atlântico (Figura 18). Tal unidade é formada por um conjunto de morros de topos convexos sustentados por embasamento cristalino, configurando serras locais que alcançam altitudes entre 800 a 2000 metros. Além disso, há a cobertura de duas bacias sedimentares que abrangem as regiões de Taubaté e da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com colinas e espigões de altitude entre 700 e 900 metros (ALMEIDA, 1964; PONÇANO *et al.*, 1981; ROSS & MOROZ, 1996). A morfoescultura do Planalto Atlântico apresenta alta densidade de drenagem e vales profundos (ROSS, 1985).

Devido à variabilidade topográfica e de condições genéticas, o Planalto Atlântico apresenta 11 subdivisões, sendo que a RMSP está inserida na subunidade denominada Planalto Paulistano. Tal subunidade apresenta dois conjuntos, conforme a Figura 9: a) Morraria do Embu (identificada pelo símbolo 1a) – área de morros e morrotes sustentados por estrutura cristalina e; b) Colinas de São Paulo (identificada pelo símbolo 1b) – área com relevo suavizado de colinas e espigões locais, sustentados por estrutura sedimentar (PONÇANO *et al.*, 1981).

A formação do relevo no Planalto Paulistano apresenta processos erosivos sucessivos sobre os terrenos cristalinos pré-cambrianos de antigos falhamentos, sendo condicionado pelas rochas metamórficas e intrusivas locais, pela superfície de erosão do Japi e Alto Tietê e pelos efeitos do clima tropical atuante na região (ALMEIDA, 1964).

A ação da rede hidrográfica do Rio Tietê e seus afluentes, provocaram a sedimentação e formação de numerosas planícies e terraços fluviais nos principais rios (Tietê, Pinheiros e Tamanduateí), de idade quaternária, modelando o relevo de colinas, espigões e morros (ALMEIDA, 1964; ROSS & MOROZ, 1996).

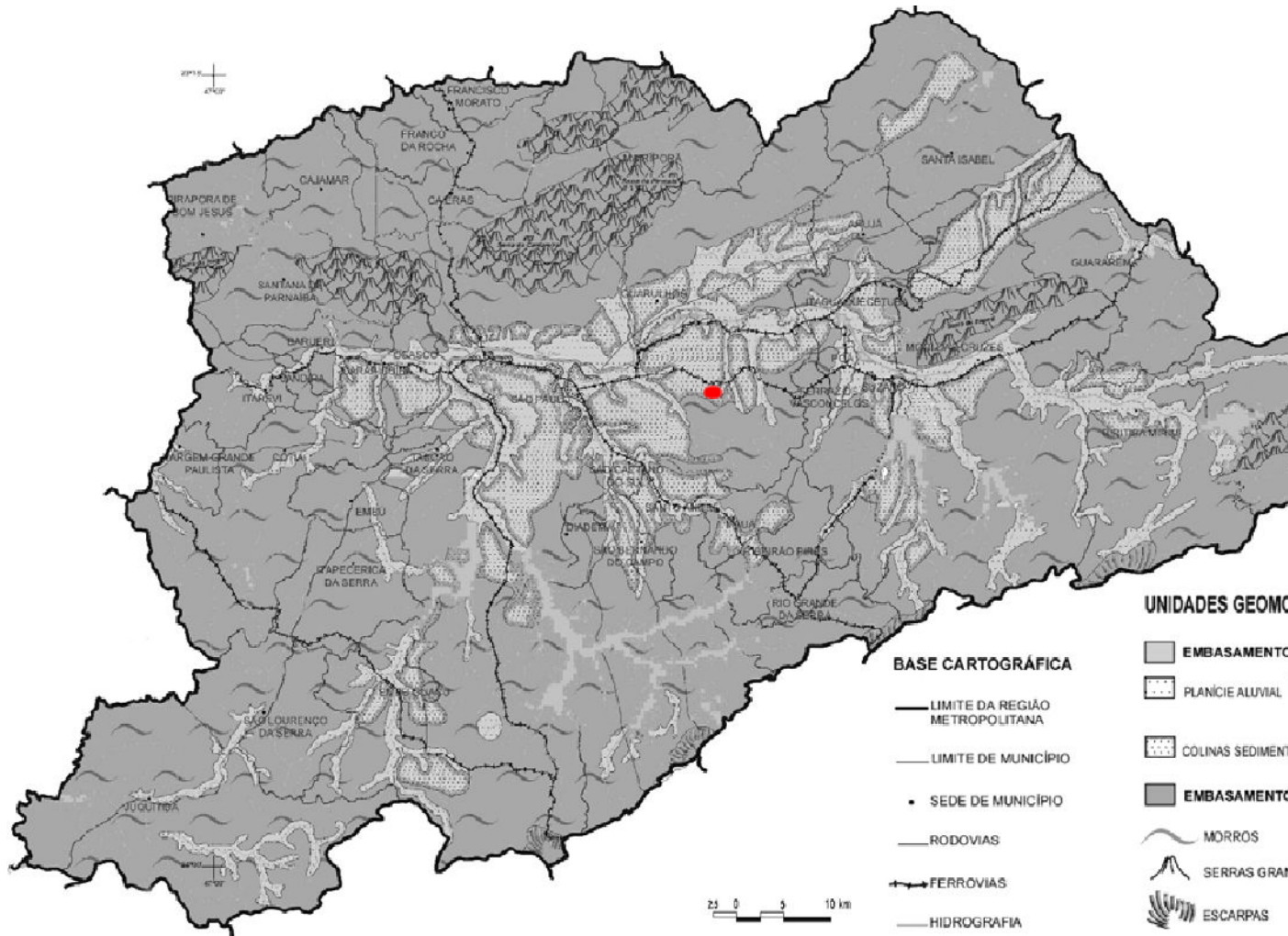
Figura 18 - Fragmento do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981). A área em vermelho demarca aproximadamente a posição da RMSP.



Fonte: MARTINELLI, 2019.

Devido às modificações antrópicas históricas e crescentes do relevo na unidade do Planalto Atlântico do estado, LIMA (1990) e RODRIGUES (2005) apresentam um mapeamento cartográfico para a Região Metropolitana de São Paulo (Figura 19) com base na identificação de morfologias originais de pré-urbanização e morfologias com significativa interferência antrópica.

Figura 19 - Mapeamento da Morfologia Original Da Região Metropolitana de São Paulo. Escala: 1:500.000, o ponto em vermelho identifica o local aproximado do local de estudo.



Fonte: RODRIGUES, 2005.

Apesar da intensa urbanização na área do local de estudo representar certa dificuldade de reconhecimento de unidades geomorfológicas, é possível verificar a convergência do mapeamento mais detalhado proposto pela autora e a caracterização e classificação geomorfológica regional. Com isso, verifica-se no Mapa de Morfologia Original (Figura 10) que a área de estudo está assentada sobre terraço fluvial do Rio Tamanduateí, próximo à confluência do Rio Tietê na cidade de São Paulo. Esses terraços representam antigas planícies fluviais abandonadas pelo desenvolvimento do leito do rio, e possuem relevo uniforme, com baixa variedade topográfica, que permite concentração de fluxos superficiais em determinados pontos.

4.1.4 Contexto Geotécnico

A caracterização de solos em áreas urbanas é bastante deficitária de pesquisas. Mesmo em mapeamentos oficiais, como o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (IAC/EMBRAPA, 1999), não atribuem classes aos solos presentes nessas áreas, principalmente pela pequena escala dos mapas disponíveis e pela falta de tradição da pedologia de abordar os solos urbanos. No mapeamento em questão, os solos em idades são identificadas genericamente de “área urbana”, sem correlações com as classificações pedológicas de áreas não urbanizadas do entorno.

Assim, as aproximações pedológicas e caracterizações da cobertura pedológica na cidade de São Paulo foram levantadas com base em inferências do processo de sedimentação regional e dados geotécnicos de obras de infraestruturas. Alguns trabalhos foram elaborados conforme o próprio desenvolvimento urbano da cidade de São Paulo, por meio do estudo de fundações e obras ligadas a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô (COZZOLINO, 1980). Com a proximidade da área de estudo com as linhas férreas e estação do Metrô, foi possível realizar inferências do solo a partir de informações geotécnicas em (MASSAD, 1980). Localizada em terreno de depósitos aluviais, a área de estudo dessa pesquisa está assentada sobre “camadas irregulares de argilas orgânicas moles, pretas ou marrons, e de areais finas, argilosas e fofas” (p. 57). Localizada também em região próxima de transição para o domínio do terciário da Formação Rezende, é possível apontar, conforme CALDO (2015), o predomínio de

argilas siltosas pouco arenosas, medianamente plásticas a plásticas, e argilas arenosas com presença de mica de coloração cinza ou cinza-amarronzada, além de areais basais.

4.1.5 Contexto Climático

A região metropolitana apresenta uma classificação climática transicional entre os Climas Tropicais Úmidos e o Clima Subtropical, permanentemente úmido do Brasil meridional (TARIFA & ARMANI, 2001b). Com isso, de acordo com os autores, há grande alternância de estações entre quente e úmida, e fria e relativamente seca, em conjunto com variações bruscas dos tipos de tempos.

Os autores atribuem Unidades Climáticas Locais para a RMSP, distinguidas em Naturais e Urbanas. Para cada uma, há distinção de meso ou topoclimas em função de cada clima local. Para as Unidades Climáticas Locais Naturais, os autores destacaram como principais fatores controladores o Oceano Atlântico, a altitude e relevo local. Tentou-se abstrair o impacto do ser humano, embora foi assumido que esse fator poderia ser impossível.

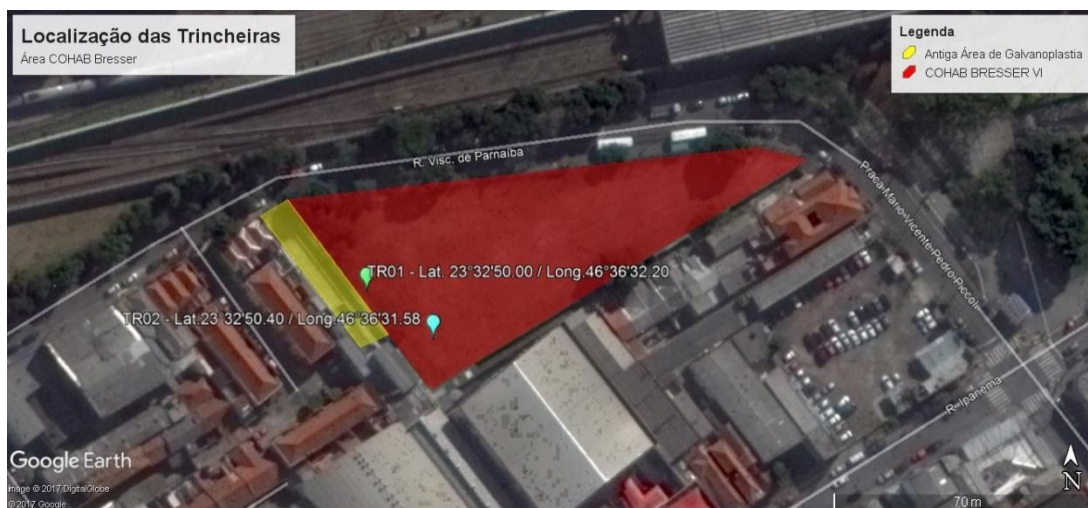
Conforme identificação no Mapa de Climas Naturais (TARIFA & ARMANI, 2001b), a área desse estudo está localizada na subdivisão ICAM2 – Várzeas e Baixos Terraços do Tamanduateí, do Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Atlântico (Unidade I). Para essa unidade, as altitudes variam entre 740m a 800m, possuem estabilidade atmosférica com temperaturas sofrendo forte aquecimento durante o dia e inversões térmicas noturnas, com acúmulo de ar frio e baixas temperaturas. A média anual das temperaturas para essa unidade varia entre 19,6° e 19,7°, com baixo índice pluviométrico anual, entre 1240 e 1560 mm, embora receba fluxos gerados pela pluviosidade de outras áreas, ocasionando inundações naturais. Para os Climas Urbanos, o município de São Paulo possui duas unidades climáticas gerais: 1) Unidade Climática Urbana Central (I) e 2) Unidade Climática Urbana Periférica (II) (TARIFA & ARMANI, 2001b). A área de estudo está localizada na região de unidade IB2, norteadas pelo fluxo de atividades e urbanização do Corredor do Tamanduateí. Isso provoca uma grande carga de poluentes atmosféricos provenientes do tráfego e de indústrias da região,

alterando a qualidade do ar e causando significativas variações climáticas na temperatura e umidade do ar. Ao mesmo tempo, inversões térmicas tornam-se mais expressivas, assim como as temperaturas diurnas tornam-se mais elevadas.

4.2 Levantamento de campo e coleta de amostras de solo

As campanhas de campo para descrição do solo e coletas foram realizadas entre o período de Maio e Novembro de 2017 (época de estiagem). Foram abertas duas trincheiras (TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2) em área situada ao lado de onde anteriormente se localizava uma indústria de Galvanoplastia (Figura 20). Além disso, no fundo de cada trincheira foi realizada uma tradagem (TRAD1 e TRAD2) para descrição dos solos até a profundidade do nível d'água subsuperficial. A TR01/TRAD1 (Figuras 22 e 23b) está localizada na Lat. 23° 32' 50.0"S e Long. 46°36'32.2"W, em área de influência direta da antiga atividade industrial. A TR02/TRAD2 (Figuras 21 e 23a) está localizada na Lat. 23°32'50.4"S e Long. 046°36'31.5"W, a alguns metros a frente do limite entre a área da COHAB Bresser VI e a antiga área industrial.

Figura 20 -Localização das trincheiras na áreas de estudo.



Organização: Ícaro Almeida, 2017. Fonte: Google, 2017.

Figura 21 - Vista da TR02/TRAD2 aos fundos da empresa de motores.



Fonte: O autor, 2017.

Figura 22 – Local escolhido para abertura da trincheira TR01/TRAD1, próximo ao muro de antiga indústria de galvanoplastia.



Organização: Ícaro Almeida, 2017.

Para a abertura das trincheiras nas campanhas de campo (Figura 21 e 22), foram utilizados instrumentos como enxada, enxada, pá, pá reta e cavadeira. Para o procedimento de tradagem na base das trincheiras abertas, foi utilizado trado manual. A descrição do solo foi feita conforme as recomendações do Manual de Descrição e Coleta de Solos (EMBRAPA, 1995) e utilizada a Carta de Cores Munsell®, facas sem

corte, trena, luvas cirúrgicas, bisnaga de água para umedecer amostras, caderno de campo e caneta. Os parâmetros descritos nos horizontes das trincheiras TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2 foram cor da matriz, presença de volumes e suas características (cor, presença, forma, tamanho, diferença da matriz), textura, presença de raízes, estrutura, plasticidade e pegajosidade, consistência em ponta de faca e transição para o horizonte adjacente. Para as tradagens, foram descritas a cor, volumes, textura, plasticidade e pegajosidade. As amostras deformadas e indeformadas retiradas dos perfis foram colocadas em sacos plásticos identificados e lacrados e encaminhadas ao laboratório, para a realização das análises laboratoriais.

Figura 23) a) Processo de abertura da trincheira TR02/TRAD2 (tirada em Agosto, 2017); b) – Processo de abertura da trincheira TR01/TRAD1 (tirada em Maio, 2017).



Organizado por: Ícaro Almeida, 2017.

4.3. Procedimentos laboratoriais

As amostras coletadas em campo foram levadas e analisadas no Laboratório Multidisciplinar em Mineralogia, Águas e Solos – LAMAS da Universidade Federal de São Paulo, *campus* Diadema, onde foram submetidas às análises físicas e químicas de rotina. Inicialmente, as amostras dispostas em bandejas foram secas em estufa à 40°C, esboroadas em almofariz com pistilo e passadas em peneira de abertura de 2mm para obtenção de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Realiza-se, antes de cada análise, o procedimento de quarteamento da amostra, para obter uma alíquota representativa em triplicata. Esse procedimento consiste em distribuir a amostra de TFSA em uma chapa de aço de forma homogênea em sentido horizontal. Após isso, divide-se a amostra com uma espátula em três partes, sendo a do meio a maior, retirando-se as duas pontas e espalhando-as sobre a parte do meio. A amostra é novamente dividida em três partes iguais e é feito um risco no meio de cada parte para retirada das triplicatas, atentando-se para a quantidade, que deve ser a mais próxima possível da necessária para realização da análise. A alíquota retirada é pesada em balança de precisão e levada para as análises, que serão descritas a seguir.

4.3.1 Análises químicas

4.3.1.1 Potencial de Hidrogênio (pH)

A análise de pH do solo teve como base os procedimentos adotados pela USDA (2004), determinando-se os valores de H^+ em concentração em meio aquoso (pH-HOR2O deionizada e em KCl (pH-KCl)), ambos em proporção 1:1. Para o pH-HOR2O, são adicionados 20g de TFSA e depois 20ml de água deionizada em recipiente apropriado. O conteúdo foi misturado manualmente com bastão de vidro por 30 segundos e descansado por 60 minutos. Durante esses 60 minutos, as amostras foram agitadas no agitador orbital (marca Tecnal, TE-145) 3 vezes a cada 15 minutos, por 1 minuto cada ciclo, a 170rpm. Ao passar os 60 minutos, as amostras são retiradas do agitador e novamente agitadas manualmente com bastão de vidro por 30 segundos e descansadas por 1 minuto, para assim ser feita a leitura do pH com medidor (phmetro marca ION, modelo PHB 500), devidamente calibrado. O procedimento para pH em

KCl segue as mesma etapas que a anterior, somente efetuando-se a troca de reagente. Essas análises foram realizadas em triplicatas no LAMAS-UNIFESP.

4.3.1.2 Acidez trocável (Alumínio Trocável – Al³⁺)

Esse procedimento tem como base as recomendações de CANTARELLA *et al.* (2001), com extração do Al³⁺ trocável em KCl. Em concentrações elevadas, o KCl pode deslocar os íons Al para a solução, sendo assim possível a titulação a partir do hidróxido de sódio (NaOH 0,1N).

Com isso, foram pesados 5g de TFSA em erlenmeyer de 250ml, com precisão de duas casas, sendo posteriormente pipetados 50ml de KCl 1mol.L⁻¹ em cada. O conteúdo foi colocado no agitador orbital por 5 minutos e 220rpm. Após esse tempo, a amostra foi filtrada com filtros Nalgon quantitativo (diâmetro 12 cm) e 25ml dos filtrados foram pipetados e colocados em novo erlenmeyer. Com a bureta automática, foi realizada a titulação do conteúdo filtrado e do branco de amostra, adicionando-se 3 gotas de indicador azul de bromotimol e, com a bureta automática, gotas NaOH 0,025 mol L⁻¹ até o filtrado mudar de transparente para azul. Anota-se o valor indicado na bureta eletrônica. Essa análise foi realizada em triplicatas no LAMAS-UNIFESP.

Os valores de Al³⁺ trocáveis é calculado pela seguinte fórmula:

$$\frac{(V_{am} - V_{br}) \times C_{NaOH} \times 50 \times 1000}{25 \times 5} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

V_{am} = valor da titulação para a amostra, V_{br} = valor da titulação para o branco, C_{NaOH} = concentração da solução: 0,025 N, 50 = 50 ml de KCl 1 mol, 1000 = fator de conversão de g para kg (unidade), 25 = 25 ml do extrato filtrado, 5 = 5 gramas de solo.

4.3.1.3 – Acidez potencial (H⁺+Al⁺ trocáveis)

O procedimento para essa análise é baseado em QUAGGIO & RAIJI (2001). Essa medida é obtida com extração de solução tamponada de acetato de cálcio 1 mol

L-1, pH 7,0 e determinação por titulação com solução de NaOH e fenolftaleína como indicador (EMBRAPA, 2005).

Inicia-se com a adição de 2,5g de TFSA em erlenmeyer de 250ml, com precisão de 2 casas. Adiciona-se 50ml do acetato de cálcio, sendo o conjunto colocado no agitador orbital por 15 minutos a 220rpm. Após a agitação, as amostras foram filtradas com filtros Nalgon quantitativo (diâmetro 12 cm), sendo posteriormente pipetados 25ml dos filtrados em erlenmeyer limpo. Com isso, foi feita a titulação das amostras e do branco de amostra. Para a titulação das amostras, foram colocadas 3 gotas de indicador fenolftaleína no filtrado e, em seguida, despejado NaOH com a bureta automática, até o conteúdo ficar rosa. Em seguida, foi marcado o valor da amostra registrado na bureta (V_{am}). Para a titulação do branco, coloca-se em um erlenmeyer 25ml de acetato de cálcio, 3 gotas de fenolftaleína e NaOH (com a bureta automática) até adquirir a coloração rosa. O valor registrado na bureta (V_{br}) é então anotado. Essa análise foi realizada em triplicatas no LAMAS-UNIFESP.

O cálculo para a acidez potencial será realizado pela seguinte fórmula:

$$\frac{(V_{am} - V_{br}) \times C_{NaOH} \times 50 \times 1000}{25 \times 2,5} \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

V_{am} = valor da titulação para a amostra, V_{br} = valor da titulação para o branco, NaOH = concentração da solução: 0,025 N, 50 = 50 ml de KCl 1 mol, 1000 = fator de conversão de g para kg (unidade), 25 = 25 ml do extrato filtrado, 2,5 = 2,5 gramas de solo.

4.3.1.4 K^+ e Na^+ trocáveis

Esse procedimento seguiu as orientações de SILVA *et al.* (2009), utilizando-se a solução de extração Melisch 1 (HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0125 mol/l). Para a quantificação, é utilizado o Fotômetro de Chama (Modelo DIGIMED 650n). Dessa forma, uma alíquota de 2,5g de amostra é adicionada em recipiente apropriado e colocado 25ml de solução Melisch 1. As amostras são transferidas para o agitador orbital em 220 rpm por 5 minutos. Após isso, foi realizada a filtragem do conteúdo em filtros

Nalgon quantitativo para recipientes limpos. Após a filtração, é feita a pipetagem de 10ml do filtrado para tubos de ensaio, levados para a medição no fotômetro de chama, seguindo as recomendações do manual do aparelho. Essa análise foi realizada em triplicatas no LAMAS-UNIFESP.

4.3.1.5 – Ca⁺² e Mg⁺² trocáveis

O procedimento seguiu as recomendações de CANTARELLA *et al.* (2001). É utilizada a solução de extração KCl 1M.L⁻¹, sendo preparadas as soluções para a curva de calibração e quantificação por espectrofotômetro de absorção atômica. Pesa-se 5g de TFSA em tubo apropriados e são adicionados 50ml da solução KCl 1M.L⁻¹. A solução é acondicionada no agitador orbital por 5 minutos a 220rpm. Após o tempo, realiza-se a filtração em recipientes limpos. Foi pipetado 1ml do filtrado e transferido para tubos de ensaio de vidro limpos, sendo acrescentados a eles 10ml da solução de trabalho contendo 1 g L⁻¹ de La e homogeneizados no agitador de tubos de 30 segundos a 1 minuto. Após a homogeneização, foi feita a leitura pelo espectrofotômetro de absorção atômica (EAA) seguindo o protocolo de orientação do equipamento.

Para a produção da solução de calibração, utilizam-se as soluções de estoque de Ca e Mg (Fluka analytical, Calcium and Magnesium Standard for AAS, 1000 mg.L⁻¹, 250 ml, representante MPL). São pipetados 25ml da solução de estoque de Ca e 5ml da solução estoque de Mg em balão volumétrico de 250ml, complementando-se seu volume com KCl 1M. Procedem-se para a pipetagem dessa solução os seguintes volumes em cinco balões volumétricos de 100ml cada: A – 0 mg/l (branco); Balão B - 22 ml; Balão C - 44 ml; Balão D -66 ml; Balão E - 88 ml, completando-se o volume de cada balão com KCl 1M. Realiza-se nova pipetagem de 1ml desses padrões em tubos de ensaio identificados, diluindo-os em 10ml da solução de La. Em seguida foi feita nova homogeneização em agitador de tubos por no mínimo 20 segundos e procedem-se para a leitura para elaboração da curva. Cada tubo corresponde às seguintes medidas: A– 0 mg/l (equivale a 0 de Ca e Mg - branco); B - equivale a 2 mg/l de Ca e 0,4 mg/l de Mg; C - equivale a 4 mg/l de Ca e 0,8 mg/l de Mg); D - equivale a 6 mg/l de Ca e 1,2 mg/l de Mg); E - equivale a 8 mg/l de Ca e 1,6mg/l de Mg.

Feita a leitura dos volumes dos tubos para a curva, elabora-se, em formato “.xls” a curva de calibração, deixando a absorvância lida no EAA no eixo Y e a concentração no eixo X. É feito um gráfico de dispersão com os dados, desenhada a linha de tendência e exibida a equação no gráfico e o r^2 (tem que dar $r^2 \geq 0,99$). Nessa equação, “X” é o valor de concentração e “Y” o de absorvância dado pelo EAA. Calcula-se “x”, que será a concentração da sua amostra, representando o valor corrigido. Essa análise foi realizada em triplicatas no LAMAS-UNIFESP.

Para os cálculos de concentração de Ca e Mg, procede-se:

- Leitura no EAA (valor corrigido pela curva de calibração) x carga do cátion (mmol de carga) x 10 (relação entre 5g de solo e 50 ml de KCl) x 11 (diluição do Lantânio)/peso atômico do cátion (Ca=40,0780; ou Mg = 24,3050) (para transformação em mmol de carga) = valor na unidade mmolc/kg.

4.3.1.6 Capacidade de Troca Catiônica (CTC/T), Soma de bases (S), porcentagem de saturação de bases (V) e saturação por sódio (PST).

Os procedimentos adotados para a determinação desses atributos são fornecidos por CAMARGO *et al.* (2009) e EMBRAPA (1991). A soma de bases (S) é obtida pela soma de valores dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ (CAMARGO *et al.*, 2009). O valor de porcentagem de saturação de bases (V), é estimada pela relação entre a soma de bases e a CTC a pH 7, com base na equação:

$$V = (S/T \text{ ou } CTC) \times 100 \text{ (Equação 3)}$$

A determinação da Capacidade de Troca Catiônica calculada (CTC ou T) é fornecida pela soma de bases com a acidez total, pela equação:

$$T = (S + Al^{3+} + H^+) \text{ (Equação 4)}$$

4.3.2 Análises físicas

4.3.2.1 Análise granulométrica

Essa análise tem como objetivo quantificar as proporções das partículas argila, silte e areia, que compõem as amostras de solo. A análise segue as recomendações do método de pipeta (USEPA, 1996) e os procedimentos em CAMARGO *et al.* (2009).

Inicialmente, foi realizada a separação e pesagem de 50g de amostra, colocada em béquer de 500ml. Logo em seguida, deve-se adicionar 100ml de água deionizada e 2g de pirofosfato de sódio. O conteúdo foi transferido para garrafas e alocadas no agitador de Wagner por no mínimo 12 horas, a 35rpm. Após esse tempo, o volume é colocado em uma proveta de 1000ml e completado até 990ml de água deionizada. Em seguida, a solução da proveta foi agitada com bastão de borracha com furos na ponta por 30 segundos. Nos segundos finais, o bastão é retirado e lavado com pisseta de água deionizada, retirando os resíduos do bastão sem deixá-los cair fora da proveta, até complementar a proveta com 1000ml exatos. O conteúdo fica, então, em repouso.

O tempo de pipetagem do silte e da argila segue a temperatura estabilizada medida com termômetro em cada proveta, sendo calculado pelo ábaco construído segundo a Lei de Stokes. Utiliza-se uma pipeta de 10ml, a partir do nível d'água, de modo a corresponder com as medidas de profundidade 5cm, para argila +dispersante, e 10cm, para silte+argila+dispersante, na proveta. Após o tempo decorrido para cada fração foi pipetada uma alíquota de 10ml nas marcas da pipeta, sendo esta colocada em um béquer de 50ml e encaminhada para estufa para secagem, entre as temperaturas 105 a 110°C, por 24h .

Para a determinação de areia, o volume restante da proveta foi passado na peneira com abertura de malha de 0,053mm, lavando-se bem a proveta e a peneira com água deionizada, garantindo a eliminação de todo silte e argila. Após a lavagem, a areia retida foi transferida para um béquer de 600ml e o excesso de água retirado com pipeta pasteur ou seringa; o béquer foi então disposto em banho de areia para completa secagem. A areia foi esfriada e pesada, com a aproximação de 0,01g, para obtenção do peso total da areia. Após a pesagem, o conteúdo foi colocado no agitador eletromagnético na vibração 5 por 10 minutos, para proceder com a separação das cinco frações de areia: areia muito grossa (1 a 2mm), areia grossa (<1 a 0,5mm), areia média (<0,5 a 0,25mm), areia fina (<0,25 a 0,125 mm) e areia muito fina (<0,125 a 0,053mm).

Ao término da separação, as frações foram colocadas em sacos previamente pesados e identificados, e com isso, novamente pesadas para quantificação de cada fração.

Com os valores das diferenças entre os pesos de béqueres de amostra para silte e argila e saquinhos para as areias, os teores das três frações foram calculados em peso e em porcentagem em função da distribuição do erro na pesagem de cada alíquota. Essa análise foi realizada no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (DG/USP).

4.3.2.2 Densidade do solo

A análise de densidade do solo foi aplicada nas amostras indeformadas coletadas dos horizontes HOR1, HOR3, HOR6, HOR12 E HOR14 da TR01/TRAD1 e HOR4, HOR6, HOR7, H9, HOR10, HOR11 e HOR12 da TR02/TRAD2, seguindo especificações de EMBRAPA (1997) para o método do torrão. O torrão (W_{sa}), que deve ter dimensões mínimas de 3cm x 4cm, é impermeabilizado com parafina fundida (pp) em “banho maria”, de maneira que seja permitido mergulhá-lo em água para determinar o volume (W_{spw}). Após a impermeabilização, é esfriado e pesado. O torrão é mergulhado em béquer de peso conhecido com água, de modo que fique suspenso sem encostar nas paredes e na base do béquer. Após a pesagem, o torrão é retirado para secagem e depois partido. Uma alíquota livre de parafina (M_w) é pesada e disposta em estufa para secagem à 105°C, por 12h (W_{ods}). Essa análise foi realizada em triplicatas no LAMAS-UNIFESP. Com o conteúdo de água presente na alíquota será calculada a massa seca do solo conforme a fórmula a seguir:

$$W_{ods} = W_{sa} / (1 + \theta_w) \text{ (Equação 5)}$$

Onde:

W_{sa} = Peso líquido do torrão com seu conteúdo original de água; θ_w = conteúdo de água da alíquota de solo em g/g

Cálculo de θ_w : M_w/M_s (da alíquota), e $M_w = (\text{peso alíquota}) - (\text{peso da alíquota seca}, M_s)$. Obtidos os resultados, a densidade do solo (D_s) em cm^3 é calculada de acordo com a fórmula:

Ds: $\rho_w W_{ods} / [W_{sa} - W_{spw} + W_{pa} - (W_{pa} \rho_w / \rho_p)]$ (Equação 6), onde:

ρ_w : densidade da água na temperatura medida; W_{ods} : massa de solo seco na estufa; W_{sa} : peso líquido do torrão em ar; W_{spw} : peso líquido do torrão + parafina em água; W_{pa} : peso em ar da parafina que envolve o torrão; ρ_p : densidade da parafina.

4.3.2.3 Densidade de Partícula (Dp).

Os procedimentos seguem recomendações de BLAKE & HARTGE (1986). Foram pesados 20g de TFSA em balão volumétrico de 50 ml com funil de vidro. Completadas as 20 g, retira-se o balão e funil da balança e uma bureta de 50 ml é encaixada, por intermédio de um funil, em uma bureta de 50 ml. Adiciona-se exatamente 50ml de álcool etílico na bureta com a válvula de despejo fechada. Em seguida, escorre-se o álcool da bureta para o balão volumétrico, a fim de se preencher todos os espaços da amostra. Na metade do preenchimento, agita-se o balão para propagação mais rápida do álcool pelos poros formados pelos grãos da amostra, evitando que apareçam bolhas de ar na superfície do líquido. Completada a marca de 50 ml do balão, anotar o valor da marca onde parou a superfície do álcool na pipeta. Dessa forma, são feitos os cálculos:

V_s (volume de partículas) = 50ml (volume do balão) – volume de álcool (Equação 7)

E para o cálculo de Dp, em g/cm³, procede-se com a equação:

$D_p = \frac{\text{Massa do solo (TFSA)}}{V_s}$ (Equação 7)

V_s

4.3.2.4 Porosidade total (PT).

Com a medição de densidade de solo (Ds) e densidade de partícula (Dp) de algumas amostras, foi possível calcular a porosidade total (PT) em porcentagem (%). Essa análise representa a fração na qual um determinado volume de solo pode ser preenchido por água e ar. O cálculo feito conforme a equação:

$PT = \frac{D_p - D_s}{D_p}$ (Equação 8)

4.3.3 Análise biológica

4.3.3.1 – Quantificação de carbono orgânico

Esse procedimento, baseado em CAMARGO *et al.* (2009), visa a determinação de carbono e matéria orgânica no solo com utilização de dicromato de potássio e ácido sulfúrico. A quantificação se dá pela oxidação da matéria orgânica do solo por esses dois reagentes, utilizando como catalizador da oxirredução o calor despreendido na diluição do ácido sulfúrico e titulando o excesso de dicromato com o sulfato amoniacal. O procedimento começa com a pesagem de 1g de TFSA para erlenmeyer de 500ml. Adiciona-se com bureta 10ml da solução dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e 20ml de ácido sulfúrico, agitados manualmente por 1 minuto. Após isso, deve-se reservar por 30 minutos a suspensão e adicionar 200ml de água destilada, 10ml de ácido ortofosfórico concentrado e oito gotas de difenilamina a 1%. Após essa etapa, foi feita a titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 N até a coloração virar de azul para verde, anotando o valor correspondente demarcado na bureta.

4.3.4 Índice de Qualidade do Solo (IQS)

Como comentado no item 3.4 do Referencial Teórico, o IQS aplicado a esse estudo foi calculado a partir da ferramenta *Soil Management Assessment Framework* (SMAF), seguindo recomendações de ANDREW *et al.* (2004) e análise aplicada em CHERUBIN (2016). Essa ferramenta utiliza variados indicadores pedológicos transformados em índices que calculam o potencial de qualidade do solo. Com isso, quanto mais parâmetros para avaliação, maior o refino e precisão do cálculo.

As amostras adotadas para essa análise foram nas camadas CAM1, CAM3, CAM6, e horizontes HOR3 e HOR5 da TR01/TRAD1 e CAM4, CAM6, CAM7, HOR1, HOR2, HOR3 e HOR4 da TR02/TRAD2. A escolha deveu-se pela possibilidade de utilização da densidade do solo medida pela análise de amostras indeformadas coletadas dessas amostras

Com os resultados das análises laboratoriais definidos, foram escolhidos quatro indicadores dentre os previstos pelo método, que formaram os dados de *input* do cálculo do IQS: o indicador físico densidade (Ds), indicadores químicos pH_{HOR20} e K^+ trocável e

o indicador biológico carbono orgânico (CO). Esses indicadores são utilizados frequentemente em análises de qualidade do solo (CHERUBIN *et al.*, 2016; BENISTON *et al.*, 2016; VEUM *et al.*, 2015; KARLEN *et al.*, 2008).

Para o cálculo de cada horizonte, foram utilizados valores médios dos indicadores em planilha formato “.xls”, ligados aos algoritmos que realizam a conversão desses valores em *scores* padronizados entre 0 e 1. A cada valor inserido, o algoritmo reproduz e ajusta um *score* por meio de classes de fatores (*Factor Class*). Tais classes representam características do local de estudo como vegetação, clima, estação do ano na qual foi realizada a coleta de amostras, e dados pedológicos, como a classificação desse solo conforme a nomenclatura norte-americana, a textura, declividade, nível de intemperismo e teor de material orgânico. Cada classe recebe um valor numérico correspondente para o cálculo com os *inputs*, como por exemplo, a classe “estações do ano de coleta” recebe o valor “1” para “primavera”, “2” para “verão”, “3” para “outono” e “4” para “inverno”. A inserção dos valores e atribuição das classes de fatores resulta ao algoritmo uma série de cálculos pré-estabelecidos na planilha, o que define *scores* para cada indicador utilizado. Ao final, é realizada a média desses *scores* para o cálculo final do índice de qualidade.

4.3.5 Análises por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)

Conforme a variabilidade das características dos horizontes, a aplicação de MEV/EDS possibilita a visualização em escala microscópica de partículas e agregados minerais e a semi-quantificação dos elementos químicos presentes. Com isso, torna-se possível identificar alguns minerais formadores dos horizontes antrópicos e naturais e a possibilidade de reconhecer elementos químicos poluentes.

Foram analisadas sete amostras para a TR01/TRAD1 e 3 amostras na TR02/TRAD2.. As amostras escolhidas pretenderam abranger os diversos tipos de materiais encontrados nos perfis.. Para a microscopia eletrônica de varredura, foi utilizado o equipamento de marca JEOL, modelo JMS-6610LV. O preparo para leitura foi realizado colocando-se cerca de 0,5g das amostras em peças do próprio equipamento em uma camada de fita adesiva de carbono. Essas peças são colocadas em outro

recipiente do equipamento Denton VA CUUM Desk II para o recobrimento das amostras por carbono à partir de um filamento de aproximadamente 2 cm, a fim de aumentar a condução elétrica pela amostra. Tal filamento é inserido em um eletrodo para aquecimento, sendo aplicada uma carga de 80A, após submeter a pressão do recipiente ao vácuo, para pulverização do carbono do filamento nas amostras. Devido à esse recobrimento, essa técnica não é indicada para a quantificação de carbono.

As peças recobertas de carbono são, então, introduzidas no MEV por uma alavanca. Tanto o microscópio quanto o EDS são operados por computador instalado com *software* específico. Para o MEV, foram analisados 4 campos das amostras nas peças correspondentes a um horizonte com o direcionamento de uma sonda microscópica para a visualização de partículas. Nesses mesmos campos foi aplicado a semi-quantificação química pelo EDS. A ampliação utilizada para a visualização das imagens variou principalmente entre 10000 e 20000 vezes.

Os procedimentos da análise foram realizados no Núcleo de Instrumentação para Pesquisa e Ensino (NIPE), localizado na Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) *campus* Diadema - unidade José de Filippi.

5. Resultados

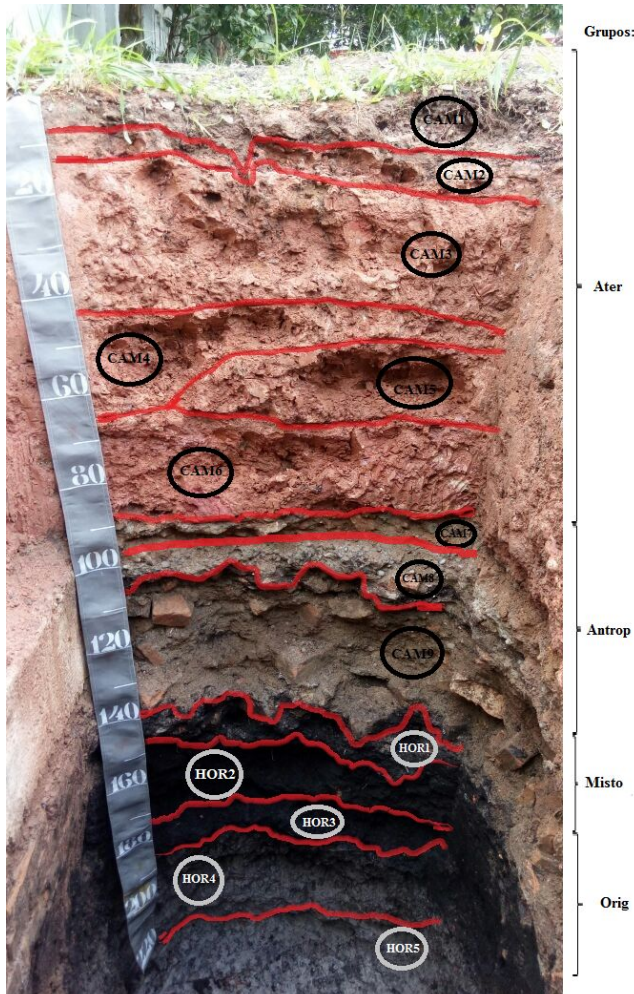
5.1. Descrição morfológica

As descrições dos perfis TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2 foram realizadas para a identificação de camadas e horizontes do solo da área de estudo e a caracterização morfológica. Considerou-se esses dois tipos de coberturas conforme as premissas de EMBRAPA (2018), que apresenta como camadas do solo formações que têm pouco ou nenhuma relação com processos pedogenéticos, frequentemente mantendo as características do material original. Em contrapartida, as coberturas reconhecidas como horizontes são formadas a partir de processos pedogenéticos atuantes nas rochas ou sedimentos anteriores, e diferenciadas conforme propriedades morfológicas, químicas, físicas e biológicas identificáveis. Com isso, a partir do processo de amostragem e descrição de campo foram identificadas tais coberturas formadoras do solo em estudo.

Com a investigação de campo, no primeiro perfil foram encontradas 10 camadas e 7 horizontes (Figura 24 e 25) e, para o segundo perfil, 8 camadas e 6 horizontes (Figura 26 e 27). As camadas foram identificadas com o prefixo “CAM” e horizontes com o prefixo “HOR”. Foi possível identificar grupos de horizontes entre os perfis por possuírem características morfológicas e grau de interferência antrópica semelhantes.

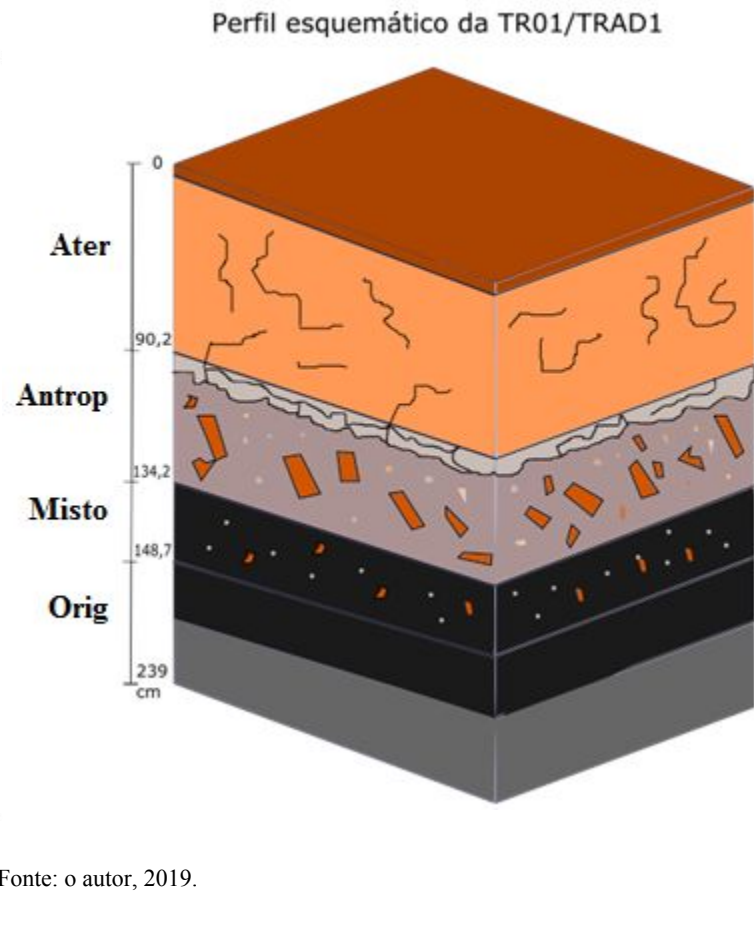
Os grupos são identificados como: **1) Grupo Ater:** camadas superficiais desenvolvidos em material de aterro, abrangendo os horizontes CAM1 ao CAM6 da TR01/TRAD1 e CAM1 ao CAM7 da TR02/TRAD2; **2) Grupo Antrop:** camadas de artefatos antrópicos, constituídos por materiais de construção e alvenaria coberto pelo material de aterro, referentes aos horizontes o CAM7 ao CAM9 da TR01/TRAD1 e CAM8 da TR02/TRAD2; **3) Grupo Misto:** horizontes desenvolvidos *in situ* com mistura de artefatos antrópicos provenientes dos horizontes anteriores, correspondendo aos horizontes HOR1 e HOR2 da TR01/TRAD1 e horizontes HOR1 e HOR2 da TR02/TRAD2; **4) Grupo Orig:** horizontes desenvolvidos *in situ* originados à partir dos depósitos de planícies fluviais, referentes aos horizontes HOR3 ao HOR7 da TR01/TRAD1 e HOR3 ao HOR6 da TR02/TRAD2. A descrição morfológica de campo completa dos perfis é apresentada no APÊNDICE A desse trabalho.

Figura 24 -Perfil de solo descrito da trincheira TR01/TRAD1.



Fonte: o autor, 2017.

Figura 25 - Croqui do perfil da TR01/TRAD1.



Fonte: o autor, 2019.

Figura 26 - Perfil de solo descrito da trincheira TR02/TRAD2.

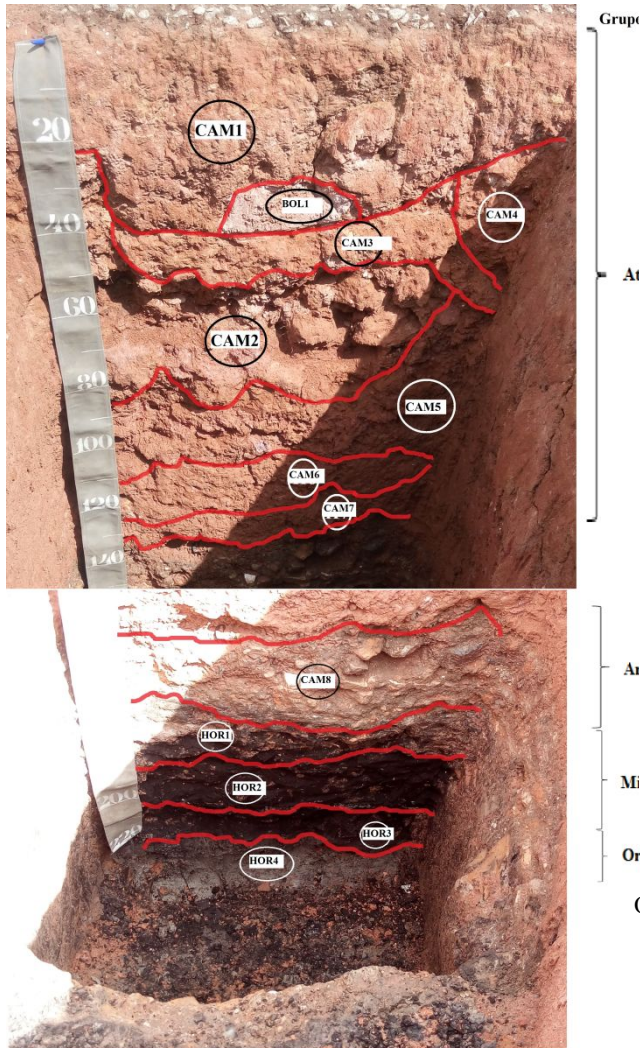
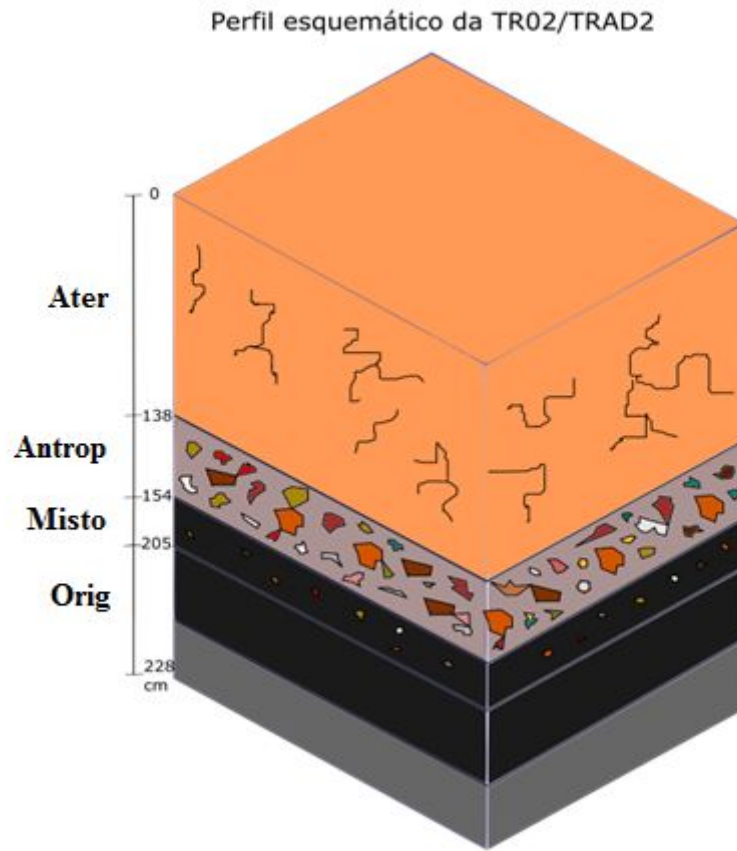


Figura 27 - Croqui do perfil da TR02/TRAD2.



Organização: Almeida, 2019.

Fonte: O autor, 2017.

5.1.1 Camadas desenvolvidas em material de aterro (Grupo Ater)

Esse conjunto representa horizontes minerais intensamente compactados, de coloração diferenciada dos materiais originais das partes inferiores dos perfis, sendo adicionados por atividade antrópica. Inicialmente, constatou-se que a cobertura do material referente a esse conjunto no perfis das trincheiras variou em profundidade. Nesse sentido, esse material desenvolveu-se entre 0cm a 90,2cm na TR01/TRAD1, compreendendo os camadas CAM1 a CAM6, e entre 0cm e 138cm na TR02/TRAD2/ TRAD2, compreendendo camadas CAM1 a CAM7.

Foram encontrados indícios de matéria orgânica somente na camada CAM1 da TR01/TRAD1, de cor bruna escura (5YR 4/2), com presença de vegetação composta por gramíneas com raízes finas, misturada a materiais antrópicos composta por brita. Por outro lado, a TR02/TRAD2 não apresentou na camada CAM1 indícios de material orgânico, possuindo cor vermelha (2.5YR 5/6), porém com significativo material antrópico em superfície semelhante ao da trincheira anterior.

Os horizontes apresentam matrizes semelhantes para os dois perfis. As camadas CAM2, CAM3, CAM4 e CAM5 da TR01/TRAD1 e CAM2, CAM3 e CAM4 da TR02/TRAD2 possuem matriz vermelha com pequena variação (2.5 YR 5/6, seco e 2.5 YR 4/6, seco, respectivamente). A camada CAM6 da TR01/TRAD1 apresentou matriz vermelha escura (10R 4/6), assim como CAM5, CAM6 e CAM7 da TR02/TRAD2 (2.5 YR 4/6 a 3/6). Foi identificado um bolsão (B1) em destaque entre os horizontes CAM1 e CAM2, de cor vermelha acinzentada (5R 7/2) e sem correlação à outra trincheira.

De maneira geral, foi observada grande quantidade de volumes com cores diferentes da matriz das camadas nesse grupo (mínimo de 1 volume no CAM1 da TR01/TRAD1 a máximo de 9 volumes na CAM2 da TR02/TRAD2), sendo que tais volumes estabelecem as principais diferenças entre os horizontes identificados para cada trincheira. Contudo, foi possível correlacionar apenas alguns volumes semelhantes entre os horizontes de ambos os perfis: os volumes bruno amarelados da TR01/TRAD1 (10YR entre 7/8 e 6/8) nas camadas CAM3, CAM4 e CAM5 estão correlacionados ao amarelo brunado (10YR 6/8) nas camadas

CAM1, CAM2, CAM3, CAM4 CAM5 e CAM7 da TR02/TRAD2. Em todos os horizontes, não foram identificados artefatos antrópicos.

Devido à compactação presente no solo, a maior parte dos camadas de ambas as trincheiras não apresenta estrutura definida, sendo assim maciços. Excetuam-se as camadas CAM6 da TR01/TRAD1, que apresentou estrutura incipiente (blocos subangulares pequenos com 1cm-3cm) e a CAM2 da TR02/TRAD2, igualmente maciço porém se desfazendo em grãos soltos de tamanhos variados (1cm-15cm ou mais).

A textura identificada foi predominantemente argilosa a muito argilosa e consistência molhada plástica e pegajosa nas camadas CAM1 ao CAM6 da TR01/TRAD1. Para a TR02/TRAD2 foi identificada textura argilo-arenosa para as camadas CAM1 ao CAM7 e consistência molhada semelhante às camadas da trincheira anterior.

A transição entre tais camadas apresentou variação entre predominantemente plana na TR01/TRAD1 e plano-ondulada na TR02/TRAD2. Foram observadas na TR01/TRAD1 transições graduais entre os camadas CAM2 e CAM3 e horizontes CAM5 e CAM6, transições claras entre horizontes CAM3 ao CAM5 e abruptas entre horizontes CAM1 e CAM2 e horizontes CAM6 e CAM7. Para a TR02/TRAD2, foram constatadas transições predominantemente claras entre as camadas CAM1 a CAM6, gradual entre os horizontes CAM6 e CAM7 e abrupta entre CAM7 e CAM8.

A consistência em ponta de faca de modo geral apresentou-se dura ao impacto para ambos os perfis, com exceções para a camada CAM1 da TR01/TRAD1, de resistência fraca, e da camada CAM2 da TR02/TRAD2, de consistência fraca a média. Também foi verificada a presença de raízes fasciculares de ocorrência rara nas camadas CAM1 ao CAM6 da TR01/TRAD1, apresentando diâmetro menor ou igual a 1mm. Para a TR02/TRAD2, foram identificados esses tipos de raízes somente em CAM1, CAM2 e CAM3.

5.1.2 Camadas de artefatos antrópicos (Grupo Antrop)

Esse grupo corresponde às camadas CAM7, CAM8 e CAM9 da TR01/TRAD1 e à camada CAM8 da TR02/TRAD2. São compostos por materiais antrópicos inseridos artificiais tais como tijolos, madeira, brita, concreto, areia de construção, cimento, cerâmica, vidro, ferros e telhas, formando uma diferenciação nítida entre as camadas de aterro e o solo

formado *in situ*, correspondendo a um uso pretérito da área de estudo. Para a TR01/TRAD1, a camada CAM7 apresenta a profundidade de 90,2cm a 98,5cm, a CAM8 de 98,5cm a 103,5cm e a CAM9 de 103,5cm a 134,2cm, totalizando 44cm. A camada CAM8 da TR02/TRAD2 apresenta profundidade entre 138cm a 154cm, no total de 16cm.

As camadas CAM7 e CAM8 da TR01/TRAD1 apresentou matriz de cor variegada (10YR 3/2 e 7.5 YR 5/8), semelhante à camada CAM8 da TR02/TRAD2. Tais camadas apresentaram artefatos antrópicos em abundância, como tijolo/telha (entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8), madeira (5Y 5/8) e concreto esbranquiçado (entre WP 2.5Y 8/1 e 5Y6/2). A camada antrópica CAM9 da TR01/TRAD1 possui matriz cinza (não identificável pela Carta de Mansell) constituída por areia de construção, apresentando volumes de tijolos grandes (entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8) e concreto esbranquiçado (WP 2.5Y 8/1 e 5Y6/2).

De modo geral, as camadas formadas por artefatos não apresentam estrutura (maciços), com textura arenosa e abundância de areia grossa, consistência molhada pouco plástica e pouco pegajosa, transição plana e abrupta para os horizontes adjacentes, e consistência muito dura a friável em ponta de faca, com artefatos muito a pouco coesos.

5.1.3 Horizontes desenvolvidos *in situ* com mistura de artefatos antrópicos (Grupo Misto)

Os horizontes representativos desse grupo são o HOR1 e HOR2 da TR01/TRAD1 e HOR1 e HOR2 da TR02/TRAD2. Esses são compostos por materiais formados *in situ* misturados aos artefatos antrópicos das camadas de artefatos e que sofreram os primeiros impactos de mobilização e adição de substâncias diferentes das existentes do solo original. O horizonte HOR1 e HOR2 da TR01/TRAD1 estão na profundidade de 134,2cm a 148,7cm e 148,7cm a 173,5cm, respectivamente. Da mesma forma, os horizontes HOR1 e HOR2 da TR02/TRAD2 estão localizados entre 154cm a 174cm e 174cm a 205cm.

De maneira geral, todos os horizontes das trincheiras apresentam matriz preta (10YR 2/1), o que indica a presença significativa de material orgânico em sua composição e possuem volumes condizentes com materiais misturados descritos nos horizontes de materiais antrópicos, mas não apresentaram correlações entre os dois perfis. Esses volumes estão mais presentes (>20%) no horizonte HOR1 da TR01/TRAD1 e HOR2 da TR02/TRAD2 no que nos outros dois horizontes adjacentes. Apresentam estrutura maciça no geral, com variação de

estrutura incipiente no HOR2 da TR02/TRAD2, que se desfaz em blocos subangulares pequenos (2-3cm), textura argilosa e consistência plástica e pegajosa. Os demais horizontes apresentam textura a argilosa, com consistência plástica e pegajosa a muito plástica e muito pegajosa. Apresentam transição plano-ondulada em todos os horizontes e abrupta no caso do horizonte HOR1 da TR01/TRAD1, clara no caso do horizonte HOR1 da TR02/TRAD2 e gradual nos horizontes HOR2 da TR01/TRAD1 e HOR2 da TR02/TRAD2. Os horizontes apresentam consistência em ponta de faca variando entre média a fraca.

5.1.4 Horizontes desenvolvidos *in situ* - solo original (Grupo Orig)

O último grupo identificado pela análise da descrição morfológica representa o material originado pelos processos pedogenéticos sobre materiais depositados pela dinâmica fluvial da área de estudo. Os horizontes desse grupo são: HOR3 (com profundidade entre 173,5cm a 189,5cm), HOR4 (entre 189,5cm a 223 cm), HOR5 (entre 223cm a 239 cm), HOR6 (entre 239cm a 250cm) e HOR7 (entre 250cm a 296cm) da TR01/TRAD1; HOR3 (entre 205cm a 228cm) e HOR4 (228cm a 253cm) HOR5 (entre 253cm a 319cm) e HOR6 (entre 319cm a 350cm) da TR02/TRAD2.

Os horizontes HOR3 da TR01/TRAD1 e HOR3 da TR02/TRAD2 apresentam a mesma coloração na matriz (preta - 10YR 2/1), correspondendo a horizontes semelhantes entre os perfis e de transição para os horizontes abaixo. A diferença consiste na identificação do volume Cinzento (Gley 1 5/N) no HOR3 do TR02/TRAD2 e apresentação de estrutura incipiente de blocos subangulares a maciça com raízes muito finas (<1mm) no horizonte HOR3 da TR01/TRAD1. O horizonte HOR3 da TR02/TRAD2 não apresentou estrutura. Os dois horizontes apresentaram textura em campo muito argilosa, muito plástica e muito pegajosa, transição clara e ligeiramente ondulada para o horizontes adjacente e consistência em ponta de faca fraca.

Os horizontes subjacentes (HOR4 e HOR5 da TR01/TRAD1 e HOR4 da TR02/TRAD2) apresentaram semelhanças quanto a matriz, variando a cor entre cinza escuro e acinzentada (7.5YR 5/1 e 7.5YR 7/1). De maneira geral, não apresentaram volumes, com exceção aos do horizonte HOR4 da TR02/TRAD2, identificados como preto (10YR 2/1) e

cinzento (Gley 1 5/N). Não apresentam estrutura (maciços), possuem textura muito argilosa, consistência muito plástica e muito pegajosa e consistência em ponta de faca fraca a média.

As tradagens TRAD1 e TRAD2 realizadas a TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2, respectivamente, atingiram o lençól freático e definiram mais dois horizontes para cada trincheira. Os horizontes HOR6 e HOR7 da TR01/TRAD1 e HOR5 e HOR6 da TR02/TRAD2 apresentaram cor da matriz 10YR 7/1 e 2.5YR 7/1, respectivamente nessa ordem. Tais horizontes não apresentaram volumes, possuem textura muito argilosa, plástica e muito pegajosa e localizam-se próximos ao contato com o nível d'água subsuperficial, encontrado na época dos levantamentos a 396 cm de profundidade na TR01/TRAD1//TRAD1 e 350 cm de profundidade na TR02/TRAD2.

5.2 Análises físicas

5.2.1 – Análises granulométricas

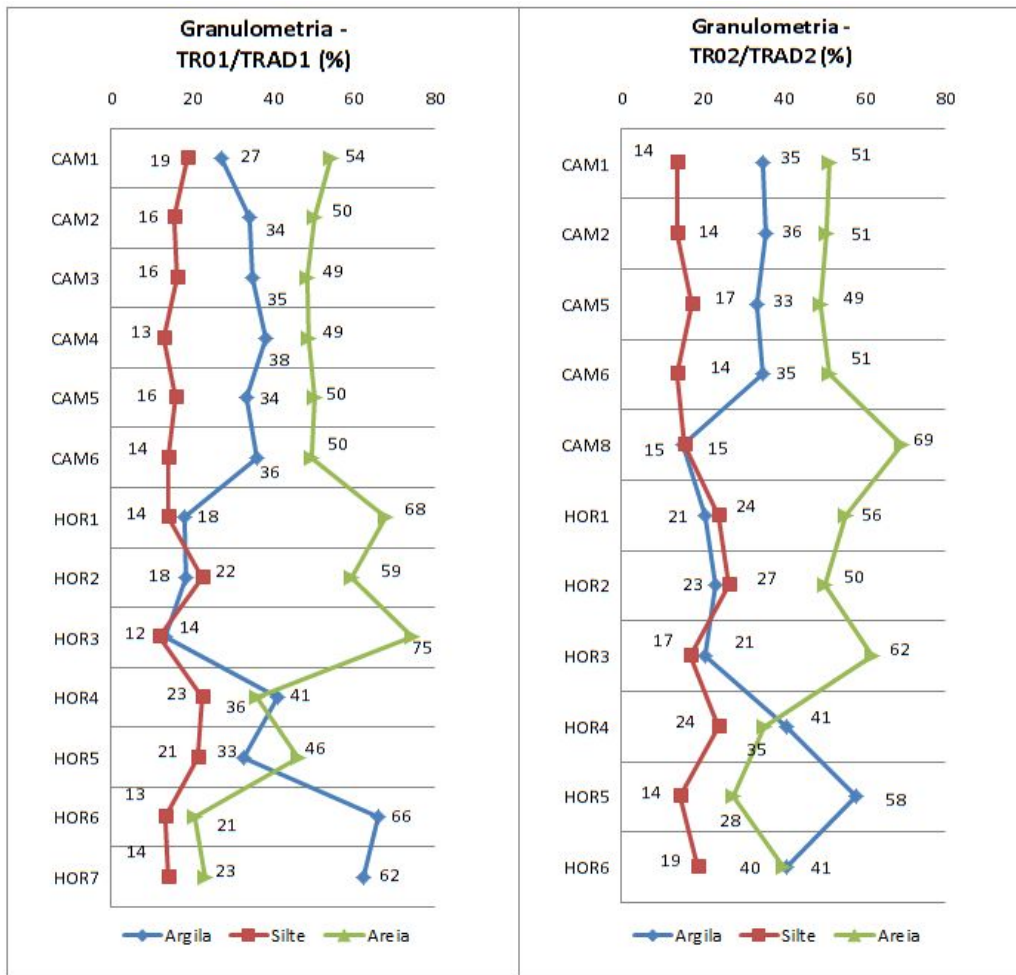
Os dados de análise granulométrica apresentaram variações ao longo do perfil (Figura 21), bem como dos demais parâmetros físicos (Tabela 11). Para a trincheira TR01/TRAD1, as texturas variaram entre argilosa (argila >35%) no horizonte HOR7 do grupo Orig e franco-arenosa no horizonte HOR1 do grupo Misto, mas com predomínio de franco-argilo-arenosa no perfil (<35% de argila e >15% de areia). Para a TR02/TRAD2, as texturas variaram entre argilosa no horizonte HOR5 do grupo Orig e franco-arenosa na camada CAM8 do grupo Antrop, com predomínio de textura franco-argilo-arenosa (Figura 28).

Tabela 11 - Resultados das análises físicas para as trincheiras analisadas.

TR01								
Grupo	Cam./ Hor.	Argila	Silte	Areia	Total	Textura	Ds	
				%				
Ater	CAM1	27	19	54	100	Franco-argilo-arenoso	1,73	
	CAM2	34	16	50	100	Franco-argilo-arenoso	-	
	CAM3	35	16	49	100	Argilo-arenoso	1,87	
	CAM4	38	13	49	100	Argilo-arenoso	-	
	CAM5	34	16	50	100	Franco-argilo-arenoso	-	
	CAM6	36	14	50	100	Argilo-arenoso	1,84	
Misto	HOR1	18	14	68	100	Franco-arenoso	-	
	HOR2	18	22	59	100	Franco-arenoso	-	
Orig	HOR3	14	12	75	100	Franco-arenoso	1,04	
	HOR4	41	23	36	100	Argiloso	-	
	HOR5	33	21	46	100	Franco-argilo-arenoso	1,43	
	HOR6	66	13	21	100	Argiloso	-	
	HOR7	62	14	23	100	Argiloso	-	
TR02								
Grupo	Cam./ Hor.	Argila	Silte	Areia	Total	Textura	Ds	
				%				
Ater	CAM1	35	14	51	100	Franco-argilo-arenoso	-	
	CAM2	36	14	51	100	Argilo-arenoso	-	
	CAM4	-	-	-	-	-	-	1,71
	CAM5	33	17	49	100	Franco-argilo-arenoso	-	
	CAM6	35	14	51	100	Franco-argilo-arenoso	1,79	
	CAM7	-	-	-	-	-	-	1,83
	Antrop	CAM8	15	15	69	100	Franco-arenoso	-
Misto	HOR1	21	24	56	100	Franco-argilo-arenoso	1,33	
	HOR2	23	27	50	100	Franco-argilo-arenoso	1,14	
Orig	HOR3	21	17	62	100	Franco-argilo-arenoso	1,07	
	HOR4	41	24	35	100	Argiloso	1,21	
	HOR5	58	14	28	100	Argiloso	-	
	HOR6	41	19	40	100	Argiloso	-	

Fonte: O autor, 2019. Obs.: Cam. – Camada; Hor. – Horizonte; Prof. - Profundidade

Figura 28 - Medidas das classes granulométricas para as trincheiras analisadas.



Fonte: O autor, 2019.

Nos grupos de camadas e horizontes da TR01/TRAD1, conforme a Figura 28 e Tabela 10, o conjunto Ater apresenta textura franco-argilo-arenosa nas camadas CAM1, CAM2 e CAM5 e argilo-arenosa em CAM3, CAM4 e CAM6. O grupo Misto (HOR1 e HOR2) apresenta exclusivamente textura franco-arenosa, e os horizontes do grupo Orig variam entre franco-arenoso (HOR3), franco-argilo-arenoso (HOR5) e argiloso (HOR4, HOR6 e HOR7). Para as camadas da TR02/TRAD2, o grupo Ater apresenta textura franco-argilo-arenosa (CAM1, CAM5 e CAM6) e argilo-arenosa (HOR2). O grupo Antrop (CAM8) apresenta textura franco-arenosa, e horizontes do grupo Misto (HOR1 e HOR2) textura franco-argilo-arenosa e do grupo Orig textura franco-argilo-arenosa (HOR3) e argilosa (HOR4, HOR5 e HOR6).

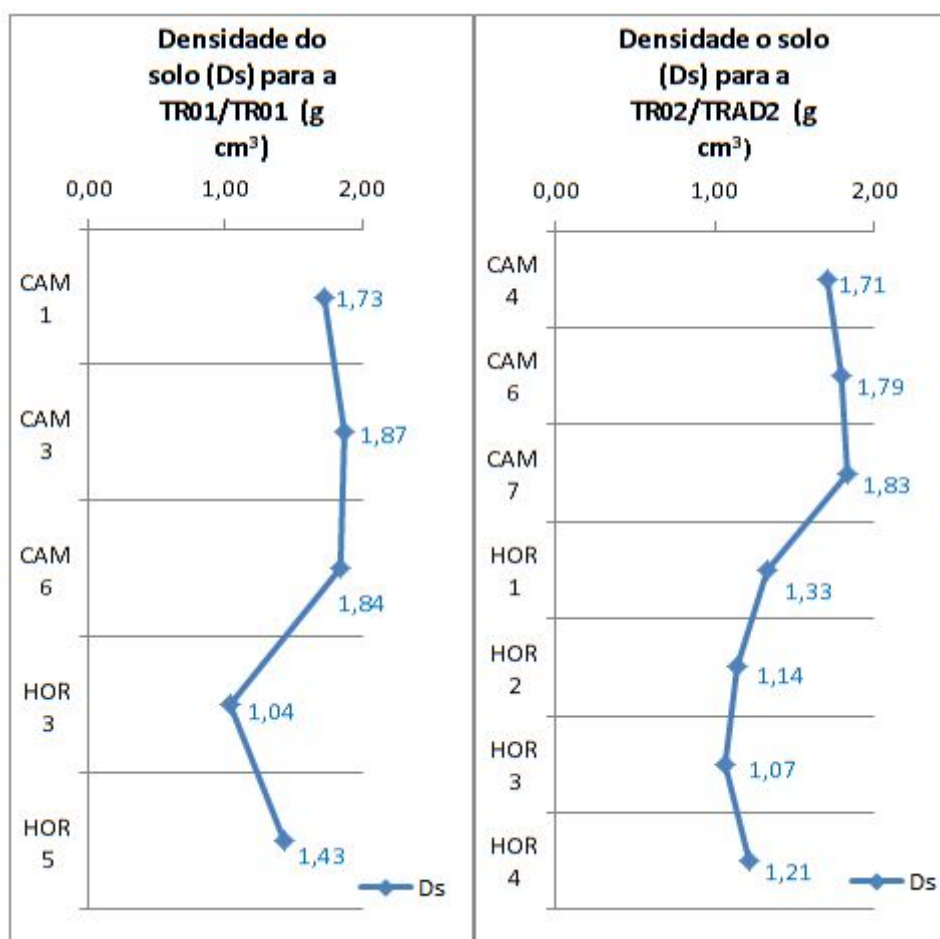
Os teores de areia variaram entre 74% e 20% na TR01/TRAD1 e entre 69% e 27% na TR02/TRAD2. No geral, os valores para essa fração apresentam as maiores concentrações nas camadas do grupo Ater e nos grupos Antrop e Misto, com 67% no horizonte HOR1 da TR01/TRAD1 e 69% no horizonte CAM8 da TR02/TRAD2. A exceção está no horizonte HOR3 (grupo Orig) da TR01/TRAD1, que apresentou a maior concentração em ambas as duas trincheiras (74%). Os teores de areia nos perfis decrescem nos horizontes subsuperficiais do grupo Orig (HOR4 ao HOR7 da TR01/TRAD1 e HOR4 ao HOR6 da TR02/TRAD2).

Os teores de silte estão entre 22% e 11% para a TR01/TRAD1 e 26% e 13% na TR02/TRAD2. Tais teores foram semelhantes e mantiveram-se baixos ao longo dos perfis nas trincheiras (figura 28), somente ultrapassando o teor de argila nos horizontes do grupo Orig HOR2 da TR01/TRAD1 e HOR1 e HOR2 da TR02/TRAD2. Para os teores de argila, os valores variaram entre 65% e 13% na TR01/TRAD1 e 58% e 15% na TR02/TRAD2. Os maiores valores são encontrados em profundidades, nos horizontes HOR6 e HOR7 da TR01/TRAD1 e HOR4 ao HOR6 da TR02/TRAD2, todos do grupo Orig. A exceção está no horizonte HOR14 da TR01/TRAD1, com valor menor em comparação aos outros horizontes do mesmo grupo e em menor proporção à areia. Os teores de argila reduzem-se conforme a diminuição da profundidade em ambas as trincheiras no grupo Ater, e subsuperficiais dos grupos Antrop e Misto, embora tais grupos apresentem valores de argila em torno dos 35%.

5.2.2 Densidade do solo (Ds), Densidade de partícula (Dp) e Porosidade Total (PT)

Os dados para esses indicadores foram extraídos à partir de análises de amostras indeformadas de algumas camadas e horizontes dos perfis da TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2. Os resultados de Ds são demonstrados na Tabela 11 e Figura 29.

Figura 29 - Valores de densidade do solo (Ds) para amostras analisadas.



Fonte: O autor, 2019.

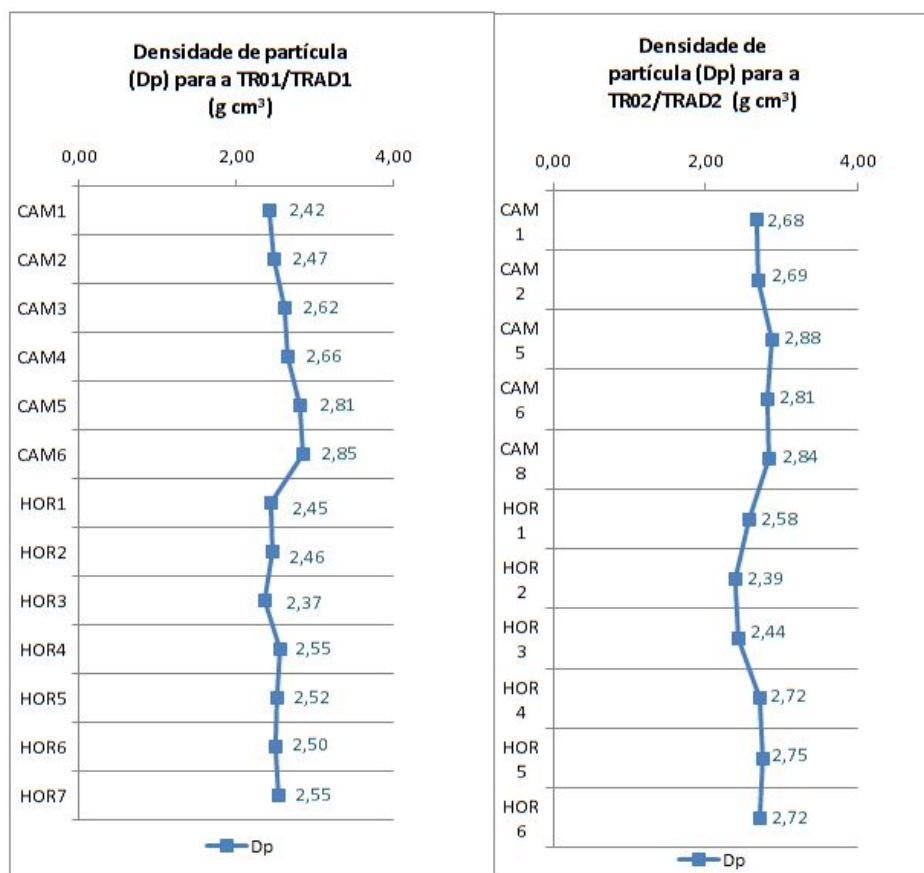
O perfil da TR01/TRAD1 apresentou valor máximo de densidade do solo (Ds) de 1,87 g cm³ para CAM3 (grupo Ater) e valor mínimo de 1,04 g cm³ no horizonte HOR3 (grupo Orig), com média para o perfil de 1,58 g cm³. Para o perfil da TR02/TRAD2, o valor máximo identificado é de 1,83 g cm³ no CAM7, o valor mínimo de 1,07 g cm³ no HOR3, com média de 1,44 g cm³.

O comportamento das medidas de Ds apresentaram semelhanças em ambos os perfis. De maneira geral, os maiores índices foram registrados no grupo Ater (CAM1, CAM3 e CAM6 da TR01/TRAD1 e CAM4, CAM6 e CAM7 da TR02/TRAD2), como mais um indicativo de materiais provenientes de aterro. Os valores mais baixos foram registrados nos primeiros horizontes do grupo Orig (HOR3 da TR01/TRAD1 e HOR3 da TR02/TRAD2), com novo acréscimo de Ds nos horizontes mais profundos (HOR5 da TR01/TRAD1 e HOR4 da TR02/TRAD2). Na comparação de valores entre

trincheiras, as medidas também são semelhantes, com valores ligeiramente maiores no grupo Ater.da TR01/TRAD1.

Os resultados de densidade de partícula (Dp), apresentadas na Tabela 11 e Figura 30, mostram que o valor máximo de Dp na TR01/TRAD1 foi de 2,85 g cm³ para a camada CAM6 (grupo Ater), e valor mínimo de 2,37 g cm³ (HOR3 – grupo Orig) com média de 2,56 g cm³. O perfil da TR02/TRAD2 teve como valor máximo 2,84 g cm³ para o CAM8 (grupo Antrop) e valor mínimo de 2,39 g cm³ para o horizonte HOR2 (grupo Misto), com média de 2,68 g cm³. As médias de grupos de horizontes para a TR01/TRAD1 foram: 2,64 g cm³ (grupo Ater), 2,46 g cm³ (grupo Misto), 2,50 g cm³ (grupo Orig). As médias por grupos da TR02/TRAD2 foram: 2,76 g cm³ (grupo Ater), 2,84 g cm³(grupo Antrop), 2,49 g cm³ (grupo Misto) e 2,66 g cm³(grupo Orig).

Figura 30 - Valores de Densidade de partícula (Dp) para as trincheiras analisadas.

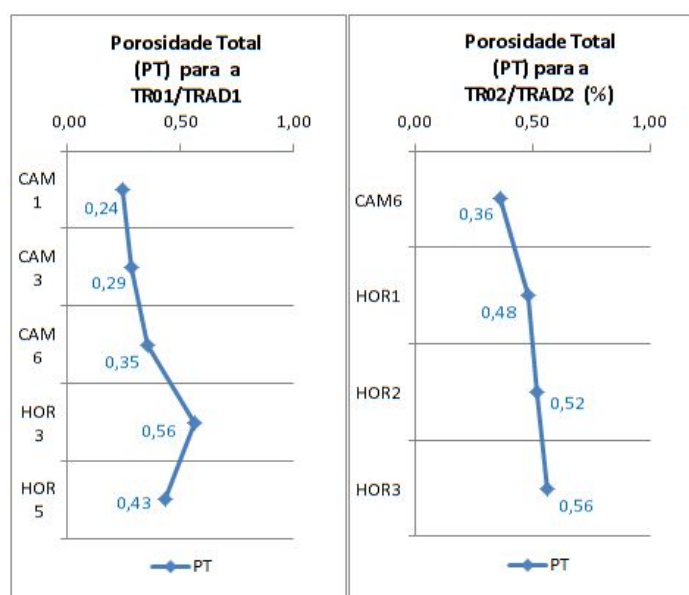


Os valores de D_p para o perfil da TR01/TRAD1 apresentaram tendência de crescimento nas camadas do grupo Ater, com valores medianos em CAM1 e CAM2, e altos nos horizontes CAM3 ao CAM6. Os valores apresentaram queda nos horizontes do grupo Misto (HOR1 e HOR2) e no primeiro horizonte do grupo Orig (HOR3 – menor valor registrado para a trincheira), e novo aumento nos demais horizontes do último grupo (HOR4 ao HOR7). Para o perfil da TR02/TRAD2, a tendência dos valores apresentou semelhança com relação à primeira trincheira, com valores elevados no grupo Ater (CAM1 ao CAM6) e grupo Antrop (CAM8) e redução dos índices nos horizontes do grupo Misto (HOR1 e HOR2) e primeiro horizonte do grupo Orig (HOR3), e novamente elevação nos horizontes mais profundos (HOR3 ao HOR6). Esse mesmo comportamento coincidiu com as tendências de densidade do solo.

Comparando os dois perfis, é possível notar valores ligeiramente mais elevados de densidade de partícula para todos os grupos da TR02/TRAD2 em relação a TR01/TRAD1. O maior valor registrado entre todos foi na TR02/TRAD2 (2,88 g cm³ no CAM5) e o menor valor registrado de todos foi no horizonte HOR3 da TR01/TRAD1.

O comportamento de Porosidade Total (PT) (Tabela 11 e Figura 31) para as duas trincheiras segue tendências semelhantes. O valor máximo de porosidade total (PT) para a TR01/TRAD1 é de 0,56%, identificado no horizonte HOR3 (grupo Orig), enquanto o valor mínimo é de 0,24% no CAM1 (grupo Ater), com valor médio de 0,38%. Ressalata-se a relação entre PT e DS, com maiores valores do primeiro coincidentes com menores valores do segundo em ambas as trincheiras.

Figura 31 - Porosidade Total para as TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.



Elaboração: Almeida, 2019.

5.3. Análises químicas

5.3.1 pH (KCl e H₂O) e ΔpH

Os resultados de pH em H₂O e KCl para as duas trincheiras apresentaram variações e algumas diferenças ao longo do perfil (Figura 32), bem como as demais variáveis medidas (Tabela 12). A classificação utilizada para as classes de acidez e alcalinidade para pH_{H₂O} seguem recomendações de EMBRAPA (2006): Extremamente ácido: <4,3; Fortemente ácido: 4,3 – 5,3; Moderadamente ácido: 5,4 a 6,5; Neutro: 6,6 – 7,3; Moderadamente alcalino: 7,4 – 8,3; Fortemente alcalino: >8,3.

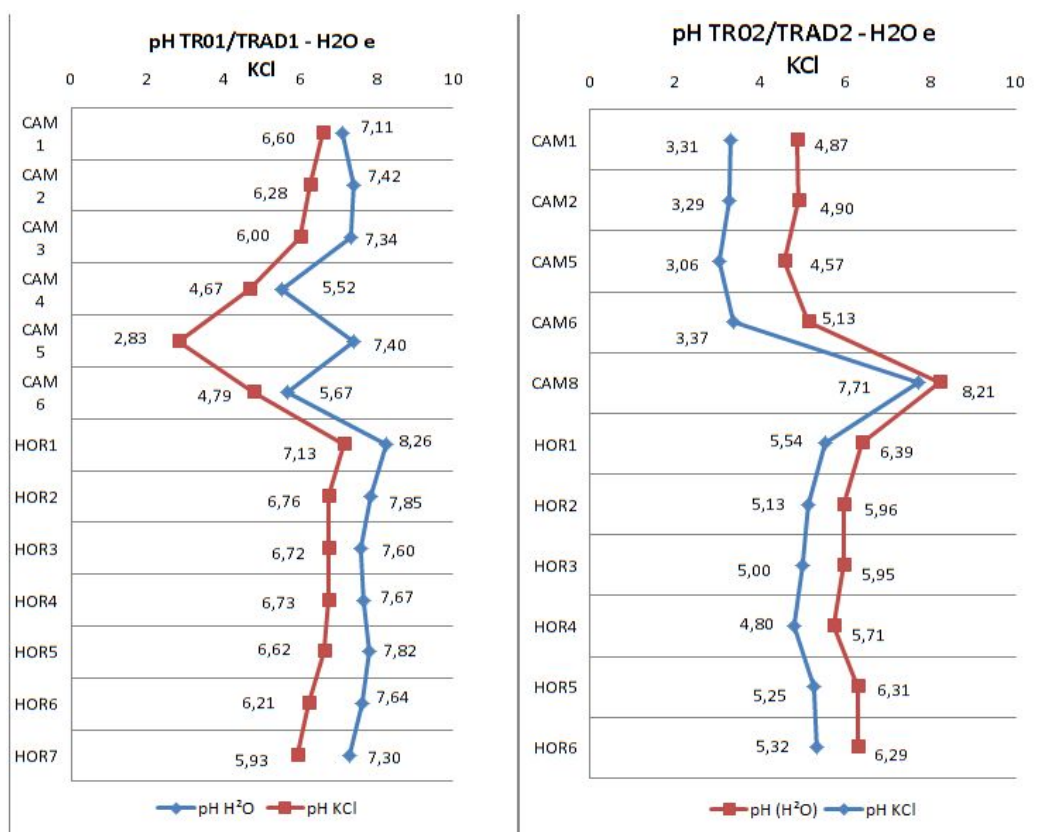
Tabela 12 - Valores dos resultados dos indicadores químicos para TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.

TR01														
Grupo	Cam./Hor.	Prof. (cm)	pH KCl	CV	pH H ₂ O	CV	ΔpH	AL ³⁺	CV	AL ³⁺ +H ⁺	CV	Na ⁺	CV	K ⁺
			Adimensional				mmol kg ⁻¹							
Ater	CAM1	0 - 9,5	6,60	0,32	7,11	0,74	-0,51	0,00	0,00	60,42	1,74	0,41	5,28	2,35
	CAM2	9,5 - 15,5	6,28	0,24	7,42	0,28	-1,14	0,00	0,00	14,17	0,20	0,26	3,49	0,77
	CAM3	15,5 - 44,3	6,00	0,10	7,34	0,16	-1,34	0,00	0,00	27,08	0,19	0,25	7,82	0,62
	CAM4	44,3 - 65,8	4,67	0,65	5,52	0,10	-0,86	0,00	0,00	42,50	0,32	0,26	7,39	0,68
	CAM5	54 - 65,8	2,83	1,74	7,40	0,14	-4,57	0,00	0,00	15,00	0,00	0,24	4,63	0,84
	CAM6	65,8 - 90,2	4,79	0,36	5,67	0,47	-0,88	0,40	0,00	68,33	0,62	0,24	2,09	0,93
Misto	HOR1	134,2 - 148,7	7,13	0,42	8,26	0,18	-1,13	0,00	0,00	12,92	0,39	1,20	4,16	1,50
	HOR2	148,7 - 173,5	6,76	0,85	7,85	0,19	-1,10	0,20	0,00	122,50	2,24	0,78	3,09	1,08
Orig	HOR3	173,4 - 189,5	6,72	0,09	7,60	0,27	-0,88	0,10	0,00	106,67	0,41	0,62	4,14	1,14
	HOR4	189,5 - 223	6,73	0,00	7,67	0,60	-0,94	0,10	0,00	44,17	0,79	0,30	1,67	1,17
	HOR5	223 - 239	6,62	0,09	7,82	0,30	-1,20	0,20	0,00	53,75	0,81	0,41	7,53	1,57
	HOR6	223 - 350	6,21	1,07	7,64	0,15	-1,42	0,10	0,00	48,33	1,44	0,46	5,16	1,77
	HOR7	350 - 396	5,93	0,64	7,30	0,08	-1,37	0,10	0,00	23,33	0,77	0,52	1,93	1,70

TR02														
Grupo	Cam./Hor.	Prof. (cm)	pH KCl	CV	pH H ₂ O	CV	ΔpH	AL ³⁺	CV	AL ³⁺ +H ⁺	CV	Na ⁺	CV	K ⁺
			Adimensional				mmol kg ⁻¹							
Ater	CAM1	0 - 46,5	3,31	0,17	4,87	0,90	-1,56	11,00	1,57	80,00	0,29	0,24	5,14	0,60
	CAM2	29,3 - 82,9	3,29	0,00	4,90	0,51	-1,61	9,73	2,14	76,67	1,02	0,32	2,80	0,68
	CAM4	23 - 55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CAM5	82,9 - 107	3,06	0,38	4,57	0,67	-1,51	10,40	0,00	83,75	2,27	0,28	3,08	0,82
	CAM6	107 - 125,1	3,37	0,30	5,13	0,11	-1,76	10,63	0,54	130,42	0,39	0,40	9,19	0,99
	CAM7	125,1 - 138	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CAM8	138 - 154	7,71	0,79	8,21	0,19	-0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	1,23	1,54	2,13
Misto	HOR1	154 - 174	5,54	0,36	6,39	0,09	-0,85	0,70	0,00	680,00	326,25	1,87	4,51	3,80
	HOR2	174 - 205	5,13	0,19	5,96	0,10	-0,83	0,70	0,00	730,42	376,67	1,77	1,40	3,83
Orig	HOR3	205 - 228	5,00	0,12	5,95	0,10	-0,96	0,90	0,00	807,50	453,75	1,59	2,61	3,90
	HOR4	228 - 253	4,80	0,55	5,71	0,27	-0,91	0,30	0,00	497,50	143,75	0,60	1,92	2,90
	HOR5	253 - 319	5,25	0,29	6,31	0,33	-1,05	0,30	0,00	440,00	86,25	0,40	4,42	2,37
	HOR6	319 - 350	5,32	0,29	6,29	0,42	-0,97	0,30	0,00	409,17	55,42	0,34	5,38	2,06

Fonte: O autor, 2019. Obs.: Cam. – Camada; Hor. – Horizonte; Prof. – Profundidade.

Figura 32 - Variação dos valores de pH em H₂O e KCl para as trincheiras.



Fonte: O autor, 2019.

Para a TR01/TRAD1, o valor máximo para pH_{H₂O} foi 8,26, encontrado no horizonte HOR1 (grupo Misto) e o valor mínimo foi de 5,52 no CAM4 (grupo Ater), com média para o perfil de 7,28. A trincheira TR02/TRAD2 apresentou o valor máximo de pH_{H₂O} de 8,21 para a camada CAM8 (grupo Antrop) e mínimo de 4,57 para em CAM5 (grupo Ater), com média de 5,84. De acordo com tais valores, o perfil TR01/TRAD1 tem camadas ácidas a fortemente ácidas e horizontes moderadamente alcalinos (CAM4 e HOR1, respectivamente), enquanto o perfil TR02/TRAD2 apresenta camadas extremamente ácidas a moderadamente alcalinas (CAM5 e CAM8, respectivamente). As médias de pH_{HOR20} por grupos na TR01/TRAD1 foram de 6,74 para o grupo Ater (CAM1 ao CAM9), 8,06 para o Misto (HOR1 e HOR2) e 7,60 para o Orig (HOR3 ao HOR7). O perfil da TR02/TRAD2 apresentou para o grupo Ater o valor médio de 4,87 (CAM1 ao CAM7), para o Antrop 8,21 (CAM8), 6,18 para o grupo Misto (HOR1 e HOR2), e 6,07 para o Orig (HOR1 ao HOR6).

Os valores de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ para o perfil da TR01/TRAD1 ficaram no intervalo de amplitude de 2,74, na diferença entre máximo e mínimo. É possível notar que os valores mais baixos de pH estão localizados camadas (CAM1 ao CAM6 - grupo Ater), porém próximos ao neutro, excetuando-se CAM4 e CAM6, que estão na faixa de moderadamente ácidos. Com a camada de artefatos antrópicos misturada ao solo original, há um salto nos valores de pH para os horizontes HOR1 e HOR2 (grupo Misto) moderadamente alcalinos, representando as maiores medidas de todo o perfil. Os horizontes inferiores, entre HOR3 e HOR6 (grupo Orig), apresentaram valores moderadamente alcalinos, com exceção ao horizonte HOR6, praticamente neutro.

O perfil da TR02/TRAD2 apresenta o intervalo de 3,64 na diferença entre máximo e mínimo, maior que a trincheira anterior. O comportamento da variação do $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ entre os apresenta semelhanças ao da TR01/TRAD1. Valores mais baixos são encontrados na camada de aterro (CAM1 ao CHOR6), porém esses são mais ácidos que o grupo correspondente da TR01/TRAD1, assim como valores mais altos são encontrados no horizontes inferiores (HOR3 ao HOR6). Há uma grande aumento de pH na camadade artefatos antrópicos (CAM8 – Antrop) e horizontes de mistura (HOR1 e HOR2 – Misto), assim como verificado na TR01/TRAD1/TRD2 (grupo Misto). Os horizontes do grupo do solo original (Orig) apresentam medidas praticamente neutras, diferentemente de seu correspondente na TR01/TRAD1, de valores mais alcalinos.

A medida de pH_{KCl} apresentou para a TR01/TRAD1 o valor máximo de 7,13 no horizonte HOR1 (grupo Misto) e valor mínimo de 2,83 para a camada CAM5 (grupo Ater), e valor médio de 5,94. Na TR02/TRAD2, o valor máximo corresponde a 7,71, da camada CAM8 (grupo Antrop), e o valor mínimo de 3,06 para em CAM5 (grupo Ater), com média de 4,71. O valor médio de pH_{KCl} da TR01/TRAD1 para o grupo Ater (CAM1 ao CAM6) foi de 5,19, para o grupo Misto (HOR1 e HOR2) de 6,94 e para o grupo Orig (horizontes HOR3 ao HOR6), 6,44. Os mesmo valores médios da TR02/TRAD2 são: 3,26 para o grupo Ater (CAM1 ao CAM6); 7,71 para o grupo Antrop (CAM8); 5,34 para o grupo Misto (horizontes HOR1 e HOR2); e 5,09 para o grupo Orig (horizontes HOR3 ao HOR6).

O intervalo entre o valor máximo e valor mínimo da TR01/TRAD1 corresponde a 4,3 e para a TR02/TRAD2 o valor é de 4,65. Os valores de pH_{KCl} são sempre inferiores aos

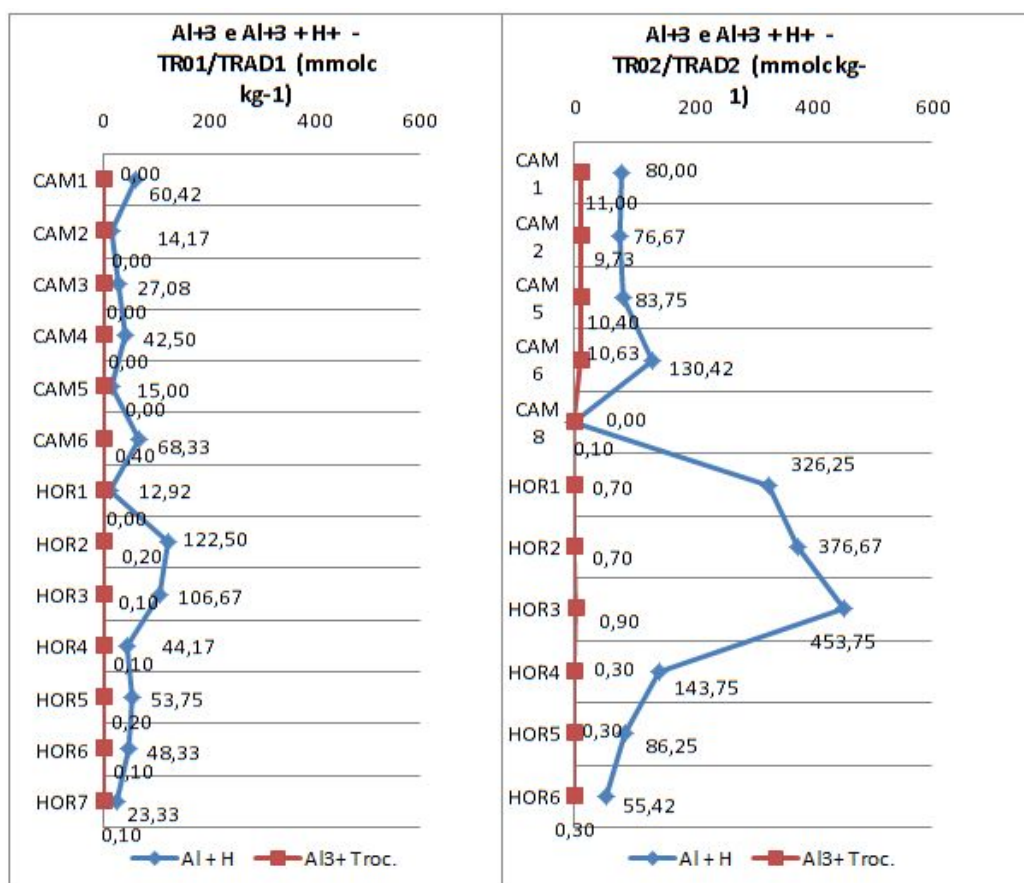
do $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, mas ambos possuem tendências semelhantes nas duas trincheiras, ou seja, valores mais baixos nas camadas superiores, aumentando conforme a profundidade, com os maiores valores nos grupos Antrop e Misto. Para a TR02/TRAD2, o grupo Ater apresenta valores em pH_{KCl} mais ácidos em comparação com os resultados da TR1/TRAD 1.

Os valores de delta pH ($\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$) para ambas as trincheiras foram negativos em todos os grupos descritos. Para o perfil da TR01/TRAD1, as médias de ΔpH por grupo de horizontes são: -1,55 para o grupo Ater, -1,12 no grupo Misto e -1,16 para o grupo Orig, com o maior valor para a camada CAM5 (-4,57) e menor para a camada CAM1 (-0,51). O perfil da TR02/TRAD2 apresentou médias para o grupo Ater de -1,61, grupo Antrop, -0,05, para grupo Misto -0,84 e Orig -0,97. A camada CAM6 apresentou o maior valor (1,76) e CAM8 (Antrop) o menor (-0,50).

5.3.2 Al^{3+} Trocável e Acidez Potencial ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$)

O indicador acidez trocável (Al^{3+}) refere-se a quantidade de Al^{3+} adsorvido pelas cargas negativas do solo, e acidez potencial ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$) caracteriza-se pela soma da acidez trocável com a acidez não trocável relacionada ao pH importantes para o reconhecimento da CTC (Capacidade de Troca Catiônica) (EMBRAPA, 2017). A seguir são apresentados os resultados destas análises, conforme Tabela 11 e Figura 33.

Figura 33 - Valores de Al^{3+} e $Al^{3+} + H^+$ para os perfis estudados.



Elaboração: Almeida, 2019.

Os valores de Al^{3+} trocável variaram pouco em ambos os perfis, apresentando valores baixos de maneira geral. No perfil da TR01/TRAD1, os valores máximos e mínimos foram, respectivamente, 0,40 $mmol_c kg^{-1}$ (CAM6 – grupo Ater) e 0,00 $mmol_c kg^{-1}$ (CAM1 ao CAM5 – grupo Ater), com média de 0,09 $mmol_c kg^{-1}$. O valor máximo e mínimo para a TR02/TRAD2 foi 11,00 $mmol_c kg^{-1}$ (CAM1 – grupo Ater) e 0,10 $mmol_c kg^{-1}$ (CAM8 – grupo Antrop), respectivamente, com média de 4,10 $mmol_c kg^{-1}$. Para os grupos, as médias corresponderam à sequência: TR01/TRAD1 – 0,07 $mmol_c kg^{-1}$ (Ater), 0,10 $mmol_c kg^{-1}$ (Misto) e $mmol_c kg^{-1}$ (Orig); para a TR02/TRAD2, foram encontradas médias maiores do que as do primeiro perfil: 10,44 $mmol_c kg^{-1}$ (Ater), 0,10 $mmol_c kg^{-1}$ (Antrop), 0,70 $mmol_c kg^{-1}$ (Misto) e 0,45 $mmol_c kg^{-1}$ (Orig). De maneira geral, os maiores valores são sempre encontrados no grupo Misto e no contato deste com o grupo Orig, o que sugere uma influência do primeiro no segundo.

O perfil da TR01/TRAD1 apresentou variação inversa ao incremento de Al^{3+} trocável em relação à acidez ativa (pH). Com isso, foram identificados valores nos horizontes inferiores (HOR10 e HOR11 do grupo Misto e HOR12 ao HOR16 do grupo Orig), onde os valores de pH estariam próximos à moderadamente alcalinos a neutros, e valores nulos nos próximo à superfície (CAM1 ao CAM5 do grupo Ater), correspondendo às faixas neutras a moderadamente ácidas de acidez ativa, excetuando-se a camada CAM6, que apresentou o maior valor de todo o perfil. Para a TR02/TRAD2 há uma correlação mais clara entre a acidez ativa e Al^{3+} trocável, que por sua vez acompanha a lógica de valores elevados nas camadas mais próximas da superfície (chegando à $11 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no CAM1 do grupo Ater, maior valor registrado), e diminuição nos horizontes inferiores (CAM8 ao HOR6).

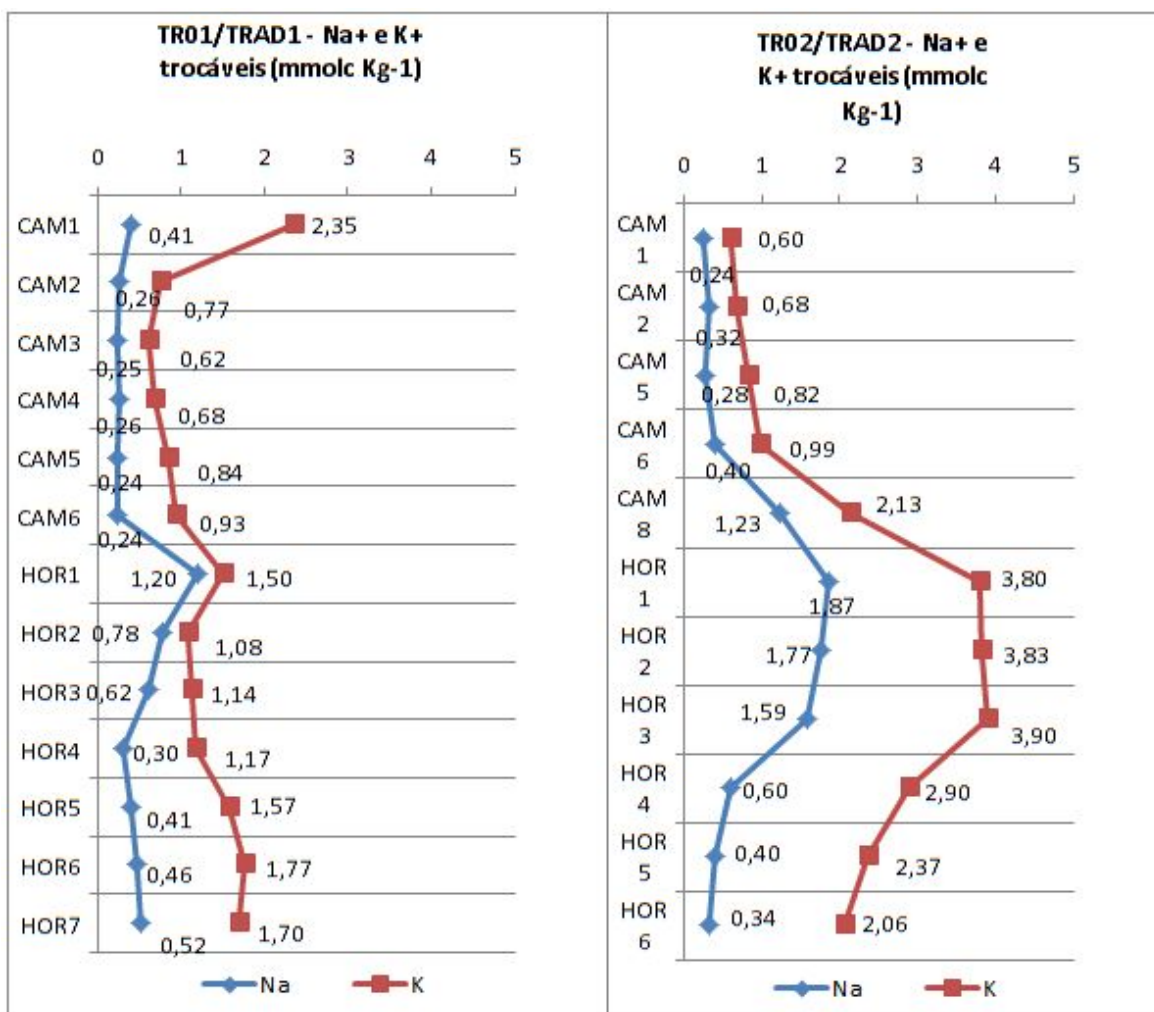
O $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ (Tabela 11, Figura 33) apresentou maiores variações e maiores valores que o Al^{3+} trocável em ambas as trincheiras. A TR01/TRAD1 apresentou valor máximo de $122,50 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (HOR2 – grupo Misto) e mínimo de $14,17 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CAM2 – grupo Ater) com média de $49,17 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. O perfil da TR02/TRAD2, apresentou valor máximo de $453,75 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (HOR3 – grupo Misto) e mínimo de $0 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CAM8 – grupo Antrop), com média de $184,81 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, muito mais elevada que a primeira. As médias para os grupos de horizontes da TR01/TRAD1 foram: $37,92 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Ater), $67,71 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Misto) e $55,25 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Orig), enquanto que para os grupos da TR02/TRAD2 as médias correspondem a: $92,71 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Ater), $0 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Antrop), $351,46 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Misto) e $184,79 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Orig).

Os valores de concentração de $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ (acidez potencial) mostram haver majoritariamente maior quantidade de H^+ do que Al^{3+} trocável. Há certa correlação entre acidez potencial e pH, uma vez que a camada do grupo Antrop (CAM8) ou CAM10 do grupo Misto da TR01/TRAD1) apresentam menores valores de $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$, em consonância com o pH mais alcalino. No perfil da TR02/TRAD2, os valores de acidez potencial no geral são mais elevados, apresentando grande concentração em alguns horizontes (por exemplo, HOR2 e HOR3 do grupo Misto).

5.3.3. Na^+ e K^+ trocáveis

Os valores de Na⁺ e K⁺ trocáveis estão expostos na Tabela 12 e Figura 34. Os valores de Na⁺ são baixos, mas ligeiramente maiores na TR02/TRAD2/TRAD02: para a TR01/TRAD1 o valor máximo de Na⁺ é 1,20 mmol_c kg⁻¹ (HOR1 – grupo Misto) e o mínimo de 0,24 mmol_c kg⁻¹ (CAM5 e CAM6 – grupo Ater), com média de 0,46; com relação à TR02/TRAD2, o valor máximo de Na⁺ é 1,87 mmol_c kg⁻¹ (HOR1 – grupo Misto) e o mínimo de 0,24 mmol_c kg⁻¹ (CAM1 – grupo Ater), com média de 0,82 mmol_c kg⁻¹. Os grupos da TR01/TRAD1 apresentaram as seguintes médias de Na⁺: 0,28 mmol_c kg⁻¹ (Ater), 0,99 mmol_c kg⁻¹ (Misto), 0,46 mmol_c kg⁻¹ (Orig). Para os grupos da TR02/TRAD2, as médias foram: 0,31 mmol_c kg⁻¹ (Ater), 1,23 mmol_c kg⁻¹ (Antrop), 1,82 mmol_c kg⁻¹ (Misto), 0,73 mmol_c kg⁻¹ (Orig).

Figura 34 - Valores de Na⁺ e K⁺ para as trincheiras TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.



Fonte: O autor, 2019.

O comportamento do Na^+ trocável na TR01/TRAD1 apresenta certo aumento de concentração nos horizontes subsuperficiais, notadamente os do grupo Misto. Os horizontes desse grupo apresentaram os maiores valores para esse indicador nesse perfil (HOR1 – $1,20 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e HOR2 - $0,78 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$), possivelmente devido à mistura de artefatos antrópicos provenientes de horizontes superiores. Da mesma forma, no perfil da TR02/TRAD2 apresentam maiores valores a camada CAM8 do grupo Antrop, e HOR1 e HOR2 do grupo Misto, seguindo a tendência de aumento pela presença de artefatos antrópicos.

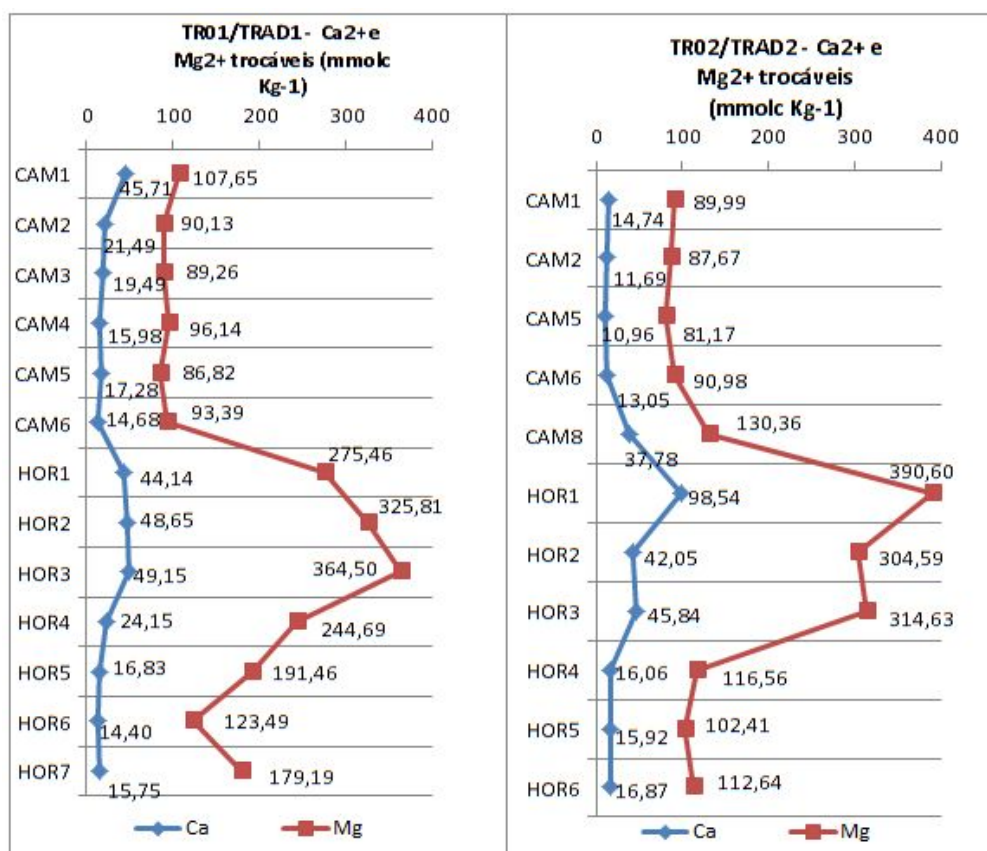
Nota-se a maior concentração de íons K^+ em relação aos íons Na^+ para todos os horizontes de ambos os perfis analisados, da mesma forma em que um aumento na proporção de Na^+ corresponde geralmente a um aumento na quantidade de K^+ trocável. O valor máximo de K^+ trocável na TR01/TRAD1 foi $2,35 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CAM1 – grupo Ater) e o mínimo de $0,62 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CAM3 – grupo Ater), com média para o perfil de $1,24 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Para a trincheira TR02/TRAD2, o valor máximo foi $3,90 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (HOR3 – grupo Orig) e valor mínimo de $0,60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CAM1 – grupo Ater), com média de $2,19 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Os valores médios para cada grupo da primeira trincheira foram: $1,03 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Ater), $1,29 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Misto) e $1,47 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Orig) $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Para a TR02/TRAD2, os grupos apresentaram as seguintes médias: $0,77 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Ater), $2,13 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Antrop), $2,81 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Misto) e $2,81 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Orig).

Os valores de K^+ trocável apresentaram tendência geral de aumento conforme o aumento de profundidade na TR01/TRAD1, com exceção do horizonte CAM1 (grupo Ater), que apresentou o maior valor de todos os horizontes e camadas desse perfil, e do horizonte HOR1 (Misto), que tem valores maiores que os subjacentes. Os índices para o TR02/TRAD2 também seguiram a tendência de acréscimo conforme a profundidade, mas com os maiores valores apresentados pelos horizontes dos grupos Misto (HOR1 e HOR2) e Orig (HOR3). De maneira geral, nota-se a concentração maior de K^+ na TR02/TRAD2 em relação aos à TR01/TRAD1, com exceção ao horizonte superficial CAM1 dessa trincheira em comparação com os outros horizontes do grupo Ater.

5.3.4. Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis

Conforme a Tabela 12 e a Figura 35, o valor máximo de Ca^{2+} no perfil da TR01/TRAD1 foi $49,15 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, medido no horizonte HOR3 (grupo Orig), e valor mínimo de $14,40 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o horizonte HOR6 (grupo Orig), com média de $26,75 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. No perfil TR02/TRAD2/TRAD02, o maior valor encontrado foi $98,54 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte HOR1 (grupo Misto), e no menor de $10,96 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o camada CAM5 (grupo Ater), com média de $29,41 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. As médias dos valores de Ca^{2+} dos grupos da TR01/TRAD1 calculadas são: $22,44 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Ater), $46,40 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Misto), $24,06 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Orig). As mesmas médias para o perfil da TR02/TRAD2 são: $12,61 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Ater), $37,78 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Antrop), $70,30 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Misto), $23,67 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Orig).

Figura 35- Valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} para os horizontes da TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.



Fonte: O autor, 2019.

Os valores de Ca^{2+} na TR01/TRAD1 apresentaram tendência variável ao longo do perfil, com valores mais baixos nas camadas do grupo Ater (CAM2 ao CAM6) e horizontes profundos do grupo Orig (HOR4 ao HOR7). A exceção foi o horizonte CAM1 (grupo Ater), que apresentou o terceiro valor mais alto do perfil ($45,71 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Os

valores mais elevados estão concentrados nos horizontes HOR1 e HOR12 (Misto) e HOR13 (Orig). O perfil da TR02/TRAD2 apresentaram o mesmo comportamento de valores da trincheira anterior, com valores baixos próximos à superfície do grupos Ater (CAM1 ao CAM6) e Orig (HOR4 ao HOR6) e valores elevados concentrados no meio do perfil (CAM8 – grupo Antrop, CAM9 e CAM10 - Misto e CAM11 – Orig).

Comparando as duas trincheiras, é possível constatar valores similares de concentração de Ca^{2+} trocável entre os grupos. As exceções estão relacionadas ao valor máximo da TR02/TRAD2 no horizonte HOR1 ($98,54 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) ser quase o dobro do valor máximo encontrado na TR01/TRAD1, do horizonte HOR3 ($49,15 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$), e os valores diferentes encontrados para a camada superficial de cada trincheira do grupo Ater (CAM1 da TR01/TRAD1 – $45,71$; e CAM1 da TR02/TRAD2 – $14,74$).

Para o Mg^{2+} , o valor máximo e mínimo encontrados na TR01/TRAD1 são, respectivamente, $364,5 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (HOR3 – grupo Orig) e $86,82 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CAM5 – grupo Ater), com média para o perfil de $174,46 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Para a trincheira TR02/TRAD2, o valor máximo correspondeu a $390,60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (HOR1 – grupo Misto) e mínimo de $81,17 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CAM5 – grupo Ater), com média de $165,60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. As médias para os grupos da TR01/TRAD1 são: $93,90 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Ater), $300,64 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Misto) e $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Orig). As médias por grupos da TR02/TRAD2 seguem: $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Ater), $130,36 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Antrop), $347,60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Misto) e $161,56 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Orig).

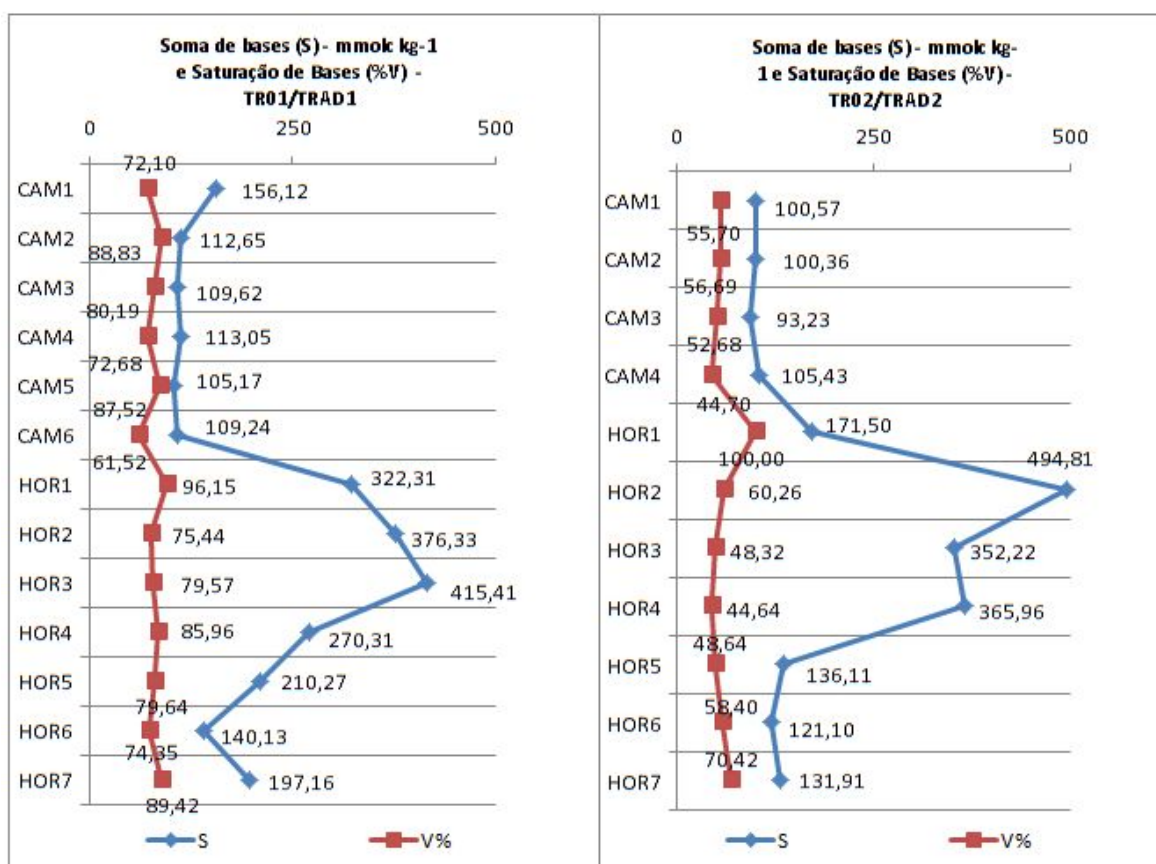
O comportamento de Mg^{2+} apresentou variação semelhante em ambas as trincheiras, com níveis mais baixos nas camadas superficiais e valores elevados nos horizontes mais profundos, com os dois valores mais elevados de todos os horizontes no HOR1 do grupo Misto da TR02/TRAD2 ($390,60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e no HOR3 do grupo Orig da TR01/TRAD1 ($364,50 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

5.3.5. Soma de Bases (S) e Saturação de Bases (V%)

Os resultados ne S e V% estão expostos na Tabela 11 e Figura 46. Para o perfil da TR01/TRAD1, os valores máximos de S e V% são, respectivamente $415,41 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (HOR3 – grupo Orig) e $96,15\%$ (HOR1 – grupo Misto). O valores mínimos foram,

respectivamente, 105,17 mmol_c kg⁻¹ em CAM5 e 61,52% do na CAM6 (ambos o grupo Ater). A média de soma de bases é de 202,91 mmol_c kg⁻¹, e de saturação de bases, 80,26%. No perfil da TR02/TRAD2, os valores máximos da soma de bases e saturação de bases são, respectivamente: 494,81 mmol_c kg⁻¹ (HOR1 do grupo Misto) e 100%, para CAM8 do grupo Antrop. Os valores mínimos para soma de bases e saturação de bases correspondem a: 93,23 mmol_c kg⁻¹ em CAM5 e 44,70 % em CAM6, ambos do grupo Ater. As médias de S e V% para essa trincheira são, respectivamente: 197,53 mmol_c kg⁻¹ e 58,22%.

Figura 36 - Valores de Soma de Bases (S) e Saturação de Bases (V%) das trincheiras analisadas.



Fonte: O autor, 2019.

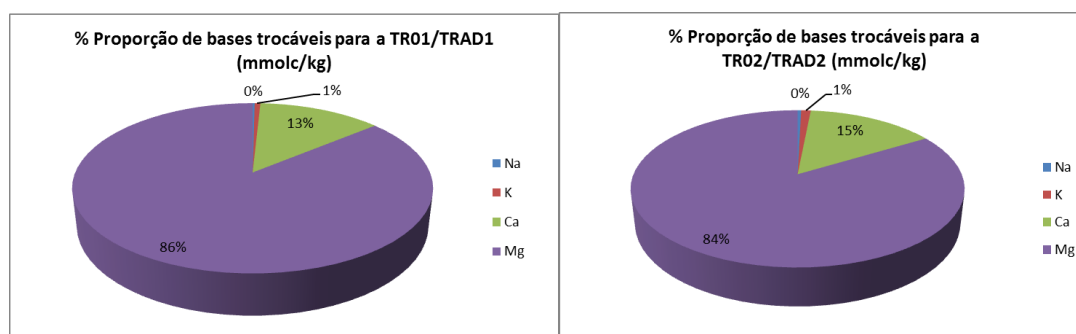
Os valores médios de S para os grupos da TR01/TRAD1 são: 117,64 mmol_c kg⁻¹ (grupo Ater), 349,32 mmol_c kg⁻¹ (grupo Misto) e 246,65 mmol_c kg⁻¹ (grupo Orig). Para V%, valores médios por grupo seguem: 77,14% (grupo Ater), 85,79% (grupo Misto) e 10,52% (grupo Orig). Os valores médios de S para os grupo da TR02/TRAD2 são: 99,90 mmol_c kg⁻¹ (grupo Ater), 171,5 mmol_c kg⁻¹ (grupo Antrop), 423,52 mmol_c kg⁻¹ (grupo

Misto) e $188,77 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Orig). E, os valores médios de V% seguem: 52,44% (grupo Ater), 100% (grupo Antrop), 54,29% (grupo Misto), 55,53% (grupo Orig).

O comportamento da soma de bases e saturação de bases para ambos os perfis apresentam tendências semelhantes entre si. Com isso, valores baixos de S e V concentram-se nas camadas do grupo Ater (HOR1 ao HOR6 da TR01/TRAD1 e HOR1 ao HOR6 TR02/TRAD2), com exceção da camada CAM1 da TR01/TRAD1, que apresentou valor acima da média para esse grupo. Há um aumento considerável na camada do grupo Antrop (CAM8 da TR02/TRAD2), Misto (HOR1 e HOR2 da TR01/TRAD1 e HOR1 e HOR2 da TR02/TRAD2), e primeiros horizontes do grupo Orig (HOR3 da TR01/TRAD1 e HOR3 da TR02/TRAD2). Os valores voltam a diminuir nos horizontes mais profundos do grupo Orig de ambos os perfis, pouco superiores ao grupo Ater.

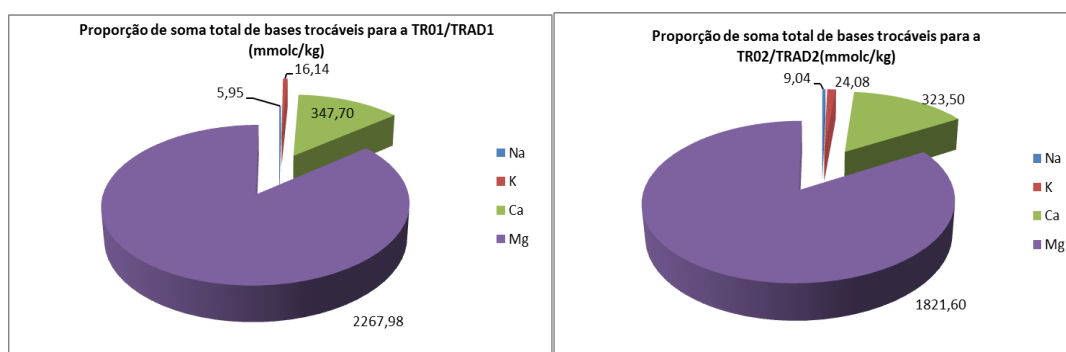
Com os valores apresentados das bases trocáveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) dos perfis estudados, é possível constatar a grande concentração do íon Mg^{2+} em relação aos demais em porcentagem e em números absolutos (Figuras 37 e 38). Nota-se que há uma sequência da maior a menor concentração de bases trocáveis: $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$. Constata-se a concentração destas bases nos horizontes do grupo Misto, enriquecidos em matéria orgânica e com a introdução de alguns artefatos misturados à matriz do solo formado *in situ*, contribuindo com o aumento e disponibilidade de bases para esse grupo. Da mesma forma, a matriz escura do primeiro horizonte do solo original também indica a concentração desses elementos naqueles que eram horizontes naturais superficiais anteriores à deposição da camada de aterro e de artefatos no local.

Figura 37 - Porcentagem dos valores de bases trocáveis.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 38 - Soma dos valores de bases trocáveis por trincheiras, em $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$.

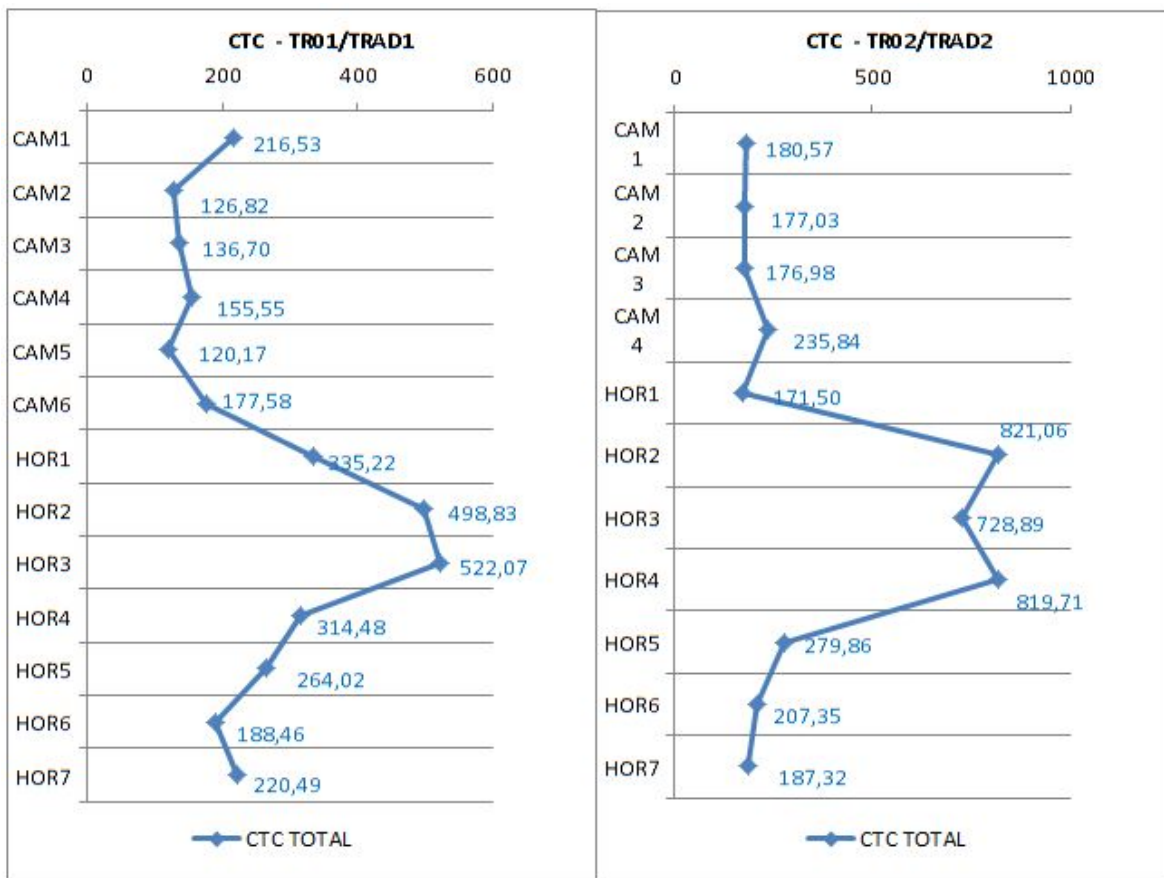


Elaboração: Almeida, 2019.

5.3.6 Capacidade de Troca Catiônica – CTC Total

Os valores de Capacidade de Troca Catiônica (CTC) para as trincheiras analisadas são apresentadas na Tabela 12 e na Figura 39. Para o perfil da TR01/TRAD1, os dados mostram que o valor máximo de CTC é $522,07 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o horizonte HOR3 (grupo Orig), e o valor mínimo de $120,17 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para a camada CAM5 (grupo Ater), com média geral de $252,07 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Para o perfil da TR02/TRAD2, o valor máximo foi de $821,06 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o horizonte HOR1 (grupo Misto) e o valor mínimo de $171,50 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em CAM8 (grupo Antrop), com média total de $362,37 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. As médias por grupos na TR01/TRAD1 são: $155,56 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Ater), $417,03 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Misto) e $301,90 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Orig). As médias por grupos da TR02/TRAD2 seguem: $192,61 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Ater), $171,50 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Antrop), $774,97 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Misto) e $373,56 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (grupo Orig).

Figura 39 - Valores de CTC para as trincheiras analisadas em $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$.



Elaboração: Almeida, 2019.

O comportamento dos valores de CTC segue a tendência observada nos índices de saturação de bases e somas de bases anteriormente descritos. Dessa forma, os valores baixos são registrados nas camadas superficiais dos grupos Ater (CAM1 a CAM6 da TR01/TRAD1 e CAM1 a CAM6 da TR02/TRAD2) e Antrop (CAM8 da TR02/TRAD2), com elevação nos horizontes do meio do perfil pertencentes ao grupo Misto (HOR1 e HOR2 da TR01/TRAD1 e HOR1 e HOR2 da TR02/TRAD2) e primeiro horizonte do grupo Orig (HOR3 da TR01/TRAD1 e HOR3 da TR02/TRAD2). Novamente, nos horizontes profundos das trincheiras, há uma nova diminuição nos valores da CTC, mantendo-se a média ligeiramente maiores que os do grupo Ater.

Analisando os valores, é possível notar que, mesmo com diferenças entre grupos, as trincheiras apresentam caráter eutrófico, ou seja, impedida a alta saturação de bases e conseqüentemente relativa boa fertilidade.

5.4 Análises biológicas

5.4.1 Carbono orgânico do solo

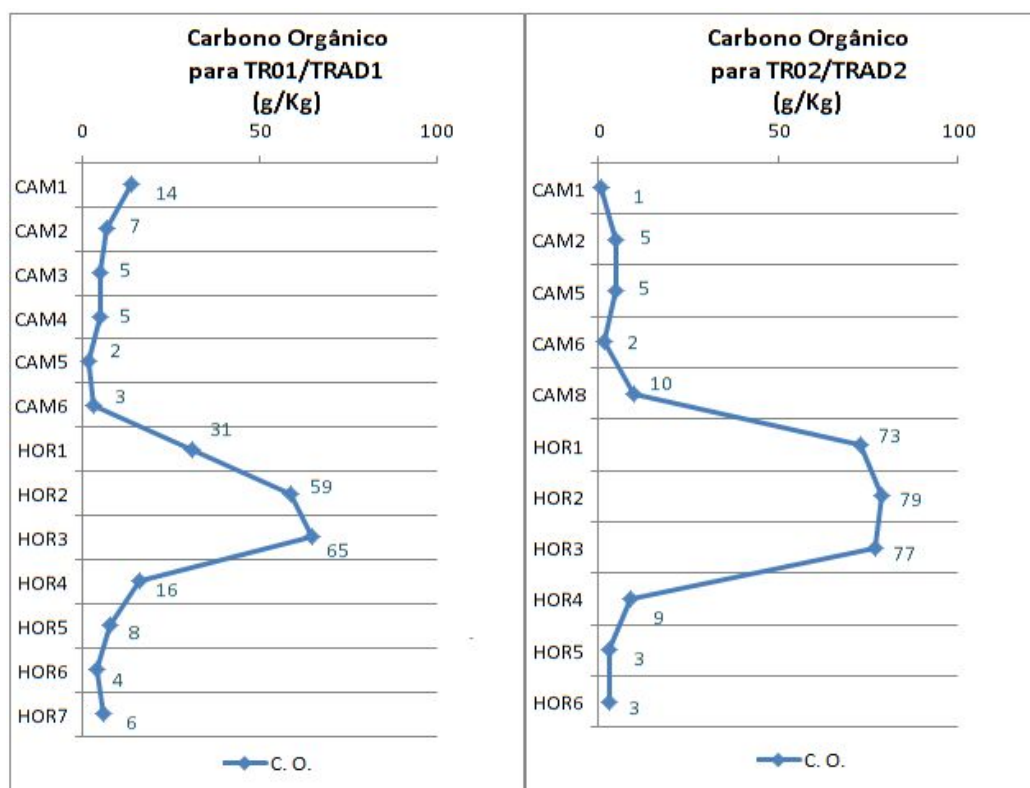
Os valores registrados de carbono orgânico do solo nos perfis analisados são apresentados na Tabela 13 e Figura 40. O valor máximo registrado para a TR01/TRAD1 foi no horizonte HOR3 (grupo Orig), de 65 g/kg e o menor valor em CAM5 (grupo Ater), de 2 g/kg, com média para o perfil de 17,30 g/kg. Para a TR02/TRAD2, o maior valor registrado foi de 79 g/kg no horizonte HOR2 (grupo Misto) e o menor valor de 1 g/kg no em CAM1 (grupo Ater), com média de 24,27 g/kg. As médias para os grupos na TR01/TRAD1 são: 6 g/kg (grupo Ater), 45 g/kg (grupo Misto), 19,8 g/kg (grupo Orig). Para a TR02/TRAD2, as médias por grupo foram : 3,25 g/kg (grupo Ater), 10 g/kg (grupo Antrop), 76 g/kg (grupo Misto) e 23 g/kg (grupo Orig).

Tabela 13 - Valores de Carbono orgânico em g/kg para as trincheiras analisadas.

TR01				TR02			
C. Orgânico				C. Orgânico			
Grupo	Cam./Hor.	Prof. (cm)	g/kg	Grupo	Cam./Hor.	Prof. (cm)	g/kg
Ater	CAM1	0 - 9,5	14	Ater	CAM1	0 - 46,5	1
	CAM2	9,5 - 15,5	7		CAM2	29,3 - 82,9	5
	CAM3	15,5 - 44,3	5		CAM4	23 - 55	-
	CAM4	44,3 - 65,8	5		CAM5	82,9 - 107	5
	CAM5	54 - 65,8	2		CAM6	107 - 125,1	2
	CAM6	65,8 - 90,2	3		CAM7	125,1 - 138	-
Misto	HOR1	134,2 - 148,7	31		Antrop	CAM8	138 - 154
	HOR2	148,7 - 173,5	59	Misto	HOR1	154 - 174	73
Orig	HOR3	173,4 - 189,5	65		HOR2	174 - 205	79
	HOR4	189,5 - 223	16	Orig	HOR3	205 - 228	77
	HOR5	223+	8		HOR4	228 +	9
	HOR6	223 - 350	4		HOR5	253 - 319	3
	HOR7	350 - 396	6		HOR6	319 - 350	3

Fonte: O autor, 2019. Obs.: Cam. – Camada; Hor. – Horizonte; Prof. – Profundidade.

Figura 40 - Valores de carbono orgânico para as trincheiras analisadas.



Fonte: O autor, 2019.

O comportamento dos valores da TR01/TRAD1 apresentaram tendência de forte aumento nos horizontes pretos do perfil (HOR1 ao HOR3), entre 31 g/kg a 65 g/kg e diminuição nas camadas (CAM1 ao CAM6), entre 2 g/kg e 14 g/kg e nos mais profundos (HOR4 ao HOR7), entre 4g/kg e 16 g/kg. O mesmo comportamento foi demonstrado na TR02/TRAD2, valores baixos nas camadas do grupo Ater (CAM1 ao CAM6), entre 1 g/kg e 5 g/kg e aumento expressivo nos horizontes do grupo Misto (HOR1 e HOR2) e primeiro horizonte do grupo Orig (HOR3), entre 73 g/kg e 79 g/kg e nova diminuição nos horizontes mais profundos (HOR4 ao HOR6), entre 3g/kg e 9g/kg. As tendências entre grupos dos dois perfis apresentaram mesmo comportamento, com exceção da CAM1 da TR01/TRAD1, com valores elevados (14 g/kg) em comparação aos demais do mesmo grupo (Ater). O perfil da TR02/TRAD2 apresentou valores ligeiramente maiores de carbono orgânico para os horizontes dos grupo Misto e primeiro horizonte do grupo Orig, e valores relativamente menores nos demais grupo sem comparação com a TR01/TRAD1. Assim, é possível notar grande concentração de carbono orgânico para os horizontes

descritos de matriz “preta” na descrição morfológica do perfil (HOR1 ao HOR3 da TR01/TRAD1 e HOR1 ao HOR3 da TR02/TRAD2).

5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

Como citado anteriormente, foram analisadas amostras de CAM1, CAM4, CAM6, HOR2, HOR3, HOR5 e HOR7 da TR01/TRAD1 e em CAM5, HOR1 e HOR6 da TR02/TRAD2, priorizando-se a identificação das argilas e elementos relacionados. Todas as imagens coletadas e concentrações de elementos em óxidos dos campos das amostras analisados estão no ANEXO 2 desse trabalho.

De maneira geral, para as amostras da TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2, as principais concentrações identificadas foram dos elementos Alumínio (Al) e Silício (Si) (Tabela 14), corroborando com a presença dos argilominerais identificados nas imagens. Para a primeira trincheira, os valores médios correspondem a 461910,57 ppm de Al e 373236,03 ppm de Si, e na segunda trincheira, valores médios para tais elementos foram 255726,67 ppm e 201446,67 ppm, respectivamente. As proporções de Al foram maiores nos campos dos horizontes mais profundos dos grupos Misto e Orig de ambos os perfis, em comparação às proporções de Si, maiores nas camadas superficiais do grupo Ater.

Para a TR01/TRAD1, tais elementos foram acompanhados por proporções significativas de ferro (Fe), com média de 63288,70 ppm e concentrado no grupo Ater (CAM1, CAM4 e CAM6), titânio (Ti), com média de 42990,1 ppm e distribuição variável ao longo do perfil, cálcio (Ca) e potássio (K), com médias de 14563,97 ppm e 13044,44 ppm, respectivamente, e maior concentração nos horizontes HOR2 e HOR3. Outros elementos apareceram em proporções reduzidas e bem localizados, como magnésio (Mg), fósforo (P) e Enxofre (S), com médias de 410,13 ppm, 3831,18 ppm e 243,26 ppm, respectivamente. Tais elementos foram medidos nos campos dos horizontes HOR2 e HOR3 do grupo Misto.

Para a TR02/TRAD2, foram identificadas proporções dos mesmos elementos, com médias para Fe de 49460 ppm e maiores valores nos campos da camada CAM5 do grupo Ater e HOR1 do grupo Misto. Os valores médios de Ti e Ca foram de 28120 ppm e 10433,33 ppm respectivamente, com maiores concentrações nos campos do horizonte

HOR1. O elemento K apresentou média de 4446,67, com distribuição variável no perfil, e os elementos Mg, P e S apresentaram valores médios de 280 ppm, 3066,67 ppm e 1086,67 ppm, concentrados no horizonte HOR1.

Tabela 14 - Elementos identificados nas amostras por MEV/EDS para as tricheiras analisadas, em partes por milhão.

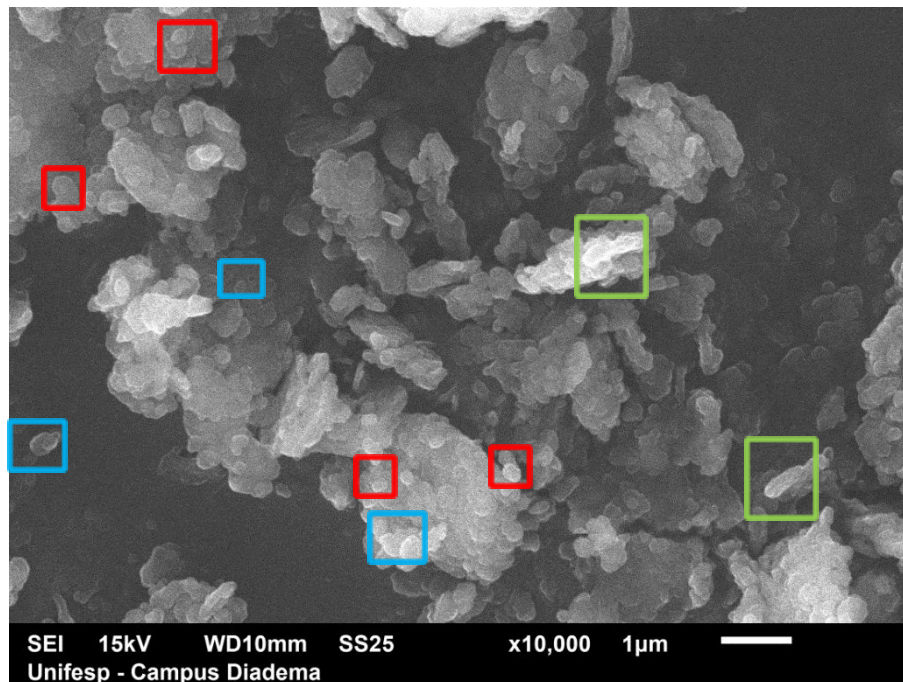
TRO1																		
Camadas/Horizontes - Campos																		
Elementos	CAM1-1	CAM1-2	CAM1-3	CAM1-4	CAM1-5	CAM4-1	CAM4-2	CAM4-3	CAM4-4	CAM4-5	CAM6-1	CAM6-2	CAM6-3	CAM6-4	CAM6-5	HOR2-1	HOR2-2	HOR2-3
	ppm																	
Al	386106,94	346736,47	399473,35	352594,72	395741,72	411481,37	355947,23	375574,64	394986,99	366833,78	387022,01	397265,87	391966,54	413542,34	335237,20	422450,00	293605,85	434
Si	390457,50	405420,56	394934,78	349967,33	374124,70	423724,30	415451,86	371471,06	421572,15	397502,21	507116,26	494227,88	520233,29	528226,53	519697,58	288351,16	551509,61	374
K	30522,42	30279,95	25882,96	21654,34	32379,66	31499,77	50849,94	31794,14	39987,18	36639,70	17646,94	9380,33	22010,52	11223,65	11016,69	4286,61	0,00	3
Ti	12564,46	112878,78	0,00	0,00	29078,69	13417,62	23962,11	39507,81	12915,23	15648,01	12810,45	14529,56	7735,50	7925,40	28193,41	64537,57	39592,69	33
Fe	134670,49	39494,05	133238,95	167404,40	141283,21	97399,65	136100,53	143982,41	112818,13	136306,03	56653,11	80927,88	45100,33	38956,54	89662,45	98565,93	31373,49	79
Cu	29372,18	0,00	31202,87	69273,24	11653,12	19097,00	18288,34	35303,05	11392,18	30789,49	13698,27	3668,48	9672,44	4688,14	11666,18	13037,50	3619,69	7
Zn	3627,58	6198,96	0,00	9628,68	0,00	914,54	0,00	2366,89	4328,13	8490,18	5052,95	0,00	3281,39	0,00	867,32	12315,74	2964,22	5
Sb	0,00	38966,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	437,40	0,00	2389,71	3054,46
Pb	0,00	4232,61	15267,10	0,00	588,76	2465,75	0,00	0,00	0,00	7790,59	0,00	0,00	0,00	0,00	3707,52	2337,37	1007,81	3
Ca	12678,43	15792,51	0,00	29477,30	14953,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64967,38	53072,94	37
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	191,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1871,07	3243,92
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31024,95	16855,18
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3815,01	0,00

TRO1																		
Campos																		
Elementos	HORS-1	HORS-2	HORS-3	HORS-4	HORS-5	HOR7-1	HOR7-2	HOR7-3	HOR7-4	HOR7-5	CAMS-1	CAMS-2	CAMS-3	CAMS-4	CAMS-5	HOR2-1	HOR2-2	HOR2-3
	ppm																	
Al	643132,39	584569,43	614104,38	570513,98	564709,60	606846,83	634966,26	621020,88	556238,52	634966,26	197500,00	212400,00	248600,00	206700,00	223000,00	282100,00	275800,00	272
Si	263199,19	309502,44	249016,63	216337,45	326926,18	340451,68	277069,69	303642,68	308849,65	277069,69	225400,00	288400,00	276000,00	232900,00	241300,00	152100,00	187500,00	138
K	0,00	4259,95	0,00	3820,08	5428,67	3912,18	0,00	6747,18	0,00	0,00	8400,00	3800,00	0,00	7600,00	0,00	4000,00	4900,00	4
Ti	60726,09	69196,63	87702,31	133202,69	62546,87	25190,09	23912,21	25920,75	0,00	23912,21	2400,00	8100,00	0,00	6000,00	8400,00	35300,00	59400,00	140
Fe	24185,95	14862,02	20509,45	43890,30	26212,58	13930,17	0,00	14505,54	0,00	0,00	72800,00	76200,00	27500,00	45000,00	98800,00	54900,00	57700,00	73
Cu	3978,39	10865,71	12826,04	18797,05	8338,68	9669,03	47889,55	21034,23	99791,45	47889,55	3200,00	4500,00	3300,00	1800,00	4800,00	14500,00	6600,00	4
Zn	0,00	0,00	4591,32	3194,03	0,00	0,00	6164,82	6445,67	30926,43	6164,82	1500,00	0,00	0,00	1300,00	500,00	2700,00	6500,00	4
Sb	0,00	1795,59	4047,72	4095,80	0,00	0,00	9208,87	0,00	3806,03	9208,87	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	3500,00	6
Pb	331,32	0,00	1324,49	0,00	110,33	0,00	794,61	683,05	887,93	794,61	2100,00	0,00	700,00	700,00	0,00	2300,00	0,00	1
Ca	4446,68	4947,84	5877,67	6648,62	5732,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35800,00	35100,00	22
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1900,00	1100,00	5
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9200,00	10200,00	5
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5100,00	3600,00	2

Fonte: O autor, 2019.

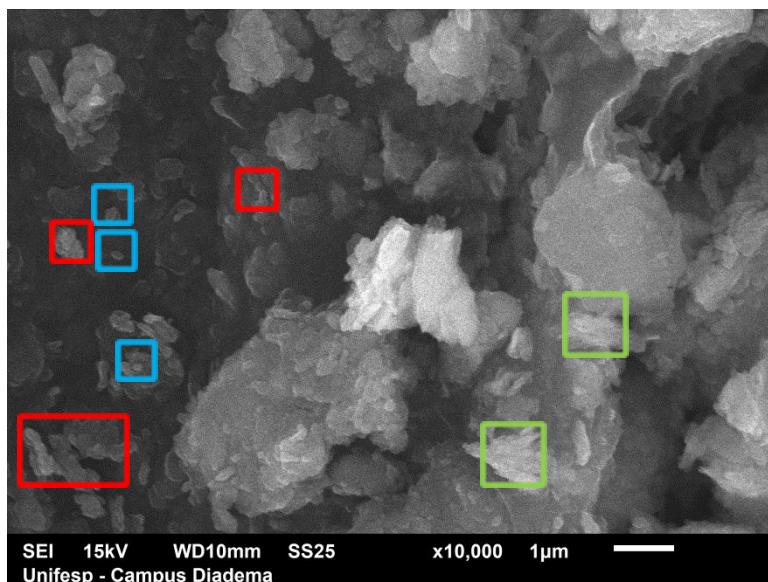
As proporções dos elementos indicados acima, em conjunto com as imagens capturados pela aplicação do MEV, podem fornecer subsídios na identificação dos principais minerais da fração argila presentes nas amostras analisadas. Para ambas as trincheiras, o predomínio de Si e Al no grupo Ater e os resultados da captura por MEV (Figuras 41 a 43) indicam presença significativa de Caulinita, caracterizada por forma hexagonal a semihexagonal nos campos analisados (demarcações em vermelho). A forte presença de Fe nesse grupo de horizontes está, ao menos parcialmente, relacionada com presença de óxidos formados por esses elementos (goethita, hematita, gibbsite), caracterizados pela forma arredondada (demarcações em azul). Além disso, a presença significativa de K associada a valores altos de Si e não muito altos de Al está provavelmente relacionada com Ilita interestratificada com Caulinita (demarcação em verde).

Figura 41 - MEV aplicado no campo 3 da amostra da camada CAM1 da TR01/TRAD1. As demarcações em vermelho apontam presença de caulinita, em azul, óxidos de Fe e Al e em verde, mineral Ilita.



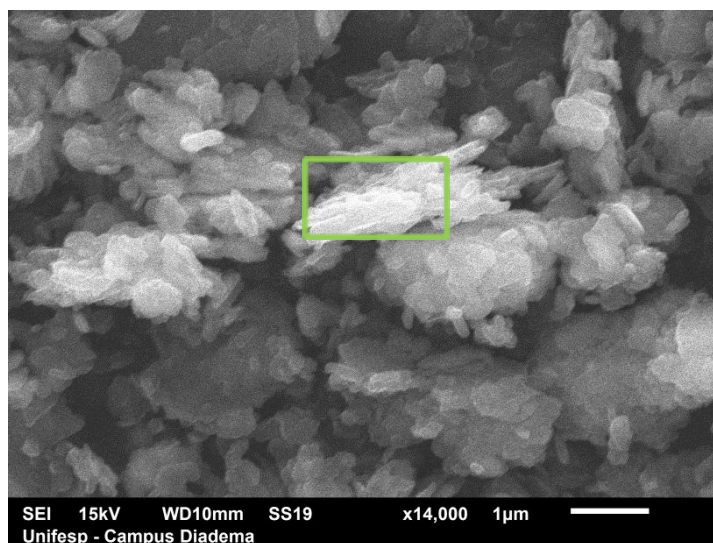
Fonte: O autor, 2019.

Figura 42 - MEV aplicado no campo 2 da amostra do camada CAM4 da TR01/TRAD1. As demarcações em vermelho apontam presença de caulinita, em azul, óxidos e, em verde, Ilita.



Fonte: O autor, 2019.

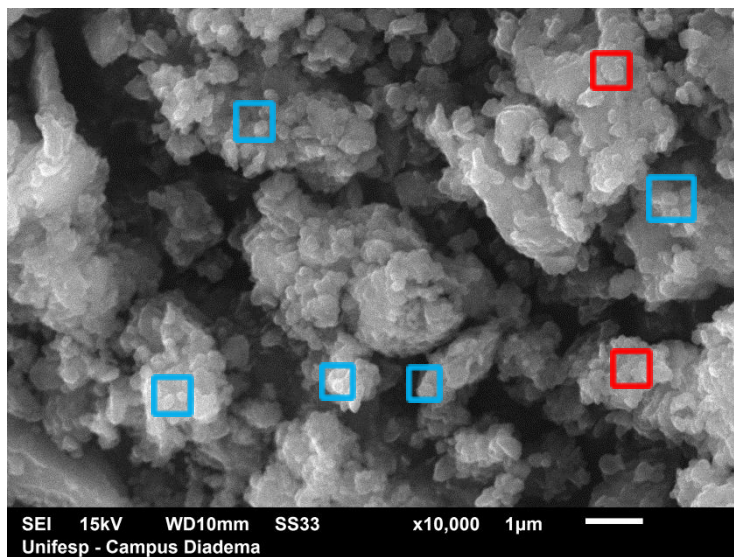
Figura 43 - Presença de Ilita, com formato de ripa, no campo 2 do camada CAM3 da TR02/TRAD2.



Fonte: O autor, 2019.

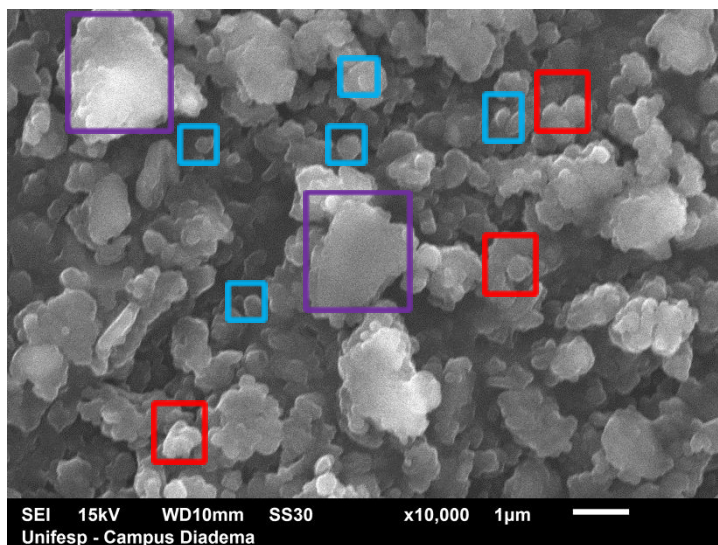
O predomínio de Al em relação ao elemento Si e Fe nos horizontes profundos dos grupos Misto e Orig de ambas as trincheiras indicaram a formação de óxidos de alumínio (gibbsite, em azul), seguido de óxidos de ferro (demarcadas em azul) e caulinita (demarcados em vermelho). As imagens demonstraram a presença de partículas maiores (silte, demarcadas em roxo) em alguns pontos sobrepostos por argilas (figuras 44 a 47).

Figura 44 - MEV aplicado ao campo 3 da amostra do horizonte HOR2 (grupo Misto) da TR01/TRAD1.



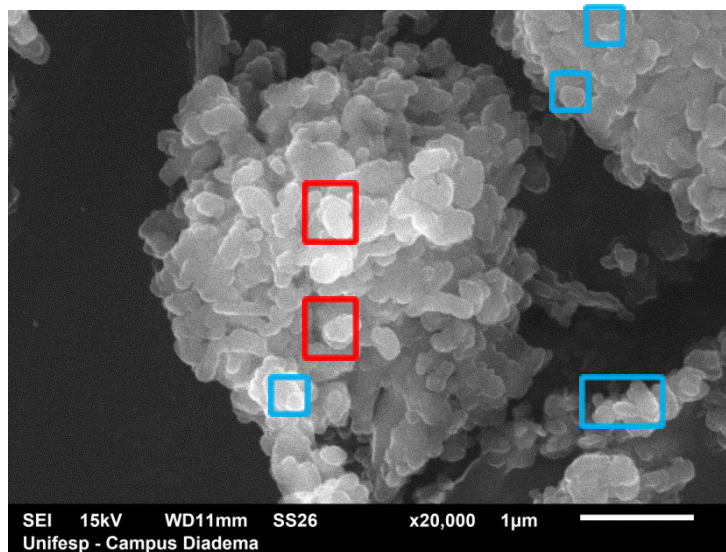
Fonte: O autor, 2019.

Figura 45 - MEV aplicado ao campo 1 da amostra do horizonte HOR1 (grupo Misto) da TR02/TRAD2.



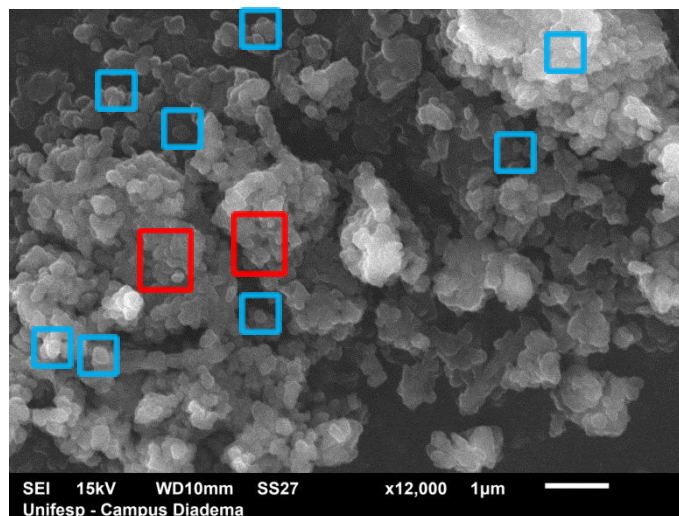
Fonte: O autor, 2019.

Figura 46 - MEV aplicado ao campo 1 da amostra do horizonte HOR7 (grupo Orig) da TR01/TRAD1.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 47 - MEV aplicado ao campo 3 da amostra do horizonte HOR6 (grupo Orig) da TR02/TRAD2.



Fonte: O autor, 2019.

Por meio da quantificação do EDS foi possível verificar concentrações de elementos geralmente pouco presentes nos solos em índices que podem indicar uma possível contaminação. Os elementos encontrados, conforme Tabela 14, foram chumbo (Pb), zinco (Zn), Sb (antimônio) e cobre (Cu). Para a TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2, as médias de concentração de Pb foi de 1463,97 ppm e 693,33 ppm, para Sb foi 2602,68 ppm e 1906,67 ppm, para elemento Zn de 3907,15 ppm e 3093,33 ppm e para Cu o valor médio de 18521,30 ppm e 7993,33 ppm, respectivamente.

O elemento chumbo apresentou maiores concentrações em CAM1 (grupo Ater), HOR2 (grupo Misto) e HOR7 (grupo Orig) da TR01/TRAD1 e distribuição generalizada nos no perfil da TR02/TRAD2. Os elementos zinco e antimônio apresentaram maiores proporções nos horizonte profundos de ambas as trincheiras nos grupos Misto e Orig. Diferentemente desses elementos, o cobre apresentou as maiores concentrações entre os elementos que apontam contaminação, ao mesmo tempo em que os valores estão distribuídos de forma generalizada nos perfis estudados.

5.6 Índice de Qualidade do Solo (IQS)

Os dados para o Índice de Qualidade de Solo calculados pelo SMAF são apresentados na Tabela 14. Para a trincheira TR01/TRAD1, o valor máximo identificado foi de 0,57 no horizonte HOR3 (grupo Orig) e valor mínimo de 0,17 em CAM3 (grupo Ater), com média de 0,34 para o perfil. Na TR02/TRAD2, o maior valor foi de 0,76, nos horizontes HOR2 e HOR3 (grupos Misto e Orig, respectivamente), e o menor valor de 0,25 em CAM6 (grupo Ater), com média de 0,60.

Tabela 15 - Índice de qualidade dos solos para as trincheiras analisadas.

TR01										
		pH		Ds		CO		K		
Grupo	Cam./Hor.	Valor	IQS _{pH}	Valor	IQS _{Ds}	Valor	IQS _{CO}	Valor	IQS _K	IQS _H
Ater	CAM1	7,11	0,54	1,73	0,29	1,4	0,61	2,35	0,02	0,37
	CAM3	7,34	0,41	1,87	0,21	0,5	0,07	0,62	0,01	0,17
	CAM6	5,67	0,95	1,84	0,21	0,3	0,04	0,93	0,01	0,30
Orig	HOR3	7,6	0,28	1,04	0,99	6,5	1,00	1,14	0,01	0,57
	HOR5	7,82	0,19	1,43	0,75	0,8	0,19	1,54	0,02	0,29
TR02										
		pH		Ds		CO		K		
Grupo	Cam./Hor.	Valor	IQS _{pH}	Valor	IQS _{Ds}	Valor	IQS _{CO}	Valor	IQS _K	IQS _H
Ater	CAM6	5,13	0,68	1,79	0,26	0,2	0,04	0,99	0,01	0,25
Misto	HOR1	6,39	0,93	1,33	0,95	7,3	1,00	3,8	0,04	0,73
	HOR2	5,96	1,00	1,14	0,99	7,9	1,00	3,83	0,04	0,76
Orig	HOR3	5,95	1,00	1,07	0,99	7,7	1,00	3,9	0,04	0,76
	HOR4	5,71	0,96	1,21	0,78	0,9	0,17	2,9	0,04	0,49

Fonte: O autor, 2019.

No perfil da TR01/TRAD1, os grupos apresentaram médias de 0,28 para Ater e 0,43 para Orig, enquanto para os grupos da TR02/TRAD2 apresentaram valores médios

de 0,25 para Ater, 0,74 para Misto e 0,62 para Orig. Nota-se a tendência de aumento do índice para ambas as trincheiras nos horizontes mais profundos do perfil, com valores reduzidos nos horizontes do grupo Ater (HOR1, HOR3 e HOR6 da TR01/TRAD1 e HOR6 da TR02/TRAD2). Nota-se a correlação entre os dados de Carbono orgânico (CO) e de potássio (K) e a variação o IQS, em que a elevação ou redução dos dois primeiros corresponde a elevação ou redução do índice de qualidade do solo.

6. Discussão dos resultados.

6.1 Relação entre os solos estudados e os solos antrópicos e urbanos.

EFFLAND & POUYAT (1997) e DUDAL (2004) apresentam a inserção do fator antrópico como o mais novo agente de formação e alteração de coberturas pedológicas. Para eles, a adição de materiais diferentes da cobertura original pode fortemente evidenciar a ação antrópica na formação e alteração dos solos. Ao mesmo tempo, esses diferentes materiais identificados nas descrições morfológicas podem corresponder ao processo de *metapedogênese* apresentado em YAALON & YARON (1966), baseado no reconhecimento dos perfis de solos anteriores (S_1) e posteriores à alteração humana (S_2). Dessa forma, os horizontes inferiores das trincheiras TR01/TRAD1 (HOR1 ao HOR7) e TR02/TRAD2 (HOR1 e HOR6) correspondem aos materiais originais que indicam um perfil de solo formado pelos agentes clássicos de formação do solo e anterior à interferência humana (S_1) e as camadas (CAM1 ao CAM9 da TR01/TRAD1 e CAM1 ao CAM8 da TR02/TRAD2) um novo perfil de materiais adicionados por atividade antrópica (S_2).

Com base na análise morfológica e laboratorial dos perfis, é possível constatar que os solos dos perfis estudados no presente trabalho podem ser considerados como antrópicos. Os resultados avaliados indicaram a introdução de material artificial antropogênico (grupos Antrop e Misto) e de material alóctone por atividade (camadas do grupo Ater) humana em cobertura pedológica já existente, desenvolvida *in situ*, para ambos os perfis, o que o diferencia dos solos desenvolvidos naturalmente, sem ou com pouca interferência antrópica.

A posição no perfil, sobrejacente a camadas inteiramente antrópicas (grupo Antrop), e as características morfológicas do grupo Ater identificados na parte superior dos perfis estudados (CAM1 ao CAM6 da TR01/TRAD1 e CAM1 ao CAM7 da TR02/TRAD2) mostram que tais camadas se desenvolveram a partir de material de aterro. A primeira e, possivelmente, principal evidência morfológica é a alta compactação apresentada já identificada em campo, com consistência dura a muito dura em ponta de faca e ausência de estruturação. A compactação em solos é proporcionada pelo apiloamento do material de aterro introduzido com a aplicação de alguma energia proveniente de máquinas que exerça força suficiente para suprimir poros e fissuras. Na área da de estudo, possivelmente esse processo foi utilizado para nivelamento dessa camada, o que definiu a rigidez apresentada pelo solo.

A compactação desse material é confirmada pelas altas densidades do solo (D_s), que variou entre $1,71 \text{ g cm}^3$ a $1,87 \text{ g cm}^3$ para grupo Ater. Tais medidas concordam com a característica que é apresentada em USDA (2000) da compactação para solos urbanos, que geralmente variam entre $1,5 \text{ g cm}^3$ a $2,0 \text{ g cm}^3$, medida essa próxima à densidade do concreto ($2,2 \text{ g cm}^3$). O aumento de D_s no aterro provoca nos solos uma série de consequências. A primeira é a redução da porosidade (YANG & ZANG, 2011), indicada com os valores reduzidos de porosidade total (variando entre 0,25% a 0,36%). A porosidade dos solos normalmente variam entre 0,3% a 0,7%, dependendo de fatores como a densidade, da distribuição e forma de partículas e da cimentação (NIMMO, 2004). Para solos urbanos, esses valores podem ser bastante reduzidos (SCHARENBRUCH *et al.*, 2005; SCALENGHE & MARSAN, 2009). Outro fator prejudicado com a diminuição da porosidade e aumento da densidade do solo é a taxa de infiltração de água, que podem ser reduzidas em 70% a 99% (GREGORY *et al.*, 2006)

Outra evidência de constatação de aterro do solo é a presença de poucas a quase nenhuma raízes nos horizontes desenvolvidos a partir desse material. Devido à compactação e redução da porosidade, solos urbanos podem inibir o crescimento de plantas (CRAUL, 1991; UNGER & KASPAR, 1994; USDA, 2000). A maior concentração de raízes foi encontrada na CAM1 da TR01/TRAD1, pequenas e

relacionadas à vegetação gramínea. Pouquíssimas raízes foram encontradas em outras camadas e horizontes, com tamanhos reduzidos (até 1mm).

Uma terceira característica de que as camadas do grupo Ater são desenvolvidos sobre aterro é a forte diferença de coloração das matrizes em relação aos horizontes mais profundos, sugerindo uma falta de filiação genética entre eles. Enquanto o conjunto de aterro apresentou cores avermelhadas (2.5 YR 5/6 a 3/6), os horizontes do solo provavelmente *in situ* apresentaram cores pretas a acinzentadas, conforme já citado anteriormente. Tais horizontes de aterro apresentam maior e mais variada quantidade de volumes em meio a matriz do que os horizontes dos solo original e textura variando de franco-argilo-arenoso a argilo-arenoso, indicando mistura de materiais e grande heterogeneidade dentro dos horizontes e do perfil.

Tal material de aterro está acima da camada de artefatos antrópicos, representados pelos horizontes do grupo Antrop (HOR7 ao H9 na TR01/TRAD1 e H8 da TR02/TRAD2). Tais camadas, formadas exclusivamente por material de construção, representam claramente uma introdução de artefatos e divisão entre o material sobrejacente de aterro e os materiais dos horizontes inferiores, desenvolvidos *in situ*. A deposição de artefatos é uma das principais características diferenciadoras entre solos antrópicos e solos naturais, devidamente estabelecida por diversos autores (CRAUL, 1985; LEHMANN & STAHR, 2007; POUYAT *et al.*, 2010; MOREL *et al.*, 2015; SANDOR *et al.*, 2002). Tais materiais, quando presentes em solos, ocasionam elevação do nível de pH, mudanças na textura e estrutura do solo com a introdução de materiais grosseiros e diminuição do conteúdo de nutrientes no solo (HILLER, 2000; PUSKÁS & FARSANG, 2009). Os horizontes do grupo Antrop e horizonte HOR1 do grupo Misto na TR01/TRAD1 apresentaram os maiores valores de pH entre todos os horizontes analisados (8,21 e 8,26, respectivamente). Os artefatos desses horizontes são resíduos de construção como fragmentos de concreto, tijolo, areia de construção e telhas. O aumento do pH é provocado pela liberação de carbonatos, como o CaCO_3 , que constituem tais artefatos, na matriz do solo (GREINERT, 2015).

Os horizontes pretos menos profundos do grupo Misto (HOR1 e HOR2 na TR01/TRAD1 e HOR1 e HOR2) apresentaram artefatos antrópicos em meio a matriz,

típicos dos camadas de artefatos sobrejacentes (CAM7 ao CAM9 na TR01/TRAD1 e CAM8 na TR02/TRAD2), evidenciando uma mistura de materiais. Essa configuração forneceu a esses horizontes uma textura variando entre franco-argilo-arenosa a franco-arenosa, além da presença de volumes, representados principalmente por restos de material de construção, características que praticamente não são observadas nos horizontes inferiores. Assim, mesmo desenvolvidos *in situ*, esse horizontes sofreram clara interferência antrópica, provavelmente por estarem expostos anteriormente à deposição do material de aterro, na superfície da planície aluvionar do rio Tamandateí. A coloração preta ainda indicou as maiores concentrações de carbono orgânico na matriz desses horizontes, com valores variando entre 3,1% e 7,9% nas TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.

Os horizontes inferiores identificados nos perfis (HOR3 ao HOR7 na TR01/TRAD1 e HOR3 ao HOR6 na TR02/TRAD2) foram desenvolvidos *in situ* sobre material sedimentar da planície do Rio Tamandateí. Esses horizontes, com base na descrição morfológica e dados granulométricos, apresentaram coloração preta a acinzentada (10YR 2/1, 5Y e 2Y 5/1), com estrutura fraca no primeiro horizonte do grupo Orig e textura variando de franco-argilo-arenosa a argilosa. Essas características morfológicas, especialmente de cor e textura, são típicas de materiais provenientes de áreas de depósito fluvial, identificadas na região metropolitana de São Paulo como terrenos de planícies aluviais (TAKYIA, 1997; RICCOMINI *et al.*, 1992). A presença significativa de argila nos horizontes do grupo Orig em profundidade concorda em partes com a descrição geotécnica de MASSAD (1980), que apresentou tais materiais como argilas orgânicas pretas e areia fina “argilosas” e “fofas”. A coloração acinzentada dos horizontes mais profundos indica formação de horizontes gley, com influência do nível d’água e ambiente redutor em Fe^{3+} para Fe^{2+} . Os horizontes da cobertura original (grupo Orig) apresentaram os maiores níveis de saturação de bases (%V), soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC) em relação aos outros grupos, indicando a conservação de suas características de um período pré-soterramento de tais horizontes, e possivelmente preservando outras características, tais como a concentração de matéria

orgânica nos horizontes pretos, baixa densidade do solo e maior índice de porosidade total em relação aos demais grupos de horizontes.

Observando-se todas essas características, os solos do presente estudo englobam processos de formação típicas de solos urbanos. Conforme CRAUL (1985) e HOLLIS (1991), tais processos incluem interferências como adição, manipulação, retirada ou transporte de materiais por atividades humanas, podendo representar um tipo de solo urbano fortemente alterado, que ainda pode guardar características naturais do solo anterior (MOREL *et al.*, 2015). Outras características são notadas, como a variabilidade dos parâmetros químicos, físicos e biológicos entre cada grupo de horizontes em ambas as trincheiras, com valores máximos e mínimos por vezes discrepantes, como o teor de carbono orgânico na TR01/TRAD1, que variou entre 2 g/Kg em CAM5 (grupo Ater) a 65 g/Kg no horizonte HOR3 (grupo Orig), ou valores de pH na TR02/TRAD2, variando 3,64 entre o valor máximo e mínimo (8,21 em CAM8 do grupo Antrop e 4,57 em CAM5 do grupo Ater). Ao mesmo tempo, com as observações realizadas em microscopia eletrônica de varredura (MEV), é possível notar a semelhança entre as mineralogia dos diferentes materiais, com predomínio dos mineirais de argila 1:1, como a caulinita.

Os solos estudados da área da COHAB Bresser sofreram perturbação por adição de artefatos antrópicos e solo de aterro à cobertura pedológica original. Ao mesmo tempo, a indicação da formação de horizonte superficial (CAM1 do grupo Ater) ligeiramente enriquecido em matéria orgânica na trincheira TR01/TRAD1 (14 g/Kg), acima dos outros horizontes correspondentes do mesmo grupo, pode representar um incipiente processo de suporte para sustentação de plantas.

Uma outra característica detectada nos solos dos perfis avaliados, comum entre solos urbanos, foi o indício da presença de elementos contaminantes, possivelmente atrelada à interferência por atividades industrial. Os elementos encontrados nos perfis das áreas de estudo são Pb, Cu, Zn e Sb, com estimativas de concentrações acima dos valores permitidos pela legislação vigente. A presença de contaminação por metais pesados em tais solos é tema largamente estudado (THORTON, 1985; GE; MURRAY; HENDERSHOT, 2000; SUN *et al.*, 2010; MANTA *et al.*, 2002; HORVATH *et al.*,

2016; WILCKE *et al.*, 1998; CHARZYNSKI *et al.*, 2017; RODRIGUEZ-SEIJO *et al.*, 2017). Tais estudos, além de avaliarem as características típicas de solo em cidades, mediram concentrações de substâncias provenientes de resíduos urbanos, de tráfego, minerários e industriais desenvolvidos e de certa forma formadores de solos antrópicos.

Apesar da forte influência antrópica verificada, é possível indicar incipiente atuação de processos pedogenéticos nos perfis de solo da área de estudo da COHAB Bresser. Nesse caso, os indicativos são a formação inicial de estruturação de algumas camadas nos materiais de aterro (CAM6 na TR01/TRAD1, com formação fraca de blocos subangulares e CAM2 na TR02/TRAD2, com formação de grãos arredondados soltos), presença de matéria orgânica em superfície no horizonte CAM1 da TR01/TRAD1 (14 g/kg de CO), certa porosidade pelo desenvolvimento de raízes finas em alguns horizontes de aterro e transições mais graduais e onduladas entre os horizontes superiores, o que pode denotar translocação de matéria entre eles.

6.2 Relação entre o solos estudados e sistemas de classificação de solos.

A classificação de solos norte americana (*US Taxonomy*) não apresenta uma categoria elevada para solos interferidos por atividades antrópicas. Em sua estrutura, considera as interferências antrópicas não agrícolas nas propriedades e características dos solos, constituindo dessa forma os *anthropic epipedon*. Tais solos são reconhecidos à partir dos denominados *human-altered materials* e *human-transported materials* (USDA, 2014).

Os *human-altered materials* representam materiais diagnósticos superficiais ou próximos à superfície que sofreram alterações antrópicas como adição, compactação ou mobilização, porém não foram transportados para outros locais diferentes da original. Os *human-transported materials* apresentam as condições semelhantes de interferência antrópica do primeiro tipo, porém comporta solos que sofreram o transporte e deposição de materiais para outros lugares. Ambos podem conter artefatos antrópicos em sua composição. Conforme os resultados das análises para as camadas superficiais dos grupos Ater e Antrop, é reconhecida a adição de tal material distinto à cobertura pedológica anterior, correspondendo, portanto, ao grupo dos *human-transported materials*.

Os grupos reconhecidos por interferências antrópicas ainda apresentam subgrupos de adjetivação, identificados como: *Anthraquic*, *Anthrodensic*, *Anthropic*, *Plaggic*, *Haploplaggic*, *Anthroportic* e *Anthraltic* (USDA, 2014), conforme abordado na revisão bibliográfica deste trabalho. Pode-se indicar que o grupo Ater das trincheiras correspondem a um tipo de *human-transported materials Anthrodensic*. Tal subgrupo abrange materiais que sofreram compactação em mais de 90% dos horizontes superficiais, dentro de uma faixa de profundidade de 100cm, o que é demonstrado pelos índices de densidade do solo para os horizontes superficiais da TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2.

O sistema de classificação que engloba a identificação de solos urbanos corresponde ao desenvolvido pela FAO/ONU (2015). A *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) distingue em categorias “Ordem” os denominados *Anthrosols* e *Technosols* para os solos que sofreram interferências antrópicas. A primeira ordem refere-se aos solos interferidos em áreas agrícolas e a segunda para solos em áreas urbanas ou afetados por atividades não agrícolas. Portanto, os solos da área de estudo são enquadrados na categoria *Technosols*.

A estrutura da classificação permite o reconhecimento de horizontes diagnósticos e atribuição dos “qualificadores” do solo da categoria *Technosols*. Tais *Technosols* podem apresentar características específicas, como comportar em seu volume cerca de 20% de artefatos antrópicos nos primeiros 100cm a partir da superfície, não apresentar horizontes que indiquem atividades agrícolas e não apresentar horizontes provenientes da rocha a partir de 10cm da superfície. A WRB especifica “qualificadores” e “subqualificadores” dos solos classificados e apresenta as classes “*urbic*” para solos localizados e interferidos por áreas urbanas e “*densic*” para materiais superficiais por camadas de artefatos e rejeitos antrópicos. O primeiro qualificador representa horizontes que possuem uma camada > 20cm de espessura, entre 100cm ou menos da superfície do solo, com 20% ou mais (em vol.) de artefatos contendo 35% ou mais (vol.) de resíduos de construção civil. O subqualificador *densic* é atribuído a materiais compactados natural ou artificialmente, entre os 100cm superficiais do solo onde há a resistência para penetração de raízes das plantas. Com isso, de acordo com a

classificação da WRB (2015), as camadas do grupo Ater (C1 ao C6 da TR01/TRAD1 e C1 ao CAM7 da TR02/TRAD2) podem ser identificados como *Densic Urbic Technosols* (utilizando a sequência de nomenclatura, com o/os nome/es do/s qualificadores a frente da categoria Ordem). Tais horizontes são formados por atividades urbanas de deposição e alta compactação representada pela elevada densidade do solo identificada nas camadas de aterro.

Como explicitado na revisão bibliográfica, a classificação de solos do sistema brasileiro (EMBRAPA, 2018) até o momento não apresenta uma categoria Ordem para esses tipos de solos, somente representando os solos antrópicos por um tipo de horizonte A antrópico. Inicialmente, de acordo com os resultados das análises de campo e laboratoriais dos perfis TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2, os horizontes superficiais não podem ser considerados um horizonte A antrópico conforme a classificação brasileira, por não serem formados por adição de materiais orgânicos em área de cultivo e não apresentarem estruturação definida.

Desta forma, foi aplicada a proposição de CÚRCIO; LIMA & GIAROLLA (2004) para classificação do solo em estudo, à classificação do solo na área de estudo. É possível identificar que as camadas dos grupos Ater e Antrop de ambas as trincheiras podem ser classificados na Ordem Antropossolos com o caráter de adição, conseqüentemente na subordem *Sômica*. Tal subordem abrange materiais dispostos por ação humana de forma ordenada ou heterogênea, podendo conter artefatos não nocivos ao ambiente.

A partir do terceiro nível categórico, pode-se classificar os grupos Ater ou Antrop de ambas as trincheiras no grande grupo *Camádico*, devido o desenvolvimento de tais grupos a partir das camadas de aterro e artefatos antrópicos. A divisão de classificação no último nível categórico (Subgrupos) para os horizontes dos grupos Ater e Antrop da TR01/TRAD1 é heterogênicamente eutrófico, devido à quantidade de volumes presentes distribuídos na matriz do solo e por apresentarem saturação de bases acima de 70%. Para os mesmos grupos de horizontes da TR02/TRAD2, segue-se a mesma denominação no último nível, considerado heterogênicamente eutrófico (%V > 50%), menos que os horizontes da primeira trincheira, com ligeira concentração de Al³⁺, embora

abaixo do recomendável para se denominar o caráter alumínico (>30%). Com isso, os solos estudados podem ser classificados com base na proposta de aproximação dos Antropossolos como Antropossolo Sômico Camádico heterogênico eutrófico.

Os sistemas de classificação apresentados abordam de maneira diferenciada solos com alguma interferência antrópica e especificamente solos urbanos. Por um lado, a classificação da WRB/ONU apresenta duas ordens estruturadas para solos antrópicos, sendo que a classe *Technosols* abrangem solos perturbados de áreas urbanas a partir da atualização de 2006. Por outro lado, tanto a *Soil Taxonomy* como o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a caracterização de solos antrópicos é identificada a partir de propriedades dos materiais em horizontes diagnósticos que indiquem interferências por ações humanas, como mobilização e introdução de artefatos antrópicos. Tais sistemas não apresentam ordens taxonômicas para solos antrópicos e ou categorias inferiores para solos urbanos. No caso da *U.S Taxonomy*, as especificações para os solos antrópicos não permitem englobar aqueles que sofreram pouca interferência antrópica, já que considera um horizonte diagnóstico especificamente formado por materiais antrópicos nítidos, o que muitas vezes pode não ser facilmente visualizado. Essa classificação aplica a noção de horizonte diagnóstico antrópico para camadas ou horizontes superficiais, o que pode não considerar outras camadas ou horizontes subsuperficiais ou enterrados.

A classificação oficial brasileira, apresentando o conceito de Horizonte A Antrópico, é pouco elucidativa quando abrange materiais antrópicos não-agrícolas. Suas categorias não engloba tais materiais, ao mesmo tempo que não fornece propriedades diagnósticas antrópicas fora do contexto de áreas sob algum cultivo, diferentemente da *U.S. Taxonomy*. O horizonte A antrópico tem a delimitação de 40cm ou menos, não considerando possíveis camadas ou horizontes enterrados. Com isso, a aproximação fornecida por CÚRCIO; LIMA & GIAROLLA (2004) para os Antropossolos é uma proposta coerente com a necessidade de abordagem dos solos antrópicos pelo SiBCS, pois apresenta uma classificação com nomenclaturas morfológicas derivadas de processos de formação de tais solos (soma, mobilização e decapitação) e considerando-se que tais solos tem seção de controle a partir de 40cm. Ainda sim, uma possível contribuição para o melhor desenvolvimento da proposta é o reconhecimento

de um número maior de propriedades diagnósticas a partir do 4º *táxon* (Subgrupos), outras características apresentadas pelos Antropossolos discerníveis e provenientes de atividades antrópicas, tais como a distinção de tipos de artefatos antrópicos introduzidos ou sua disposição e reconhecimento de novas substâncias provenientes de tais materiais. Outra contribuição pode resultar na identificação de superfícies pouco alteradas em ambientes urbanos, mesmo que dentro de tal área com intensa perturbação antrópica.

Dessa forma, a classificação da WRB/FAO/ONU (2014) nos pareceu a que melhor possibilitou a classificação do solo urbano da área de estudo. Fator importante para a aplicação da WRB é que em sua estrutura é apresentada a divisão dos solos interferidos por atividades antrópicas em duas categorias de classificação elevadas (*Anthrosols* e *Technosols*), e possibilita o reconhecimento de horizontes e propriedades diagnósticas para a classificação de tais solos. Ainda, um dos seus qualificadores remetem especificamente aos solos urbanos (*urbic*), não encontrado sistemas de classificação discutidos anteriormente.

6.3 Relação com os SUITMAS e serviços ecossistêmicos

Além das características de adição de materiais presentes e mistura de artefatos antrópicos à cobertura pedológica original, é possível indicar que o solo estudado corresponde aos tipos de uso pretéritos e atuais exercidos por atividades urbanas, de acordo com PEDRON et al. (2004) e BURGHARDT et al (2015). Para esses autores, características dos solos urbanos são integradas às características físicas, como topografia, e de atividades humanas nas cidades, como a ocupação. Tais fatores tem interferido nas propriedades do material original e suas alterações.

Estima-se que o solo do presente estudo foi afetado por atividades urbanas e industriais. A primeira forma de interferência corresponde a identificação da adição de artefatos antrópicos notadamente nos horizontes dos grupos Antrop e Misto (HOR7 ao HOR11 da TR01/TRAD1 e H8 ao HOR10 da TR02/TRAD2), como material de construção do uso residencial do entorno e soterramento dos horizontes do solo original. O grau de compactação dos horizontes superficiais do grupo Ater de ambas as trincheiras pode ser atribuído a ambas as atividades, urbanas e industriais.

A segunda, relacionada à interferência por atividades industriais, pode estar relacionada a presença dos contaminantes Cu, Zn, Pb e Sb nos horizontes dos perfis, como indicado no item 5.5 dos Resultados, pela proximidade da área de estudo com uma antiga área de indústria de galvanoplastia. Tal atividade industrial consiste no recobrimento metálico diverso (por cromo, níquel, zinco, ouro, cobre, prata, chumbo, etc.) de uma superfície metálica ou não, utilizando-se os princípios da eletrólise, com objetivo de proteção à corrosão dessa superfície ou fins estéticos e decorativos (INEA, 2014). Tal processo é denominado de galvanização, que se utiliza de uma série de banhos e lavagens para cromagem, niquelagem, douração, entre outros, de um determinado objeto, gerando efluentes altamente tóxicos ao ambiente provenientes do lodo galvânico e águas de lavagem (COSTA; SANTOS; TAVARES, 2008; INEA, 2014).

A contaminação de solos provocada por tais resíduos pode introduzir os contaminantes Cu, Zn e Pb e em menor quantidade Sb, identificados na área de estudo. No estudo de contaminação por resíduos de uma indústria de galvanoplastia, PAVANELLI (2007) constatou a contaminação de solos por cobre, zinco e chumbo, dentre outros, pela manuseio no processo de produção exercido na unidade de galvanização em questão. GUNTHER (1998) identificou contaminação nos locais de lançamento de efluentes líquidos e no entorno da área de indústria de galvanoplastia em locais de descarte para os elementos Cu e Zn muito acima dos valores permitidos pela legislação considerada, o que representaria uma questão grave à saúde dos moradores próximos na região da indústria analisada.

A utilização de Sb em galvanoplastia é menor em comparação aos outros elementos encontrados na área de estudo sendo este elemento, grande parte das vezes, introduzido em conjunto com outros metais, como o Pb e Sn (REHIM; AWAD; SAYED, 1987; SADANA; SINGH; KUMAR, 1985). Seu uso e contaminação em solo estão ligados principalmente às atividades industriais de fundição e mineração, combustão de carvão e combustíveis fósseis (CETESB, 2017; HE *et al.*, 2012).

Pela influência de usos urbanos e industriais, pode-se incluir o solo da área de estudo na classificação dos SUITMAs, como abordado em BURGHARDT *et al.* (2015)

e MOREL *et al.* (2015). Solos denominados SUTIMAs, conforme os autores, podem apresentar características pouco alteradas a fortemente alteradas em comparação ao solos naturais ou sob cultivo e variável capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos. Tais solos podem comportar serviços de regulação, suporte, fornecimento e culturais (MEA, 2003).

Essa classificação é baseada nos graus de antropização do solo, de sua capacidade de suportar vegetação (GREINERT, 2017) e de fornecimento de serviços ecossistêmicos, sendo reconhecidos como: a) *sealed* SUTIMAs; b) *Dumping* SUTIMAs; c) *pseudo-natural* SUTIMAs; e 4) *vegetated engineered* SUTIMAs (MOREL *et al.*, 2015). Com isso, o solo dos perfis analisados pode ser incluído no grupo *Dumping* SUTIMAs, que correspondem a solos desenvolvidos a partir da disposição de resíduos sólidos humanos no solo original ou aterramento em áreas específicas. Os solos da área de estudo demonstraram, com base nas descrições de campo corroboradas pelas análises laboratoriais, que fora realizada a deposição de material alóctone sobre materiais formados *in situ*, com características distintas de cor, textura e volumes. Como demonstrado no item 4.1 dos Materiais e Métodos, a área passou por transformações físicas devido às mudanças de usos no decorrer do desenvolvimento urbano da cidade de São Paulo no século XX. Atualmente, ela está inserida em uma região com predomínio de ocupações residenciais e comerciais e, conforme o zoneamento urbano do município (PMSP, 2014), está destinada para o uso residencial.

Como citado na Tabela 4 do item 3.3 do Referencial Teórico, os dezessete serviços ecossistêmicos que podem ser fornecidos por solos em áreas urbanas enumerados em BRANCHART *et al.* (2018, p. 3) foram descritos como: a) Regulação da qualidade do ar; b) Regulagem climática; c) Tratamento de resíduos; d) purificação hídrica; e) atenuação de ruído; f) mitigação de desastres naturais; g) produção de alimentos; h) suporte para atividades humanas e serviços; i) suporte para obras de infraestrutura; j) suporte para habitat de fauna; l) fibras e matérias-primas; m) energia; n) produtos bioquímicos e recursos medicinais; o) recursos ornamentais; p) transporte de fluidos; q) conservação patrimonial e laser.

Para o caso da área de estudo, classificada como um *Dumping* SUI/TMAs e com destinação primária para o uso residencial, o principal serviço ecossistêmico a ser desempenhado pelo solo do local seria proveniente do suporte para obras de infraestrutura. O material dos horizontes de aterro do grupo Ater apresentam compactação que comprime a porosidade do solo e reduz o desenvolvimento de raízes das plantas (USDA, 2000). Os materiais de aterro compactados possibilitam a formação de uma camada apropriada para suportar edificações (MOREL; CHENU; LORENZ, 2015).

Entretanto, o índice de contaminação pode reduzir o desempenho das funções ecossistêmicas do solo da área de estudo com destinação residencial. Como demonstrado no item 5.5 dos Resultados, foram encontrados valores acima do permitido pela legislação para uso residencial e industrial para os elementos Cu, Zn, Pb e Sb. Os valores orientadores adotados pela CETESB para esses elementos são apresentados na Tabela 15.

Tabela 16 - Valores orientadores de contaminação conforme CETESB (2014) para os potenciais contaminantes encontrados nos solos analisados da TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2/TAD2.

Substância	Solo (mg kg^{-1} peso seco)				
	Valor de Referência	Valor de Prevenção (VP)	Valor de Intervenção Agrícola	Residencial	Industrial
Antimônio	<0,5	2	5	10	25
Chumbo	17	72	150	240	4400
Cobre	35	60	760	2100	10000
Zinco	60	86	1900	7000	10000

Adaptação: O autor, 2019.

Adotando os valores de intervenção para o uso residencial estipulado por CETESB (2014), os resultados de MEV/EDS para os contaminantes apresentaram valores de concentração acima do permitido, excetuando-se o elemento zinco, com valores variáveis entre os horizontes da TR01/TRAD1. As médias de Pb, Cu, Zn e Sb para essa trincheira foram, respectivamente: $1463,59 \text{ mg kg}^{-1}$, $18521,3 \text{ mg kg}^{-1}$, $3907,15 \text{ mg kg}^{-1}$ e $2602,68$. Para a TR02/TRAD2, as médias para tais elementos foram: $693,33 \text{ mg kg}^{-1}$, $7993,33 \text{ mg kg}^{-1}$, $3093,33 \text{ mg kg}^{-1}$ e $1906,67 \text{ mg kg}^{-1}$. Apesar da diferença de quantidade de horizontes analisados entre as trincheiras (7 na TR01/TRAD1 e 3 na

TR02/TRAD2) e da metodologia utilizada, diferente do método indicado pela CETESB, é possível identificar indícios de contaminação por metais nos solos analisados.

A própria agência fornecedora dos dados estipula um dispositivo normativo (DD 38/2017) para o gerenciamento e recuperação de áreas contaminadas, utilizando-se de técnicas de remediação apropriadas para determinada situação que visam a retirada ou redução dos contaminantes em solos e águas subterrâneas (CETESB, 2017). Assim, tal dispositivo pode contribuir, indiretamente, para a redução dos desserviços causados pela contaminação no solo.

Ainda que representando um tipo de local ocioso em uma região densamente urbanizada, lotes vagos como a área do presente estudo tem o potencial de fornecer outros serviços ecossistêmicos, de forma direta e indireta (HAASE et al., 2014; HERRMAN; SHUSTER; GARMESTANI, 2016). De acordo com os serviços apresentados acima, uma importante função do solo estipulada para essas áreas é a capacidade de sustentação de plantas. O desenvolvimento desse função pode ampliar a capacidade dos solos em áreas abandonadas em fornecer serviços ecossistêmicos tais como retenção e infiltração da água, redução das ilhas de calor à partir do suporte à vegetação, em um novo tipo de uso voltado a parques, praças e outras áreas verde (GREEN *et al.*, 2015). A densa área urbana do município de São Paulo apresenta média de 12,43m² de áreas verdes por habitante, índice pouco acima dos 12m² recomendados pela Organiza Múndia da Saúde (BRASIL, 2019). Há uma discrepância entre bairros com maior índice de arborização, como Tremembé/Jaçaã (151,31 m²/hab.) e Perus (247,24 m²/hab.) e baixos índices, como Itaim Paulista (2,24 m²/hab.) e São Miguel (3,43 m²/hab.) (AMATO-LOURENÇO *et al.*, 2016). Algumas cidades ao redor do mundo apresentam médias distintas, como em Linz na Áustria, com 27,14 m²/hab., Helsinki (Finlândia) com 25,51 m²/hab. e em cidades da como Liège, na Bélgica, e Valenciennes, na França, mais de 300 m²/hab. (FULLER & GASTON, 2009; KABISCH et al., 2016; BADIU et al., 2016).

Uma forma de avaliar a capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos nos usos dos solos urbanos é a avaliação de qualidade do solo (QS) (BRANCHART *et al.*, 2018), que pode ser realizada com métodos qualitativos e quantitativos (SEYBOLD

et al., 1997), dependendo do tipo de informações apresentadas e uso desejado para o solo. Com isso, aplicou-se a ferramenta SMAF (*Soil Management Assessment Framework*) desenvolvido por ANDREWS *et al.* (2004) para os solos da área de estudo com o objetivo de quantificação da qualidade para os dois perfis analisados, mesmo que hajam poucos exemplos para áreas urbanas (BERNISTON *et al.*, 2016; GOMES, 2019), ou em ambientes tropicais (CHERUBIN *et al.*, 2016; LISBOA *et al.*, 2019).

Os perfis estudados na área de estudo apresentaram distintos índices de qualidade, conforme o cálculo executado pelo SMAF. A TR01/TRAD1 apresentou média de 0,34 para os horizontes analisados, enquanto a TR02/TRAD2 foi de 0,60. Essa diferença, mesmo em perfis próximos, pode ser explicada pela influência dos parâmetros escolhidos para a mensuração da QS e quantidade de horizontes analisados. Pode-se notar que os valores de K e carbono orgânico são mais elevados na TR02/TRAD2 (médias de 3,08 e 4,80, respectivamente), na qual foram analisados mais horizontes com material orgânico do que na TR01/TRAD1 (com médias de 1,32 e 1,9, respectivamente). É possível notar que um incremento no índice é proporcional ao aumento dos *scores* de K e carbono orgânico para ambas as trincheiras, e que os perfis apresentam índices de qualidades semelhantes a partir da análise do valores por grupos de horizontes.

A ferramenta SMAF, conforme os autores que a propuseram, é voltada à avaliação da qualidade do solo para áreas sob cultivo agrícola. Dessa forma, sua aplicação para solos antrópicos e especificamente solos urbanos é restrita, embora nos critérios de quantificação do método haja o fator “solo urbano” no algoritmo de controle dos cálculos. Entretanto, é possível indicar as potencialidades da ferramenta para solos urbanos, pois, de maneira geral, considera-se para o cálculo do índice uma ampla gama de propriedades discerníveis em tais solos. Um refino para a ferramenta na aplicação em solos urbanos pode ser a consideração sobre a introdução de artefatos antrópicos artificiais, muito presente em tais solos, o que alteraria parâmetros como textura, estrutura e conteúdo de material orgânico. O SMAF considera o uso agrícola um fim para determinado solo analisado, e o uso urbano inclui outras atividades além do cultivo, o que poderia ser considerado pela ferramenta, ampliando sua abrangência e ao

mesmo tempo demandando de mais informações sobre os tipos de interferência antrópica em solos urbanos. No final, um conjunto de informações sobre a qualidade do solo urbano pode auxiliar tomadas de decisão de planejadores urbanos para o manejo de usos em cidades.

Algumas ferramentas foram desenvolvidas para o estudo da qualidade do solo em áreas urbanas e visam o auxílio à projetos de desenvolvimento urbano e uso e ocupação do solo. Iniciativas aplicadas em estudos em cidades européias como o “Urban SMS” (VRSCAJ *et al.*, 2008) e o projeto “UQualiSol-ZU” (GESSOL, 2002) pretendiam reconhecer as alterações nos solos urbanos implantadas pelas diversas ações antrópicas e usos. De maneira geral, considerando as propriedades de tais solos, tem-se o objetivo de fornecer um índice de qualidade satisfatório para projetos de desenvolvimento urbano. Porém, mesmo essas ferramentas apresentam certas limitações, como aplicação restrita em solos de localidades testadas e certa complexidade para o entendimento dos planejadores (BLANCHART *et al.*, 2018). Mesmo assim, com a versatilidade de uso de propriedades dos solos para os cálculos da ferramenta SMAF, observa-se a potencialidade de aplicação desse método para o estudo de solos urbanos.

Em conjunto com os dados calculados pelo SMAF, outros parâmetros podem contribuir para o diagnóstico do solo e reconhecimento de suas potencialidades na função de sustentação de plantas e suporte de áreas verdes. EMBRAPA (2015) fornece parâmetros para a avaliação da capacidade de solos em manter vegetação, com base nos valores de características químicas dos solos. Tais parâmetros estabelecem intervalos de valores utilizados na interpretação da fertilidade do solo (Tabela 16).

Tabela 17 - Valores utilizados para interpretação dos resultados das análises químicas fornecidos pela EMBRAPA.

Análises	Baixo	Médio	Alto
Matéria orgânica g kg ⁻¹	<1,5	1,5 - 3,0	>3,0
pH	<5,0	5,0 - 6,0	>6,0
Al cmolc kg ⁻¹	<0,5	0,5 - 1,0	>1,0
Ca cmolc kg ⁻¹	<1,6	1,6 - 3,0	>3,0
Mg cmolc kg ⁻¹	<0,4	0,4 - 1,0	>1,0
K mg kg	<30	30 - 60	60
CTC total cmolc kg ⁻¹	<5,0	5,0 - 15,0	>15,0
Saturação de Bases (%)	<50,0	6,0 - 15,0	>70,0
Saturação de Al (%)	<30,0	30,0 - 50,	>50,0

Fonte: SOBRAL *et al.*, 2015.

Os resultados de bases trocáveis demonstram a maior concentração do cátion Mg²⁺ dentre todos os cátions analisados, variando entre 8 cmol_c kg⁻¹ a 39 cmol_c kg⁻¹. No geral, os cátions Ca²⁺, Mg²⁺, e K⁺ estão em altas concentrações com base na comparação da Tabela 16 em praticamente todos os horizontes de ambas as trincheiras, o que incidiu nos valores altos de saturação de bases (%V) e CTC total para todos os horizontes da TR01/TRAD1 e médios na TR02/TRAD2. Assim, apesar das limitações físicas, os solos estudados apresentam média a alta disponibilidade de vários macronutrientes, o que facilita o desempenho do serviço de sustentação de plantas.

Ressalta-se, entretanto, que a concentração de Al³⁺ nos horizontes da TR02/TRAD2 diminuíram o pH dos horizontes superficiais do grupo Ater no perfil, o que pode prejudicar a disponibilidade de nutrientes e crescimento de plantas. Mas a correção da acidez provocada pelo Al³⁺ nesses horizontes pode ser feita por calagem, com o objetivo de introduzir íons Ca²⁺, Mg²⁺ nessa porção do solo. Valores de matéria orgânica foram encontrados em maiores concentrações nos horizontes pretos do grupo Misto e Orig, embora tais horizontes só possam ser acessados por escavação.

De acordo com os resultados discutidos, é possível indicar que, para os solos das trincheiras TR01/TRAD1 e TR02/TRAD2, há a potencialidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos com base em suas características e propriedades químicas, físicas e biológicas, conforme a hipótese levantada pelo trabalho. Tais serviços estão relacionados principalmente ao suporte de obras civis, caso haja remediação da

contaminação potencialmente presente e a capacidade de dar suporte a plantas, caso haja algum manejo envolvido, como correção da compactação e da acidez dos horizontes superficiais.

Os solos do grupo Ater da área de estudo apresentem alta densidade provocada pela compactação do material de aterro, o que pode ser reduzida por métodos descompactação física e biológica do solo. Tais métodos referem-se, respectivamente, a aplicação de aragem ou escarificação por máquinas e a introdução de material orgânico de espécies vegetais pelo sistema radicular denso com raízes pivotantes para penetrar e romper as camadas compactadas (EMBRAPA, 2000).

Caso o terreno seja utilizado para implantação de uma área verde, aumentando a disponibilidade de áreas verdes na cidade, as funções ecossistêmicas dos solos podem aumentar substancialmente, já que a presença de vegetação pode favorecer os serviços de regulação do ciclo hidrológico, com aumento da infiltração e mitigação de possíveis inundações para uma área aplainada, e do clima, com maior capacidade de sequestro de carbono, melhoria da qualidade do ar e redução de ilhas de calor provocadas pela densa ocupação urbana. Outros serviços podem ser fornecidos, como áreas de lazer e recreação para os habitantes locais e como refúgio para animais, principalmente aves.

É possível reproduzir os resultados discutidos para a área em estudo em outras localidades que apresentam configuração pedológica semelhante nas planícies aluvionares quaternárias no município de São Paulo. Tais planícies encontram-se principalmente ao longo dos cursos dos rios principais da Região Metropolitana de São Paulo, como nos rios Pinheiros, Tietê e Tamanduateí. Pesquisas em andamento realizadas pelo grupo de pesquisa da LAMAS/UNIFESP apontam tais áreas estejam predominantemente recobertas por camadas de aterro e/ou camadas de artefatos antrópicos que imprimem certa compactação, o que auxilia na implementação de construções urbanas, tipicamente presentes nesses locais. Tais camadas podem atingir dois metros ou mais de profundidade e geralmente estão enterrando os solos originais que estavam em superfície antes do aterramento, sendo estes compostos por um horizonte superficial muito enriquecido em matéria orgânica. Estes resultados apontam que, assim como a área de estudo, outros solos nas áreas das planícies desses rios têm a

capacidade, mesmo que prejudicada, de fornecimento de serviços ecossistêmicos, o que pode ser aumentada aplicando-se métodos de manejo dos solos, como descompactação e introdução de material orgânico em materiais provenientes de aterro.

7. Considerações Finais

O presente trabalho buscou abordar a temática dos solos urbanos como recentes coberturas pedológicas formadas a partir de interferências antrópicas. Com isso, foi necessário recuperar o entendimento do que seriam essas coberturas pedológicas, as possíveis interferências antrópicas e suas implicações para as propriedades dos solos. Além disso, possibilidades de classificação e com base em sistemas nacionais foram discutida.

A importância do reconhecimento das características desses tipos de solos pode auxiliar em avaliações do potencial de tais coberturas em desempenhar funções para fornecer serviços ecossistêmicos, como em solos naturais ou sob cultivo. Com isso, o estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de fornecimento de alguns serviços para a região do Brás, localidade densamente ocupada da cidade de São Paulo. Foi possível constatar que o solo do lote estudado pode fornecer serviços, não só aqueles típicos de áreas urbanas como o suporte para construção civil, mas também apresenta o potencial de suportar o crescimento de plantas, o que poderia atribuir ao local uso destinado à parques e áreas verdes, com base em algumas medidas corretivas de manejo.

Com isso, a utilização da área de estudo como área verde poderia impulsionar a melhora de outros parâmetros locais, como o aumento da cobertura arborea por habitante na região, regulagem climática e local de retenção e mitigação de fluxo superficial para uma região com pouca cobertura vegetal e alta impermeabilização do solo.

8. Bibliografia

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim do Inst. Geográfico e Geológico, n.41, 1964;

AMATO-LOURENÇO, L. F.; MOREIRA, T. C. L.; ARANTES, B. L.; SILVA FILHO, D. F.; MAUAD, T.. Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. Estudos Avançados, [s.l.], v. 30, n. 86, p.113-130, abr. 2016;

ANDRADE, M. M. Bairros Além-Tamanduateí: o imigrante e a fábrica no Brás, Moóca e Belenzinho. Tese de Doutorado – FFLCH, São Paulo, 1991;

ANDRADE, M. M. Brás, Moóca E Belenzinho - bairros italianos na São Paulo além tamanduateí. Geography Department, University Of Sao Paulo, [s.l.], v. 8, p.97-102, 1994.

ANDRADE, D.; ROMEIRO, A. Capital natural, serviços ecossistêmicos, e sistemas econômicos: rumo a uma economia dos ecossistemas. Texto para discussão: I/E Unicamp, Campinas, n. 159, maio 2009. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/...on/.../000-ba8e809727ffdd88eCam84852a8cd209fb.pdf>
Acesso em Jun. de 2019.

ANDREWS, D. C. Soils of the Perth area - the city centre. CSIRO - Division of Applied Geomechanics. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, 1971;

ANDREWS, S.S.; KARLEN, D.I.; MITCHELL, J.P.. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems & Environment, [s.l.], v. 90, n. 1, p.25-45, jun. 2002;

ANDREWS, S.S., KARLEN, D.L., CAMBARDELLA, C.A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:1945–1962, 2004.

BADIU, D. L.; IOJA, C. I.; PATROESCU, M.; BREUSTE, J.; ARTMAN, M.; NITA, GRADINARU, S. R.; HOSSU, C. A.; ONOSE, D. A. . Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities sustainability goals? Romania as a case study. Ecological Indicators, [s.l.], v. 70, p.53-66, nov. 2016.

BENISTON, J. W.; LAL, R.; MERCER, K. L.. Assessing and Managing Soil Quality for Urban Agriculture in a Degraded Vacant Lot Soil. Land Degradation & Development, [s.l.], v. 27, n. 4, p.996-1006, 10 mar. 2015.

BIDWELL, D. W.; HOLE, F. D. Man as a factor of soil formation. Soil Science. 99, 65–72, 1965;

BLANCHART, A.; SÉRÉ, G.; CHEREL, J.; WAROT, G.; MARIE, S.; NOEL, C. J.; MOREL, J. L.; SCHWARTZ, C.. Towards an operational methodology to optimize

ecosystem services provided by urban soils. *Landscape And Urban Planning*, [s.l.], v. 176, p.1-9, ago. 2018.

BLUME, H.. Classification of soils in urban agglomerations. *Catena*, [s.l.], v. 16, n. 3, p.269-275, jun. 1989;

BLUME, H.; RUNGE, M.. Genese und Ökologie innerstädtischer Böden aus Bauschutt (Development and ecology of inner city soils from rubble). *Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde*, [s.l.], v. 141, n. 6, p.727-740, 1978;

BRASIL. Rede Social Brasileira por Cidades Justas e Sustentáveis. 2019. Disponível em:<<https://www.redesocialdecidades.org.br/area-verde-por-habitante?graphs=135&view=graph>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

BRYANT, R. B.; GALBRAITH, J. M.. Incorporating Anthropogenic Processes in Soil Classification. In: ESWARAN, Hari et al. *Soil classification: a global desk reference*. Boca Raton: Crc Press Llc, 2003. p. 57-64.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MADER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W. VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L.. Soil quality – A critical review. *Soil Biology And Biochemistry*, [s.l.], v. 120, p.105-125, 2018.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A.. *Soils Genesis and classification*. Ames, Iowa : Iowa State Press : Blackwell Publishers, 2007.

BURGHARDT, Wolfgang. Soils in urban and industrial environments. *Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde*, [s.l.], v. 157, n. 3, p.205-214, 1994.

BURGHARDT, W.; MOREL, J. L.; ZHANG, G-L.. Development of the soils research about urban, industrial, traffic, mining and military areas (SUITMAS). *Soil Science and Plant Nutrition* , 61, 3–21, 2015;

BURGHARDT, W.; MOREL, J. L.; TAHOUN, S. A.; ZHANG, G-L.; SHAW, R. K.; BOULARBAH, A. CHARZYNSKI, P.; SIEBE, C.; KIM, K. H-J.. Activities of SUITMA: from origin to future. In: LEVIN, M. *et al.* Soils within cities. IUSS Working Group SUITMAs, Catena – Schweizerbart, Stuttgart, 2017;

BURGHARDT, W. Characteristics of urban soils. In: LEVIN, M. *et al.* Soils within cities. IUSS Working Group SUITMAs, Catena – Schweizerbart, Stuttgart, 2017.

BULLOCK, P. & GREGORY, P. J. Soils in the urban environment. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Great Britain, 1991;

CALDO, MARIANA K. Estimativa de parâmetros geotécnicos dos solos variegados da formação São Paulo utilizando ensaios *in situ*. Dissertação de Mestrado – EPUSP, São Paulo, 2015;

CANTARELLA, H.; VAN RAIJ, B.; COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C. Determinação de Alumínio, Cálcio e Magnésio trocáveis em extrato de Cloreto de Potássio. In: RAIJ, B., ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. IAC, Campinas, 2001;

CAMARGO, O.A.; MOMINZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Boletim Técnico, 106. Instituto Agronômico, Campinas, 2009;

CAPRA, G. F.; GANGA, A.; GRILLI, E. VACCA, S.; BUONDONNO, A. *et al.* A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective. J Soils Sediments, 15:1602–1618, 2015;

CHARZYŃSKI, P.; PLAK, A.; HANAKA, A.. Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors. Environmental Science And Pollution Research, [s.l.], v. 24, n. 5, p.4801-4811, 16 dez. 2016.

CHEMEKOV Y.F. Technogenic deposits. In: INQUA CONGRESS, 11, Moscow, Abstracts... INQUA, 1983, v.3, p. 62.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L. C.; CEERRI, C. E. P.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. C.. A Soil Management Assessment Framework (SMAF) Evaluation of Brazilian Sugarcane Expansion on Soil Quality. *Soil Science Society Of America Journal*, [s.l.], v. 80, n. 1, p.215-226, 2016.

CRAUL, P. J. A description of urban soils and their desired characteristics. *Journal of Arboriculture* 11(11): November, 1985;

CRAUL, P. J. Urban Soil: Problems and Promise. *Arnoldia*, Cambridge, v. 51, n. 1, p.23-32, 1991;

CRAUL, P. J. *Urban Soil in Landscape Design*. Nova York: John Wiley & Sons, 1992. 416 p.

CRUTZEN, Paul J.; STOEMER, Eugene F.. The Anthropocene. *Global Change Newsletter: The International Geosphere–Biosphere Programme (IGBP): A Study of Global Change of the International Council for Science (ICSU)*. Estocolmo, p. 17-18. maio 2000;

CRUTZEN, Paul J.. Geology of mankind. *Nature*, [s.l.], v. 415, n. 6867, p.23-23, jan. 2002a.

CRUTZEN, Paul J.. The “anthropocene”. *Journal de Physique Iv (proceedings)*, [s.l.], v. 12, n. 10, p.1-5, nov. 2002b.

COMPANHIA AMBIENTAL DE SÃO PAULO (CETESB). DD N° 256/2016/R: Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea. São Paulo: Diário Oficial Estado de São Paulo, 2014, edição n°126 (219) do dia 24/11/2016, Páginas: 55 e 56.

COSTANZA, R.; Daly, H. E.. *Natural Capital and Sustainable Development*. *Conservation Biology*, vol. 6, no. 1, pp. 37–46, 1992.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.;

SUTTON, P.; BELT, M. V. B.. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, [s.l.], v. 387, n. 6630, p.253-260, maio 1997.

COUTINHO, J. M. V. Relações litológicas e estruturais da Bacia de São Paulo com o Pré-Cambriano Vizinho. In: Mesa Redonda ABGE e Sociedade Brasileira de Geologia, 1980, São Paulo. Publicação Especial. São Paulo, 1980. p. 15-23;

COZZOLINO, V. M. Considerações sobre o conceito de camadas do ponto de vista geotécnico na Bacia de São Paulo. In: Mesa redonda sobre Aspectos Geológicos na Bacia Sedimentar de São Paulo. Anais... ABGE/SBG, São Paulo, p. 47-52;

CURCIO, G. R.; LIMA, V. C.; GIAROLA, N. F. B. Antropossolo: Proposta de Ordem: (1ª aproximação). Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 49 p.

DA COSTA, S.M.F. & CINTRA, J.P. Environmental analysis of metropolitan areas in Brazil. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 41–49, 1999;

DAILY, G. C. Introduction: What is ecosystem services? In: DAILY, G. C. *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Washington D. C.: Island Press, 1997. p. 1-10.

DAZZI, C. & LO PAPA, G.: Anthropogenic soils: general aspects and features. *Ecocycles* 1(1): 3-8 (2015);

DE KIMPE, C. R. ; MOREL, J.-L. Urban soil management:: a growing concern. *Soil Science*, [s.l.], v. 165, n. 1, p.31-40, jan. 2000;

DING, K. *et al.* Ecosystem services provided by heavy metal contaminated soils in China. In: LEVIN, M. *et al.* *Soils within cities*. IUSS Working Group SUITMAs, Catena – Schweizerbart, Stuttgart, 2017;

DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, [s.l.], v. 69, n. 9, p.1858-1868, jul 2010.

DORAN, J.W., PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F., STEWART, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Madison, WI, pp. 3–21, 1994;

DUDAL, R. The Sixth Factor of Soil Formation. *Eurasian soil science*. Vol. 38, Suppl. 1, 2005, pp. 560-565, 2005;

DUDAL, R., NACHTERGAELE, F.O., PUMELL, M.F., The human factor of soil formation. Paper Presented at 2002 IUSS Meeting, Symposium n°18, paper n°93. Bangkok, Thailand, 2002;

EFFLAND & POUYAT. The genesis, classification and mapping of soils in urban areas. *Urban Ecosystems*, 1, 217–228, 1997;

EL ARABY, M. Urban growth and environmental degradation: the case of Cairo, Egypt. *Cities*, Vol. 19, No. 6, p. 389–400, 2002;

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Embrapa Solos, 2. ed., Rio de Janeiro, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Embrapa Solos, 5. ed., Brasília, 2018.

FANNING, D. S., STEIN C. E.; PATTERSON, J. C. Theories of genesis and classification of highly maninfluenced soils. In *Abstracts of commission papers*, Vol. 1, 11th congress of the international society of soil science, p. 283. Edmonton, Canada, 1978.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO/ONU. World reference base for soil resources (WRB). Rome, 2014;

FORATTINI, O. P. Qualidade de vida e meio urbano: a cidade de São Paulo, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, [s.l.], v. 25, n. 2, p.75-86, abr. 1991.

FULLER, R. A.; GASTON, K. J.. The scaling of green space coverage in European cities. *Biology Letters*, [s.l.], v. 5, n. 3, p.352-355, 25 fev. 2009.

GOMES, W. S. Qualidade e serviços ecossistêmicos do solo em uma antiga área de uso industrial no município de Diadema/SP. 2019. Dissertação (Mestrado) - Curso de Análise Ambiental Integrada, Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2019, 107 f.

GONÇALVES, Paulo Cesar. A Hospedaria de Imigrantes de São Paulo: um novo espaço para o recrutamento de braços europeus pela economia cafeeira. In: MENEZES, Lená Medeiros de; SOUSA, Fernando de (Org.). *Brasil-Portugal: Pontes sobre o Atlântico. Múltiplos Olhares sobre a E/Imigração*. Rio de Janeiro: Uerj, 2017. p. 251-263.

GOUDIE, ANDREW S.; VILES, HEATHER A.. Introduction to the Anthropocene and Anthropogeomorphology. In *Geomorphology in the Anthropocene*, 1–14. Cambridge: Cambridge University Press, 2016;

GREEN, O. O.; GARMESTANI, A. S.; ALBRO, S.; BAN, N. C.; BERLAND, A.; BURKMAN, C. E.; GARDINER, M. M.; GUNDERSON, L.; HOPTON, M. E.; SHOON, M. L.; SHUSTER, W. D.. Adaptive governance to promote ecosystem services in urban green spaces. *Urban Ecosystems*, [s.l.], v. 19, n. 1, p.77-93, 16 jun. 2015.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74:367-85, 1994.

GREGORY, J H.; DUKES, M. D.; JONES, P. H.; MILLER, G. L.. Effect of Urban Soil Compaction on Infiltration Rate. *Journal Of Soil And Water Conservation*, [s. L.], v. 61, n. 3, p.117-124, 2006.

GREINERT, A. The heterogeneity of urban soils in the light of their properties. *Journal Of Soils And Sediments*, [s.l.], v. 15, n. 8, p.1725-1737, jan. 2015.

GREINERT, A. Functions of soils in the urban environment. In: LEVIN, M. et al. *Soils within cities*. IUSS Working Group SUITMAs, Catena – Schweizerbart, Stuttgart, 2017;

GRENZIUS, R; BLUME, H. Set up and ecological evaluation of the soil association map of the city Berlin, Germany. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Geselsch.*, Göttingen, 36, 57–62, 1983.

GROSSMAN, R.B., HARMS , D.S., SEYBOLD, C.A., HERRICK , J.E. Coupling use-dependent and use-invariant data for soil quality evaluation in the United States. *J. Soil Water Conserv.* 56:63–68, 2001.

GROOT, R. De; VAN DER PERK, J.; CHIESURA, A.; MARGULIEW, S. Ecological Functions and Socioeconomic Values of Critical Natural Capital as a Measure for Ecological Integrity and Environmental Health. In: CRABBÉ, P.; HOLLAND, A.; RYSZKOWSKI, L.; WESTRA, L. (eds) *Implementing Ecological Integrity*. Nato Science Series (Series IV: Earth and Environmental Series), vol 1. Springer, Dordrecht, 2000, pp. 191-214;

GROOT, R. de; WILSON, M.; BOUMANS, R. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, [s.l.], v. 41, n. 3, p.393-408, jun. 2002;

GROSTEIN, M. D. *Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos*. São Paulo em Perspectiva, [s.l.], v. 15, n. 1, p.13-19, jan. 2001.

GUNTHER, W. M. R. *Contaminação ambiental por disposição inadequada de resíduos industriais contendo metais pesado: Estudo de caso*. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

HAASE, A.; RINK, D.; GROSSMANN, K.; BERNT, M.; MYKHENKO, V. Conceptualizing Urban Shrinkage. *Environment And Planning A: Economy and Space*, [s.l.], v. 46, n. 7, p.1519-1534, jan. 2014.

HARRIS, R. F., D. L. KARLEN, D. J. MULLA. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. p. 61-82. In: DORAN, J.W. & JONES, A. J. (eds.) *Methods for Assessing Soil Quality*, SSSA Spec. Pub. No. 49, Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, 1996.

HANSEN, B; GRATTAN, S; FULTON, A. *Agricultural Salinity and Drainage*. Davis: Univ. Of California Press, 1993. 164 p.

HASUI, Y. ALMEIDA, F. F. M. As Estruturas Brasileiras. *Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, Recife, v. 6, 1978;

HASUI, Y., CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Bacia Sedimentar da Bacia Sedimentar de São Paulo. In.: *Mesa Redonda sobre aspectos geológicos e geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo*, SBG/ABGE, Publ. Esp., 1980, 5-13;

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira folded belt. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 5, n. 4, p. 257-266, 1975;

HASUI, Y.; GIMENEZ, A. F.; MELO, S. M. Sobre as bacias tafrogênicas continentais do Sudeste brasileiro. *Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, Recife, v. 1, 1978;

HASUI, Y., SADOWSKI, G. R., CARNEIRO, C. D. R. Considerações sobre a estratigrafia do pré-cambriano na região metropolitana de São Paulo. *Boletim IG. Instituto de Geociências, USP*. V. 7: 107 - 112, 1976;

HE, M.; WANG, X.; WU, F.; FU, Z. Antimony pollution in China. *Science Of The Total Environment*, [s.l.], v. 421-422, p.41-50, abr. 2012.

HERRICK, J.E.; WANDER, M.M., Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: the importance of distribution, composition and

soil biological activity. In: Lal, R. (Ed.), Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press Boca Raton, FL, 1997, pp. 405–425;

HERRMANN, D. L.; SHUSTER, W. D.; GARMESTANI, A. S.. Vacant urban lot soils and their potential to support ecosystem services. Plant And Soil, [s.l.], v. 413, n. 1-2, p.45-57, 4 abr. 2016;

HILLER, D. A. Properties of Urbic Anthrosols from an abandoned shunting yard in the Ruhr area, Germany. Catena, [s.l.], v. 39, n. 4, p.245-266, maio 2000.

HOLLIS, J. M.. The Classification of Soils in Urban Areas. In: BULLOCK, Peter; GREGORY, Peter (Ed.). Soils in the Urban Environment. Oxford: The Classification Of Soils In Urban Areas, 1991. p. 5-27.

HORVÁTH, A.; SZUCS, P.; BIDLÓ, A.. Changes in soil and sediment properties due the impact of the urban environment. Environmental Earth Sciences, [s.l.], v. 75, n. 17, p.1-10, ago. 2016.

ICOMANTH Circular letter, Vol. 4. International Committee for Anthropogenic Soils, 2003;

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Galvanoplastia: orientações para o controle ambiental/ Instituto Estadual do Ambiente. 2. Ed, INEA: Rio de Janeiro, 2014.

JENERETTE, G. D.; HARLAN, S. L.; STEFANOV, W. L; MARTIN, C. A.. Ecosystem services and urban heat riskscape moderation: water, green spaces, and social inequality in Phoenix, USA. Ecological Applications, [s.l.], v. 21, n. 7, p.2637-2651, out. 2011;

JORDAN, L.D., HOGAN D.J. Survey of lead in Christchurch soils. New Zealand Journal of Soil Science, 18, 253–260, 1975.

JULIANI, C. O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. Seminário problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. Anais ABAS/ ABGE/SBG-SP. São Paulo, 1992;

JENNY, H. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York, 1941;

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. p. 53-72. In: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, 1994;

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). Soil Science Society Of America Journal, [s.l.], v. 61, n. 1, p.4-10, 1997.

KARLEN, D. L.; ANDREWS, S. S.; WEINHOLD, B. J., DORAN, J. W.. Soil quality: Humankind's foundation for survival. Journal of Soil and Water Conservation, v. 58, n. 4, p. 171-179, Jul-Aug, 2003.

KARLEN, D. L. ANDREWS, S. S.; WEINHOLD, B. J.; ZOBECK, T. M.. Soil Quality Assessment: Past, Present and Future. Journal of Integrative Biosciences, 6:1, 2008.

LAURENTINO. F. P. Várzeas do Tamanduateí: industrialização e desindustrialização. Dissertação de Mestrado – FFLCH/USP, São Paulo, 2002;

LARSON, W.E. PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. p. 175-203. In: Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand: International Board for Research and Management, 1991. IBSRAM Proceedings No. 12(2), 1991;

LEHMANN, A.; STAHR, K. Nature and significance of anthropogenic urban soils. Journal Of Soils And Sediments, [s.l.], v. 7, n. 4, p.247-260, 26 jun. 2007

LIMA, C. R. Urbanização e intervenções no meio físico na borda da bacia sedimentar de São Paulo, uma abordagem geomorfológica. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso

de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

LISBOA, I. P.; CHERUBIN, M. R.; SATIRO, L. S.; SIQUEIRA-NETO, M.; LIMA, R. P.; GMACH, M. R.; WIENHOLD, B. J.; SCHMER, M. R.; JIN, V. L.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P... Applying Soil Management Assessment Framework (SMAF) on short-term sugarcane straw removal in Brazil. *Industrial Crops And Products*, [s.l.], v. 129, p.175-184, mar. 2019.

LOCZY, L; LADEIRA, E. A. *Geologia estrutural e introdução à geotectonica*. Ed. Edgard Blancher/CNDT, Rio de Janeiro, 1976

LOSCHER, C.; BEVERAGE, W. W.. *Soil Survey of Tucker County and Part of Northern Randolph County, West Virginia*. Washington D. C: U. S. Government Printing Office, 1967. 78 p.

LANGENBUCH, J. R.. *A estruturação da Grande São Paulo: Estudo de geografia urbana*. 1974. 559 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia Humana, Universidade Estadual de Campinas, Rio Claro, 1974.

KABISCH, N.; STROHBACH, M.; HASEE, D.; KRONENBERG, J. Urban green space availability in European cities. *Ecological Indicators*, [s.l.], v. 70, p.586-596, nov. 2016.

MARTINELLI, M. Relevo do Estado de São Paulo. *Confins* [Online], 7, 2009, posto online no dia 09 novembro 2009. URL : <http://journals.openedition.org/confins/6168>

MANTA, D. S.; ANGELONE, M.; BELLANCA, A.; NERI, R.; SPROVIERI, M. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *Science Of The Total Environment*, [s.l.], v. 300, n. 1-3, p.229-243, dez. 2002.

MASSAD, F. Características e propriedades geotécnicas de alguns solos. In: *Mesa redonda sobre Aspectos Geológicos e geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo*. Anais... ABGE/SBG, São Paulo, 53 p.;

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). Programa das Nações Unidas Para O Meio Ambiente - Unep. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for assessment. Washington: Island Press, 2003. 265 p.

MCDONNELL, M. J.; PICKETT, S. T. A.. Ecosystem Structure and Function along Urban-Rural Gradients: An Unexploited Opportunity for Ecology. *Ecology*, [s.l.], v. 71, n. 4, p.1232-1237, ago. 1990.

MENDES, R. S. Os bairros da zona norte e os bairros orientais. In: AZEVEDO, A. (Org.). *A cidade de São Paulo – estudos de geografia urbana*. São Paulo, Cia. Editora Nacional, Vol. III, Cap.4, 1958.

MOREL, J.L.; SCHWARTZ, C.; FLORENTIN, L.; DE KIMPE, C.. Urban Soils. *Encyclopedia Of Soils In The Environment*, In: HILLEL, Daniel (Ed.). 3 ed., Londres: Elsevier, 2005, p.202-208.

MOREL, J. L.; CHENU, C.; LORENZ, K.. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAS). *Journal Of Soils And Sediments*, [s.l.], v. 15, n. 8, p.1659-1666, 13 jun. 2015;

MOREL, J. L.; LORENZ, K.; CHENU, SÉRÉ, G. Urban soils are primary providers of ecosystem services. In: LEVIN, M. *et al.* *Soils within cities*. IUSS Working Group SUITMAS, Catena – Schweizerbart, Stuttgart, 2017.

GE, Y.; MURRAY, P.; HENDERSHOT, W.H.. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. *Environmental Pollution*, [s.l.], v. 107, n. 1, p.137-144, jan. 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Soil and water quality: An agenda for agriculture*. National. Acad. Press, Washington, D.C., 1993, 516 pp.

NIMMO, J. R.. Porosity and Pore Size Distribution. In: HILLEL, Daniel (Ed.). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. 3. ed. Londres: Elsevier, 2004. p. 1-11.

NIR, D. 1983. Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology. D. Reidel publishing Co., Keter publishing, Jerusalém, 165 p.

NORRA, S; STUBEN, D. Urban soils. Journal Of Soils And Sediments, [s.l.], v. 3, n. 4, p.230-233, dez. 2003.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NCR). Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. National Academy Press, Washington, D.C., 516 pp, 1993.

PALMIERI, F.; SANTOS, H. G.; GOMES, I. A.; LUMBRERAS, J. F.; AGLIO, M. L. D. The Brazilian Soil Classification System. In: ESWARAN, Hari.; RICE, T.; AHRENS, R.; STEWART, B. A. (Ed.). Soil classification: a global desk reference. Boca Raton: Crc Press Llc, 2003. p. 127-145.

PAVARELLI, L. C. Diagnóstico ambiental das áreas susceptíveis à contaminação por metais no pólo industrial de fundição em Loanda, PR. 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Nuclear, Ipen - Instituto de Pesquisas Energéticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KAMINSKI, J. Solos Urbanos. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.5, p.1647-1653, 2004;

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; BOTELHO, M. R.; MENEZES, F. P. Levantamento e Classificação de Áreas Urbanas: Importância, limitações e aplicações. R. Bras. Agrociência, Pelotas, v. 13, n.2, p. 147-151, 2007;

PETRONE, P. São Paulo no século XX. In: AZEVEDO, A. (Org.). A cidade de São Paulo – estudos de geografia urbana. São Paulo, Cia. Editora Nacional, Vol. II, Cap.3, 1958.

PONÇANO, W. L *et al.* Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo: Notícia explicativa. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. São Paulo: Publicação IPT, 1981. 1 v.

POUYAT, R. V. The urban-rural gradient: an opportunity to better understand human influences on forest soils. In Proceedings of the society of american foresters, 1990 annual convention, Washington DC, pp. 212–218. July 27–Aug. 1, 1990.

POUYAT, R. V.; SZALAVECZ, YESILONIS, I. D.; GRAFFMAN, P. M.; SCHWARZ, K. Chemical, Physical, and Biological Characteristics of Urban Soils. In: AITKENHEAD-PETERSON, Jacqueline; VOLDER, Astrid. Urban Ecosystem Ecology. Madison: American Society Of Agronomy, Crop Science Society Of America, Soil Science Society Of America, 2010. p. 119-152.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP) (Município). Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014. Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo. São Paulo, Diário Oficial de São Paulo, 2014.

PRICE, S. J.; FORD, J. R.; COOPER, A. H.; NEAL, C. Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in Great Britain. Philosophical Transactions Of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, [s.l.], v. 369, n. 1938, p.1056-1084, mar. 2011.

PUSKÁS, I.; FARSANG, A.. Diagnostic indicators for characterizing urban soils of Szeged, Hungary. Geoderma, [s.l.], v. 148, n. 3-4, p.267-281, jan. 2009.

QUAGGIO, J.A.; VAN RAIJ ,B. Determinação do pH em Cloreto de Cálcio e da Acidez Total. In: RAIJ, B., ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. IAC, Campinas, 2001.

REHIM, S. S. A. El; AWAD, A.; SAYED, A. El. Electroplating of antimony and antimony-tin alloys. Journal Of Applied Electrochemistry, [s.l.], v. 17, n. 1, p.156-164, jan. 1987.

RICCOMINI, C. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, São Paulo, 1989;

RICCOMINI, C., COIMBRA, A. M., TAKIYA, H. Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. Seminário: Problemas geológicos e Geotécnicos da Região Metropolitana de São Paulo. Anais. ABAS/ABGE/SBG-SP. São Paulo, 1992;

RICCOMINI, C., SANT'ANNA, L. G., FERRARI, A. L. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In.: Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Deca, 2004, 383-405;

RODRIGUES, C. Geomorfologia aplicada: Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros. 279 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

RODRIGUES, C. Morfologia Original e Morfologia na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo da metrópole paulista. Revista do Departamento de Geografia, nº17, São Paulo, 101-111, 2005;

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidro-geomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. Geography Department, University Of Sao Paulo, [s.l.], p.111-125, 2010.

RODRIGUES, C.; GOUVEIA, I. C. M.-C.; LUZ, R. A.; VENEZIANI, Y.; SIMAS, I. T. H.; SILVA, J. P. Antropoceno e mudanças geomorfológicas: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. Instituto Geologico, [s.l.], v. 40, n. 1, p.105-123, 26 jun. 2019.

RODRÍGUEZ-SEIJO, A.; ANDRADE, M. L.; VEGA, F. A.. Origin and spatial distribution of metals in urban soils. Journal Of Soils And Sediments, [s.l.], v. 17, n. 5, p.1514-1526, 19 nov. 2015.

ROLNIK, R.; FRUGOLI JUNIOR, H.. Reestruturação urbana da metrópole paulistana: a Zona Leste como território de rupturas e permanências. Cadernos MetrÓpole: Desigualdade e governança, São Paulo, v. 6, p.43-66, 2001.

ROMIG, D.E., GARLYND, M.J., HARRIS, R.F. Farmer-based assessment of soil quality: a soil health scorecard. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America, pp. 39–60, 1996.

ROSS, J. L. S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. *Revista do Departamento de Geografia*, nº4, São Paulo, 1985 p. 45-53;

ROSS, J. L. S. e MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo, DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1996;

RUDDIMAN, W. F. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change*, 61, 261–93, 2003.

SADANA, Y.n.; SINGH, J.p.; KUMAR, R.. Electrodeposition of antimony and antimony alloys— A review. *Surface Technology*, [s.l.], v. 24, n. 4, p.319-353, abr. 1985.

SADOWSKI, G. R. A Mega falha de Cubatão no sudeste brasileiro. Instituto de Geociências/USP, São Paulo, 1991;

SARRANTONIO, M.; DORAN, J. W.; LIEBIG, M. A.; HALVORSON, J. J. On-Farm Assessment of Soil Quality and Health. In: DORAN, John W. et al. *On-Farm Assessment of Soil Quality and Health. Methods For Assessing Soil Quality*, Soil Science Society of America, [s.l.], p.83-105, 1996;

SANTOS, D. B; GARCIA, M. J.; SAAD, A.; R.; BISTRICHI, C. A. Palinoestratigrafia da Formação Itaquaquecetuba, Bacia de São Paulo, Brasil. *Rev. bras. paleontol.* 13(3):1-3, 2010;

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solono campo. 5ª ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS, Viçosa, 2005.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Prefeitura Municipal de São Paulo (Org.). GEOSAMPA. 2019. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx>.

SENCINDIVER, J. C., AMMONS, J. T., DELP, C. H. Classification of mine soils - a proposed suborder. In: Abstracts for Commission Papers, 11th International Congress of Soil Science. Canadian Society of Soil Science, Edmond, p. 30, 1978;

SEYBOLD, C. A.; MAUSBACH, M. J.; KARLEN, D. L.; ROGERS, H. H. Quantification of soil quality. In: LAL, R. *et al.*, (eds.). Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton, FL. 1997, pp. 387- 404.

SCALENGHE, R.; MARSAN, F. A.. The anthropogenic sealing of soils in urban areas. Landscape And Urban Planning, [s.l.], v. 90, n. 1-2, p.1-10, mar. 2009;

SCHARENBRUCH, B. C.; LLOYD, J. E.; JOHNSON-MAYNARD, Jodi L.. Distinguishing urban soils with physical, chemical, and biological properties. Pedobiologia, [s.l.], v. 49, n. 4, p.283-296, ago. 2005;

SHEPHERD, T. G. Visual Soil Assessment - Volume 1. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Horizons.mw & Landcare Research, Palmerston North, New Zealand, 2000, 84 p.

SHEPHERD, T. G.; ROSS, C.; BASHER, L.; SAGGAR, S.. Visual Soil Assessment - Volume 2. Soil management guidelines for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Horizons.mw & Landcare Research. Palmerston North, New Zealand, 2000, 44 p.

SHERLOCK, R. L.. Man a geological agent: An account of his action of inanimate nature. Londres: H. F. & G. Witherby, 1922. 372 p.

SHORT, John R.; PATTERSON, James C.. Urban soils of Washington D.C. The George White Forum, [s.l.], v. 4, n. 1, p.15-23, 1985.

SILVA, F.C., ABREU, M.F., PÉREZ, D.V, EIRA, P.A.; ABREU, C.A., VAN RAIJI, B., GIANELLO, C.; COELHO, A.M.; QUAGGIO, J.A.; TADESCO, M.J.; SILVA, C.A.; CANTARELLA, H.; BARRETO, W.O. (2009) Métodos de Análises químicas para fins de fertilidade do solo, Capítulo 1, In: Silva, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, 2ª edição revista e ampliada, p. 130-138.

SMITH, H. Soil Survey of District of Columbia. US Government Printing Office, Washington D.C., 1976, 194 p.

SMITH, J.L.; DORAN, J.W.. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. p. 169–186. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. (ed.) Methods for assessing soil quality, SSSA Spec. Publ. No. 49. SSSA, Madison, WI, 1996;

STEFFEN, W.; CRUTZEN, P.J.; MCNEILL, J. R.. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, [s.l.], v. 36, n. 8, p.614-621, dez. 2007;

STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L. Evaluation of β -Glucosidase Activity as a Soil Quality Indicator for the Soil Management Assessment Framework. *Soil Science Society Of America Journal*, [s.l.], v. 74, n. 1, p.107-119, 2010;

SUN, Y.; ZHOU, Q.; XIE, X.; LIU, R. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *Journal Of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 174, n. 1-3, p.455-462, fev. 2010.

TAKIYA, Harmi. Estudo de sedimentação neogênico-quadernário no município de São Paulo:: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana.. 1991. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

TANJI, K.K. Agricultural salinity assessment and management. Manual No. 71. Prepared by the Subcommittee on Salinity of the Committee on Water Quality of the Irrigation and Drainage Division of the Am. Soc. of Civil Engineers. Am. Soc. Civ. Eng., New York, 1990;

TER-STEPANIAN G. 1988. Beginning of the Technogene. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 38:133-142.

THOMAS, W. L.; SAUER, C. O.; BATES, M.; MUMFORD, L. (Eds.). Man's role in changing the face of the world. Chicago: The University Of Chicago Press, 1956. 1193 p.

THORNTON, I.; CULBARD, E.; MOORCROFT, S.; WATT, J.; WHEATLEY, M.; THOMPSON, M.; THOMAS, J. F. A. Metals in urban dusts and soils. Environmental Technology Letters, [s.l.], v. 6, n. 1-11, p.137-144, jan. 1985.

TIESSEN, H., CUEVAS, E., CHACON, P. The role of organic matter in sustaining soil fertility. Nature 371:783–785, 1994;

TYNER, E. H. & SMITH, R.M. The reclamation of the strip-mined coal lands of West Virginia with forage species. Soil Sci Soc Am J 10: 429–436, 1946;

UNGER, P. W.; KASPAR, T. C.. Soil Compaction and Root Growth: A Review. Agronomy Journal, [s.l.], v. 86, n. 5, p.759-766, 1994. American Society of Agronomy;

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. *Soil Taxonomy – A basic system of soils classification for making and interpreting soils surveys*. Soil Survey Staff, Second Edition, 2014;

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Urban Soil Compaction. Urban technical note n.2. Natural Resources Conservation Service. Washington D. C., 2000;

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, n. 42, version 4.0. Natural Resources Conservation Service. 2004, 700 p;

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, n. 42, version 4.0. Natural Resources Conservation Service, 2004, 700 p.

VERNADSKY, V. I. The biosphere. Nova York: Springer Science+business Media, 1926. 192 p. (Completed Annotated Edition - 1998);

VEUM, K. S.; SUDDUTH, K. A.; KREMER, R. J.; KITCHEN, N. R. Estimating a Soil Quality Index with VNIR Reflectance Spectroscopy. Soil Science Society Of America Journal, [s.l.], v. 79, n. 2, p.637-649, 2015;

VRĽČAJ, B.; POGGIO, L.; MARSAN, F. A.. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. Landscape And Urban Planning, [s.l.], v. 88, n. 2-4, p.81-94, dez. 2008;

WHITNEY, M. Soil and Civilization: A Modern Concept of the Soil and the Historical Development of Agriculture. Nova York: D. van Nostiand Company, 1925. 278 p.

WIENHOLD, B.J.; KARLEN, D. L.; ANDREWS, S.S.; STOTT, D. E. Protocol for indicator scoring in the Soil Management Assessment Framework (SMAF). Renew. Agric. Food Syst, 2009;

YAALON, O. H. and YARON, B. Framework for manmade soil changes: outline of metapedogenesis. Soil Science.102, 272–277, 1966;

YANG, J.; ZHANG, G. Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff. Journal Of Soils And Sediments, [s.l.], v. 11, n. 5, p.751-761, 7 abr. 2011;

YANG, J. & ZANG, G. Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils – A review. Soil Science and Plant Nutrition, 61, 30–46, 2015;

APÊNDICE A – Descrição Morfológica de camadas e horizontes dos perfis analisados

Trincheira TR01/TRAD1

CAM1 – (0 – 9,5) cm – Matriz bruna escura(5YR 4/2, seca), com volumes: a) Vermelhos claros(10R 6/6 , seco), comuns, pequenos, distintos, arredondados; b) maciço; argiloso; plástico e pegajoso; raízes fasciculares, comuns e muito finas a poucas finas; presença de fragmentos de rocha (tipo brita de construção), raros, até 5 cm no eixo maior; transição plana a ondulada e abrupta, baixa consistência em ponta de faca.

CAM2 – (9,5 – 15,5) cm – Matriz vermelha (2.5 YR 4/6, seco), com os seguintes volumes: a) Brancos(White Page 9/N, seco) poucos, pequenos (2 a 4 mm), proeminentes, irregulares; b) cinzas esverdeados claros (5Y entre 6/2 e 6/3, seco), poucos, médios (entre 1 a 1,5cm), proeminentes, irregulares; c) Bruno escuros avermelhados (2.5YR 3/3, seco), comuns, grandes (> 15mm), proeminentes, irregulares; d) vermelhos escuro (10R 4/8, seco), poucos, grandes (>15mm), difusos, irregulares; e) Vermelhos (5R 4/8, seco), poucos, pequenos (< 3mm), distintos, irregulares; maciça; muito argilosa; plástica e pegajosa; raízes fasciculares, raras e muito finas; transição ondulada e gradual, consistência dura na ponta de faca.

CAM3 – (15,5 – 44,3 cm) – Matriz vermelha (2.5 YR 4/6, seco), com os seguintes volumes: a) Brancos (WP 9/N, seco), raros, pequenos (1 mm), proeminentes, arredondados; b) Cinzas esverdeados claros (Gley 1 10Y 7/1, seco) raros, pequenos (2 a 10mm), proeminentes, irregulares; c) Bruno escuros amarelados (10YR 3/6 seco),

poucos, grandes (2 a 4 cm), proeminentes, arredondados; d) Vermelhos claros (7.5R 5/4, seco), poucos, médios a grandes (1 a 2 cm), proeminentes, irregulares; e) Bruno amarelados (10YR entre 7/8 e 6/8, seco), raros, pequenos, proeminentes, arredondados; f) Vermelhos (2.5 YR 4/8, seco), poucos, pequenos, difusos, irregulares; g) Bruno escuros avermelhados (2.5 YR 3/3, seco), raros (relacionados às raízes), médios (5 a 15mm), proeminentes, irregulares; maciça; muito argilosa, plástica e pegajosa; raízes fasciculares, raras e muito finas, associadas aos volumes brunos escuros avermelhados; transição plana e clara, consistência dura em ponta de faca.

CAM4 – (44,3 – 65,8 cm) – Matriz vermelha (2.5 YR 4/6, seco), com os seguintes volumes: a) Brancos (WP 9/N seco), raros, médios (5-10mm), proeminentes, arredondados; b) Cinzas esverdeados claros (Gley 1 10Y 7/1), comuns, pequenos a médios (3 a 10mm), proeminentes, irregulares a arredondados; c) Brunos amarelados escuros (10YR 3/6, seco), raros, pequenos, (até 5mm), proeminentes, ligeiramente arredondados; d) Vermelhos claros (7.5R 5/4, seco), raros, pequenos (até 3mm), proeminentes, arredondados; e) Bruno amarelados (10YR entre 7/8 e 6/8, seco), raros, pequenos a médios (3 a 10 mm), proeminentes, arredondados; f) Vermelhos (2.5 YR 4/8, seco), comuns, pequenos (até 3mm) a grandes (5 a 6 cm), difusos, irregulares e raramente alongados;g) Bruno avermelhados (2.5 YR 5/4, seco), médios (<15mm), muito raros, proeminentes, arredondados; h) Vermelhos (5R 4/8, seco) raros, grandes (3 a 4cm), distintos, irregulares; maciça, muito argilosa, plástica e pegajosa, raízes muito raras e muito finas, fasciculares ligadas aos volumes brunos avermelhados, transição ondulada e clara, consistência em ponto da faca dura, mas menos que o horizonte anterior.

CAM5 - (54 – 65,8 cm) – Matriz vermelha (2.5 YR 4/6, seco) com os seguintes volumes: a) Brancos (WP 9/N) comuns, pequenos (<5mm), proeminentes, arredondados com pontos coalescentes; b) Cinzas esverdeados claros (Gley 1 10Y 7/1), comuns, pequenos (<5mm), proeminentes, irregulares; c) Vermelhos claros(7.5R 5/4), raro, médio a grande (10 a 20mm), proeminentes, irregulares a arredondados; d) Vermelhos (2.5 YR 4/8, seco), comuns, pequenos a médios(3 a 10mm), distintos, irregulares; e) Bruno amarelados (10YR entre 7/8 e 6/8), raros, pequenos (<5mm), arredondados,

proeminentes; f) Cinzas esverdeados escuros (5Y 3/2), raros, médios (1cm), proeminentes, arredondados; maciça, muito argilosa, plástica e pegajosa, com alguma presença de areia fina, raízes muito raras e muito finas, fasciculares; transição ondulada e gradual, consistência em ponta de faca média.

CAM6 – (65,8 – 90,2cm) – Matriz vermelha (10R 4/6), com os seguintes volumes: a) Brancos (WP 9/N), comuns, pequenos (1 a 5 mm), proeminentes, arredondados; b) Cinzas esverdeados claros (Gley 1 10Y 7/1), raros, médios a grandes (1 a 4cm), proeminentes, irregulares; c) Bruno escuros amarelados (10YR 3/6), raros, médios (0,5 – 2,5 cm), proeminentes, irregulares a arredondados; d) Vermelhos (2.5 YR 4/8, seco), raro, grande (5-6cm), difuso, arredondado; e) Vermelhos (7.5R 4/6), raros, grandes (9cm) a médios (2 cm), distintos e irregulares; f) Vermelhos claros (2.5YR 6/6), raros, grandes, proeminente arredondados; maciço a estrutura incipiente, se desfazendo em blocos subangulares pequenos (1cm-3cm), muito argilosa, plástica e pegajosa, com menos areia que o horizonte anterior, raízes muito raras e muito finas, fasciculares, transição plana e abrupta, consistência em ponta de faca média .

CAM7 – (90,2 a 98,5 cm) - Matriz variegada de materiais de construção, com os volumes: a) cinzento (10YR 6/1), médios a grandes(entre 2 a 5cm), abundantes, proeminentes, arredondados, parecidos com pedriscos de construção; b) tijolos de construção(entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8), abundantes, grandes (entre 10cm a 30cm), distintos, angulares a subangulares; c) cinzento (10YR 6/1), areia mal selecionada de construção, comuns, pequenas (>2mm), distintas, arredondadas; maciço, textura inexistente, não apresenta raízes, transição abrupta e plana, consistência em ponta de faca friável (areia mal selecionada) a muito dura (tijolo).

CAM8 – (98,5 – 103,5 cm) – Matriz variegada de materiais de construção, com o seguinte volumes: a) concreto acinzentado (10YR 6/1), médios a grandes (entre 2 a 5cm), abundantes, proeminentes, arredondados, pedriscos de construção semelhante ao horizonte anterior, b) cinzento (10YR 6/1), areia mal selecionada de construção, comuns, pequenas (>2mm), distintas, arredondadas; maciço, textura inexistente, não apresenta raízes, transição abrupta e plana, consistência em ponta de faca muito dura.

CAM9 – (103,5 – 134,2 cm) – Matriz material de construção arenosa, com volumes: a) cinzento (10YR 6/1), pedriscos de construção, grandes (entre 2 a 5cm), abundantes, proeminentes, parecidos com pedriscos de construção; b) cinzento (10YR 6/1), areia mal selecionada de construção, comuns, pequenas (>2mm), distintas, arredondadas; c) tijolos (entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8), abundantes, grandes (entre 10cm a 30cm), distintos, angulares a subangulares; d) Telhas (entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8), raras, grandes (entre 5 a 10cm), proeminentes, angulares; maciço, textura arenosa, pouco plástica e pouco pegajosa, friável, não apresenta raízes, transição abrupta e plana, consistência na ponta de faca friável.

HOR1 - (134,2 – 148,7 cm) – Matriz preta (10YR 2/1), com os seguintes volumes: a) cinzento (10YR 6/1), comuns, grandes (entre 2 a 3 cm), proeminentes, arredondados, parecido com pedrisco de construção, semelhante aos horizontes anteriores; b) tijolos (entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8), comuns, grandes (entre 10 a 15cm) proeminente, angulares, semelhantes aos horizontes anteriores; maciça, textura argilo-arenosa, pouco plástica e pouco pegajosa, não apresenta raízes, transição abrupta e plano-ondulada, mistura com os materiais da camada anterior.

HOR2 – (148,7 – 173,5 cm) – Matriz preta (10YR 2/1), com os seguintes volumes: a) cinzento (10YR 6/1) raros, grandes (entre 2 a 3 cm), proeminentes, arredondados, semelhante aos horizontes anteriores; b) tijolos (entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8), raros, grandes (entre 2 a 4 cm), proeminentes, angulares; maciça, argilo-arenosa, plástica e pegajosa, raízes comuns finas (1mm) fasciculares, transição gradual e ondulada; mistura em menor proporção com o material da camada antrópica, consistência de ponta de faca mole.

HOR3 – (173,5 – 189,5) –Matriz preta (10YR 2/1), maciça à estrutura incipiente em blocos subangulares; muito argilosa, muito plástica e pegajosa; raízes raras, fasciculares e muito finas (<1mm); transição ondulada e clara, consistência de ponta de faca mole.

HOR4 – (189,5 – 223 cm) – Matriz cinza escura (2Y 5/1), maciça, muito argilosa, muito plástica e pegajosa, não apresenta raízes, transição gradual e plano-ondulada.

HOR5 – (223 – 239 cm) – Matriz acinzentada (5Y 7/1), maciça, muito argilosa, muito plástica e pegajosa, mais que o horizonte anterior, não apresenta raízes, apresenta macroporos entre 2 a 4 cm de diâmetro.

Tradagem TRAD1

Foi realizada tradagem na base da trincheira TR01/TRAD1 (profundidade de 2,39m) de aproximadamente 20cm a cada perfuração com a finalidade de alcançar o nível d'água. Este foi localizado na profundidade aproximada de 3,96m. As amostras recolhidas indicaram os seguintes resultados:

HOR6 (pré-nível d'água): Com a profundidade de aproximada entre 2,40 a 3,50, apresenta cor da matriz cinzenta-clara (5Y 7/1), não possui volumes, textura argilosa a muito argilosa, com consistência molhada muito plástica e muito pegajosa.

HOR7 (nível d'água): Apresenta profundidade entre 3,50 e 3,96, cor acinzentada clara (2.5Y 7/1), não possui volumes, textura argilosa a muito argilosa, com consistência molhada plástica e muito pegajosa.

Trincheira TR02/TRAD2

CAM1 - (0 – 46,5cm) – Matriz seca cor vermelha (2.5YR 5/6), com os seguintes volumes: a) branco (White Page 2.5Y 9.5/1), poucos, médios a grandes (sendo principalmente médios – 5 – 10mm), proeminentes, irregulares; b) amarelo brunado (10YR 6/8), comuns, médios a grandes (com predominância de grandes – 15 a 20mm), proeminentes, irregulares, mesclados com o próximo volume; c) Bruno-claro-acinzentado (2.5Y 7/4), comuns, médios a grandes (com predominância de grandes – 15 a 20mm), proeminentes, irregulares; d) Vermelhos (2.5YR 4/6), abundantes (no limite com o comum), médios a grandes (com predomínio do grande – 10mm a 20mm), distinto, irregular; e) Bruno (7.5YR 5/3), comuns, grandes (4 – 15cm), distinto, alongado a arredondado, sendo o alongado associado com raízes; f) vermelho acinzentado (5R 5/4), poucos, pequenos (até 5mm), proeminentes, arredondados; g) vermelho claro acinzentado (7.5R 7/2), poucos, pequenos a médios (2 - 10mm),

distintos, irregulares; maciça, argilo-arenosa com bastante areia média, plástica e pegajosa, raízes raras e muito finas (<1mm) associadas ao volume e, transição ondulada e clara, consistência em ponta de faca muito dura.

Bolsão B1 (38 – 46,5cm) – Matriz vermelha acinzentada (5R 7/2) , maciça, textura argilo-arenosa (com areia média perceptível), plástico e pegajoso, raízes raras e muito finas (<1mm), transição abrupta e plana, e consistência na ponta de faca média.

CAM2 – (29,3 – 82,9cm) Matriz grãos soltos vermelha (2.5 YR 5/6), com os seguintes volumes: a)branco (White Page 7.5Y 9.5/2), raro, médio (14-15mm), proeminente, arredondado; b)vermelho claro acinzentado (7.5R 7/2), abundante(se concentra na base do horizonte), grandes (7 cm), proeminente, irregulares; c)cinzento claro (5Y 7/2), raro, grande (2cm), proeminente, arredondado; d) amarelo brunado (10YR 6/8), comum, grande (2-4cm), proeminente, irregular; e) bruno claro-acinzentado a acinzentado claro (2.5 Y entre 8/2 e 7/2), raro, grande 5-10cm, proeminente, alongado; f) bruno-oliváceo-claro (2.5Y 5/6), raro, médio (15mm), distinto arredondado; g) vermelho (10R 5/8), raro, médio (13-15mm), distinto, arredondado; h) vermelho acinzentado (5R 5/4), raro, grande (2-2,5cm), proeminente, irregular; i) vermelho (10R 4/8), raro, pequeno (5mm) a grande (4cm), proeminente, alongado a arredondado; maciço, se desfazendo em grãos soltos (variam de tamanho entre muito pequenos – 1cm a grandes - 15cm ou mais); textura argilo-arenosa, plástica e pegajosa, transição clara e ondulada e consistência fraca a média em ponta de faca.

CAM3 - (Matriz vermelha (2.5 YR 5/6), com os seguintes volumes: a) branco (White Page 7.5Y 9.5/2), raro, médio (7-10mm), proeminente, irregular a arredondado; b) amarelo brunado (10YR 6/8), comum, médio (5-10mm), proeminente, arredondado; c) amarelo claro acinzentado a oliva claro acinzentado (5Y entre 6/3 e 7/3), raro, pequeno (2-5mm) a grande (7-9cm), proeminente, arredondado a irregular; d)vermelho acinzentado (5R 5/4), raro, médio (7-10mm), proeminente, arredondado a irregular; e) vermelho claro acinzentado (7.5R 7/2), raro, pequeno (2-4mm), proeminente, arredondado; maciço, textura argilo-arenosa, plástica e pegajosa, raízes raras e fasciculares (<1mm), transição clara e ondulada, consistência em ponta de faca dura.

CAM4 – Matriz vermelha (2.5 YR 5/6), com os seguintes volumes: a) branco (White Page 7.5Y 9.5/2), comum, médio a grande (1-5cm), proeminentes, arredondado, b) vermelho acinzentado (5R 5/4), comum, pequeno (5mm) a grande (4cm), distinto, arredondado; c) vermelho claro acinzentado (7.5R 7/2), raros, médios (7-10mm); d) amarelo (2.5Y 7/6), comum, médio (7-12mm), distinto, irregular; e) amarelo brunado (10YR 6/8), raro, médio (5-7mm), proeminente, irregular; f) vermelho (10R 4/8), comum, grande (1,5 – 3cm), distinto, irregular; g) cinzento oliváceo claro (5Y 6/2), raro, grande (3-5cm), proeminente, arredondado; maciça, textura argilo-arenosa, plástica e pegajosa, transição clara a gradual e ondulada e consistência em ponta de faca dura.

CAM5 – Matriz variegada vermelha a vermelha escura (2.5 YR 4/6 a 3/6), com os seguintes volumes: a) vermelho acinzentado (5R 5/4), abundante, pequeno (2mm) a grande (3,5cm), proeminente, arredondado a irregular; b) Bruno-claro-acinzentado (2.5Y 7/4), comum, pequeno (5mm) a médio (15mm), proeminente, arredondado; c) cinzento oliváceo claro (5Y 6/2), raro, médio a grande (10-20mm), proeminente, arredondado a irregular; d) bruno-forte (7.5YR 4/6), comum, grande (3,5cm), proeminente, arredondado; e) bruno escuro (7.5YR 3/2), raro, pequeno (3-5mm), distinto, arredondado; f) vermelho (10R 5/8), raro, médio (10-12mm), distinto, irregular; g) vermelho (2.5YR 5/8), comum, pequeno (3-5mm) a grande (3cm), distinto, irregular; h) vermelho (10R 4/8), raro, médio a grande (15-20mm), distinto, irregular; maciça, textura argilo-arenosa (areia média), plástica e pegajosa, transição clara e plano-ondulada, consistência em ponta de faca dura.

CAM6 - Matriz variegada vermelha a vermelha escura (2.5 YR 4/6 a 3/6), com os seguintes volumes: a) cinzento oliváceo claro (5Y 6/2), raro, pequeno a médio (4 a 7mm), proeminente, irregular; b) acinzentado claro (5Y 7/2), comum, pequeno (5mm) a grande (2cm), proeminente, irregular a arredondados, c) amarelo brunado (10YR 6/8), raro, médios a grande (com predominância de grande – 15 a 20mm), proeminente, arredondado, mesclado com o próximo volume; d) Bruno-claro-acinzentado (2.5Y 7/4), raro, médio a grande (com predominância de grandes – 15 a 20mm), proeminente, arredondado; e) vermelho acinzentado (5R 5/4), comum, médios (10-15mm),

proeminente, arredondados a irregulares; f) vermelho (10R 4/8), raros, médios (10-15mm), distintos, irregulares a alongados; g) vermelho (2.5YR 5/8), raros, pequenos (2mm) a grandes (2,5cm), distintos, irregulares; h) bruno escuro (7.5YR 3/2), raros, pequenos (3-5mm), distintos, arredondados; maciça, textura argilo-arenosa, plástica e pegajosa, transição gradual e plano-ondulada, consistência em ponta de faca dura, mas menos que a anterior.

CAM7 - Matriz variegada vermelha a vermelha escura (2.5 YR 4/6 a 3/6), com os seguintes volumes: a) branco (White Page 7.5Y 9.5/2), comum, grande (2-4cm), proeminente, arredondado a alongado, alguns vem mesclados com o próximo volume; b) bruno-claro-acinzentado (2.5Y 7/4), raro, difuso, pequenos a médios (5-11mm), difuso, arredondado a irregular; c) amarelo brunado (10YR 6/8), raro, pequenos (3-4mm), difuso, arredondado; d) cinza claro (2.5Y 7/1), raro, médio (10mm), proeminente, alongado; e) vermelho escuro (7.5R entre 3/6 e 3/8), raro, pequeno (3-4mm) difuso, arredondado; f) cinzento oliváceo claro (5Y 6/2), raro, médio a grande (10-20 mm), proeminente, irregular a arredondado; g) vermelho (10R 4/8), raro, médio a grande (10-20mm), distinto, irregular a arredondado; maciço, textura argilo-arenosa, plástica e pegajosa, transição abrupta e plana, consistência em ponta de faca dura como no horizonte anterior.

CAM8 – (138 – 154cm) - Matriz variegada de artefatos antrópicos (10YR 3/2 e 7.5 YR 5/8), com os seguintes volumes: a) concreto esbranquiçado (entre WP 2.5Y 8/1 e 5Y6/2), comuns, grandes (5-10cm), proeminente, irregulares e muito duro; b) tijolo (entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8), abundante, grande (5-6cm), proeminente, irregular e muito duro; c) telha (entre 2.5YR 4/8 e 5YR 5/8), abundante, grande (5-6cm), proeminente, irregular e muito duro; d) carvão (Gley 1 2.5/N), raro, pequeno (2-3mm), proeminente, irregular; e) madeira (5Y 5/8); raro, grande (4-5cm), proeminente, alongado; e) azulejo (WP 9.5/N), raro, grande (4-5cm), proeminente, irregular, duro; maciça, textura arenosa, pouco plástica e pouco pegajosa, transição abrupta e ligeiramente ondulada, consistência em ponta de faca extremamente dura.

HOR1 (154 – 174cm) – Matriz preta (10YR 2/1), com os seguintes volumes: a) bruno-forte (7.5YR 4/6), comuns, grandes (3 a 5cm), proeminente, irregular; b)

bruno-acinzentado (2.5Y 5/2), raros, médio (1 a 1,5cm), proeminente, irregular; c) cinzento (10YR 6/1), comuns, tamanhos variados (5mm a 10cm), proeminentes, arredondados; d) vermelho escuro (2.5YR 3/6), raro, pequeno (3 a 4mm), proeminente, arredondado; e) acinzentado claro (5Y 7/2), raro, grandes (5cm), proeminente, quadrados, presentes em conjunto com o próximo volume; f) cinzento oliváceo claro (5Y 6/2), raros, grandes (5cm), proeminentes, quadrados a arredondados; maciça, textura argilo-arenosa, plástica e pegajosa, sem raízes, transição clara e plana-ondulada, consistência em ponta de faca média.

HOR2 - (174 – 205cm) – Matriz preta (10YR 2/1), com os seguintes volumes: a) cinzento (10YR 6/1), comuns, grandes (3 a 5cm), proeminente, alongados a arredondados; b) bruno-forte (7.5YR 4/6), comuns, pequenos a grandes (1mm a 2,5cm), proeminentes, arredondados; c) bruno amarelado (10YR 4/5), raros, pequenos (até 5mm), proeminentes, arredondados; d) cinzento claro (5Y 7/2), raros, pequenos (2-3mm), proeminentes, arredondados; e) oliva (5Y 5/4), raros, médios (2 cm), proeminente, irregular, f) amarelo brunado a bruno amarelado (10YR entre 5/6 e 6/6), raros, médio a grandes (2 a 3cm), proeminente, irregular; maciça, se desfaz em blocos subangulares pequenos (2-3cm), consistência seca macia, consistência úmida friável, consistência molhada muito plástica e muito pegajosa, textura muito argilosa, transição plana e gradual, consistência em ponta de faca friável.

HOR3 – (205 – 228cm) – Matriz preta (10YR 2/1), com o volume Cinzento (Gley 1 5/N), comuns, pequenos (1 a 20mm), arredondados, irregulares; maciça a estrutura incipiente em blocos subangulares pequenos (1cm – 3cm), textura muito argilosa, muita plástica e muito pegajosa, sem raízes, transição clara e ligeiramente ondulada, consistência em ponta de faca friável.

HOR4 - (228cm +) – Matriz cinza escura (2.5Y 7/1), com os seguintes volumes: a) Preto (10YR 2/1), raros, grandes (15 cm no eixo maior), proeminentes, alongados no sentido vertical; b) Cinzento (Gley 1 5/N), semelhante ao horizonte anterior, mudam de cor quando secos, raros, pequenos (0,5cm), arredondados; maciço, sem raízes, textura muito argilosa, consistência molhada muito plástica e muito pegajosa, consistência em ponta de faca média apresenta poro grande (entre 2mm a 3mm).

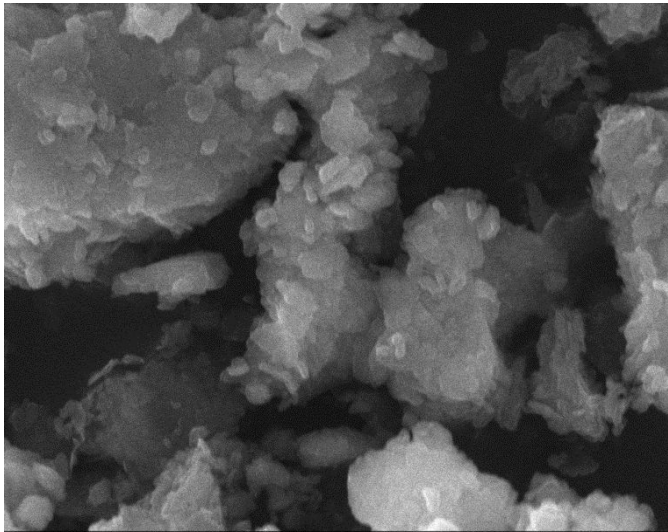
Tradagem TRAD2

Foi realizada tradagem na base da trincheira TRAD2 (profundidade de 2,28m) de aproximadamente 20cm a cada perfuração com a finalidade de alcançar o nível d'água. Este foi localizado na profundidade aproximada de 3,96m. As amostras recolhidas indicaram os seguintes resultados:

HOR5 (pré-nível d'água) - Localizado na profundidade entre 253cm a 319cm, apresenta matriz 2.5Y 7/1, não possui volumes, textura argilosa a muito argilosa, com consistência molhada muito plástica e muito pegajosa.

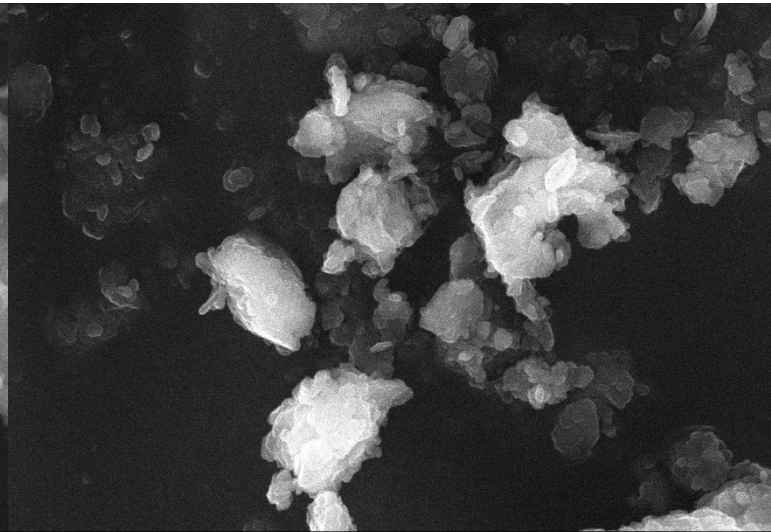
HOR6 (nível d'água) - Localizado na profundidade entre 319cm a 350cm, apresenta matriz 5Y 7/1, não possui volumes, textura argilosa a muito argilosa, com consistência molhada plástica e muito pegajosa.

ANEXO A – Imagens do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e gráficos de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)



SEI 15kV WD10mm SS30 x10,000 1µm
Unifesp - Campus Diadema

Figura 48 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM1 - TR01/TRAD1 - campo 1.



SEI 15kV WD10mm SS30 x10,000 1µm
Unifesp - Campus Diadema

Figura 49 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM1 - TR01/TRAD1 - campo 2

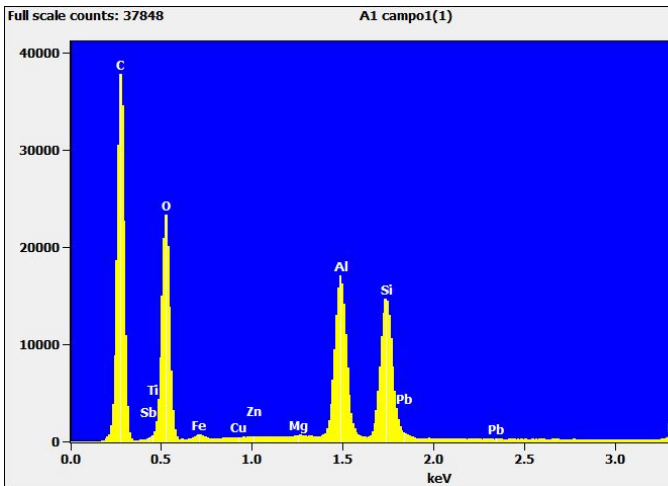


Gráfico 1 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM1 - TR01/TRAD1 - campo 1

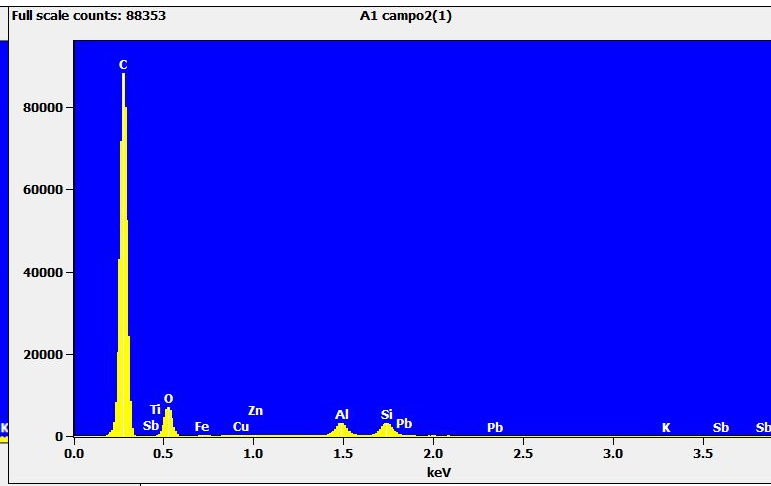
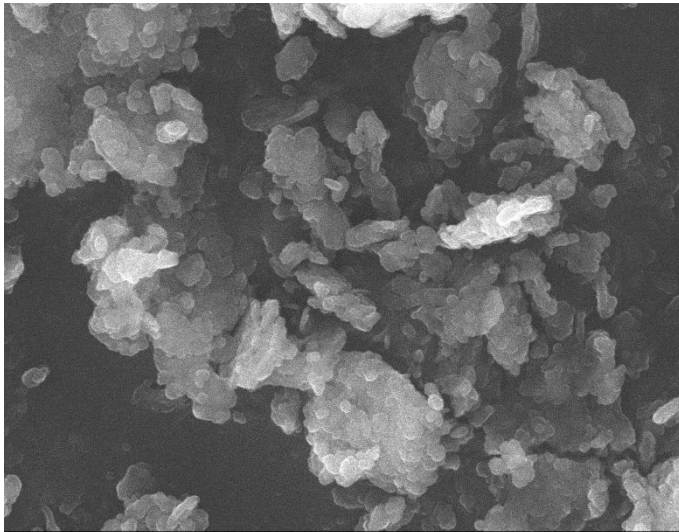
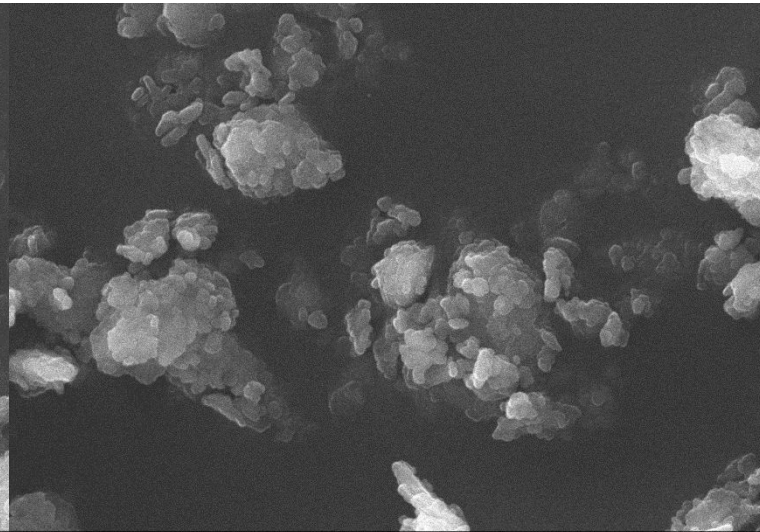


Gráfico 2 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM1 - TR01/TRAD1 - campo 2.



SEI 15kV WD10mm SS25 x10,000 1µm
Unifesp - Campus Diadema



SEI 15kV WD10mm SS27 x10,000 1µm
Unifesp - Campus Diadema

Figura 50- Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM1 - TR01/TRAD1 - campo 3.

Figura 51 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM1 - TR01/TRAD1 - campo 4.

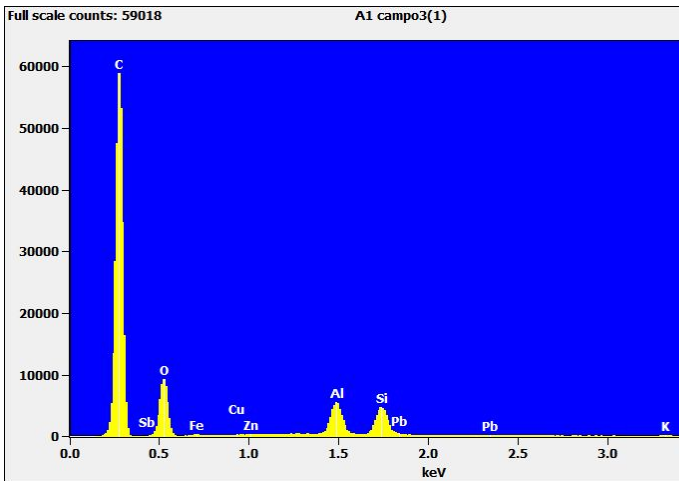


Gráfico 3 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM1 - TR01/TRAD1/ TRAD1 - campo 3.

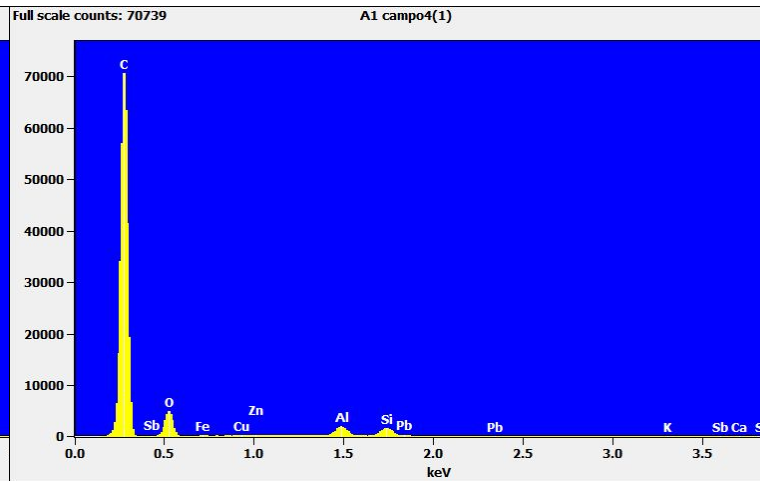


Gráfico 4 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM1 - TR01/TRAD1/ TRAD1 - campo 4.

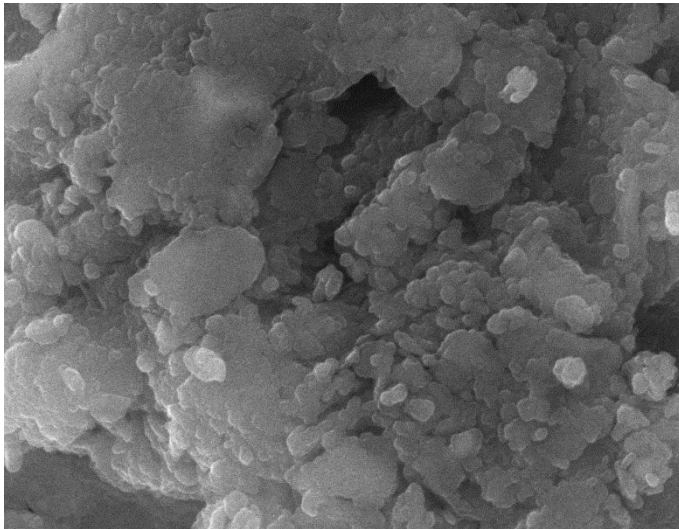


Figura 52 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM1 -TR01/TRAD1 - campo 5.

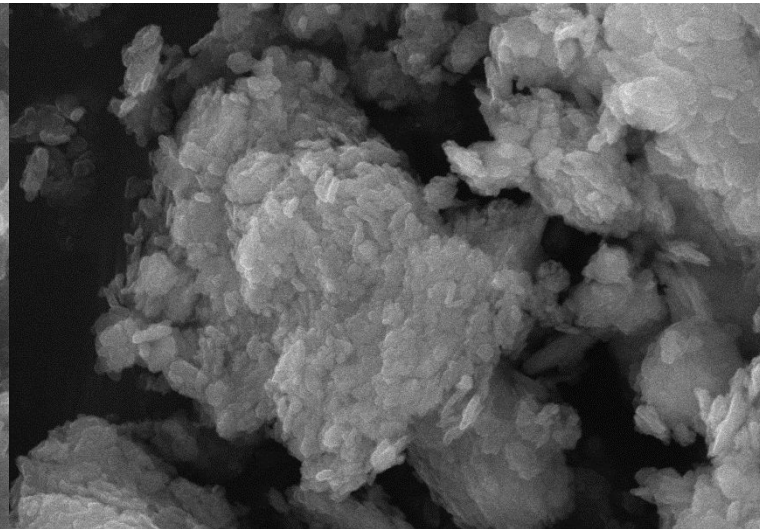


Figura 53 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM4 -TR01/TRAD1 - campo 1.

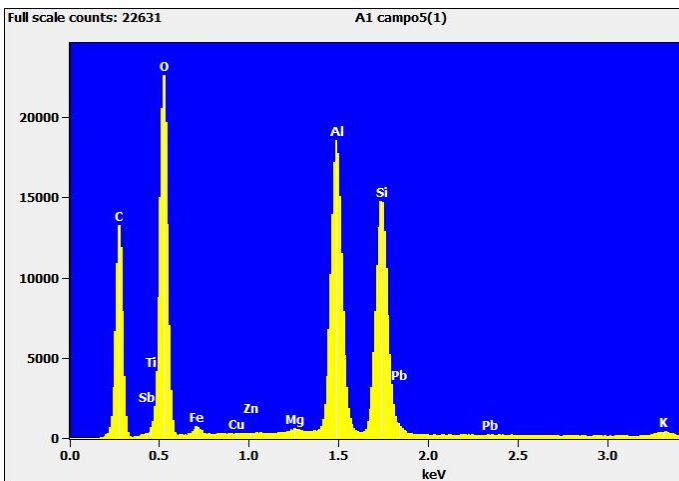


Gráfico 5 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM1 - TR01/TRAD1/ TRAD1 - campo 5.

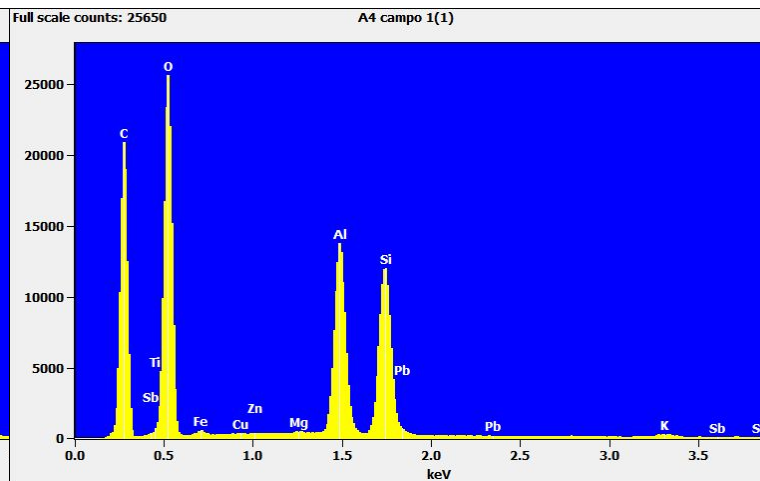


Gráfico 6 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM4 - TR01/TRAD1/ TRAD1 - campo 1.

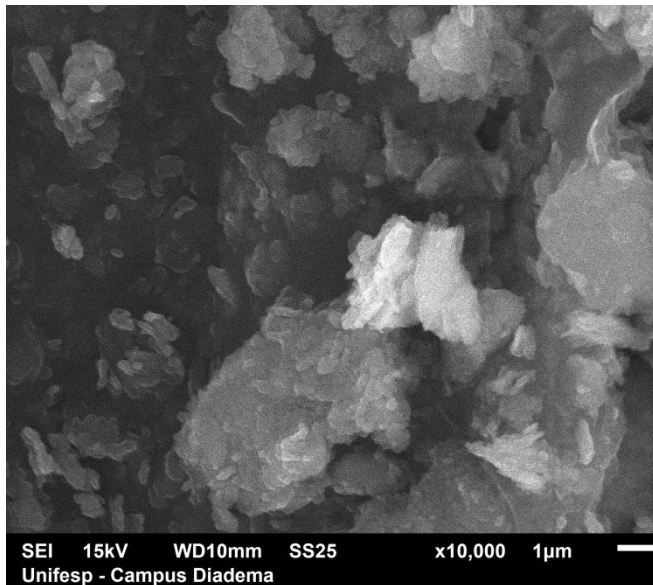


Figura 54 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM4 - TR01/TRAD1 - campo 2.

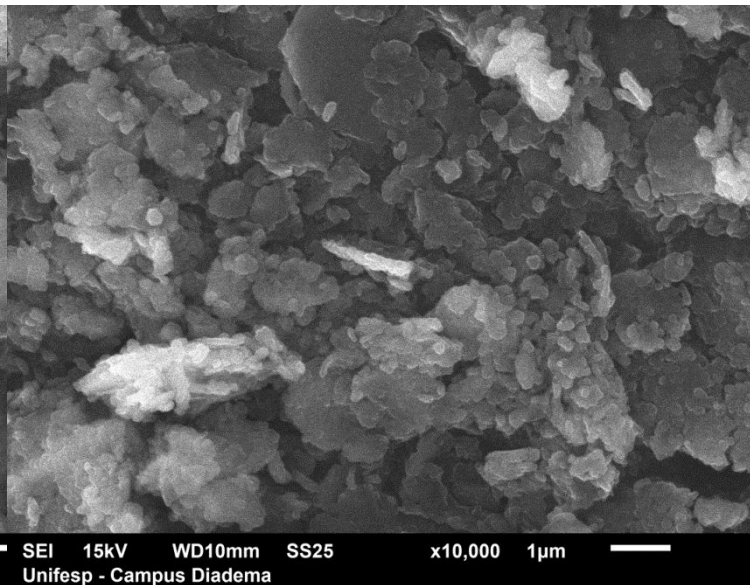


Figura 55 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM4 - TR01/TRAD1 - campo 3.

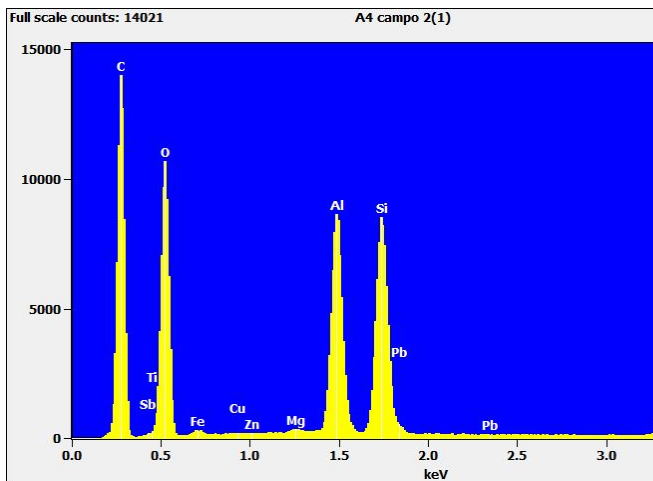


Gráfico 7- Concentração de elementos em EDS - Camada CAM4 - TR01/TRAD1/ TRAD1 - campo 2.

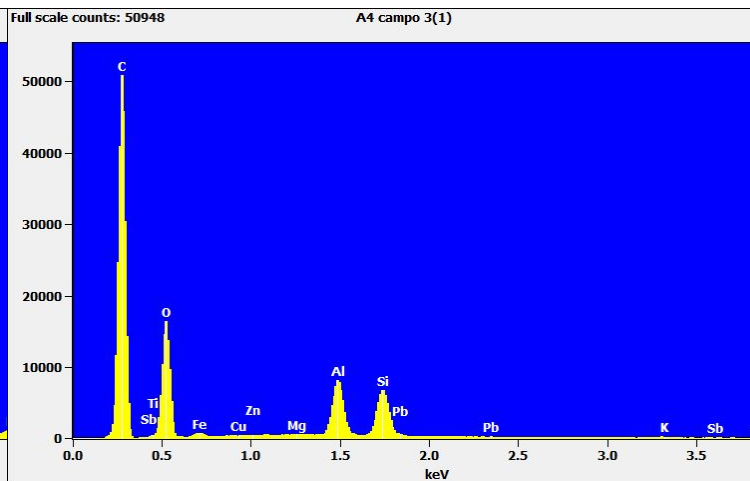


Gráfico 8 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM4 - TR01/TRAD1/ TRAD1 - campo 3

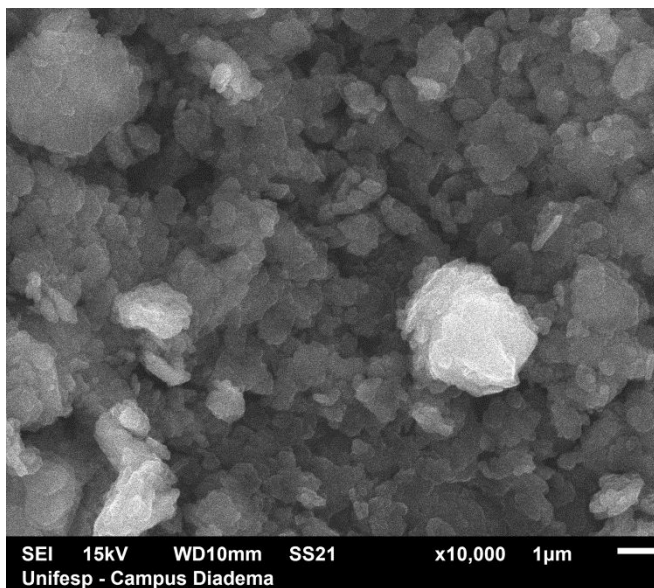


Figura 56 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM4 - TR01/TRAD1 - campo 4.

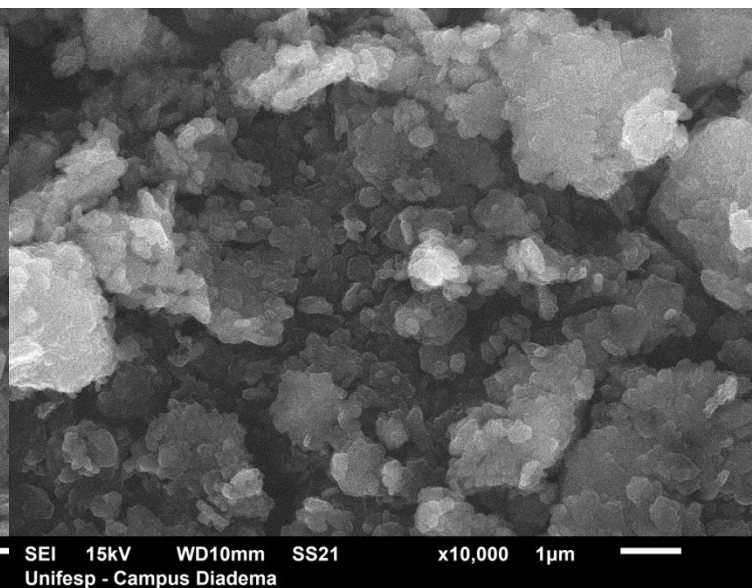


Figura 57 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM4 - TR01/TRAD1-campo 5

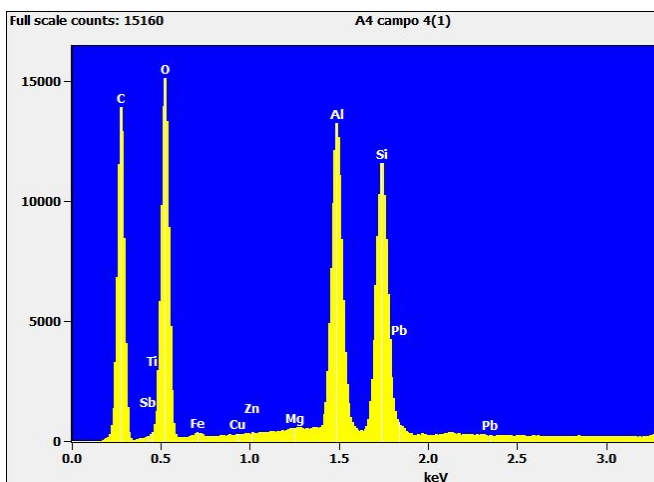


Gráfico 9 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM4 - TR01/TRAD1/ TRAD1 - campo 4.

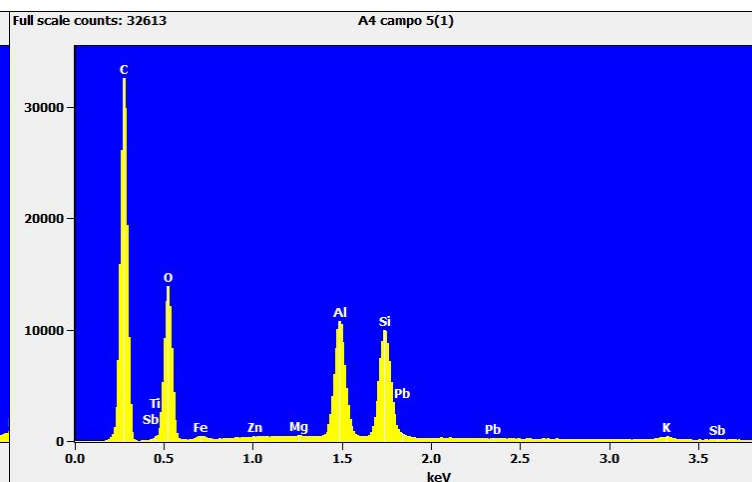


Gráfico 10 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM4 - TR01/TRAD1/ TRAD1 - campo 5.

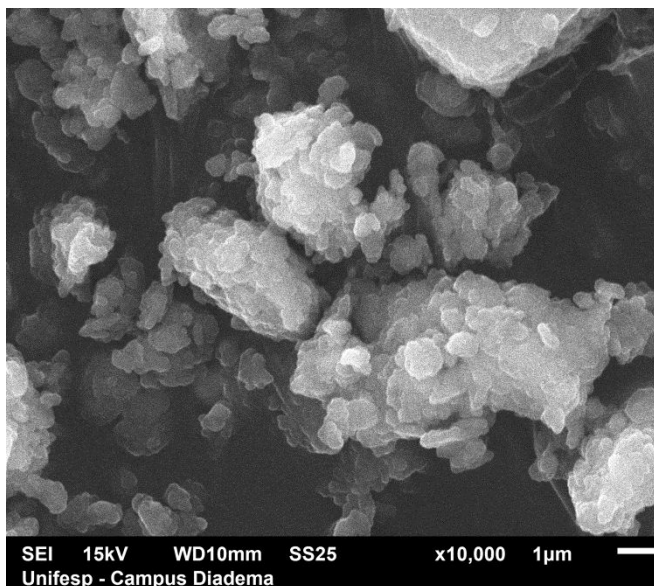


Figura 58- Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM6 - TR01/TRAD1-campo 1.

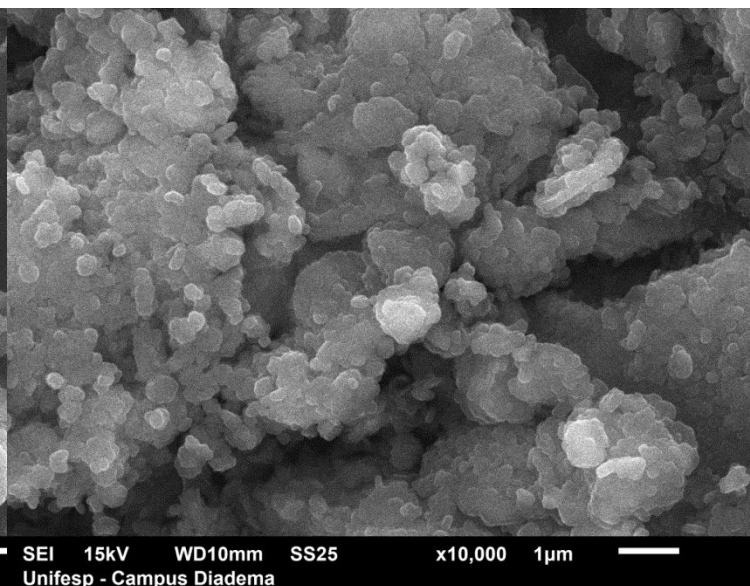


Figura 59- Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM6 - TR01/TRAD1 - campo 2

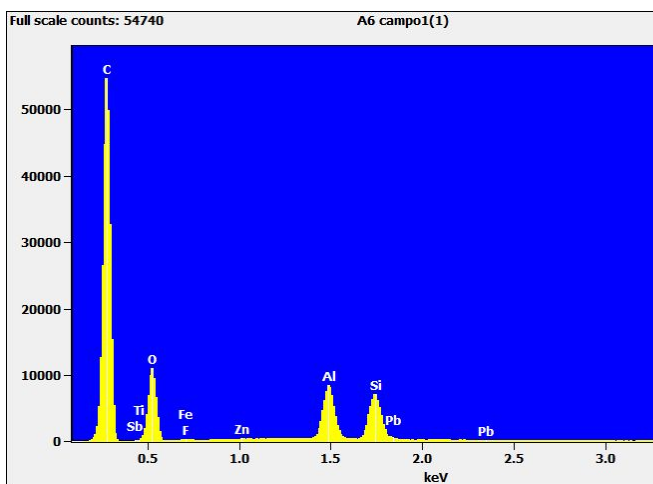


Gráfico 11 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM6 - TR01/TRAD1 - campo 1.

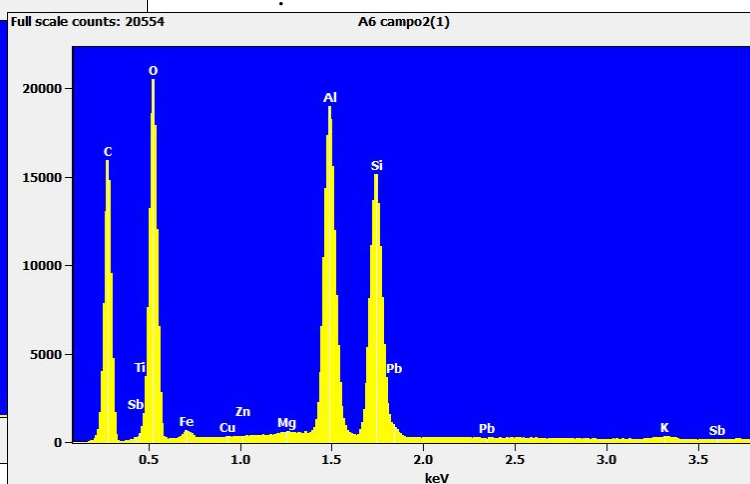


Gráfico 12 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM6 - TR01/TRAD1-campo 2.

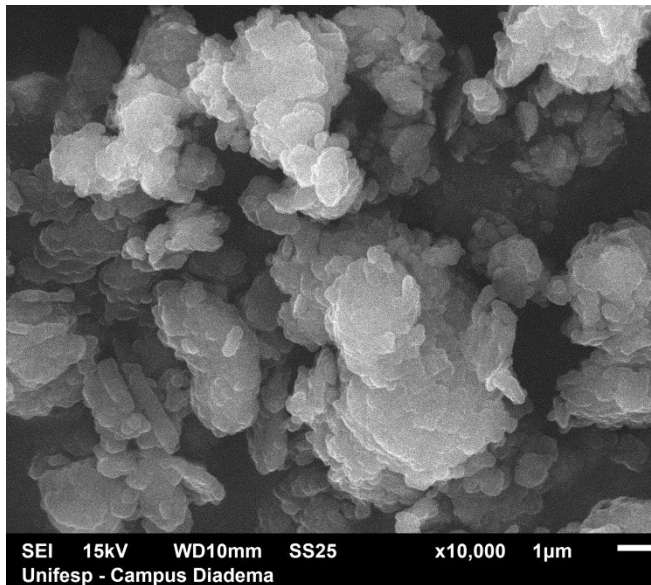


Figura 60 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM6 - TR01/TRAD1 - campo 3.

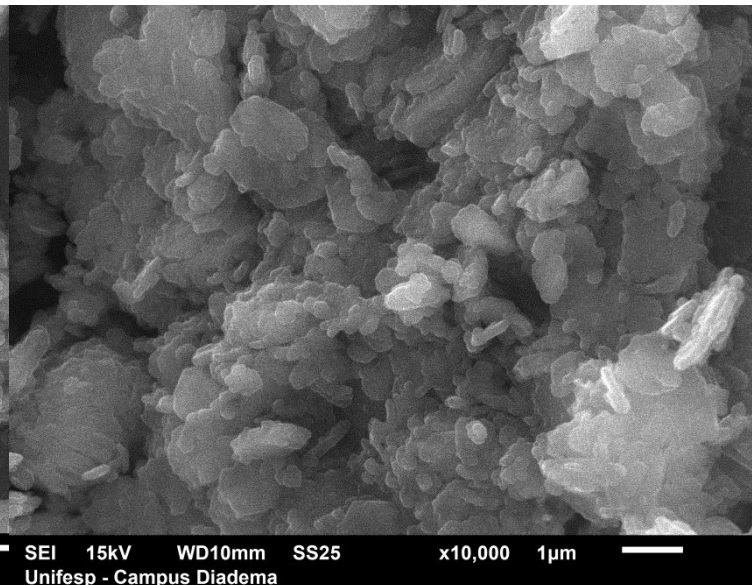


Figura 61 - Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM6 - TR01/TRAD1 - campo 4.

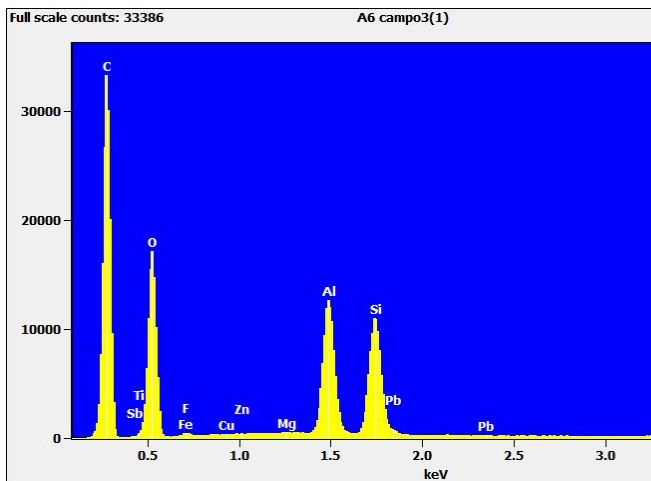


Gráfico 13 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM6 - TR01/TRAD1 - campo 3.

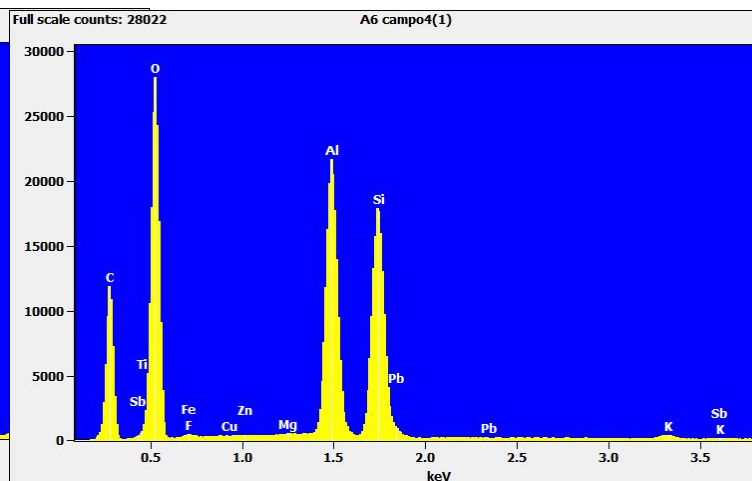
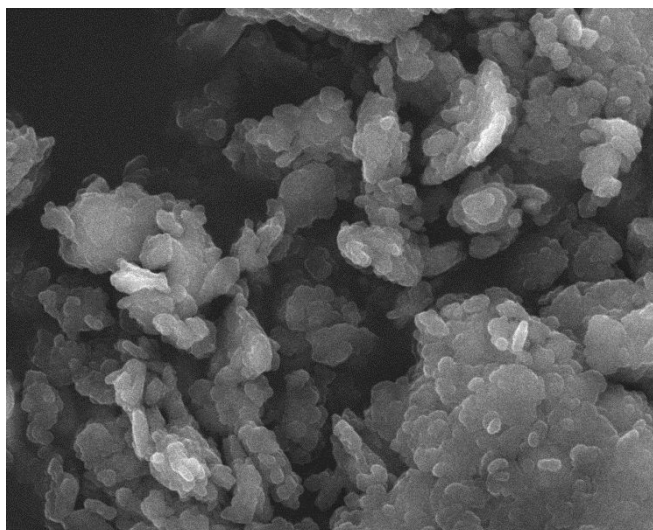
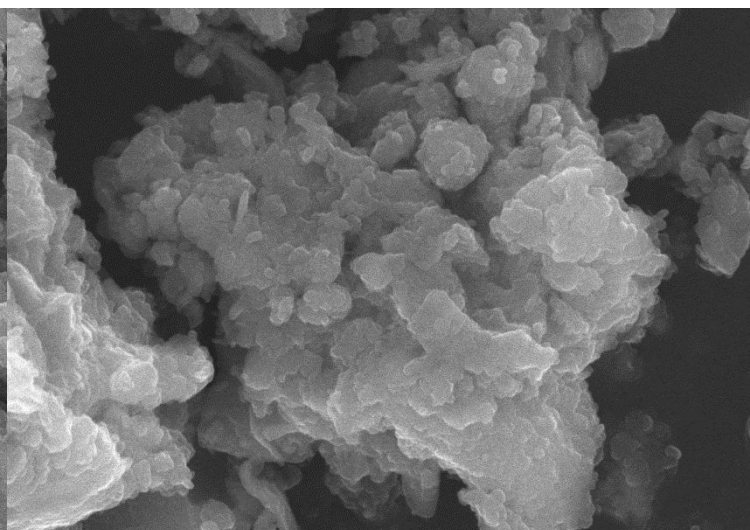


Gráfico 14 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM6 - TR01/TRAD1 - campo 4.



SEI 15kV WD10mm SS25 x10,000 1µm
Unifesp - Campus Diadema



SEI 15kV WD10mm SS30 x10,000 1µm
Unifesp - Campus Diadema

Figura 62- Partículas visualizadas por MEV - Camada CAM6 - TR01/TRAD1 - campo 5.

Figura 63 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 1.

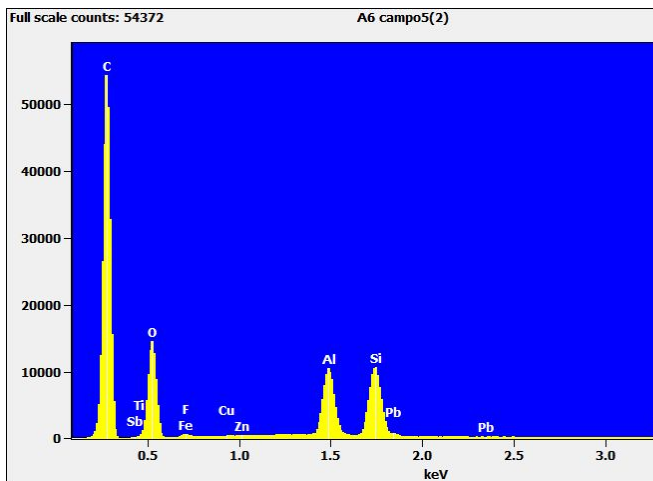


Gráfico 15 - Concentração de elementos em EDS - Camada CAM6 - TR01/TRAD1 - campo 5

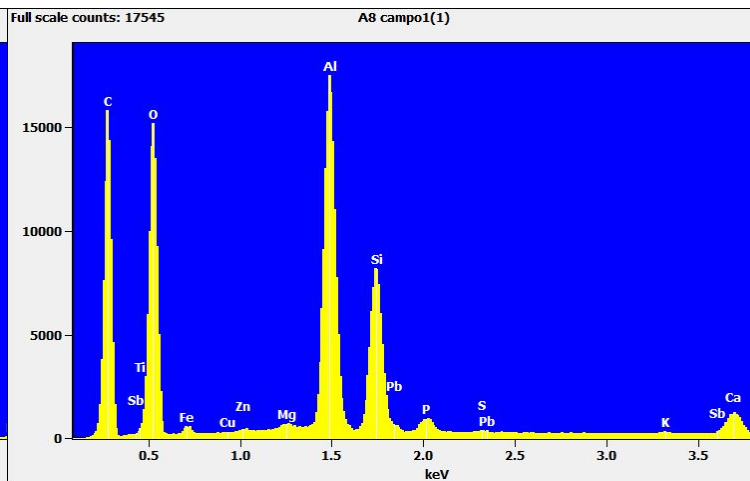


Gráfico 16- Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 1.

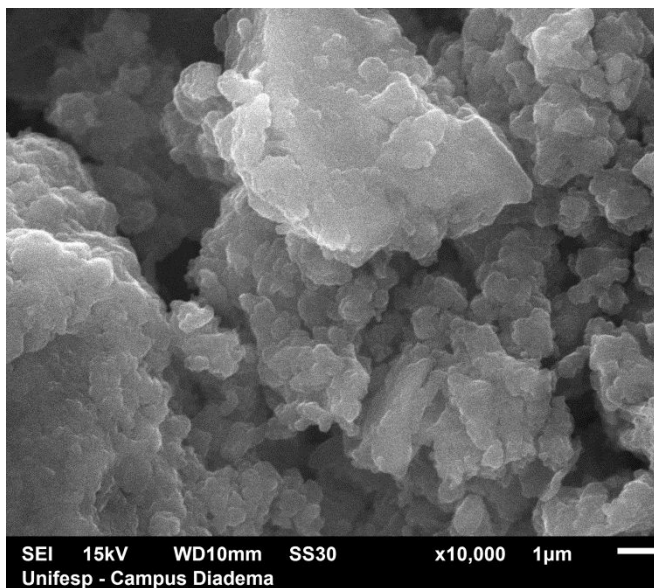


Figura 64 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 2.

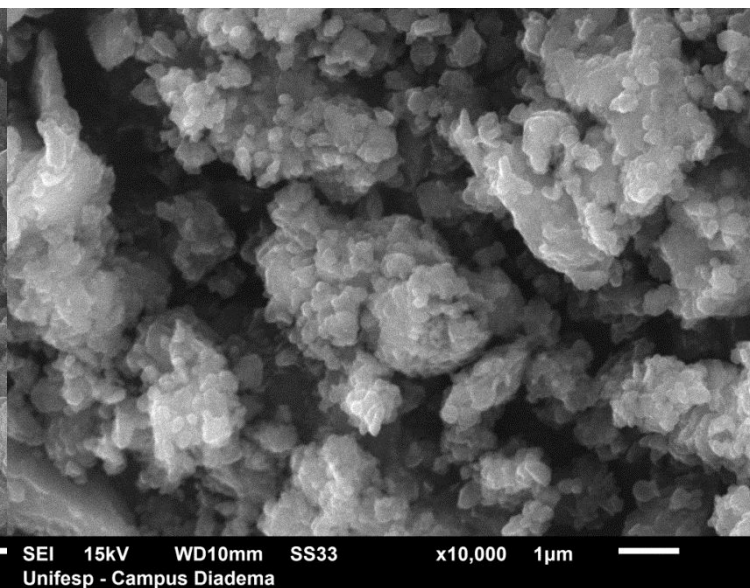


Figura 65 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 3.

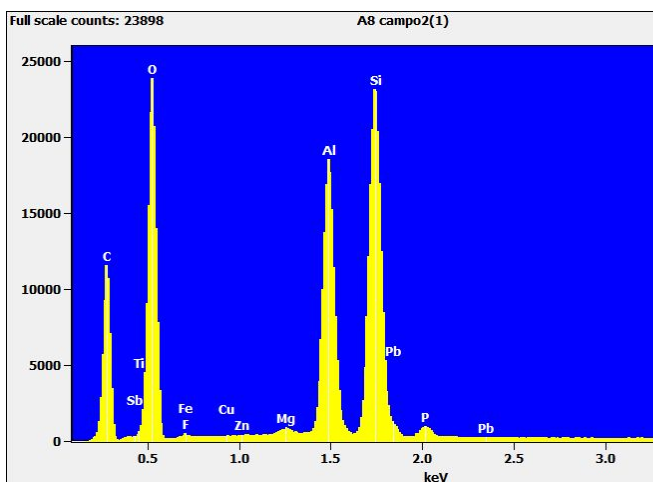


Gráfico 17 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 2.

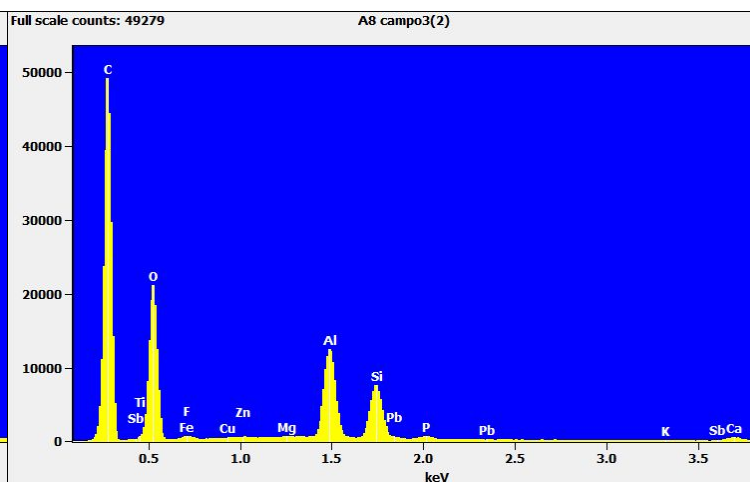


Gráfico 18 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 3

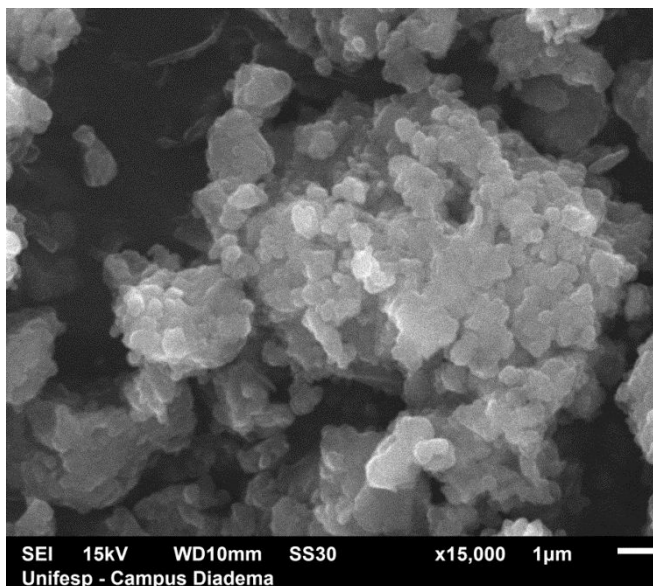


Figura 66 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 4.

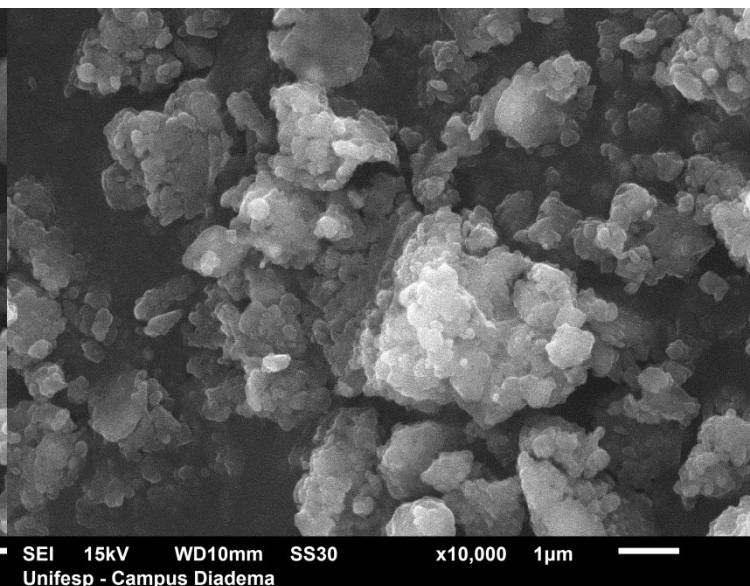


Figura 67 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 5.

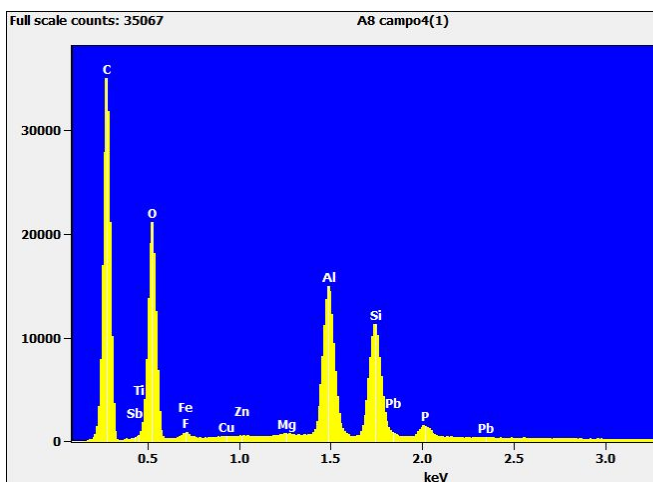


Gráfico 19 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 4.

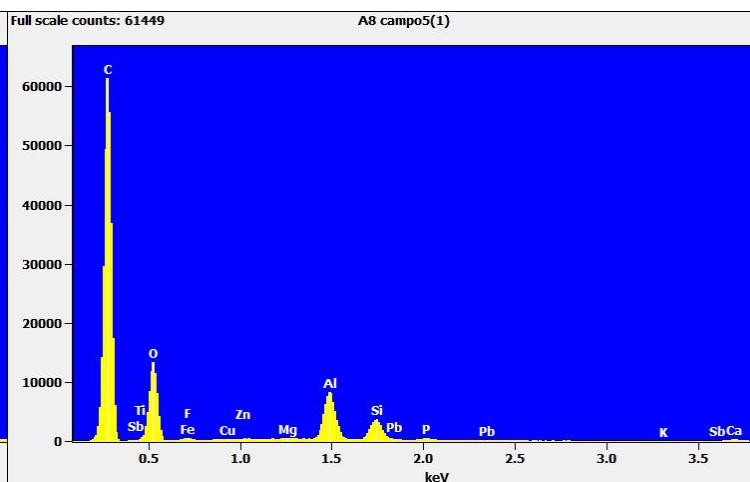


Gráfico 20 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR2 - TR01/TRAD1 - campo 5.

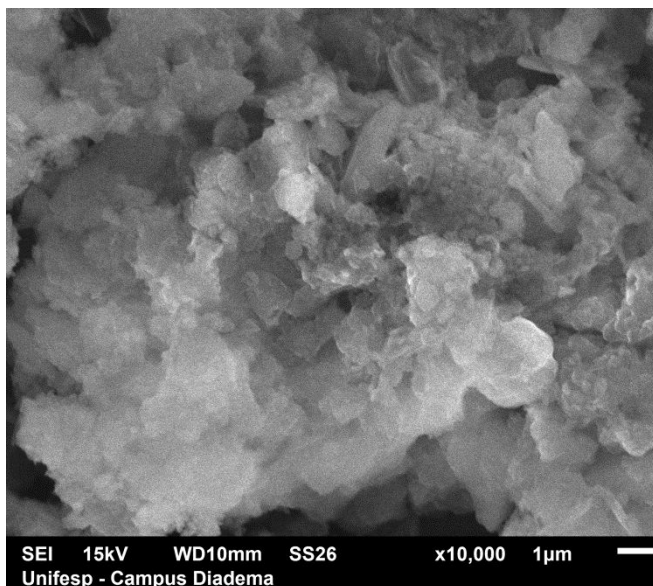


Figura 68 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 1.

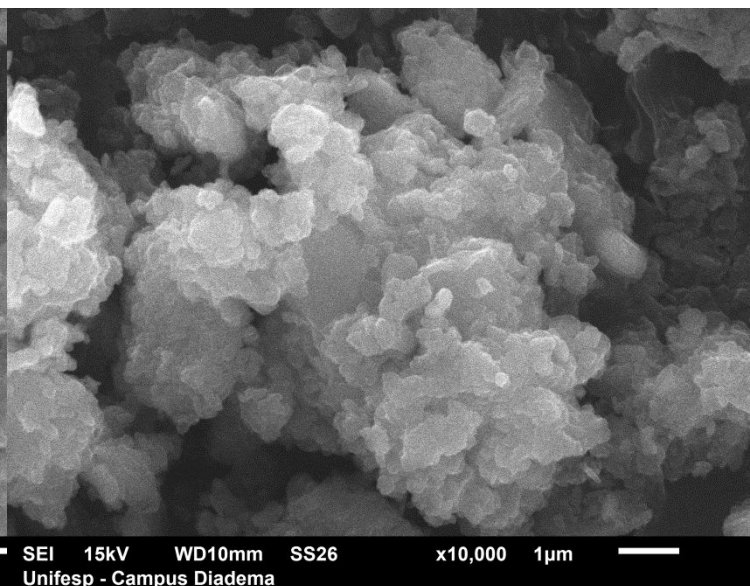


Figura 69 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 2.

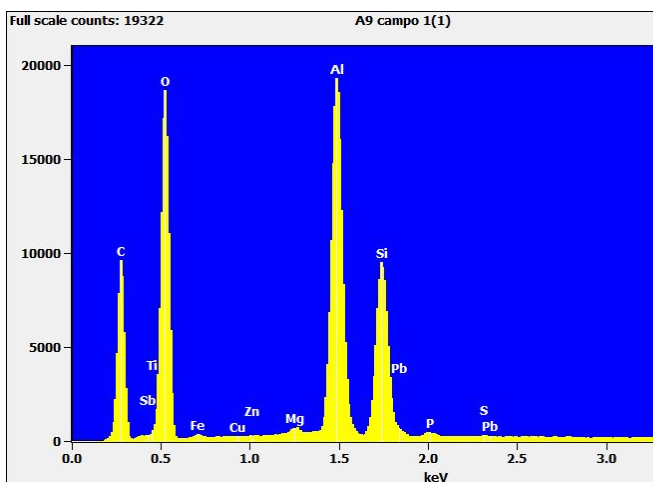


Gráfico 21- Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 1.

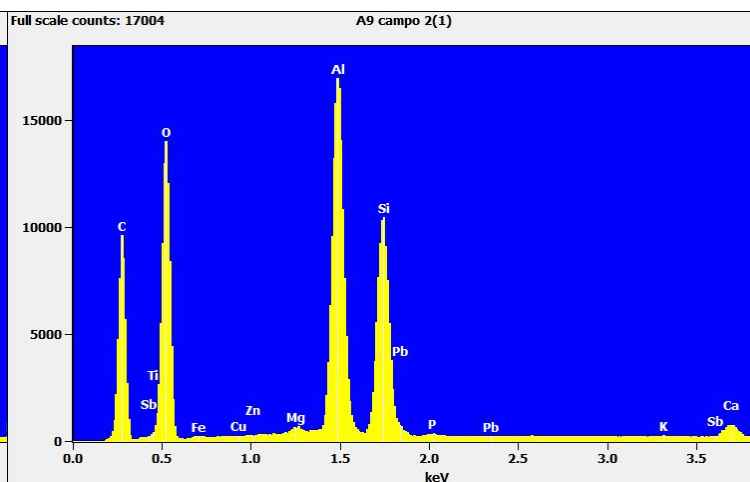


Gráfico 22 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 2.

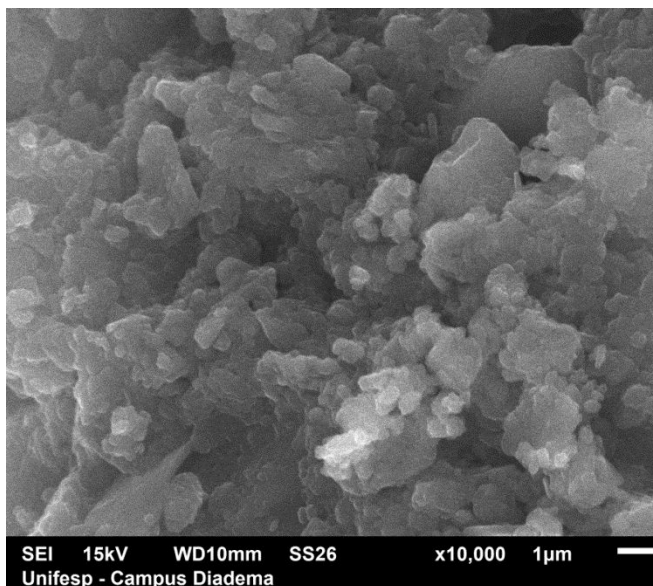


Figura 70 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 3

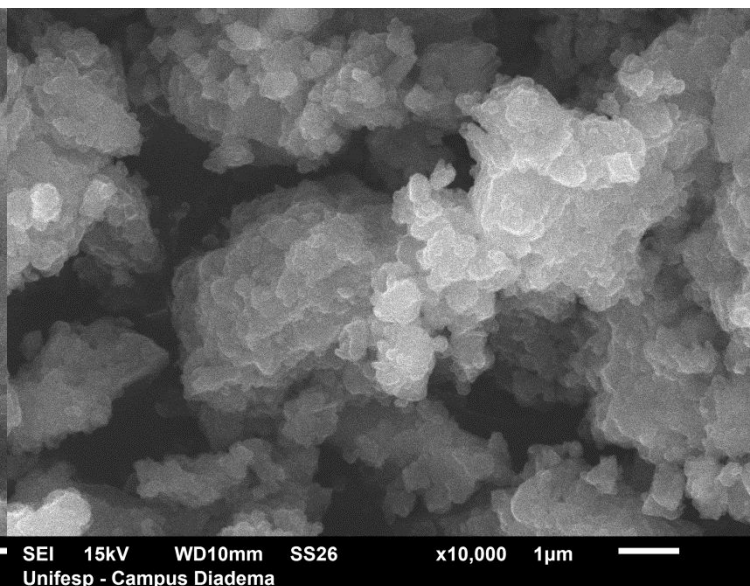


Figura 71 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 4.

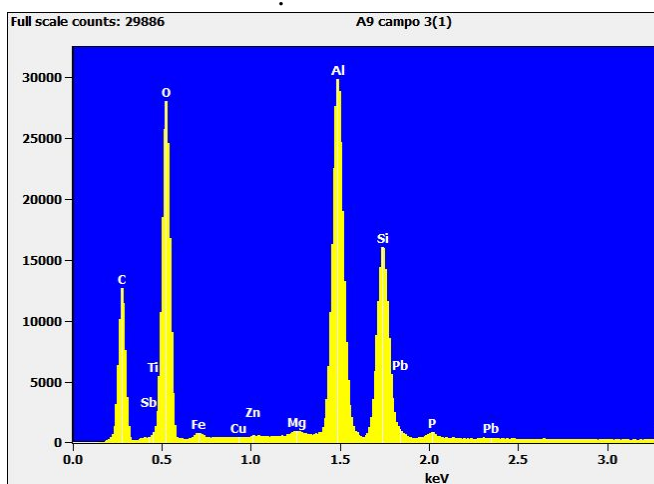


Gráfico 23 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 3.

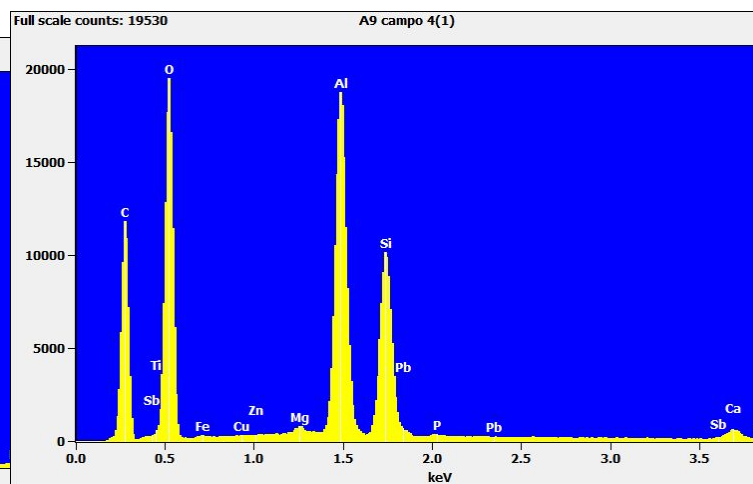


Gráfico 24 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 4.

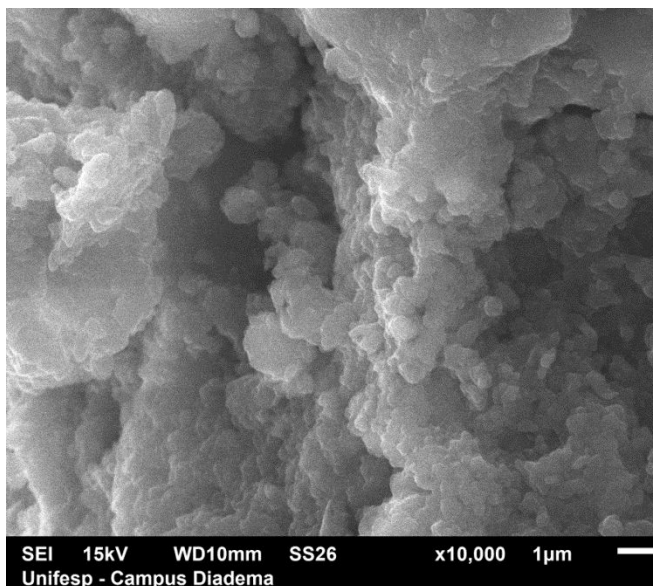


Figura 72- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 5

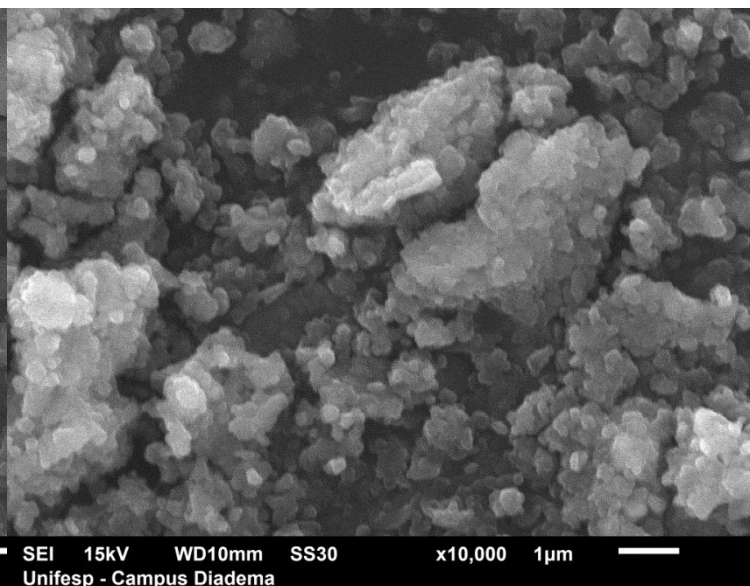


Figura 73- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 1.

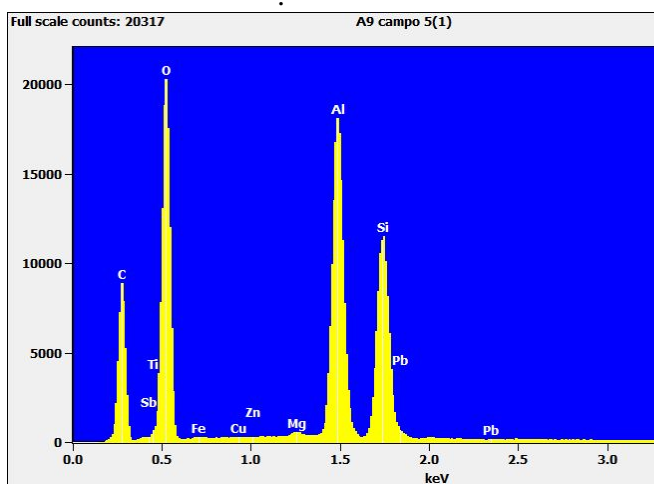


Gráfico 25 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR3 - TR01/TRAD1 - campo 5.

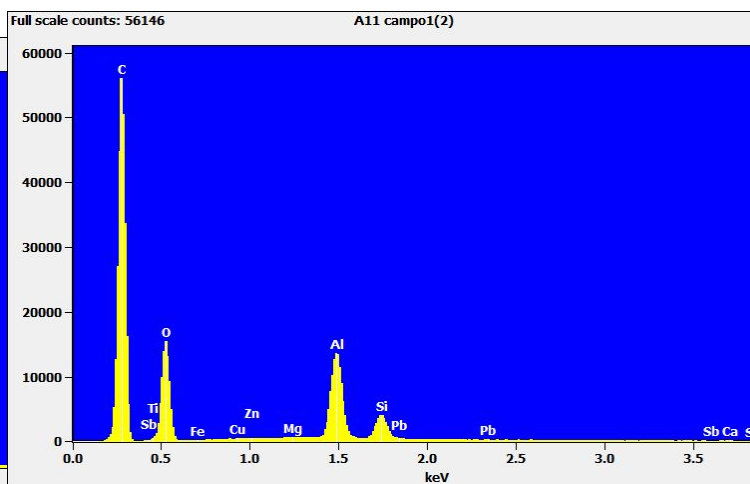


Gráfico 26 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 1.

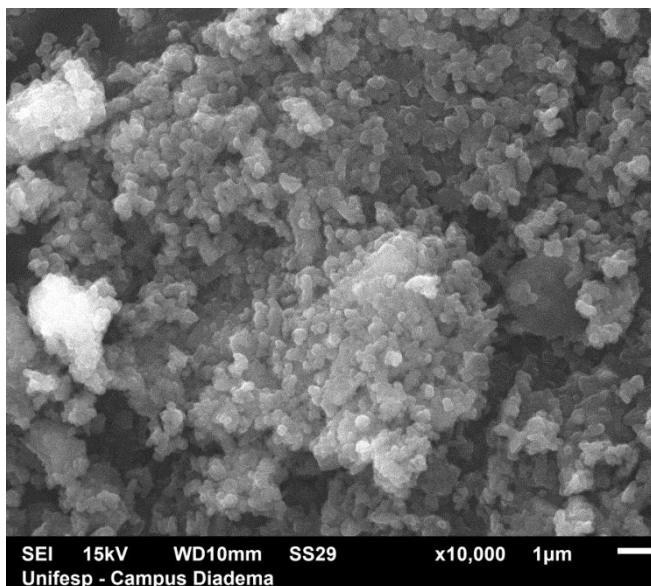


Figura 74- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 2.

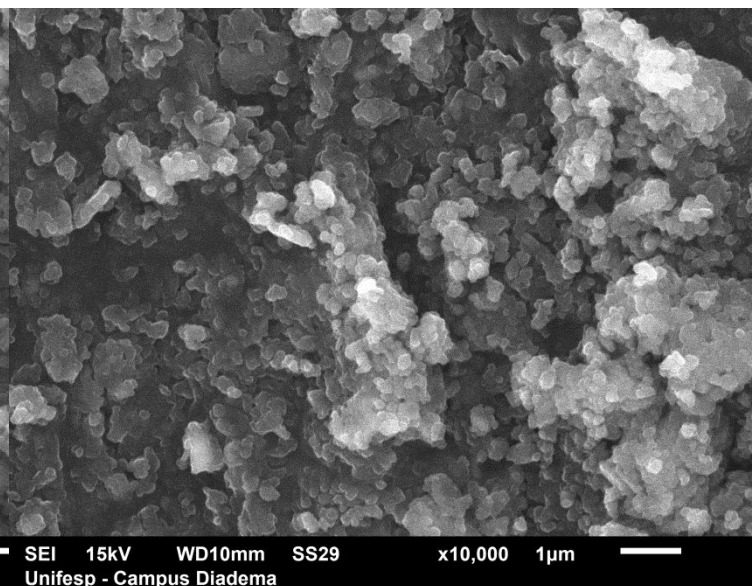


Figura 75 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 3.

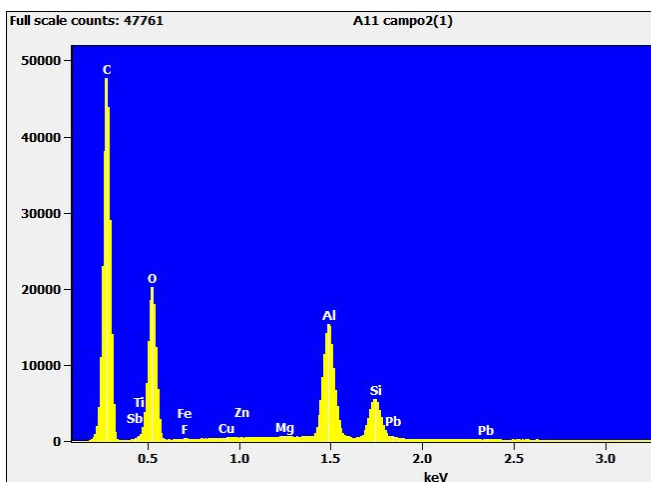


Gráfico 27 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 2.

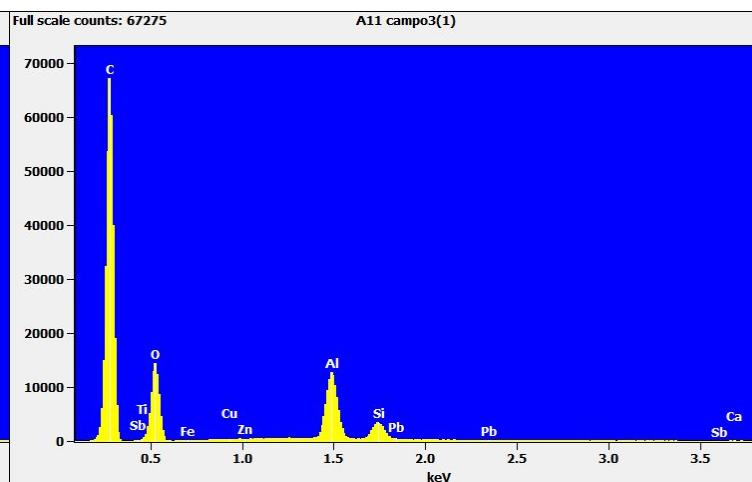


Gráfico 28 Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 3 -

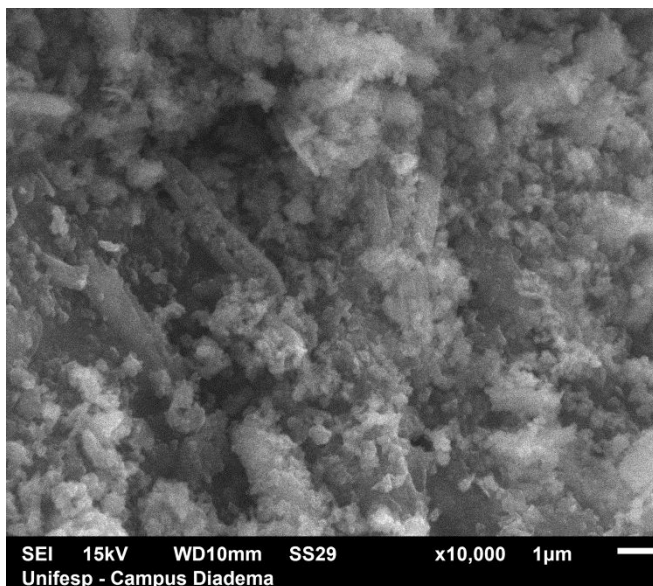


Figura 76 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 4.

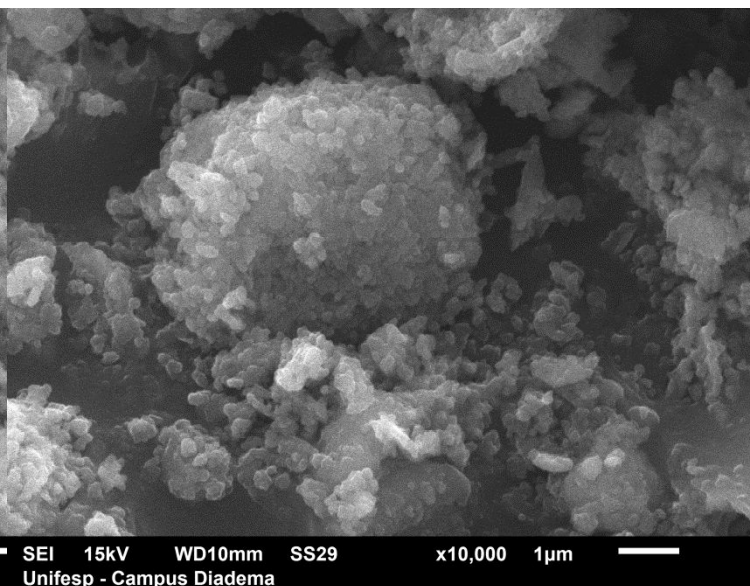


Figura 77 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 5.

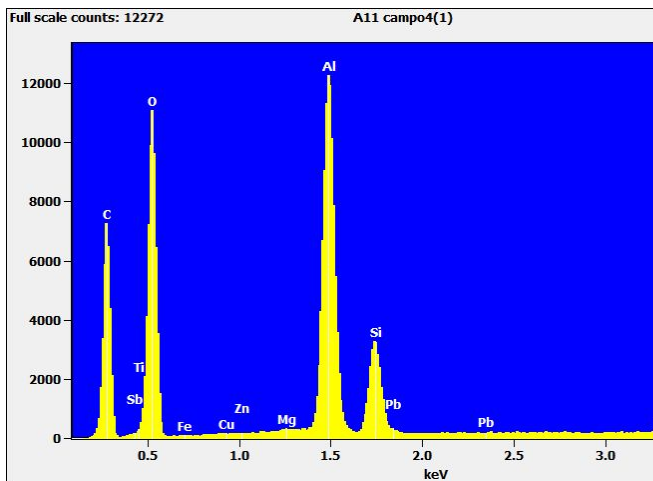


Gráfico 29 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 4.

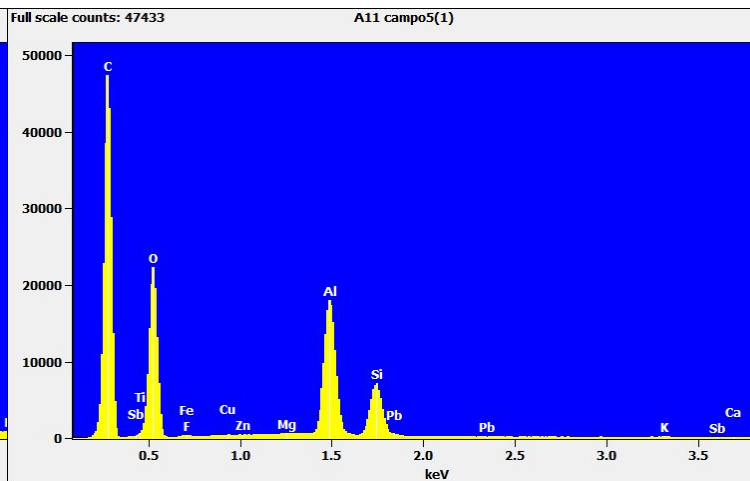


Gráfico 30 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR5 - TR01/TRAD1 - campo 5.

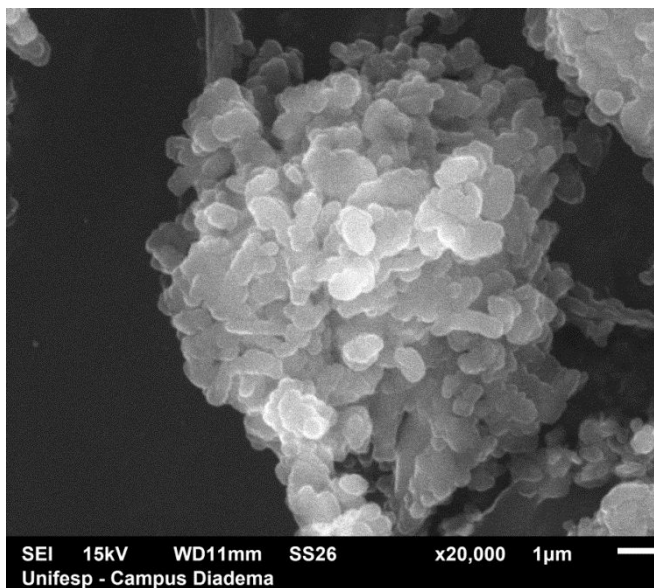


Figura 78- Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 1.

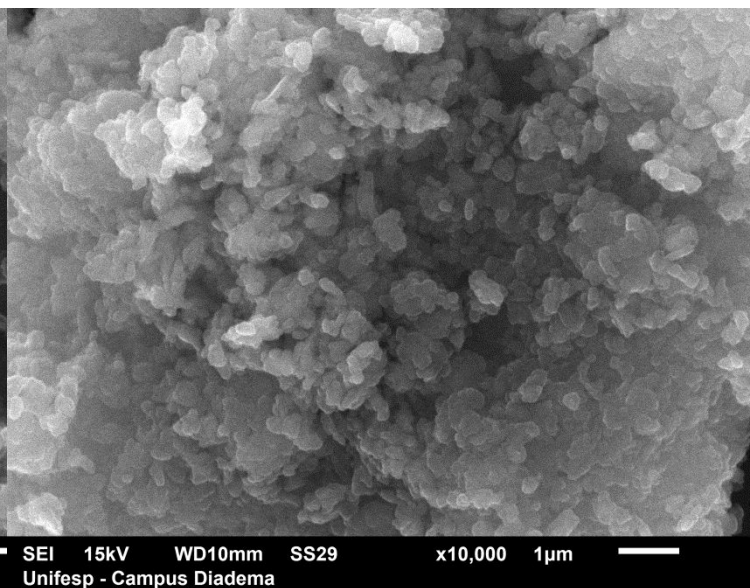


Figura 79 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 2.

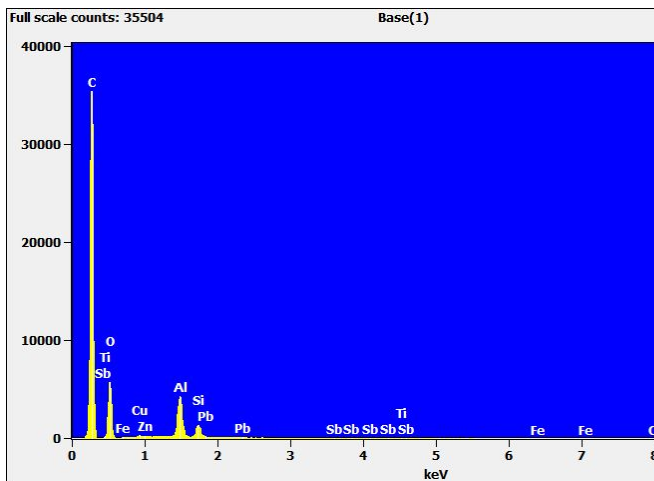


Gráfico 31 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 1.

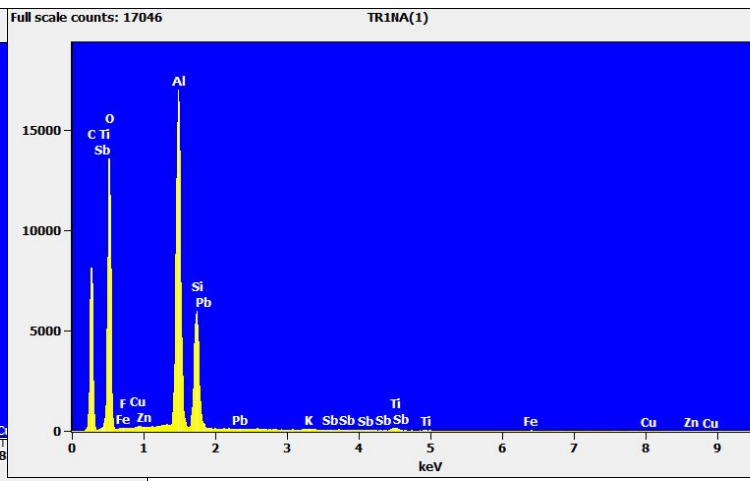
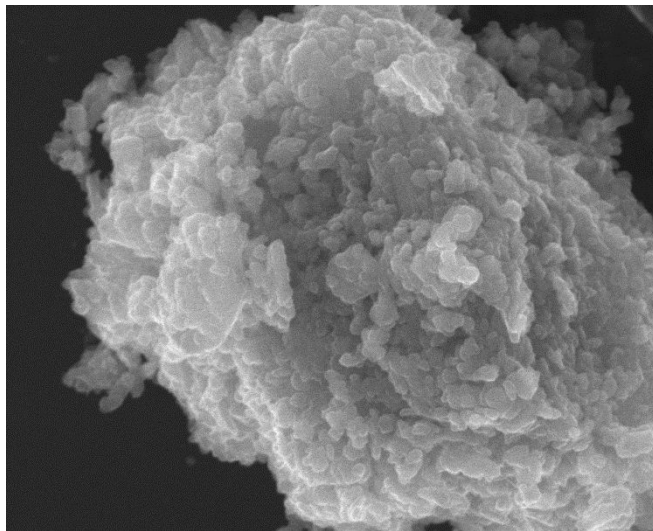
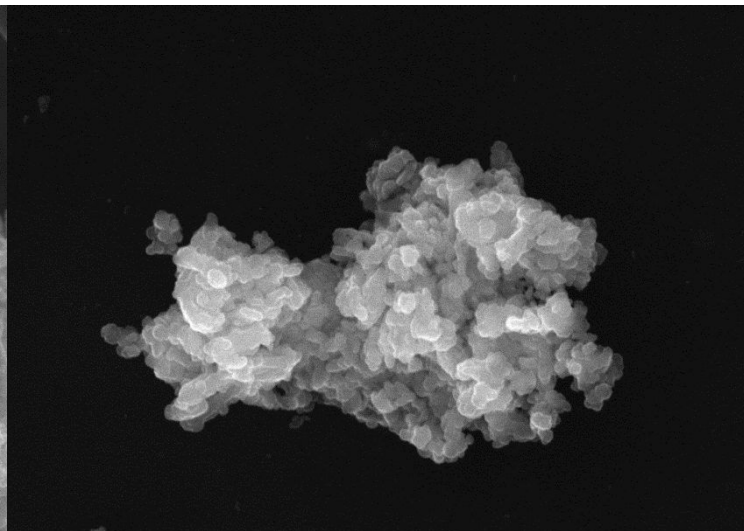


Gráfico 32- Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 2.



SEI 15kV WD10mm SS29 x10,000 1µm
Unifesp - Campus Diadema



SEI 15kV WD10mm SS29 x10,000 1µm
Unifesp - Campus Diadema

Figura 80 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 3.

Figura 81 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 4.

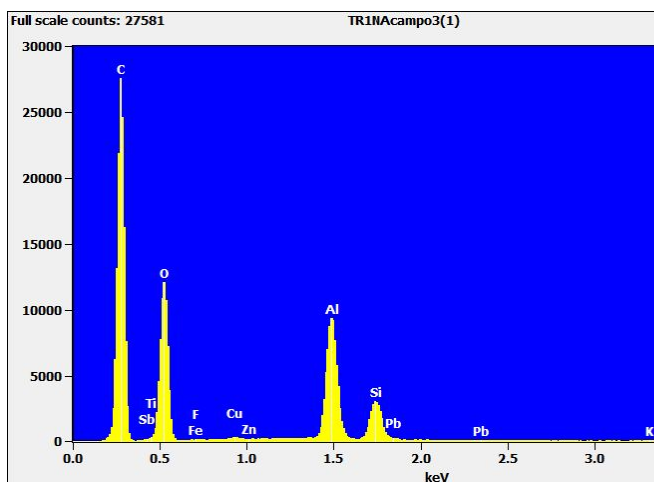


Gráfico 33 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 3.

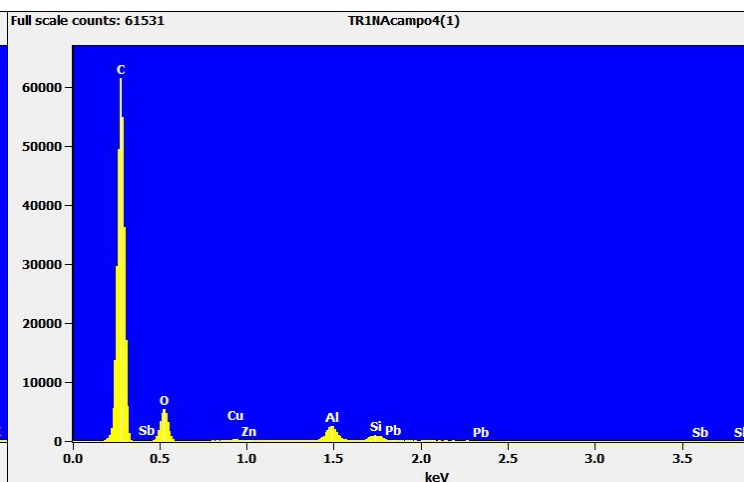


Gráfico 34 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 4.

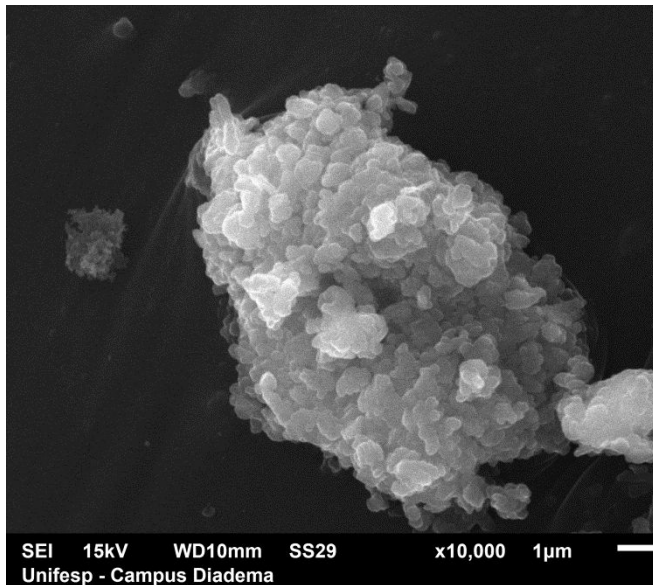


Figura 82 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 5.

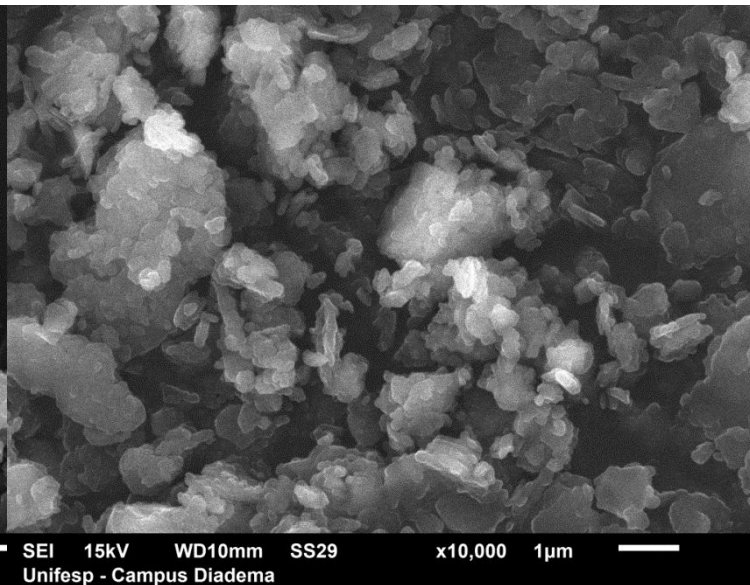


Figura 83- Partículas visualizadas por MEV – Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 1.

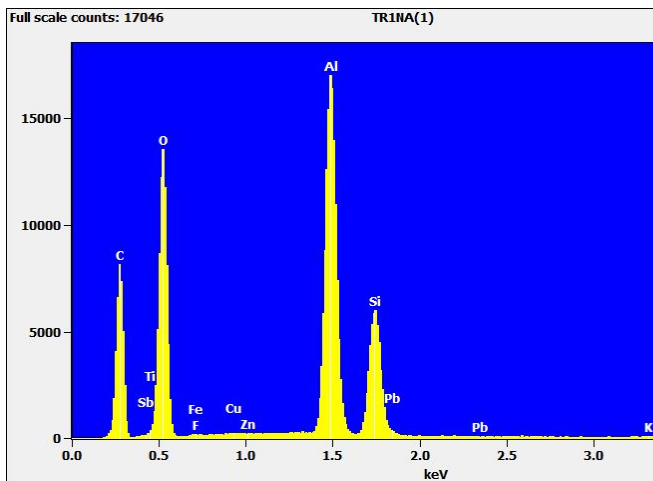


Gráfico 35 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR7 - TR01/TRAD1 - campo 5.

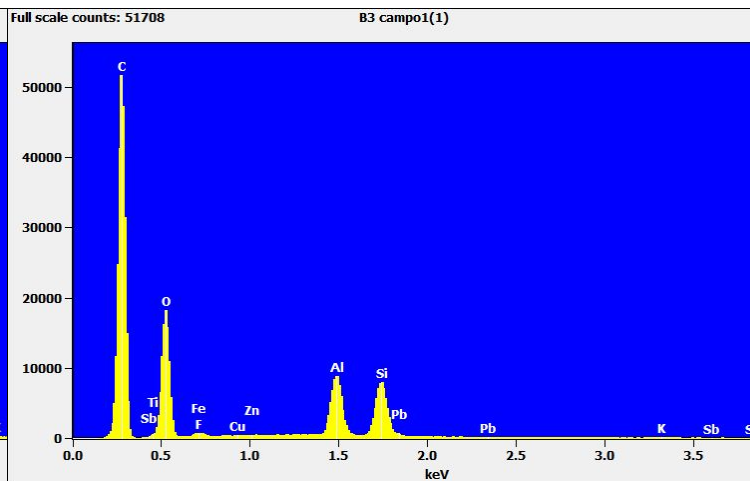


Gráfico 36 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 1.

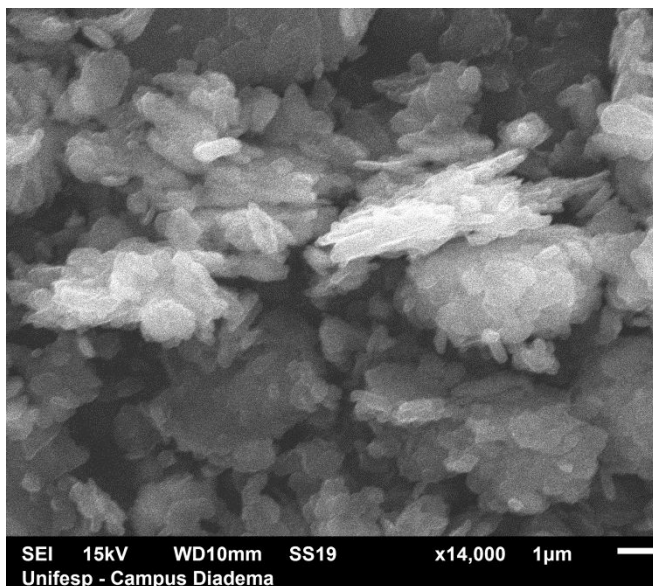


Figura 84 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 2.

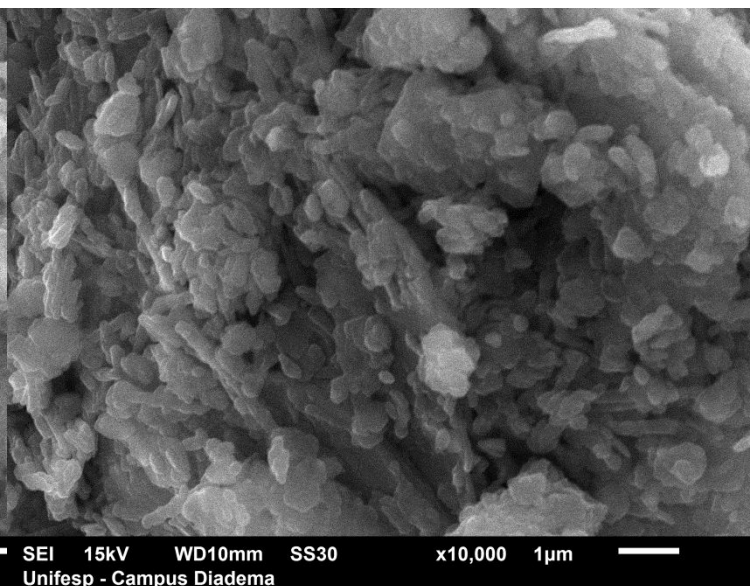


Figura 85 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 3.

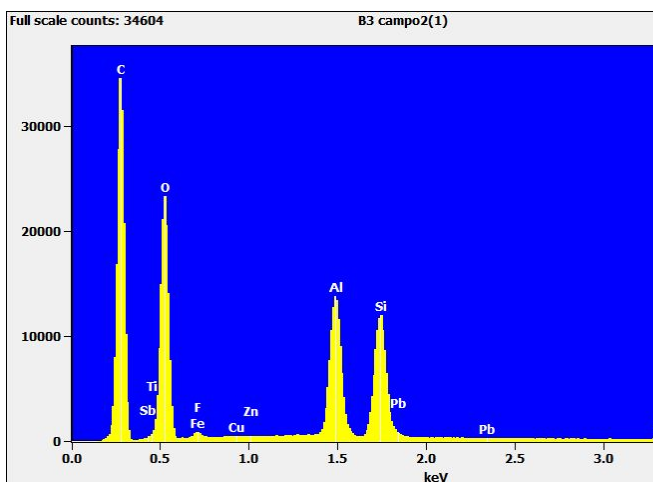


Gráfico 37 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 2.

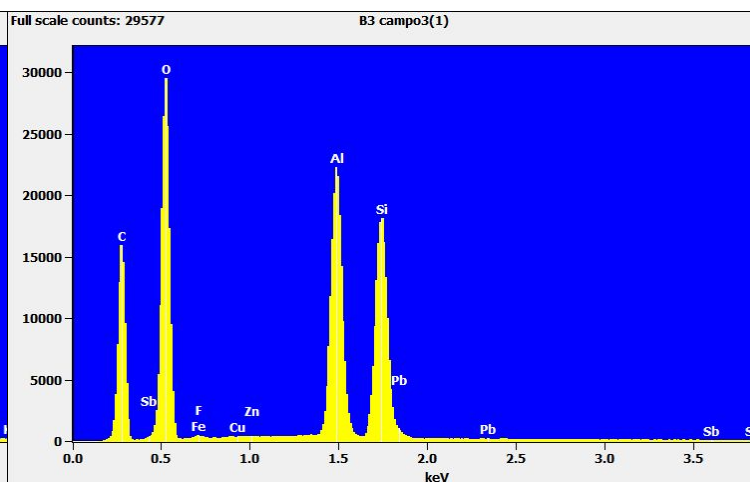


Gráfico 38 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 3.

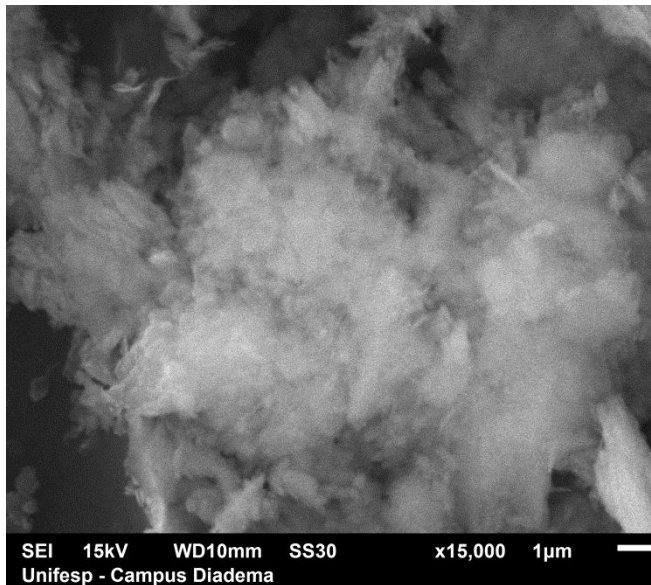


Figura 86 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 4.

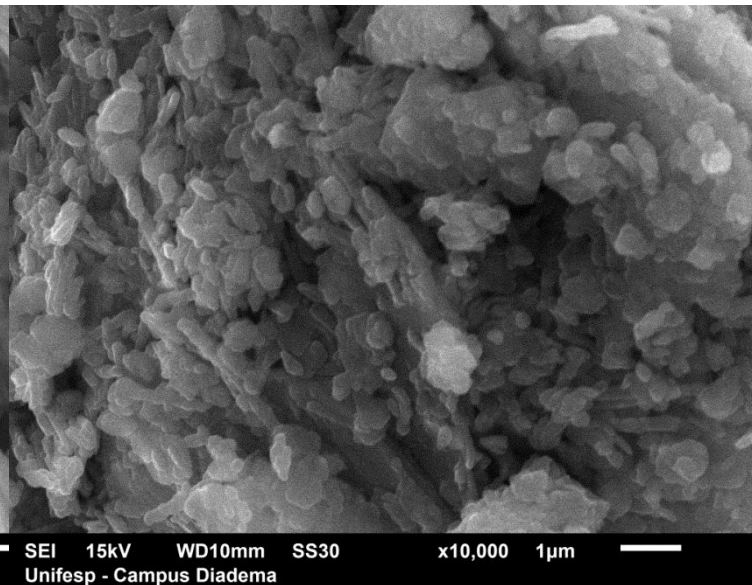


Figura 87 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 5.

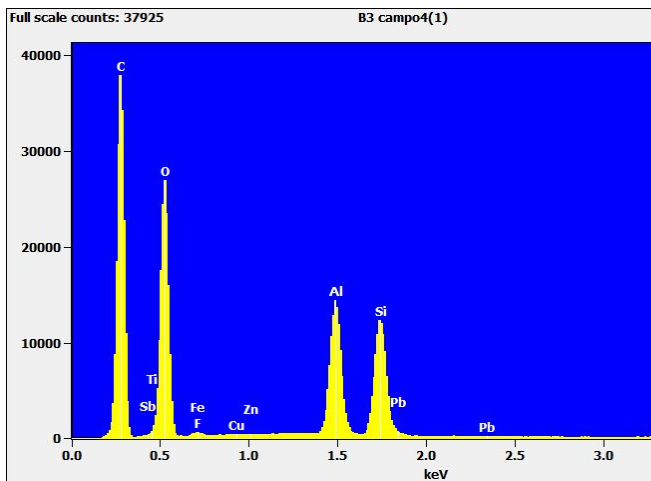


Gráfico 39 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 4.

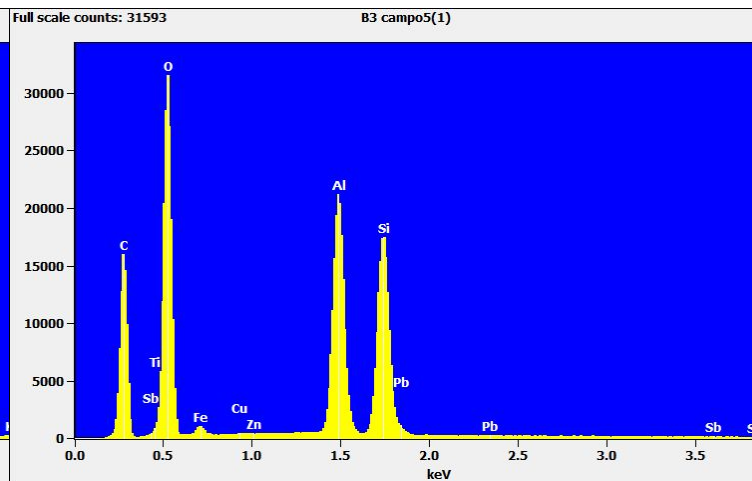


Gráfico 40 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte CAM5 - TR02/TRAD2 - campo 5.

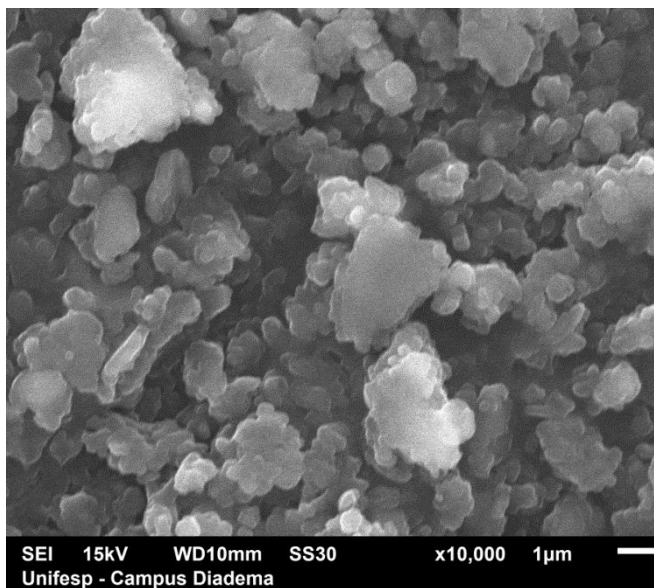


Figura 88 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 1.

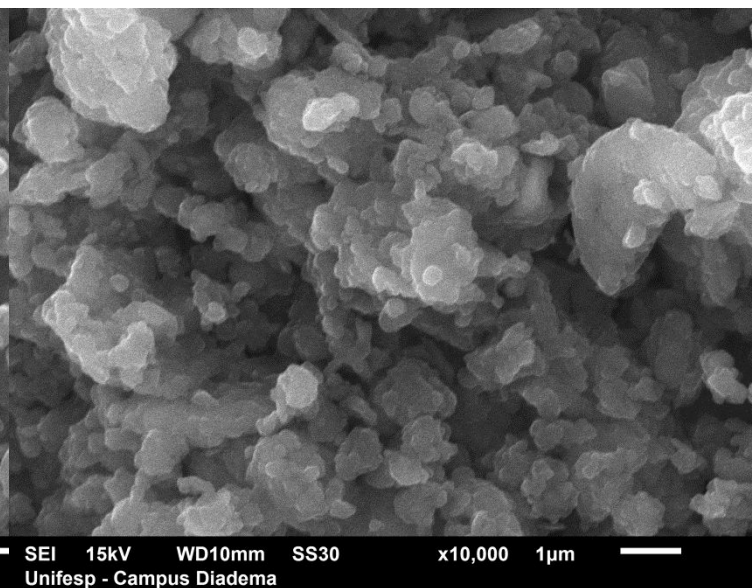


Figura 89 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 2.

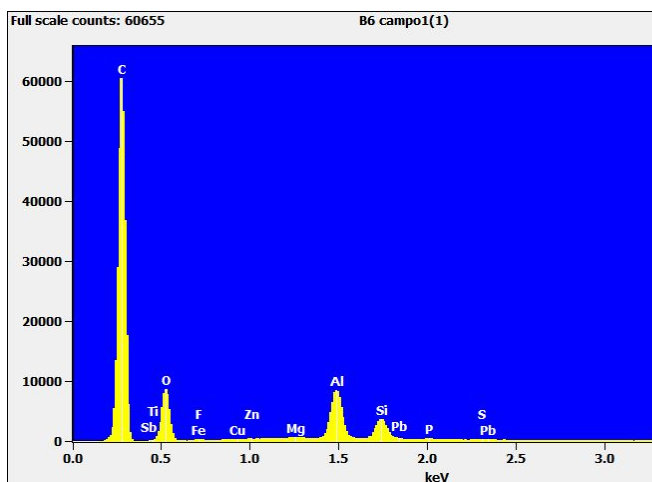


Gráfico 41 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 1.

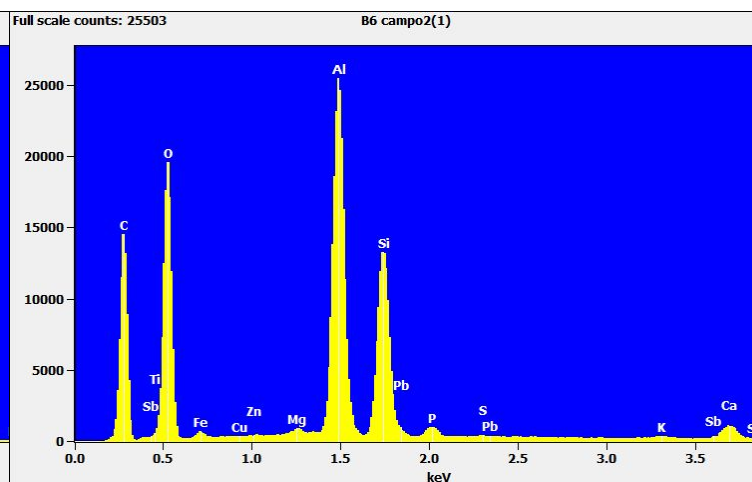


Gráfico 42 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 2.

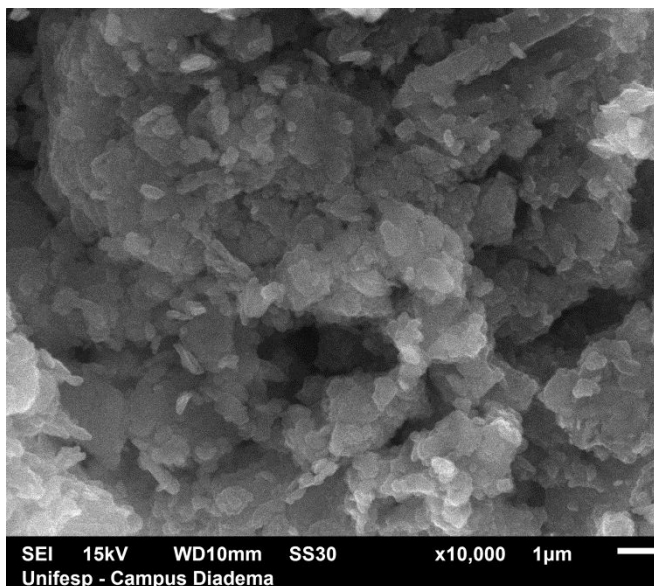


Figura 90 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 3.

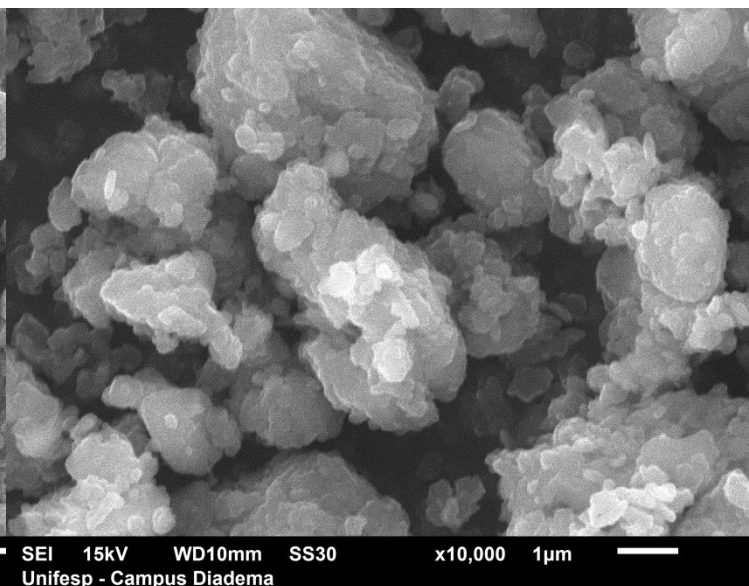


Figura 91 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 4.

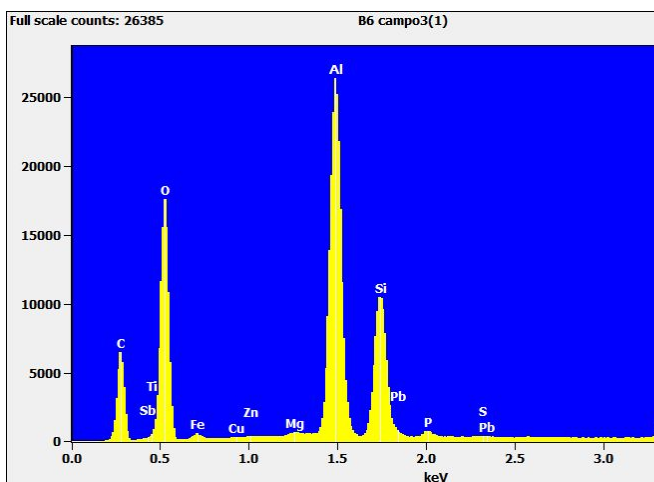


Gráfico 43 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 3.

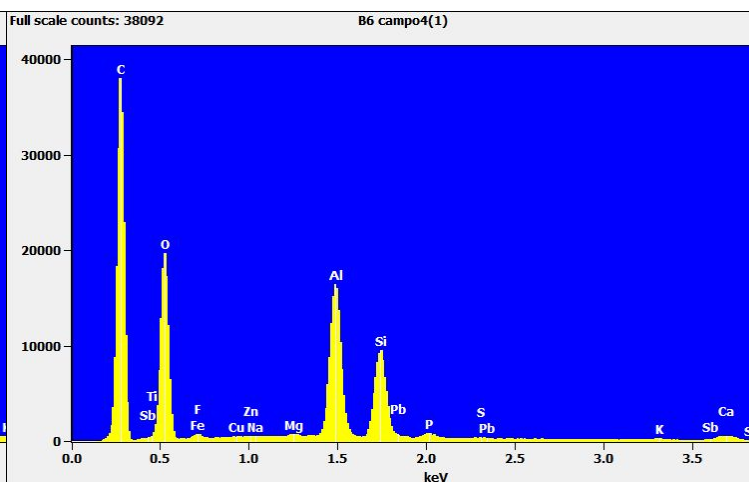


Gráfico 44 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 4.

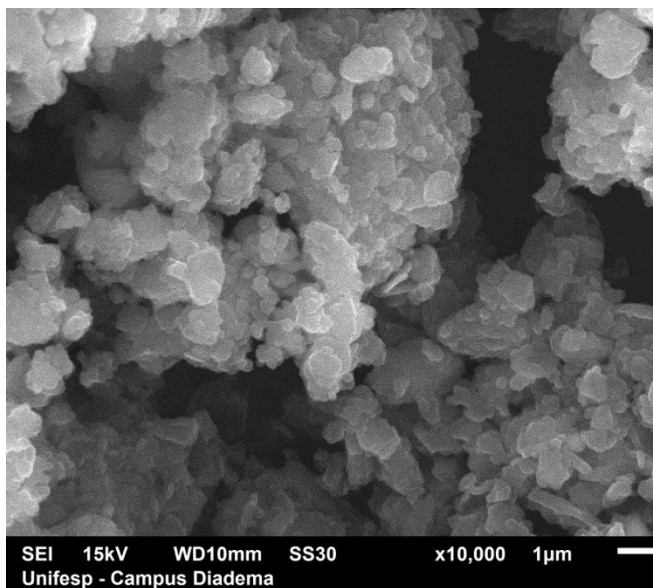


Figura 92 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 5.

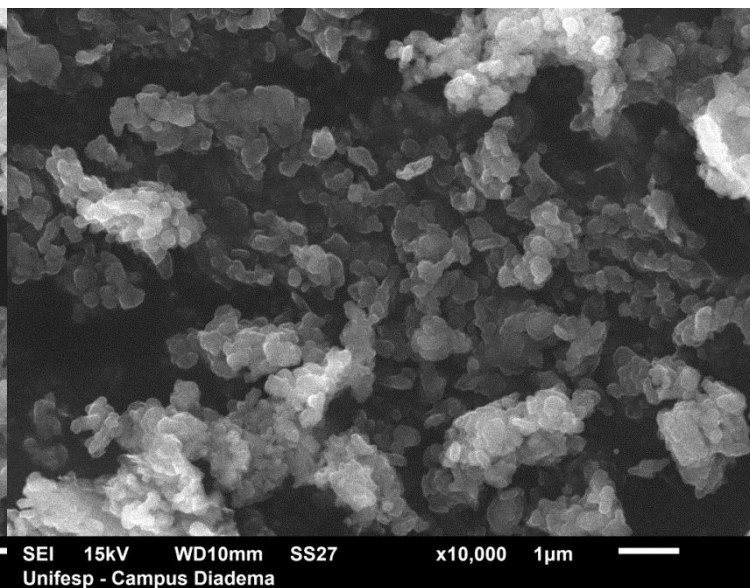


Figura 93 - - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 1.

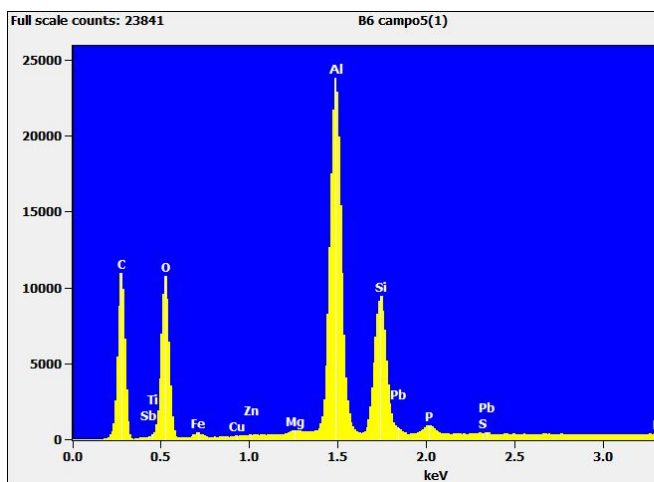


Gráfico 45 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR1 - TR02/TRAD2 - campo 5.

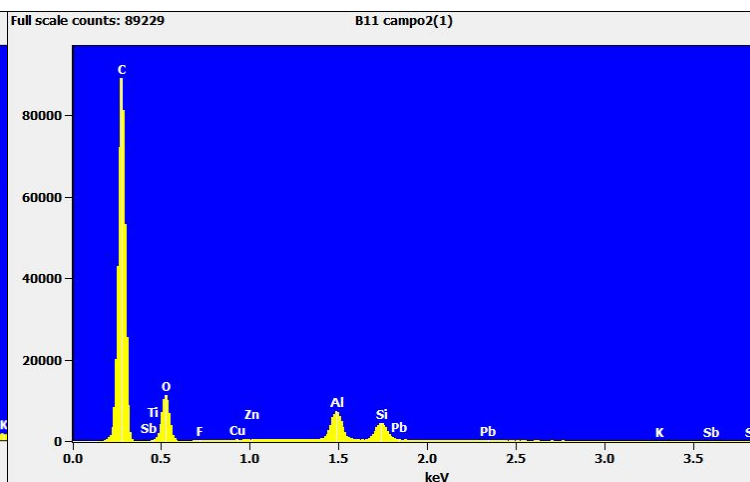


Gráfico 46 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 1.

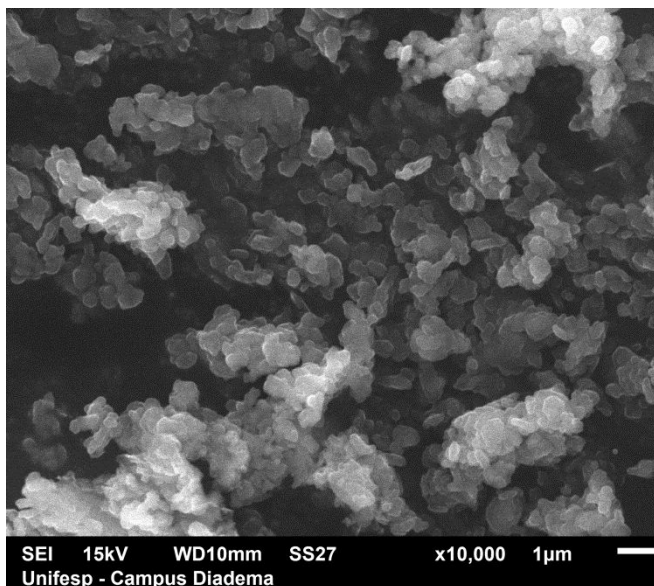


Figura 94 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 2.

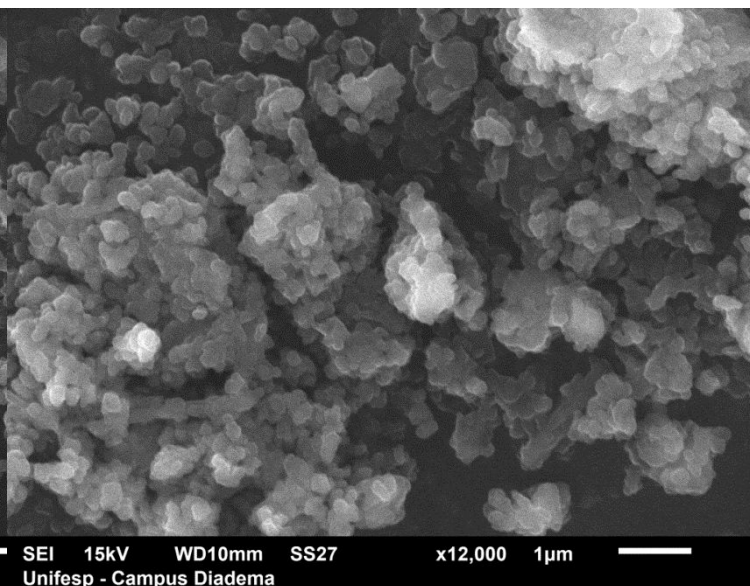


Figura 95 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 3.

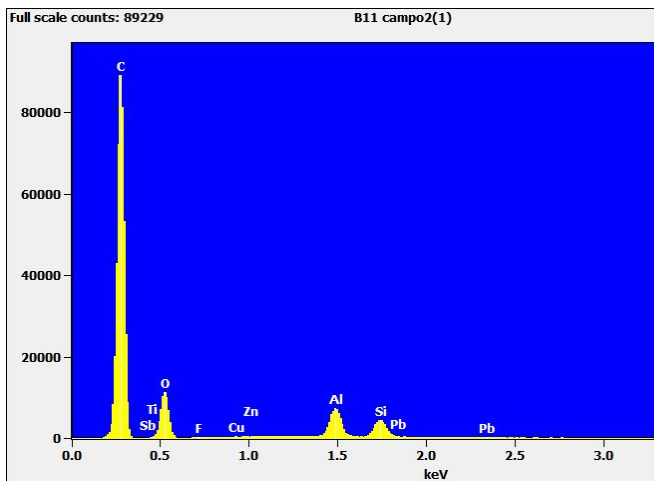


Gráfico 47 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 2.

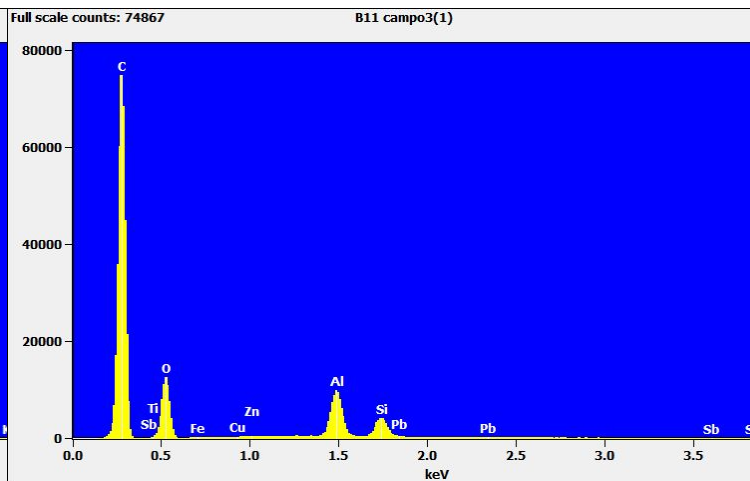


Gráfico 48 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 3.

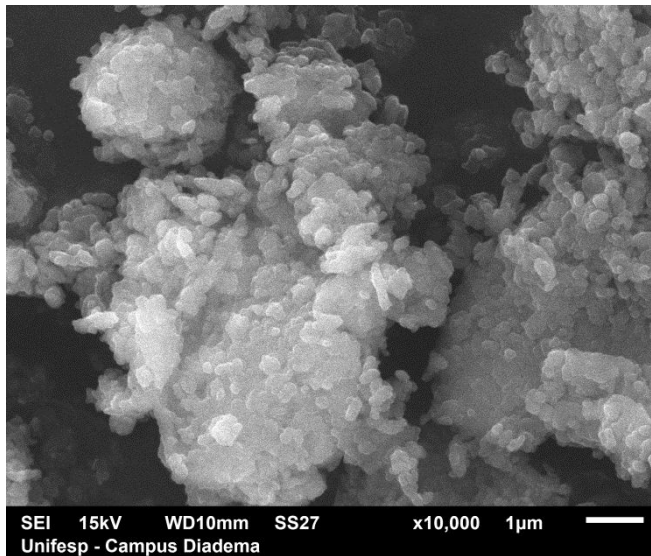


Figura 96 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 4.

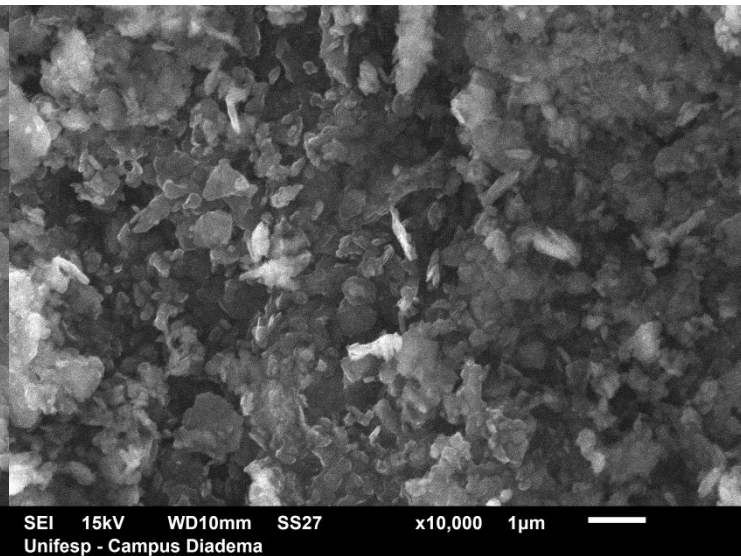


Figura 97 - Partículas visualizadas por MEV - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 5.

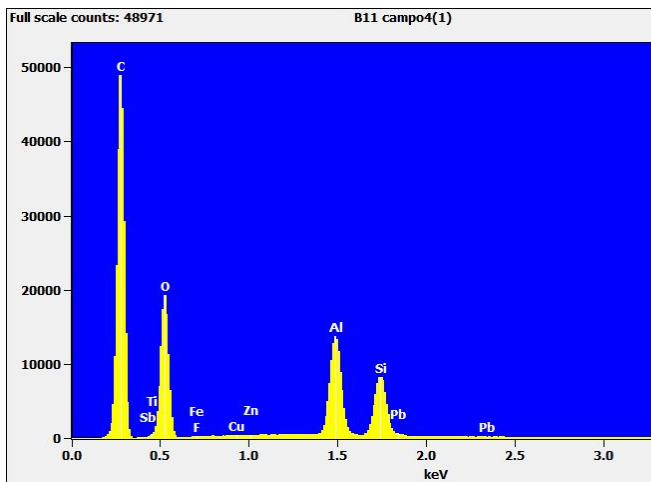


Gráfico 49 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 4.

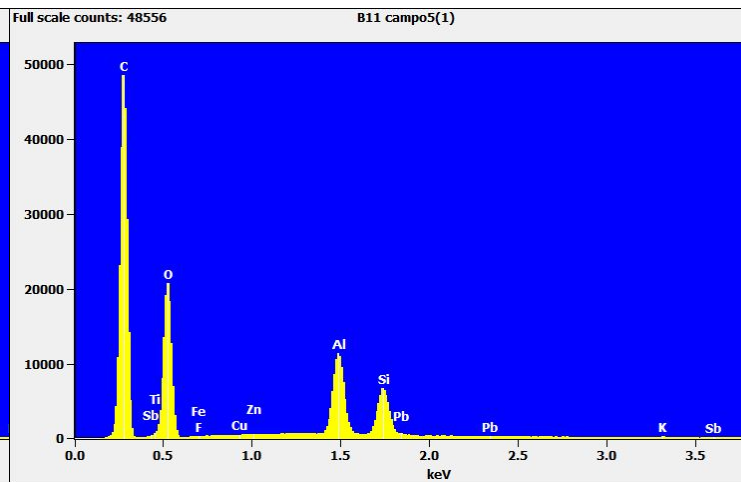


Gráfico 50 - Concentração de elementos em EDS - Horizonte HOR6 - TR02/TRAD2 - campo 5.