

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DE METAIS
PESADOS EM SEDIMENTOS ARGILOSOS DA
BACIA DE SÃO PAULO, SUZANO-SP**

Andrea Amarante

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujianni Sígolo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
1997

ERRATA

I) No texto: substituir a denominação das Unidades

Para a Unidade 2:

Onde se lê argila de coloração cinza-escura leia-se argilito de coloração cinza-escura

Para a Unidade 3

Onde se lê silte de coloração cinza-clara leia-se silito de coloração cinza-clara

II) Pág XI, 3º parag., 4ª lin:

Onde se lê Cu, Zn, Mo e Mn leia-se Cu, Zn, Pb e Mn

III) Pág. XIII, 3º parag, 3ª lin:

Onde se lê Cu, Zn, Mo e Mn leia-se Cu, Zn, Pb and Mn

IV) Pág. 91, item 2 - 4ª linha

Onde se lê Cu, Zn, Mo e Mn leia-se Cu, Zn, Pb e Mn

V) Legendas das Figuras do Capítulo 8:

Pág. 78

Onde se lê: Figura 43 (...) TL-03.

Leia-se: Figura 43 (...) TL-03. (eixo x: % de argila; eixo y: conteúdo de Pb em mg/kg)

Pág. 79

Onde se lê: Figura 44 (...) TL-04.

Leia-se: Figura 44 (...) TL-04. (eixo x: % de argila; eixo y: conteúdo de Pb em mg/kg)

Onde se lê: Figura 45 (...) TL-03.

Leia-se: Figura 45 (...) TL-03. (eixo x: % de argila; eixo y: conteúdo de Zn em mg/kg)

Pág. 80

Onde se lê: Figura 46 (...) TL-01.

Leia-se: Figura 46 (...) TL-01. (eixo x: % de silte; eixo y: conteúdo de Cu em mg/kg)

Onde se lê: Figura 47 (...) TL-02.

Leia-se: Figura 47 (...) TL-02. (eixo x: % de silte; eixo y: conteúdo de Cu em mg/kg)

Onde se lê: Figura 48 (...) TL-04.

Leia-se: Figura 48 (...) TL-04. (eixo x: % de silte; eixo y: conteúdo de Cu em mg/kg)

Pág. 81

Onde se lê: Figura 49 (...) TL-02.

Leia-se: Figura 49 (...) TL-02. (eixo x: % de silte; eixo y: conteúdo de Zn em mg/kg)

Onde se lê: Figura 50 (...) TL-02.

Leia-se: Figura 50 (...) TL-02. (eixo x: % de silte; eixo y: conteúdo de Mo em mg/kg)

Onde se lê: Figura 51 (...) TL-01.

Leia-se: Figura 51 (...) TL-01. (eixo x: % de areia; eixo y: conteúdo de Cu em mg/kg)

Onde se lê: Figura 52 (...) TL-04.

Leia-se: Figura 52 (...) TL-04. (eixo x: % de areia; eixo y: conteúdo de Cu em mg/kg)

Pág. 83

Onde se lê: Figura 53 (...) TL-02.

Leia-se: Figura 53 (...) TL-02. (eixo x: % de matéria orgânica; eixo y: conteúdo de C em mg/kg)

Onde se lê: Figura 54 (...) TL-03.

Leia-se: Figura 54 (...) TL-03. (eixo x: % de matéria orgânica; eixo y: conteúdo de C em mg/kg)

Onde se lê: Figura 55 (...) TL-02.

Leia-se: Figura 55 (...) TL-02. (eixo x: % de matéria orgânica; eixo y: conteúdo de N em mg/kg)

Pág. 84

Onde se lê: Figura 56 (...) TL-03.

Leia-se: Figura 56 (...) TL-03. (eixo x: % de argila; eixo y: conteúdo de Mn em mg/kg)

Onde se lê: Figura 57 (...) TL-07.

Leia-se: Figura 57 (...) TL-07. (eixo x: conteúdo de Cu em mg/kg; eixo y: conteúdo de Zn em mg/kg)

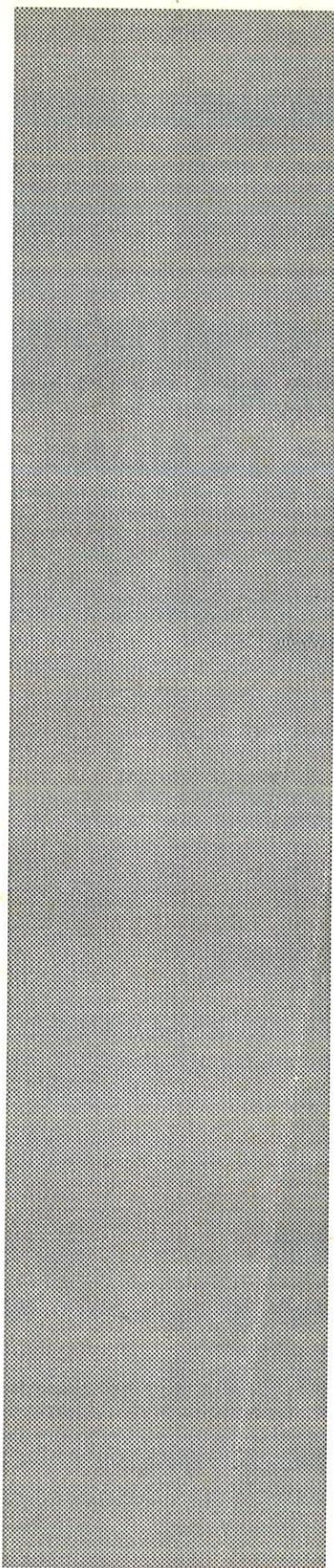
Pág. 85

Onde se lê: Figura 58 (...) TL-07.

Leia-se: Figura 58 (...) TL-07. (eixo x: conteúdo de Cu em mg/kg; eixo y: conteúdo de Pb em mg/kg)

Onde se lê: Figura 59 (...) TL-07.

Leia-se: Figura 59 (...) TL-07. (eixo x: conteúdo de Pb em mg/kg; eixo y: conteúdo de Zn em mg/kg)



*Dedico esta dissertação
à minha família, em especial aos meus pais
e ao Cassiano, que sempre acreditaram em mim*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DE METAIS
PESADOS EM SEDIMENTOS ARGILOSOS DA
BACIA DE SÃO PAULO, SUZANO-SP**

ANDREA AMARANTE

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujianni Sígolo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Joel Barbujianni Sígolo

Examinadores: Prof. Dr. José Roberto Campos

Prof^a Dr^a Sonia Maria Barros de Oliveira

SÃO PAULO
1997

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DE METAIS
PESADOS EM SEDIMENTOS ARGILOSOS DA
BACIA DE SÃO PAULO, SUZANO-SP**

Andrea Amarante

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujiari Sígolo



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

DEDALUS - Acervo - IGC



30900004786

SÃO PAULO
1997

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus agradecimentos:

Ao Prof. Dr. Joel Barbujianni Sígolo, que me orientou;

À CAPES, pelo financiamento de bolsa de estudo da mestranda;

À FAPESP, pelo financiamento do projeto através do Processo nº 94/2142-4;

À Produquímica, que permitiu a execução do projeto, e forneceu todo o apoio logístico durante os trabalhos de campo;

Agradeço às pessoas que, de um modo ou de outro, me ajudaram durante este período de pesquisa:

Ao Samuel e à Verônica, do DGG/USP, que deram todo o apoio durante as etapas de campo e de preparação das amostras;

À Cleide e Sueli, do Laboratório de Geoquímica do IG/USP; à Margarita, do Laboratório de Geoquímica do DPM/IG/UNESP e à Ivete, Draggo e Alves, do Laboratório de Análises Sedimentológicas do IG/SMA, pelas análises que foram tão valiosas para este trabalho;

Ao Hélder, do NUPEGEL/IAG/USP, pelas análises em MEV e DRX; e pela orientação durante o processamento dos dados;

Ao Flávio, do DRX, que acabei conhecendo apenas na etapa final deste trabalho, pelas aulas de Difractometria e pela orientação na interpretação dos resultados;

Aos amigos Antonio, Carla e Alix, da FEBASP, que me ajudaram a vencer este novo período da minha vida acadêmica;

Aos amigos Sandra, Samara, Francisco e Otávio, do IG/SMA, pela força e amizade durante o fechamento deste trabalho.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	XI
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVO	03
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	04
3.1. Caracterização do Problema	04
3.2. Localização	07
3.3. Clima	09
3.4. Geomorfologia	09
3.5. Geologia Regional.....	11
3.6. Geologia Local.....	13
4. SÍNTESE SOBRE O CONHECIMENTO DOS METAIS PESADOS NO SOLO	15
4.1. Origem dos metais pesados no solo.....	15
4.2. Metais pesados no solo.....	17
4.2.1. Cobre	17
4.2.2. Manganês	18
4.2.3. Molibdênio.....	19
4.2.4. Zinco	20
4.2.5. Chumbo	21
4.2.6. Cádmio.....	22
5. METODOLOGIA.....	24
5.1. Metodologia de Campo	24
5.1.1. Seleção da seção a ser analisada e locação dos furos a trado.....	24
5.1.2. Coleta e seleção das amostras para análises	27
5.2. Metodologia de Laboratório	28
5.2.1. Análises Granulométricas	28
5.2.2. Dosagem do conteúdo de matéria orgânica.....	29
5.2.3. Difractometria de Raio X (DRX)	30
5.2.4. Análises Químicas.....	30
5.2.5. Análises Micromorfológicas.....	32
6. CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DE ESTUDO	34
6.1. Unidade 1: Argila de coloração alaranjada (colúvio)	37
6.1.1. Caracterização Macroscópica	37
6.1.2. Caracterização Microscópica.....	39
6.1.3. Determinações em MEV	42
6.1.3.1. Fragmentos	42
6.1.3.2. Lâminas.....	45

6.2. Unidade 2: Argila de coloração cinza-escura (sedimentos da Bacia de São Paulo)	47
6.2.1. Caracterização Macroscópica	47
6.2.2. Caracterização Microscópica	48
6.2.3. Determinações em DRX	51
6.2.4. Determinações em MEV	53
6.2.4.1. Fragmentos	53
6.2.4.2. Lâminas	59
6.3. Unidade 3: Silte de coloração cinza-clara (sedimentos da Bacia de São Paulo)	60
6.3.1. Caracterização Macroscópica	60
6.3.2. Caracterização Microscópica	62
6.3.3. Determinações em MEV	63
6.3.3.1. Fragmentos	63
6.3.3.2. Lâminas	64
7. COMPORTAMENTO DOS METAIS PESADOS NA SEÇÃO DE ESTUDO	65
7.1. Comportamento dos metais pesados nos furos localizados a jusante da lagoa de infiltração: TL-01, TL-02 e TL-03	65
7.2. Comportamento dos metais pesados nos furos localizados dentro da lagoa de infiltração: TL-04 e TL-05	69
7.3. Comportamento dos metais pesados nos furos localizados a montante da lagoa de infiltração: TL-06 e TL-07	73
8. ASSOCIAÇÕES DO CONTEÚDO DE METAIS PESADOS COM A GRANULOMETRIA E TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA NA SEÇÃO DE ESTUDO	78
8.1. Associações do conteúdo de MP com a granulometria	78
8.2. Associações do conteúdo de MP com o teor de matéria orgânica	82
8.3. Correlações entre o comportamento de Cu, Pb e Zn no perfil	84
9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	86
9.1. Comportamento dos MP na seção de estudo	86
9.2. Conteúdo de MP X Granulometria	88
9.3. Conteúdo de MP X teor de matéria Orgânica	89
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

ANEXOS

Anexo 1: Análises Granulométricas Quantitativas para as amostras nos diferentes perfis

Anexo 2: Dosagem do conteúdo de matéria orgânica para as amostras nos diferentes perfis

Anexo 3: Análises Químicas por ICP-AES para as amostras nos diferentes perfis

Anexo 4: Descrição da seção estudada

Anexo 5: Comportamento dos metais ao longo da seção estudada - Parte I: Cu, Mn, Mo, Zn e Pb

Anexo 6: Comportamento dos metais ao longo da seção estudada - Parte II: Cd

FOTOGRAFIAS

Fotografia 01: Vista geral das instalações da indústria.....	06
Fotografia 02: Vista da nascente do Córrego das Jaboticabeiras. Ao fundo, instalações da indústria.....	10
Fotografia 03: Aspecto de afloramento dos sedimentos da Bacia de São Paulo em terreno localizado a jusante da área da indústria. Material de aspecto silteoso, maciço, e coloração cinza-clara, correlacionado à Unidade 3 do perfil de estudo.....	14
Fotografia 04: Aspecto geral da lagoa de infiltração	26
Fotografia 05: Localização dos furos TL-01, TL-02 e TL-03. À direita do furo TL-01, poço de monitoramento de água da CETESB (PM-5). Ao fundo, estrada de servidão da indústria.. Fotografia tirada da barragem da lagoa para jusante.	26
Fotografia 06 : Unidades 1 (coloração alaranjada), 2 (coloração cinza-escura) e 3 (coloração cinza-clara), durante amostragem do perfil TL-03.	35
Fotografia 07: Aspecto do nível de entulho do Furo TL-06.	73

TABELAS

Tabela 01: Composição química das tortas analisadas.....	05
Tabela 02: Conteúdo em metais pesados das tortas analisadas.....	05
Tabela 03: Conteúdo em Cd, Cu, Mn, Mo, Pb e Zn dos principais tipos de rochas (mg/kg). Extraído de ALLOWAY (1995)	15
Tabela 04: Número total de amostras coletadas e encaminhadas para análise.....	28
Tabela 05: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-01	65
Tabela 06: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-02	66
Tabela 07: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-03	66
Tabela 08: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-04	69
Tabela 09: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-05	70
Tabela 10: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-06	74
Tabela 11: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-07	74

FIGURAS

Figura 01: Localização da área, vias de acesso e bacia hidrográfica simplificada	08
Figura 02: Geologia Regional, de acordo com CPRM, 1990	12
Figura 03: Área da indústria, com a localização da lagoa de infiltração e o perfil de estudo	25
Figura 04: Localização das tradagens TL-01 a TL-07 na seção de estudo, com as respectivas distâncias entre as mesmas	27
Figura 05: Localização dos perfis dos poços SO3 e SO5, com os respectivos níveis amostrados	33
Figura 06: Organização espacial das unidades na seção de estudo	34
Figura 07: Diagrama de Classificação Textural de Solos, segundo o Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (extraído de Oliveira <i>et al.</i> , 1992)	36
Figura 08: Distribuição das porcentagens de areia, argila e silte de amostras da Unidade 1 em diagrama triangular de classificação textural de solos, de acordo com CATI/SAA (1994)	38
Figura 9: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 1, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	42
Figura 10: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 2, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	43
Figura 11: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 3, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	43
Figura 12: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 4, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	44
Figura 13: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 5, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	44
Figura 14: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 6, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	45
Figura 15: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 7, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	46
Figura 16: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 8, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	46
Figura 17: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 9, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	47
Figura 18: Distribuição das porcentagens de areia, argila e silte de amostras da Unidade 2 em diagrama triangular de classificação textural de solos, de acordo com CATI/SAA (1994)	48

Figura 19: Resultado da análise por DRX da amostra do perfil TL-03, localizado a jusante da lagoa de infiltração.....	51
Figura 20: Resultado da análise por DRX da amostra do perfil TL-05, localizado dentro da lagoa de infiltração.	52
Figura 21: Resultado da análise por DRX da amostra do perfil TL-06, localizado a montante da lagoa de infiltração.....	52
Figura 22: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 10, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	53
Figura 23: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 11, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	54
Figura 24: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 12, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	54
Figura 25: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 13, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	55
Figura 26: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 14, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	55
Figura 27: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 15, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	56
Figura 28: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 16, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	56
Figura 29: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 17, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	57
Figura 30: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 18, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	57
Figura 31: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 19, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	58
Figura 32: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 20, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	58
Figura 33: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 21, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	59
Figura 34: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 22, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	60
Figura 35: Distribuição das porcentagens de areia, argila e silte de amostras da Unidade 3 em diagrama triangular de classificação textural de solos, de acordo com CATI/SAA (1994)	61
Figura 36: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 23, com análise qualitativa apresentada em espectro.....	63

Figura 37: Comportamento do Mn, Zn, Pb, Mo e Cu nos perfis TL-01 a TL-03, situados a jusante da lagoa de infiltração.....	67
Figura 38: Comportamento do Cd nos perfis TL-01 a TL-03, situados a jusante da lagoa de infiltração.....	68
Figura 39: Comportamento do Mn, Zn, Pb, Mo e Cu nos perfis TL-04 e TL-05, situados dentro da lagoa de infiltração.....	71
Figura 40: Comportamento do Cd nos perfis TL-04 e TL-05, situados dentro da lagoa de infiltração.....	72
Figura 41: Comportamento do Mn, Zn, Pb, Mo e Cu nos perfis TL-06 e TL-07, situados a montante da lagoa de infiltração.....	76
Figura 42: Comportamento do Cd nos perfis TL-06 e TL-07, situados a montante da lagoa de infiltração.....	77
Figura 43: Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de argila e conteúdo de chumbo nas amostras do furo TL-03.....	78
Figura 44: Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de argila e conteúdo de chumbo nas amostras do furo TL-04.....	79
Figura 45: Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de argila e conteúdo de zinco nas amostras do furo TL-03.....	79
Figura 46: Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de silte e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-01.....	80
Figura 47: Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de silte e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-02.....	80
Figura 48: Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de silte e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-04.....	80
Figura 49 : Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de silte e conteúdo de zinco nas amostras do furo TL-02.....	81
Figura 50 : Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de silte e conteúdo de molibdênio nas amostras do furo TL-02.....	81
Figura 51 : Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de areia e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-01.....	82
Figura 52 : Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de areia e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-04.....	82
Figura 53 : Gráfico de correlação linear entre o teor de matéria orgânica e o conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-02.....	83
Figura 54 : Gráfico de correlação linear entre o teor de matéria orgânica e o conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-03.....	83
Figura 55 : Gráfico de correlação linear entre o teor de matéria orgânica e o conteúdo de manganês nas amostras do furo TL-02.....	83

Figura 56 : Gráfico de correlação entre o teor de matéria orgânica e o conteúdo de manganês nas amostras do furo TL-03.....	84
Figura 57: Gráfico de correlação linear entre o comportamento do Cu e Zn nos furos TL-04 a TL-07	84
Figura 58: Gráfico de correlação linear entre o comportamento do Cu e Pb nos furos TL-04 a TL-07	85
Figura 59: Gráfico de correlação linear entre o comportamento do Pb e Zn nos furos TL-04 a TL-07	85

QUADROS

Quadro 01: Elementos traços de minerais comuns formadores de rochas (extraído de ALLOWAY, 1995)	16
---	----

FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografias 1 (luz natural) e 2 (luz polarizada): Aspecto da matriz da amostra SO3-03B, pertencente à Unidade I. a) presença de quartzo com inclusões de rutilo (filetes); b) turmalina aparece como mineral acessório; c) grão de caulinita com material oxidado preenchendo as fraturas; d) matriz de coloração alaranjada, com microfissuras preenchidas por material quartzo-feldspático. Campo das fotos: 4,2 mm X 2,8 mm (objetiva 3,2; abertura 3,2:1).....	40
Fotomicrografias 3 (luz natural) e 4 (luz polarizada): Aspecto da amostra SO3-03B. Cristal de mica (muscovita), com fraturas preenchidas por hidróxido de ferro (goethita). As fraturas dos grãos de quartzo também encontram-se preenchidas com este material. Campo das fotos: 2,7 mm X 1,8 mm (objetiva 3,2; abertura 5:1).....	40
Fotomicrografias 5 (luz natural) e 6 (luz polarizada): Aspecto da amostra SO5-17B. Nódulo de hidróxido de ferro (goethita) com vazios preenchidos por hidróxido de alumínio (gibbsita), que se apresentam com coloração esbranquiçada com luz polarizada. Campo das fotos: 5,2mm X 3,7mm (objetiva 1,6; abertura 5:1).....	41
Fotomicrografia 7 (luz polarizada): Aspecto da amostra SO3-06B. Restos de matéria orgânica (raízes de planta) pseudomorfisada e mineralizada. Campo da foto: 5,2mm X 3,7mm (objetiva 1,6; abertura 5:1).....	41
Fotomicrografias 8 (luz natural) e 9 (luz polarizada): Aspecto do plasma da Amostra SO5-05A, de coloração marrom escura. Os grãos de quartzo encontram-se emersos no plasma, apresentando-se subarredondados. Alguns se apresentam com borda recoberta por material ferruginoso, e outros, com dissolução nas bordas. Campo das fotos: 4,2 mm X 2,8mm (objetiva 3,2; abertura 3,2:1)	49
Fotomicrografias 10 (luz natural) e 11 (luz polarizada): aspecto da amostra SO5-05A. Caulinita em avançado grau de alteração, se incorporando ao plasma. Campo das fotos:	50

Fotomicrografias 12 (luz natural) e 13 (luz polarizada): acumulação de material ferruginoso em nódulos na amostra SO3-02T. Campo das fotos: 3,2mm X 2,1mm (objetiva 3,2; abertura 4:1)..... 50

Fotomicrografia 14 (luz natural): Esqueletos de micas pseudomorfisadas por óxidos e hidróxidos de Fe, comuns na matriz da amostra SO5-02, pertencente a esta unidade. Campo das fotos: 0,41mm X 0,28mm (objetiva 20; abertura 5:1). 62

IMAGENS

Imagem 1: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-16 em MEV: feição de dissolução de grãos de quartzo (aumento 1000X) 42

Imagem 2: Morfologia de grão de solo em MEV: aspecto da matriz da amostra SO5-14, de composição essencialmente caulínica (aumento 750X) 43

Imagem 3: Morfologia de grão de solo em MEV: aspecto do material precipitado em uma das microcavidades da amostra SO5-13. Composição essencialmente caulínica (aumento 500X) 43

Imagem 4: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-16 em MEV: grão de carvão pseudomorfisado por Fe e Mn (aumento 100X). 44

Imagem 5: Detalhe da Imagem 4. Presença de nódulo de Fe e Ti em cavidade do grão de carvão. Aumento 500X..... 44

Imagem 6:Aspecto de nódulo de material ferruginoso (Fotomicrografias 5 e 6) em elétrons retrodifusos (aumento 35 X). O material ferruginoso está representado pelas porções mais claras..... 45

Imagem 7: Detalhe da parede do nódulo da Imagem 6, com fragmento de composto de Ce preso à sua estrutura 46

Imagem 8:Morfologia de grão de solo em MEV: Kcl precipitado em microfissuras presentes na matriz da amostra SO3-06B. (Aumento 5000X) 46

Imagem 9: Morfologia de grão de solo em MEV: Cu associado a Cl, precipitado em microfissuras presentes na matriz da amostra SO5-17B (Aumento 2000X) 47

Imagem 10: Morfologia de grão da amostra SO5-06 em MEV: grão de ilmenita (grão de formato losangular, no centro da foto). Aumento 3500X.. 53

Imagem 11: Grão de composição metálica da amostra SO5-05 em MEV, com o emprego de elétrons retrodifusos: grão de zircão (grão de coloração mais clara). Aumento 2000X..... 54

Imagem 12: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-05 em MEV: aspecto da matriz. (Aumento 1000X) 54

Imagem 13: Morfologia de grão de solo da amostra SO3-02 em MEV: sílica neoformada, na forma de bastonete (Aumento 2000X)..... 55

Imagem 14: Morfologia de grão de solo da amostra SO3-02 em MEV: neoformação de mineral de Cério (aumento 2000X) 55

Imagem 15: Imagem em <i>Split</i> (luz natural/emprego de elétrons retrodifusos) de fragmento de composto de Zn (grão claro no centro da foto). Aumento 3500X.	56
Imagem 16: Imagem em <i>Split</i> (luz natural/emprego de elétrons retrodifusos) de fragmento de composto de Zn preso a grão de argila (aumento 2000X)	56
Imagem 17: Imagem em <i>Split</i> (luz natural / emprego de elétrons retrodifusos) de fragmento de composto de Cu associado à presença de cloretos (ponto claro no centro da foto esquerda - elétrons retrodifusos). Aumento 2000X.....	57
Imagem 18: Imagem em split (luz natural / emprego de elétrons retrodifusos) de fragmento de composto de Pb de formato ovalado, que aparece em coloração mais clara no centro da foto (aumento 1500X)	57
Imagem 19: Morfologia de grão de solo em MEV; aspecto da matriz da amostra SO5-02 (Aumento 2000X).....	58
Imagem 20: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-07 em MEV: presença de ETR (Ce e La). Esfera no centro da imagem (Aumento 3500X)	58
Imagem 21: Grão de comportamento metálico da amostra SO5-07 em MEV com o emprego de elétrons retrodifusos: presença de ETR (Nd, Ce e La) associados à Prata. Aumento 1000X.	59
Imagem 22: Composto de ETR (Nd, Ce e La) associado a Mg e Si, na matriz da amostra SO5-05B	60
Imagem 23: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-02 em MEV: cristais de barita (Aumento 1500X).	63

RESUMO

Esta dissertação estuda o comportamento geoquímico do Cu, Pb, Zn, Mn, Mo e Cd contidos nos solos de uma área próxima à lagoa de infiltração de rejeitos de uma indústria de micronutrientes utilizados na agricultura, que está atualmente desativada. Uma seção perpendicular a esta lagoa foi construída com a locação de furos a jusante, no interior e a montante da lagoa, com o objetivo de estudar o comportamento dos metais nestas três situações. A coleta de amostras foi executada de 25 em 25 cm. As amostras coletadas foram encaminhadas para as seguintes análises: granulométrica, conteúdo de matéria orgânica, Difratometria de Raio X (DRX), conteúdo total de Zn, Mn, Mo, Cu, Pb e Cd por ICP-AES e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Basicamente, a seção de estudo pode ser dividida em quatro Unidades (litotipos): Unidade 1: argila de coloração alaranjada (colúvio), constituída de um latossolo; Unidade 2: argila de coloração cinza escura, rica em matéria orgânica, correspondente a sedimentos lacustres da Bacia de São Paulo; Unidade 3: silte de coloração cinza-clara, correspondente a sedimentos flúvio-lacustres da Bacia de São Paulo; Unidade 4: embasamento gnáissico (alterita) correspondente às rochas metamórficas pertencentes ao Complexo Embu. Destas, apenas as três primeiras foram objeto de caracterização neste estudo.

O material infiltrado na lagoa atravessou as camadas situadas abaixo da mesma, tendo sido retido principalmente pela camada da argila cinza-escura (Unidade 2). Análises em MEV de amostras desta unidade identificaram a presença de metais (Cu, Zn, Mo e Mn) presos à argilas, associados a sais neoformados e ao Fe, e precipitados na matriz e no plasma.

Cu, Pb e Zn possuem comportamento geoquímico semelhante nas áreas que sofreram intervenção antrópica (lagoa de infiltração e nível de entulho), apresentando altas concentrações nos níveis próximos à superfície, que diminuem com o aumento da profundidade. Nestes perfis, foram obtidas correlações acima de 0,85 para estes metais, sendo que para o Cu e Zn, esta correlação foi de 0,95.

Mn e Mo apresentam comportamento geoquímico semelhante ao longo do perfil, em relação aos diferentes litotipos, aumentando a sua concentração na Unidade 2. Há uma tendência de diminuição de suas concentrações quando o lençol freático é atingido.

Embora o Cd não apresente nenhuma correlação com granulometria, teor de matéria orgânica ou litotipos, ele possui um comportamento padrão em relação à profundidade, tendendo a diminuir a sua concentração até aproximadamente 2,00 - 2,50m de profundidade, quando torna a aumentar até a profundidade de 3,50m, decaindo novamente. A partir desta profundidade, a concentração deste metal continua sofrendo aumento e decréscimo, até a base dos perfis. Para o perfil TL-05, a concentração deste metal aumenta com a profundidade, decaindo quando a Unidade 3 (camada de silte cinza-claro) é atingida. Apenas no perfil TL-02, notou-se um comportamento

deste metal semelhante ao do Zn, onde parece ocorrer um aumento e diminuição de concentração destes metais simultaneamente.

Existe uma correlação entre o comportamento dos metais pesados (MP) e as granulometrias finas do perfil. Ao contrário do citado em literatura, foi a fração silte, e não a argila, que apresentou as melhores correlações com o conteúdo de metais pesados. A fração silte apresentou correlações de 0,70 para Cu, 0,64 para Zn e 0,75 para Mn, ao passo que a argila teve suas maiores correlações obtidas para o Pb e Zn, situando-se ao redor de 0,55.

Ao analisar-se a seção como um todo, nota-se um desordenamento no comportamento geoquímico do Mn, Mo, Cu, Pb e Zn nos perfis que estão sofrendo, diretamente, uma influência antrópica, ao passo que, nos perfis a jusante da lagoa, ocorre um ordenamento no comportamento destes metais. Nos perfis localizados a jusante da lagoa de infiltração, foram obtidas as melhores correlações entre os metais e as características intrínsecas do material (granulometria, teor de matéria orgânica e litotipos), ao passo que nos demais perfis, foram obtidas as melhores correlações entre o comportamento dos metais, especialmente Cu, Pb e Zn.

ABSTRACT

The main purpose of this research is the study of the behaviour of Cu, Pb, Zn, Mn, Mo and Cd in soils near a deactivated infiltration lagoon inside a fertilizer industry. An upright profile was built crossing the lagoon, with auger drill holes made downstream, in the lagoon and upstream, in order to study the metal behaviour in these different situations. Different profile layers were sampled at every 25 cm. The collected samples were analyzed for: granulometrical characterization, organic matter contents, X-ray Diffractometry, total Zn, Mn, Mo and Cu by ICP-AES, and Electronic Scan Microscopy (ESM).

The profile was divided into four units: (1) orange argillaceous layer; (2) dark gray argillaceous layer (São Paulo Basin sediments); (3) gray silty layer (São Paulo Basin sediments) and (4) weathered basement rock (Embu Complex). In this study on analysed Units 1, 2 and 3 only.

The infiltrated matter in the lagoon seeped the layers and was retained mainly in the dark gray argillaceous (Unit 2). ESM analysis of this unit samples identified the existence of metals (Cu, Zn, Mo e Mn) on it, associated to neoformed salts and Fe, precipitated in the matrix and in the plasma.

Cu, Pb and Zn show similar geochemical behaviour in areas influenced by anthropogenic activities (infiltration lagoon and waste level), with levels decreasing with depth, being higher next to the surface. In these profiles, there were found correlations around 0,85 for the behaviour of these metals; between Cu and Zn, the correlation obtained was 0,95.

Mn and Mo present similar geochemical behaviour through out the profile in relation to the different litotypes by increasing its concentration when Unit 2 is reached. There is a trend for decreasing its concentrations when the water table is reached.

Although the Cd does not show any correlation to granulometrical size, organic matter or litotypes, it has a standard behaviour in relation to the depth, decreasing its concentration until 2,50 meters. After that it increases until 3,50 meters, and decreases again. From this depth, this metal concentration varies increasing and decreasing until the bottom of the profile. In the profile TL-05, the Cd concentration increases with depth, decreasing when Unit 3 (gray silty layer) is reached. For TL-02 profile only it was observed a similar behaviour between Cd and Zn, with simultaneous increasing and decreasing of concentration of both metals.

There is a correlation between heavy metals behaviour and fine granulometries of the profile. Despite what is currently highlighted in the literature, the best correlation with heavy metal was founded for silt fraction instead of the clay. For the silt fraction, it was obtained correlations of 0,70 for Cu, 0,64 for Zn and 0,75 for Mn; for the clay fraction, it was obtained correlations around 0,55 for Pb and Zn.

Analyzing the section as a whole one sees a disorder in the metal geochemical behaviour of Mn, Mo, Cu, Pb e Zn in the profiles under direct anthropogenic influence (into and upstream the lagoon). For the profiles downstream the lagoon, there is a trend for an order in the behaviour of these metals. The best correlations between heavy metals contents and the characteristics of the material (grain size, organic matter contents and litotypes) was found for the profiles downstream the lagoon; in the other ones, it was obtained the best correlations between the behaviour of Pb, Zn and Cu.

1. INTRODUÇÃO

A expressão "metal-pesado" é aplicada aos elementos com peso específico maior que 5g/cm^3 ou número atômico maior que 20. A expressão engloba metais, semi-metais e não-metais como o Selênio (Se). O termo também é utilizado para designar metais poluentes do ar, água, solo, alimentos e forragens, como Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, V, Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb. (ALLOWAY, 1990; MALAVOLTA, 1994; ALLOWAY, 1995).

Embora para estes elementos sejam empregados outros termos, como "elemento-traço" (AUBERT & PINTA, 1977; KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984; McBRIDE, 1994) ou "contaminante" (HAINES & HARRIS, 1987), será adotada, neste trabalho, a denominação "metal pesado", termo mais empregado na maioria dos trabalhos que versa sobre este assunto.

A contaminação industrial do solo teve seus primeiros estudos na década de 70, nos quais eram apontadas concentrações anômalas de metais pesados em várias partes do mundo, especialmente em centros urbanos e industriais (ALLOWAY, 1990; ALLOWAY, 1995).

No Brasil, os primeiros estudos da concentração de metais pesados em solo datam também da década de 70. Tais estudos abordavam a concentração de metais pesados em diversos solos do País, e eram voltados para fins agrônômicos, referentes à quantidade de micronutrientes presentes em diversos solos do Brasil (CATANI & KÜPPER, 1946; CATANI & GALO, 1951; VALADARES, 1975; VALADARES & CATANI, 1975; BATAGLIA *et al*, 1976). Com a implantação do Programa Nacional do Meio Ambiente, em 1981, e no caso do Estado de São Paulo, com a criação da CETESB em 1973, inicio-se um rígido controle sobre a dispersão de metais e outros produtos tóxicos provenientes de indústrias e minerações. Os estudos de concentrações de metais pesados em solos passaram a ser utilizados como medida de prevenção e controle dos efluentes lançados em solos e corpos d'água.

O estudo de metais pesados em solo intensificou-se nas últimas décadas, como conseqüência dos avanços tecnológicos e do desenvolvimento de técnicas

analíticas de detecção da concentração, bem como da necessidade de compreensão dos mecanismos de retenção dos metais no solo, a fim de fornecer respostas a medidas mitigadoras (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984; ADRIANO, 1986; ALLOWAY, 1990; ALLOWAY, 1995).

Estes estudos têm se voltado principalmente para dois aspectos:

1. aspectos agronômicos, com identificação da contaminação do solo por metais pesados provenientes de seu emprego como micronutriente, e seu impacto na produção agrícola, bem como o estudo da acumulação destes metais nestes vegetais e seu grau de toxidez para o solo, as plantas, os animais e os seres humanos (TAN, 1993; MALAVOLTA, 1994; McBRIDE, 1994; GÖSKET *et al*, 1996);
2. aspectos ambientais, com a identificação dos impactos relacionados ao estudo e recuperação de solos contaminados por atividades industriais, de mineração e tratamento e disposição de resíduos (HAINES & HARRIS, 1987; BARÈS, 1989; BENNET, 1989; LORING & ASMUND, 1989; MANTEI & COONROD, 1989; PROHIC & JURACIC, 1989; ASSUNÇÃO, 1996; KARCZEWSKA, 1996; KELLY *et al*, 1996). Posteriormente, o conhecimento deste tipo de problema permitiu a indicação de áreas contaminadas e propostas específicas para remediação das mesmas (CASTELO BRANCO *et al*, 1996; COTTER-HOWELLS, 1996; KARCZEWSKA *et al*, 1996).

2. OBJETIVO

O objetivo desta dissertação é diagnosticar, descrever e caracterizar os mecanismos de retenção de metais pesados por materiais naturais (argilas), através do estudo de um caso prático de contaminação por material disposto em lagoa de infiltração desativada.

A presente proposta de estudo visa assim, por meio do emprego de diferentes técnicas da geoquímica de superfície, caracterizar os materiais que retêm metais pesados na área, bem como estabelecer o comportamento geoquímico destes metais nos seios dos diferentes litotipos geológicos quando submetidos ao impacto poluidor pelos metais Cu, Mn, Mo, Zn, Pb e Cd.

Com base nos dados obtidos, identificar as prováveis correlações entre a composição mineralógica, as diferentes frações granulométricas e o conteúdo de matéria orgânica com as concentrações anômalas destes diferentes metais pesados, em um horizonte específico de sedimento correlato à Bacia de São Paulo.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1. Caracterização do Problema

A indústria em foco produz insumos minerais que são utilizados na agricultura (micronutrientes à base de sais de Cu, Zn e Mn), pecuária (suplementos para ração animal), além de produtos para tratamento de água e indústria química em geral .

A Fotografia 1 exibe vista geral da indústria, com a sua área de estocagem e beneficiamento.

O processo de beneficiamento caracteriza-se pela reciclagem de resíduos provenientes de outras indústrias, como compostos minerais, escória e cinzas de indústrias químicas e metalúrgicas.

No passado, os rejeitos provenientes do processo de beneficiamento eram dispostos aleatoriamente sobre o terreno da empresa, sem nenhum critério técnico. O rejeito sólido chegou a ser utilizado para a construção de aterro que hoje comporta as instalações mais recentes. O rejeito líquido era disposto em lagoas de infiltração, que tinham como objetivo, como o próprio nome diz, promover a infiltração do material no solo.

Atualmente, as lagoas encontram-se desativadas, e não há registros exatos sobre a composição do material que era disposto nelas. Sabe-se que estudos de empresas de consultoria, contratadas pela empresa, constataram a existência de teores anômalos de Zinco (700 mg/kg) em camada de argila cinza-escura (orgânica) situada a jusante de uma das lagoas.

Estudos realizados na área da indústria (SÍGOLO & MELLO JR., 1994; AMARANTE & SÍGOLO, 1996; SÍGOLO & AMARANTE, 1996; SÍGOLO & AMARANTE, 1997) demonstraram a existência de uma contaminação do solo, subsolo e água subterrânea por metais pesados, especialmente Cu, Zn e Pb, próximos à área do aterro e à uma das lagoas de decantação desativadas.

Na época dos trabalhos de campo, não foi possível obter junto à indústria a composição química original, seja do material disposto nas lagoas, seja do rejeito sólido que foi utilizado para a construção do aterro. Foram identificadas, porém, várias pilhas de rejeitos provenientes do processo de beneficiamento atual da indústria (tortas), dispostas aleatoriamente em diferentes locais da indústria. Estes materiais foram amostrados e encaminhados para análise química, com o propósito de obter a composição química básica do material descartado pela indústria.

Foram analisadas três tortas que, para efeitos de diferenciação, foram denominadas torta branca, marrom e negra. Nas Tabelas 1 e 2 apresentadas abaixo é exibida a composição química destas tortas e seu conteúdo em metais pesados.

	<i>Composição (em %) *</i>		
	<i>torta branca</i>	<i>torta marrom</i>	<i>torta negra</i>
SiO ₂	0,42	17,88	7,08
Al ₂ O ₃	0,11	2,10	10,16
Fe ₂ O ₃	0,36	10,41	5,83
TiO ₂	< 0,01	0,09	0,10
CaO	< 0,01	0,27	0,10
MgO	47,62	23,26	14,16
Na ₂ O	< 0,01	0,01	< 0,01
K ₂ O	< 0,01	0,06	0,07
MnO	0,15	2,82	10,66
P ₂ O ₅	< 0,01	0,06	0,07
LOI	52,28	41,51	49,51
Total	100,96	98,47	97,74

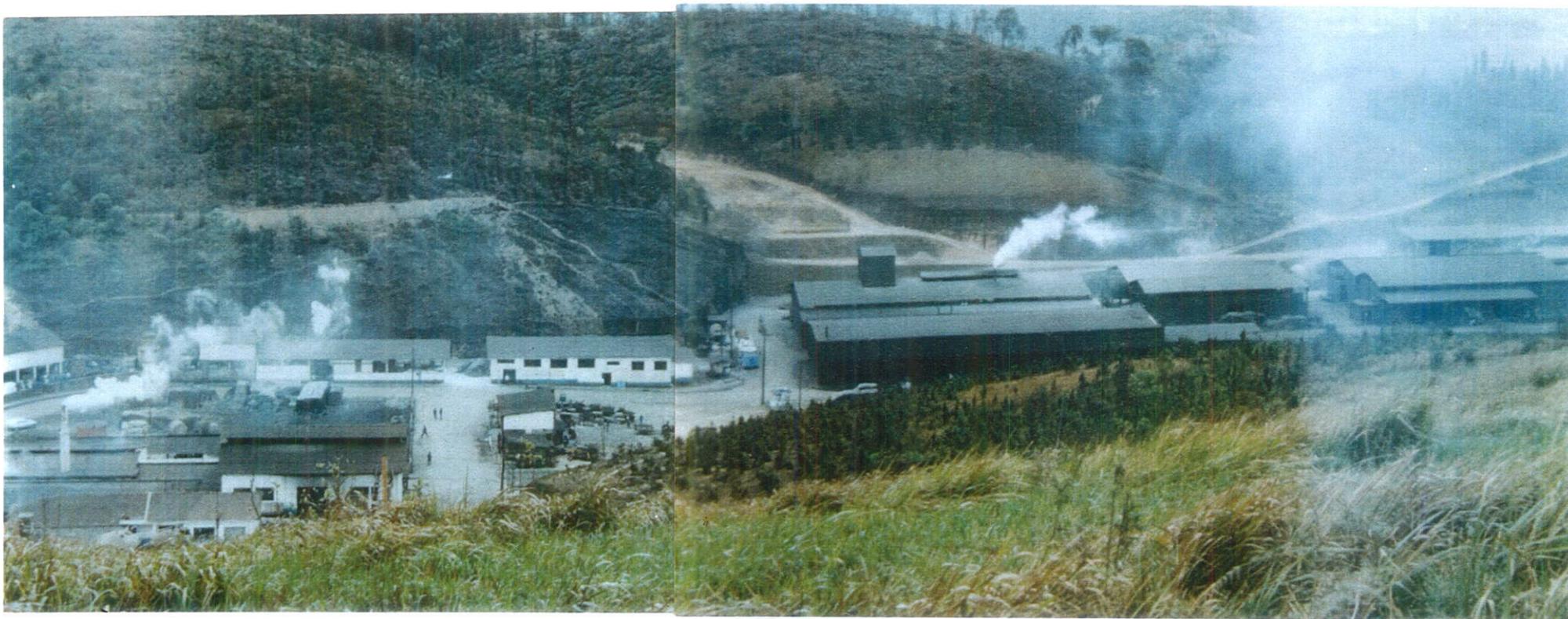
* análises efetuadas pelo ACTLABS - Activation Laboratories, Ontario, CANADÁ

Tabela 1: Composição química das tortas analisadas

<i>metais presentes</i>	<i>Conteúdo (em mg/kg) *</i>		
	<i>torta branca</i>	<i>torta marrom</i>	<i>torta negra</i>
Cu	12,0	54,0	137,0
Cr	342,0	25,0	1620,0
Cd	< 0,5	0,8	< 0,5
Mo	< 5,0	< 5,0	11,0
Pb	16,0	54,0	81,0
Zn	1016,0	3104,0	3171,0
La	1,1	8,6	20,0
Ce	< 3,0	16,0	23,0
Co	4,0	39,0	48,0
Ba	4,0	19,0	65,0
Zr	20,0	43,0	18,0
Ag	< 4,0	0,7	1,4

* análises efetuadas pelo ACTLABS - Activation Laboratories, Ontario, CANADÁ

Tabela 2: Conteúdo em metais pesados das tortas analisadas



Fotografia 1: Vista geral das instalações da indústria.

Através das análises, pode-se observar as expressivas concentrações de Zn e Cr, principalmente, além de Cu, Pb e MnO.

3.2. Localização

O município de Suzano localiza-se na Sub-Região Leste da Região Metropolitana de São Paulo, na latitude de 23°32'15" e longitude 46°18'40", a 100km a leste da cidade de São Paulo.

A indústria em foco neste trabalho está localizada em um dos antigos pólos industriais do município, na sua porção sudeste.

O acesso à área é feito pela Rodovia Índio Tibiriçá (SP-31) até o Bairro de Palmeiras, na pista sentido Ribeirão Pires - Suzano, de onde se toma via secundária por 2 km, até se atingir as instalações da indústria.

A Figura 1 ilustra a localização da área e as principais vias de acesso.

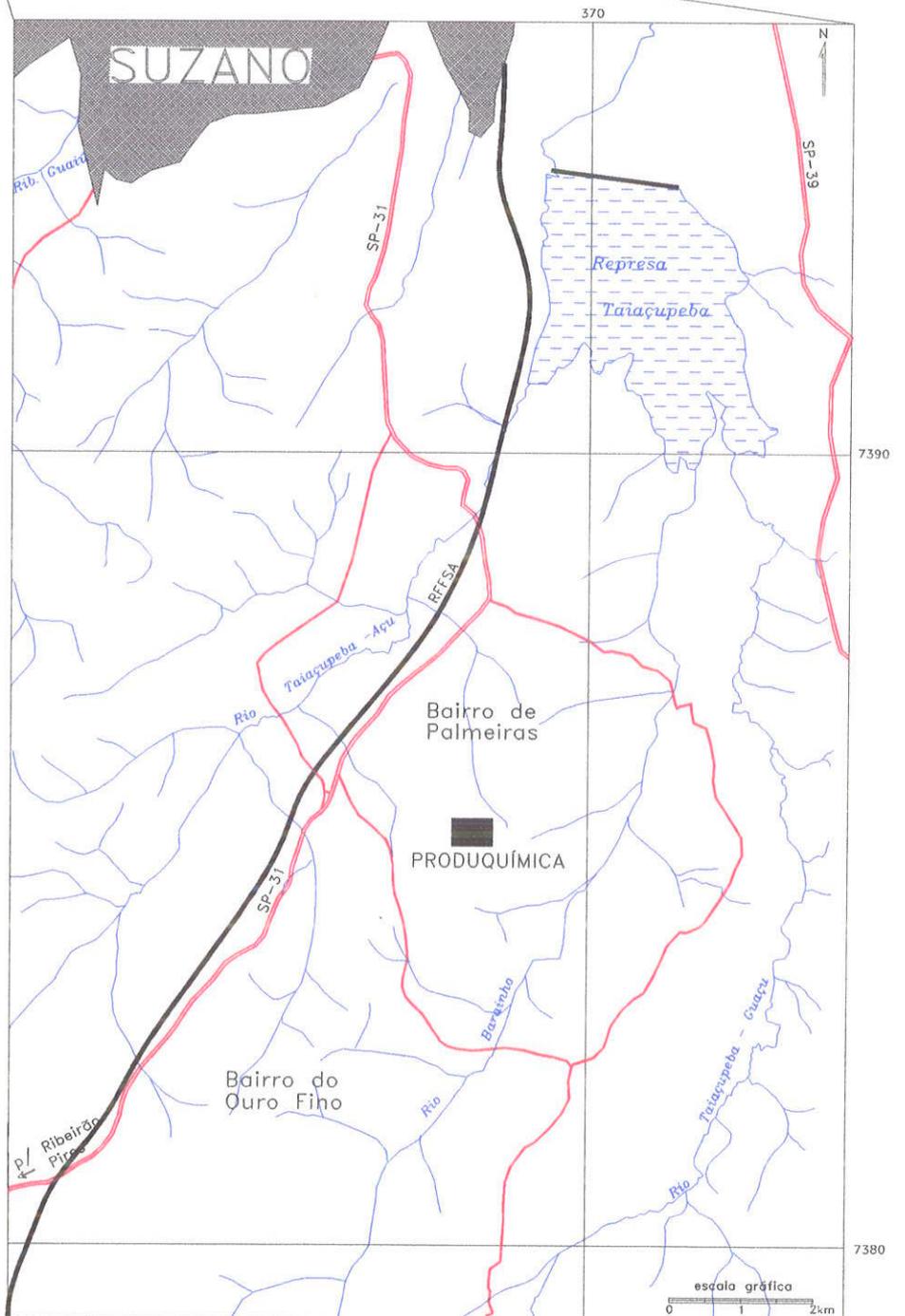


Figura 1: Localização da área, vias de acesso e bacia hidrográfica simplificada (adaptado de IGG, 1974)

3.3. Clima

Em função de sua posição geográfica na porção sudeste do Planalto Atlântico, a região de Suzano sofre influência dos sistemas polar e tropical de massas de ar que se sucedem ao longo do ano, determinando em parte o tipo de clima da região.

De acordo com a classificação climática proposta por NIMER (1977), o clima da área classifica-se como Mesotérmico Brando, do tipo superúmido sem seca. Este é caracterizado por temperaturas amenas, com médias anuais em torno de 18° a 19°C. No verão, a média do mês mais quente é inferior a 22°C, com predomínio de temperaturas entre 18 e 20°C; no inverno, as mínimas registradas oscilam entre 6 e 8°C.

A região apresenta altos índices de precipitação pluviométrica, atingindo valores acima de 1360mm. A estação chuvosa ocorre nos meses de dezembro a fevereiro, e o período de seca concentra-se no mês de junho. No período de seca, o índice pluviométrico chega a valores próximos a 30mm (PMS, 1991).

3.4. Geomorfologia

De acordo com a divisão geomorfológica do relevo paulista (IPT/SICCT, 1981), a região encontra-se submetida aos domínios da Província Atlântica, na zona do Planalto Paulistano, subzona Morraria do Embu.

A zona geomorfológica do Planalto Paulistano é caracterizada pela dominância de formas de relevo suavizadas, em cotas altimétricas entre 715 e 900m, na maioria das vezes desenvolvidas sobre filitos, gnaisses, micaxistos e migmatitos. A subzona Morraria do Embu está essencialmente organizada em sistema de morrotes alongados paralelos, morrotes baixos e morros paralelos, normalmente com uma passagem gradual de um sistema para o outro.

O padrão de drenagem é do tipo em treliça, apresentando localmente característica subdendrítica, formando vales fechados a abertos e planícies interiores restritas.

Na área da indústria, o relevo exibe forma de anfiteatro, formando um semi-círculo cujo centro é a nascente do Córrego das Jaboticabeiras (Fotografia 2), afluente do Rio Taiaçupeba-Açu, que por sua vez é um importante afluente do Rio Tietê nesta região.



Fotografia 2: Vista da nascente do Córrego das Jaboticabeiras. Ao fundo, instalações da indústria.

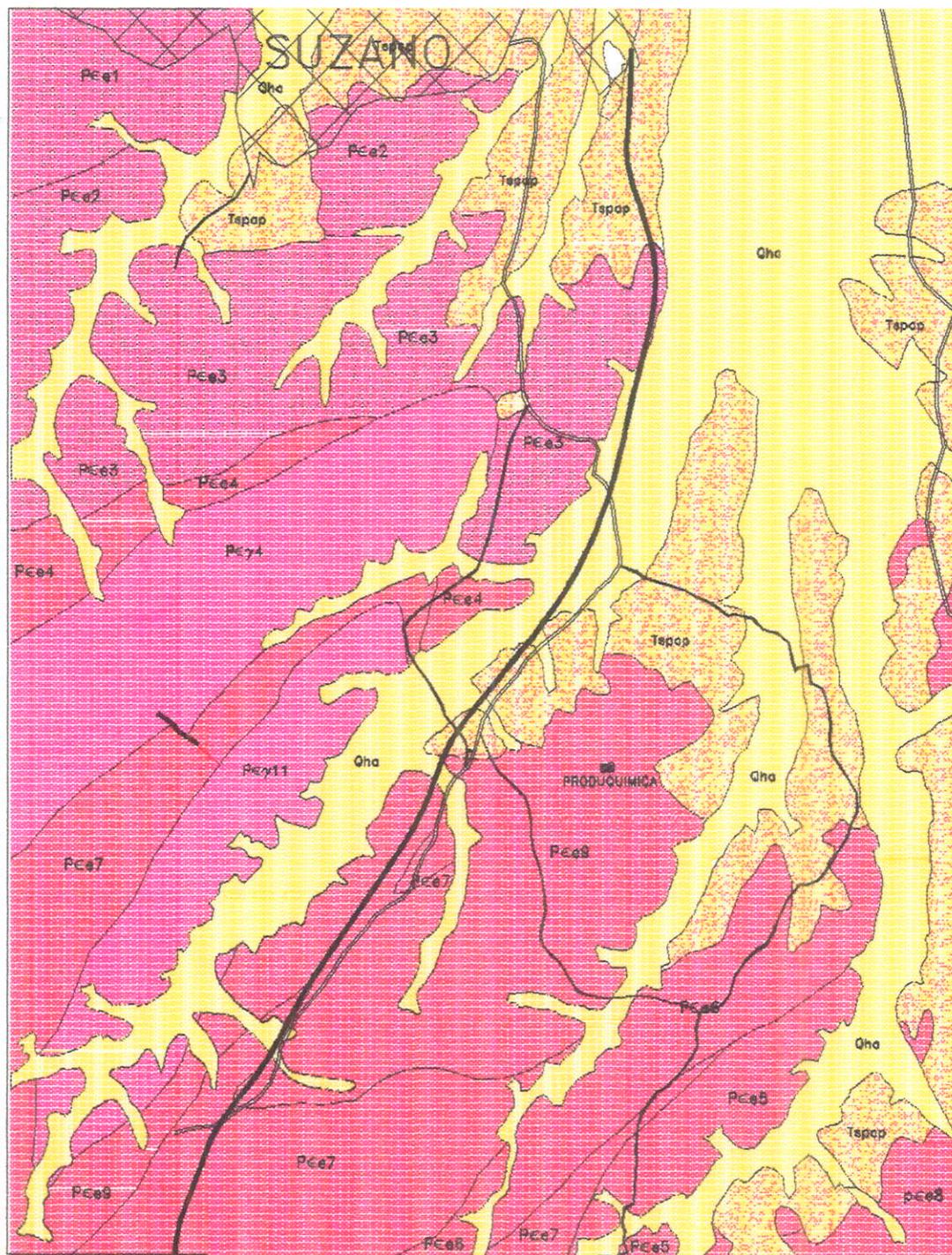
3.5. Geologia Regional

A geologia da área (CPRM, 1990) é caracterizada pela presença de rochas pertencentes ao Complexo Cristalino (Pré-Cambriano) com sedimentos da Bacia de São Paulo e sedimentos Quaternários relacionados às várzeas dos rios atuais. A Figura 2 apresenta as principais unidades mapeadas na região.

O Embasamento Pré-Cambriano é representado por granitos sintectônicos e pós-tectônicos, migmatitos e gnaisses graníticos, mica-xistos e meta-arenitos, pertencentes ao Complexo Embu (CPRM, 1990). Caracterizam-se pela presença de sillimanita xistos feldspáticos, quartzitos finos e micáceos, rochas calciossilicatadas e metabásicas. Os terrenos formados por estas rochas são caracterizados por um desenvolvido manto de solo e por profundo grau de alteração de seus litotipos, sendo que nenhum de seus afloramentos apresenta rochas totalmente frescas.

Os sedimentos Terciários constituem-se de arenitos e pelitos com intercalação de conglomerados, correlatos à Bacia de São Paulo. Ocorrem nas paleovárzeas do Rio Tietê, tendo sido depositados em ambiente de sistema fluvial meandrante (RICCOMINI, 1989). As principais litologias encontradas são: arenitos finos, localmente conglomeráticos, com estratificações cruzadas acanaladas; siltitos e argilitos maciços, e siltitos finos, localmente conglomeráticos, com estratificação cruzada acanalada (MELO et al, 1986; MELO et al, 1987; CPRM, 1990).

Os sedimentos Quaternários estão associados aos aluviões delgados e relativamente extensos dispostos ao longo das várzeas atuais, e aos colúvios (MELO et al, 1986; MELO et al, 1987; CPRM, 1990).



LEGENDA

CENOZÓICO	<p>Quaternario</p> <p>Qha coberturas colúvio aluvionares (fluviais) e baixos terraços</p>
	<p>Terciário</p> <p>Tspap Formação São Paulo</p>
PRÉ-CAMBRIANO INDIFERENCIADO	<p>Pce1 filitos, com predomínio de sericita-quartzo filitos</p>
	<p>Pce2 intercalações de metapsamitos e metapelitos finos</p>
	<p>Pce3 predomínio de metapsamitos sericiticos</p>
	<p>Pce4 muscovita xistos grosseiros intercalados com metapsamitos micaceos</p>
	<p>Pce5 metapsamitos micaceos, localmente com feições migmatíticas</p>
	<p>Pce6 biotita-muscovita-quartzo xistos ricos em granada</p>
	<p>Pce7 muscovita-biotita-quartzo xistos com pegmatitos associados</p>
	<p>Pce8 associações de sillimanita-muscovita-biotita xistos feldspáticos de aspecto gnáissico ou granítico</p>
	<p>Pce9 migmatitos</p>
	<p>Pcy4 monzo a sienogranitos porfiróides a equigranulares</p>
	<p>Pcy1 granada-muscovita-biotita ortognáisse milonítico, com pegmatitos associados</p>

Figura 2: Geologia Regional (simplificado de CPRM, 1990)

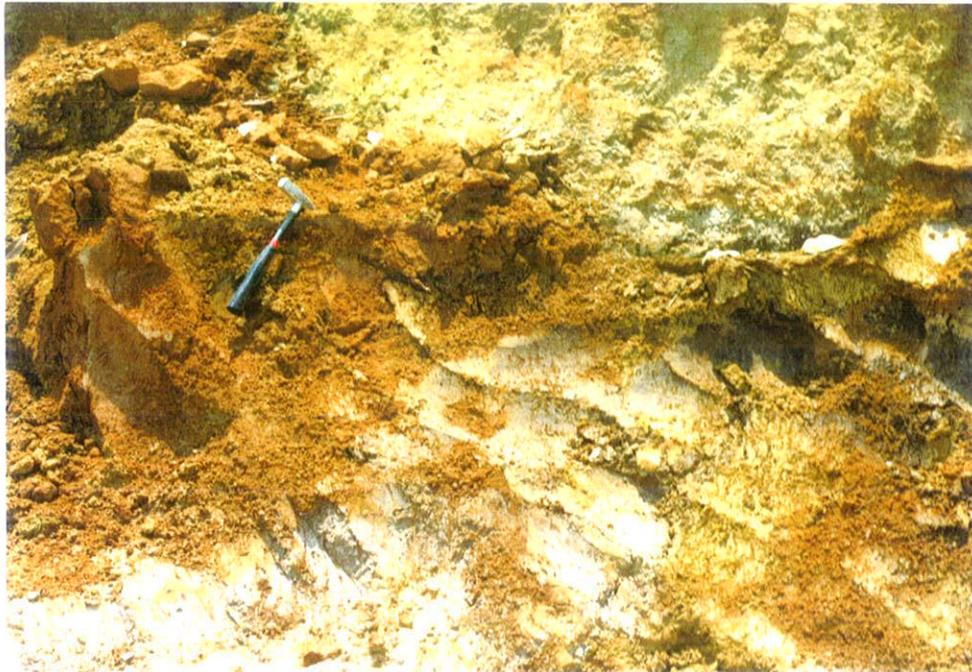
3.6. Geologia Local

A geologia local corresponde à área da lagoa de infiltração e seu entorno imediato. É constituída por três unidades distintas: colúvio, sedimentos da Bacia de São Paulo e embasamento (metamórficas do Complexo Embu intemperizadas).

O colúvio é caracterizado por material argilo-arenoso de coloração alaranjada, que apresenta-se composto essencialmente por grãos de quartzo, e subordinadamente, micas (muscovita), sendo possível observar a presença de pequenos pontos milimétricos escuros (manganês?). Este colúvio é constituído em sua quase totalidade por latossolos areno argilosos.

Os sedimentos têm como representantes principais siltes de coloração cinza-clara, que afloram a jusante da lagoa, e no leito do Córrego das Jaboticabeiras. Caracterizam-se pela frequente presença de grãos de quartzo, bem menores que os observados no colúvio, e micas milimétricas de coloração clara (muscovita). Localmente, apresentam coloração cinza-escuro - provavelmente devido à maior concentração de matéria orgânica em alguns níveis - como em um trecho do Córrego Jaboticabeiras localizado a jusante da indústria. Este material é utilizado pelas olarias existentes na região, na mistura para a fabricação de tijolos (Fotografia 3), e provavelmente está correlacionado aos sedimentos da Bacia de São Paulo (argilitos e siltitos maciços) (CPRM, 1990).

O embasamento está representado por rochas metamórficas pertencentes ao Complexo Embu, e se apresenta com perfil de alteração bem desenvolvido (alteritas), não sendo observados afloramentos com resquícios de rocha sã. O material apresenta-se com coloração amarelo-alaranjada e textura areno-siltosa, sendo observados grãos de feldspatos caulinizados, e micas de coloração acinzentada (muscovitas) de dimensões milimétricas.



Fotografia 3: Aspecto de afloramento dos sedimentos da Bacia de São Paulo, em terreno localizado a jusante da área da indústria. Material siltoso, maciço, de coloração cinza-clara, correlacionado à Unidade 3 do perfil de estudo.

4. SÍNTESE SOBRE O CONHECIMENTO DOS METAIS PESADOS NO SOLO

4.1. Origem dos Metais Pesados no solo

O solo é composto por elementos que se encontram em três fases: sólida (orgânica e mineral), líquida e gasosa. As suas propriedades são resultantes dos equilíbrios físicos e químicos entre estas três fases.

Os processos atuantes no intemperismo do material parental é que definem o conteúdo dos metais pesados (MP) no solo. Inicialmente, ele tende a ser semelhante ao da rocha de origem (Tabela 3), que por sua vez é consequência do conteúdo de MP nos minerais que constituem a rocha original (Quadro 1).

Com o passar do tempo, entretanto, a porcentagem destes elementos será diferente, devido à influência de reações e processos geoquímicos como dissolução, hidratação, hidrólise, oxidação, redução e carbonatação. São estes os principais responsáveis pelo processo de intemperismo químico da rocha e consequente formação do solo (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984). Elementos traços podem vir a ser mobilizados por dissolução de minerais, e fixados por minerais secundários e neoformados, ou pela matéria orgânica, associada ou não a estes minerais. A competição existente entre alguns metais (Cu e Zn, por exemplo, de acordo com KUO & BAKER, 1980) também pode vir a alterar a concentração dos mesmos ao longo do perfil do solo.

<i>metal pesado</i>	<i>crosta terrestre</i>	<i>rochas ígneas</i>			<i>rochas sedimentares</i>		
		<i>ultra-máficas</i>	<i>máficas (basaltos)</i>	<i>graníticas</i>	<i>calcários</i>	<i>arenitos</i>	<i>argilitos</i>
Cd	0,1	0,12	0,13	0,09	0,028	0,05	0,22 (<240)
Cu	50	42	90	13	5,5	30	39 (<300)
Mn	950	1040	1500	400	620	460	850
Mo	1,5	0,3	1	2	0,16	0,2	2,6 (<300)
Pb	14	14	3	24	5,7	10	23 (<400)
Zn	75	58	100	52	20	30	120 (<1000)

Tabela 3: Conteúdo em Cd, Cu, Mn, Mo, Pb e Zn dos principais tipos de rochas (mg/kg).
Extraído de ALLOWAY (1995).

<i>Mineral</i>	<i>Metais Pesados Constituintes</i>	<i>Susceptibilidade ao Intemperismo</i>
Olivina	Ni, Co, Mn, Li, Zn, Cu, Mo	
Hornblenda	Ni, Co, Mn, Sc, Li, V, Zn, Cu, Ga	
Augita	Ni, Co, Mn, Sc, Li, V, Zn, Pb, Cu, Ga	
Biotita	Rb, Ba, Ni, Co, Sc, Li, Mn, V, Zn, Cu, Ga	
Apatita	Terras Raras, Pb, Sr	
Anortita	Sr, Cu, Ga, Mn	
Andesina	Sr, Cu, Ga, Mn	
Oligoclásio	Cu, Ga	
Albita	Cu, Ga	
Granada	Mn, Cr, Ga	
Ortoclásio	Rb, Ba, Sr, Cu, Ga	
Muscovita	F, Rb, Ba, Sr, Cu, Ga, V	
Titanita	Terras Raras, V, Sn	
Ilmenita	Co, Ni, Cr, V	
Magnetita	Zn, Co, Ni, Cr, V	
Turmalina	Li, F, Ga	
Zircão	Hf, V	
Quartzo	-----	
		facilmente intemperizado
		moderadamente estável
		muito resistente ao intemperismo

Quadro 1: Elementos traços de minerais comuns formadores de rochas (extraído de ALLOWAY, 1995).

Embora os metais pesados sejam componentes secundários da fase sólida dos solos, eles têm um papel importante na sua fertilidade, como por exemplo Mn, Zn, B, Cu e Mo. Porém, o aumento da concentração de alguns MP por fatores antropogênicos pode fazer com que eles se tornem tóxicos para plantas e animais, especialmente no caso do Hg, Pb, Cd, Cu, Ni e Co (McBRIDE, 1994).

Os metais pesados de origem antropogênica chegam ao solo provenientes de várias fontes (emissão de gases, minerações, indústrias), e sua disseminação ou absorção depende das propriedades químicas e físicas do solo (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984).

A persistência dos contaminantes no solo é maior que nos outros elementos da biosfera, e sua contaminação, especialmente por metais pesados, tende a ser virtualmente permanente. KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) citam alguns exemplos de meia vida de metais pesados no solo: Zn - 70 a 510 anos; Cd - 13 a 1100 anos; Cu - 310 a 1500 anos; Pb - 740 a 5900 anos.

4.2. Metais Pesados no Solo

Neste ítem, serão apresentados resumidamente os aspectos geoquímicos referentes apenas ao Cu, Mn, Mo, Zn, Cd e Pb, que são os metais pesados estudados na presente dissertação.

4.2.1. Cobre

O cobre é encontrado praticamente em todas as rochas da crosta terrestre, sendo mais abundante em rochas máficas e intermediárias, e praticamente ausente em rochas carbonáticas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984). O seu teor médio para rochas eruptivas básicas é da ordem de 100 a 200 mg/kg; para eruptivas ácidas, 10 a 20 mg/kg; para rochas metamórficas (xistos) e determinadas sedimentares (argilas e loess), 30 a 40 mg/kg; e para areias, arenitos e calcários, de 3 a 15 mg/kg.

Nos solos, o cobre ocorre precipitado com hidróxidos, carbonatos, fosfatos e silicatos, adsorvidos por argilas silicatadas, e formando complexos solúveis e insolúveis com a matéria orgânica do solo. (HAINES & HARRIS, 1987). Ele é considerado um elemento muito versátil, apresentando grande habilidade para interagir quimicamente com minerais e compostos orgânicos do solo (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984; RAIJ et al, 1987; ALLOWAY, 1995).

O Cu aplicado ou depositado no solo tende a persistir no mesmo por ser fortemente fixado pela matéria orgânica e por óxidos de Fe, Al, Mn e pelos minerais de argila, sendo que esta intensidade diminui com o aumento do pH. Em decorrência disto, é um dos menos móveis entre os metais pesados, fazendo com que geralmente seja encontrado próximo à superfície (MALAVOLTA, 1994; McBRIDE, 1994), e apresente uma pequena variação na sua concentração ao longo do perfil (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984).

De acordo com ADRIANO (1986), o cobre pode ocorrer no solo nas seguintes formas: (a) na solução do solo, tanto em forma iônica, Cu^{2+} , quanto complexado; (b) adsorvido em locais normais de troca iônica; (c) adsorvido em locais de adsorção específicos; (d) ocluído em óxidos e hidróxidos do solo; (e) na matéria

orgânica e em organismos vivos; e (f) na rede estrutural de minerais primários e secundários.

De acordo com este autor, observa-se uma correlação entre o conteúdo natural de cobre no solo e o seu material de origem: solos derivados de materiais de granulometria maior (areias e arenitos) ou de rochas ácidas contêm menor concentração de cobre do que os solos derivados de rochas sedimentares de granulometria mais fina (argilas) ou de rochas ígneas básicas. Alguns autores correlacionam a capacidade de retenção do cobre em solos com as partículas finas, especialmente argilas e siltes.

No caso da alta acumulação de Cu, observa-se a sua precipitação na forma de hidróxido cúprico, óxidos ou hidróxidos carbonatados, em solos com pH abaixo de 6 (McBRIDE, 1994).

Para os solos do Estado de São Paulo, VALADARES (1975) obteve os seguintes teores de Cu:

- solos derivados de rochas básicas (Terra Roxa Estruturada, Latossolo Roxo): 88 e 385 mg/kg;
- solos derivados de materiais aluviais e coluviais (hidromórficos): 25 a 29 mg/kg;
- solos derivados de sedimentos modernos (Latossolo Vermelho Escuro, Vermelho Amarelo e Podzólico Vermelho Amarelo) : 6 - 49 mg/kg;
- solos derivados do arenito da Formação Bauru (podzolizados de Lins e Marília) : 3 a 7 mg/kg;
- solos derivados de sedimentos modernos arenosos - 2 a 13 mg/kg.

VALADARES (1975) aponta para uma correlação existente entre o teor de argila e o teor de cobre destes solos ($r=0,79$). Embora tenha sido enfatizada a fixação do Cu por compostos orgânicos, neste trabalho o autor obteve uma correlação muito baixa ($r=0,17$) entre o teor de cobre e o teor de matéria orgânica.

4.2.2. Manganês

Todas as rochas da crosta terrestre contêm manganês em concentrações geralmente mais altas que todos os outros metais pesados, exceto no caso do ferro (AUBERT & PINTA 1977); o teor mais alto aparece nas rochas eruptivas ácidas (granitos, riolitos), metamórficas (xistos) e em algumas sedimentares (argilitos). A

faixa de variação é de 200-1200 mg/kg, sendo que nos calcários o teor médio é de 400-600 mg/kg, e nos arenitos entre 20 e 500 mg/kg.

O manganês aparece no solo em três valências: (1) bivalente (Mn^{2+}), presente como cátion adsorvido ou na solução do solo; (2) trivalente (Mn^{3+}), como óxido altamente reativo: MnO_3 e (3) tetravalente como MnO_2 . As três formas constituem um conjunto de equilíbrio dinâmico (CATANI & GALLO, 1951). A ocorrência de Mn^{3+} e Mn^{4+} é favorecida pela elevação do pH em condições oxidantes (MALAVOLTA, 1994).

Para os solos do Estado de São Paulo, CATANI & GALLO (1951) obtiveram teores de 500 mg/kg para um solo derivado do arenito da Formação Bauru e 2000 mg/kg para um solo do tipo Terra Roxa estruturada.

MALAVOLTA (1994) aponta as principais formas de ocorrência de manganês no solos: (a) na estrutura de minerais, geralmente óxidos, como a pirolusita (MnO_2); (b) complexados com matéria orgânica, solúveis ou insolúveis; (c) trocável, (Mn^{2+}) que está presente nos sítios de troca do complexo organo-mineral do solo; e (d) na solução do solo, na forma iônica (Mn^{2+}) ou complexado a compostos orgânicos.

McBRIDE (1994) aponta que a mobilidade do Mn no solo não apresenta um parâmetro definido, visto que ele é extremamente sensível às condições do solo (acidez, umidade, atividade biológica, etc.), o que faz com que a sua solubilidade no solo oscile intensamente, e conseqüentemente, a sua concentração varie de deficiente à níveis considerados tóxicos.

4.2.3. Molibdênio

O molibdênio é encontrado em muitas rochas da crosta terrestre, geralmente em baixa concentração. Nas rochas ultrabásicas (dunito e peridotito), o nível é baixo, de 0,2 a 0,4 mg/kg. Nas eruptivas básicas (basalto e gabro) chega a 1,4 mg/kg, e nas eruptivas ácidas, como o granito, em 1,9 mg/kg. Os níveis mais altos (2 mg/kg) são encontrados em rochas metamórficas (xistos) e sedimentares (argilitos). Arenitos e calcários possuem os teores mais baixos: 0,2-0,4 mg/kg (AUBERT & PINTA, 1977). McBRIDE (1994) porém, aponta um teor médio mundial nos solos ao redor de 1 a 3 mg/kg de Mo, sendo que nos EUA, este valor atinge 5,8 mg/kg.

Para os solos do Estado de São Paulo, BATAGLIA et al (1976) encontraram os seguintes teores de Mo:

- solos derivados de rochas básicas (litossolo, terra roxa estruturada, latossolo roxo): 0,85 a 2,55 mg/kg;
- solos derivados de sedimentos modernos (latossolos vermelho-escuro e amarelo, podzólico vermelho amarelo): 0,79 a 3,73 mg/kg;
- solos derivados do arenito da Formação Bauru: 0,31 a 0,47mg/kg.

De acordo com ADRIANO (1986), o conteúdo de Mo nos solos depende do material parental, grau de intemperismo e quantidade de matéria orgânica, sendo que o teor no solo tende a ser maior que o teor de seu material de origem.

No solo, o Molibdênio ocorre nas seguintes formas: (a) fixado dentro da estrutura cristalina de minerais primários e secundários; (b) adsorvido pelos materiais do solo como um ânion; (c) associado à matéria orgânica; (d) na forma trocável; (e) solúvel em água. Observa-se ainda, na literatura pertinente, que o molibdênio é fortemente fixado por óxidos de ferro e alumínio, e matéria orgânica.

4.2.4. Zinco

A maioria das rochas da crosta terrestre contém zinco em concentrações variáveis: básicas eruptivas (basalto, gabro): 70-130 mg/kg, eruptivas ácidas (granito, riolito): 50-60 mg/kg, metamórficas (xistos) e certas sedimentares (argilitos): 80 mg/kg; argilas provenientes da desagregação do *loess* e argilas glaciais: 30-40 mg/kg. calcários e arenitos, 20 e 16 mg/kg, respectivamente (MALAVOLTA, 1994).

Nos solos, o zinco pode ocorrer na forma de mineral primário ou como íon Zn^{2+} adsorvido às partículas muito finas. Ele precipita-se como hidróxido, fosfato, carbonato e silicato, podendo fazer parte dos materiais amorfos do solo. O Zn também pode ser adsorvido à matéria orgânica ou formar complexos com ela (RAIJ et al. 1987, ALLOWAY, 1995). O seu teor no solo é muito variável, refletindo a influência maior da rocha mãe, variando de traços a 900 mg/kg, com uma média entre 50 e 100 mg/kg (MALAVOLTA, 1994).

Para o Estado de São Paulo, VALADARES & CATANI (1975) encontraram os seguintes teores de Zn:

- solos derivados de rochas básicas (latossolo - fase substrato basalto, terra roxa estruturada e latossolo roxo): 89 a 236 mg/kg;

- solos hidromórficos, provenientes de material aluvionar e coluvionar: 77 a 97 mg/kg;
- solos derivados de sedimentos modernos (latossolos vermelho amarelo e escuro e podzólico vermelho amarelo): 26 a 94 mg/kg;
- solos podzolizados (Lins e Marília): 16 a 26 mg/kg;
- solos derivados de sedimentos modernos arenosos (latossolos vermelho amarelo e escuro e regossolo): 4 a 14 mg/kg.

A repartição do Zn em várias formas é baseada nos modos pelos quais se comporta diante da extração por diferentes agentes químicos. O seu conteúdo total no solo pode ser dividido nas seguintes formas de ocorrência, de acordo com ADRIANO (1986): (a) íons Zn^{2+} livres, e/ou em complexos orgânicos na solução do solo; (b) Zn adsorvido e trocável na fração coloidal do solo, composta por partícula de argila, compostos húmicos e hidróxidos de Fe e Al; e (c) minerais secundários e complexos insolúveis na fase sólida do solo.

McBRIDE (1994) observa que em solos contaminados por altos valores de Zn, ocorre uma tendência de precipitação de óxidos, hidróxidos e hidrocarbonetos de Zn, em pH abaixo de 6, estando a solubilidade do Zn limitada a pH maiores.

4.2.5. Chumbo

O Pb contido no solo é explicado pelo conteúdo natural da rocha mãe e por diversas fontes antropogênicas. MALAVOLTA (1994) aponta valores de Pb em diversas rochas da crosta terrestre: eruptivas básicas (basalto, gabro): 8 mg/kg; eruptivas ácidas (granito, riolito) 20 mg/kg; intermediárias (diorito, andesito), metamórficas (xistos) e certas sedimentares (argilitos) 15 a 20 mg/kg; calcários e arenitos: 7-10 mg/kg; litosfera: 16 mg/kg.

As fontes antropogênicas de Pb estão associadas à poluentes colocados na atmosfera por emissão de veículos e minerações, fundições, esgoto, lodo derivado de esgoto, fertilizantes, etc (ALLOWAY, 1995).

Geralmente o chumbo se acumula nos primeiros centímetros do solo superficial, e o seu teor diminui à medida em que profundidade do perfil aumenta (ALLOWAY, 1995). MALAVOLTA (1994) observa que este tipo de distribuição é atribuída à acumulação pela matéria orgânica mediante reciclagem pelas plantas do Pb das camadas inferiores. O mesmo autor observa que, no caso do Pb

antropogênico, ele apresenta o mesmo tipo de distribuição, podendo porém, atingir níveis mais profundos (30 - 45 cm).

A disponibilidade de Pb no solo é influenciada, de acordo com MALAVOLTA (1994) pelos seguintes fatores: textura do solo (solos mais argilosos tendem a fixar mais o chumbo); pH (a concentração de Chumbo no solo é inversamente proporcional ao pH) e matéria orgânica (o chumbo tende a ser fixado pela matéria orgânica do solo).

4.2.6. Cádmio

O Cádmio é um poluente potencialmente prejudicial ao meio ambiente, visto que é um metal de rápida absorção pelo solo, com prazo longo de persistência e com acumulação de concentrações, provocando efeitos danosos em plantas e animais (MALAVOLTA, 1994).

De um modo geral, o Cd apresenta um comportamento geoquímico semelhante ao Zn, e o seu teor nestes minérios será diretamente proporcional ao teor de Zn dos mesmos (THORNTON, 1996).

A concentração média de Cd na crosta terrestre é de 0,15 mg/kg. Os teores médios encontrados nas rochas são: ígneas (andesito e diorito) - de 0,017 a 0,07 mg/kg; obsidiana e basalto - 0,22 a 0,25 mg/kg; sedimentares: calcários (0,035 mg/kg), margas (2,6 mg/kg). Nas rochas metamórficas, os teores variam entre 0,11 nos eclogitos a 1 mg/kg nos xistos (MALAVOLTA, 1994).

A concentração de Cd em solos não contaminados por fontes antropogênicas é governada pelo teor na rocha de origem. O mesmo autor sugere que solos oriundos de rochas ígneas devem conter entre 0,1 e 0,3 mg/kg de Cd, os oriundos de rochas metamórficas, entre 0,1 e 1 mg/kg, e os de sedimentares, 11 mg/kg.

ADRIANO (1986) descreve de modo simplificado em quais formas o cádmio pode ser encontrado no solo: (a) trocável: adsorvido por atração eletrostática em sítios com carga negativa das argilas, matéria orgânica e óxidos hidratados; (b) redutível; adsorvido ou coprecipitado com óxidos, hidróxidos de Fe, Mn e possivelmente de Al presentes no revestimento de minerais de argila ou partículas isoladas; (c) carbonato: precipitado como carbonato em solos com muito

carbonato de cálcio livre, (d) bicarbonato, em reações alcalinas, possivelmente precipitado também como fosfato; (e) orgânico, complexado ou quelatizado, produtos de estabilidade e mobilidade variáveis; (f) fixado no interior da rede cristalina da argila, também chamada residual (g) sulfeto; muito insolúvel e estável, compostos de Cd e sulfetos que ocorrem em solos mal arejados como os arrozais inundados; (h) em solução: iônica ou complexada.

De acordo com McBRIDE (1994), de um modo geral são considerados solos contaminados aqueles que possuem teores de Cd acima de 0,5 mg/kg, sendo que as fontes de contaminação podem ser as seguintes: indústria (mineração e metalurgia), proximidade às auto-estradas, aplicação de fertilizantes fosfatados com alto teor de Cd, ou tratamento por lodo de esgoto.

Para os solos tratados por lodo de esgoto, ADRIANO (1986) observou a seguinte distribuição percentual das formas de Cd, em relação ao total presente: solúvel em H₂O < 1%; trocável - 21,3%; preso à matéria orgânica - 45,4%; preso a óxidos hidratados - 20,1 %, restante - residual.

5. METODOLOGIA

5.1. Metodologia de Campo

Para delinear o comportamento geoquímico de retenção de metais pesados na área, associados a diferentes tipos de materiais naturais, elegeu-se um pequeno anfiteatro onde se localizava uma antiga lagoa da empresa. Isto ocorreu em virtude de estudos anteriores desenvolvidos por firmas de consultoria contratadas pela indústria, que identificaram teores anômalos de Zinco (700 mg/kg) nas camadas de argila cinza-escura situadas a jusante da barragem desta antiga lagoa.

A metodologia empregada para obtenção de amostras nesta unidade está descrita a seguir.

5.1.1. Seleção da seção a ser analisada e locação dos furos à trado

A seção escolhida para execução das tradagens inicia-se na estrada de servidão da indústria, sendo perpendicular a esta, e atravessa a lagoa de infiltração (Fotografia 4), seguindo para montante (Figura 3). Isto possibilitou a locação dos furos a jusante, dentro e a montante da lagoa de infiltração, com o objetivo de comparar o comportamento dos metais pesados no solo e subsolo, nestas três situações.

Os furos receberam a denominação de TL-01 a TL-07, estando o primeiro localizado na parte inferior do perfil, próximo à estrada de servidão, e o último, na porção superior do perfil. Os furos TL-01, TL-02 e TL-03 estão localizados a jusante da lagoa (Fotografia 5), os furos TL-04 e TL-05, dentro da lagoa, e os furos TL-06 e TL-07, a montante da lagoa. Os furos foram locados de 10 em 10 metros de distância, sempre que possível, sendo que em alguns locais esta distância situou-se entre 8 e 9 metros, obedecendo o perfil estabelecido anteriormente (Figura 4).

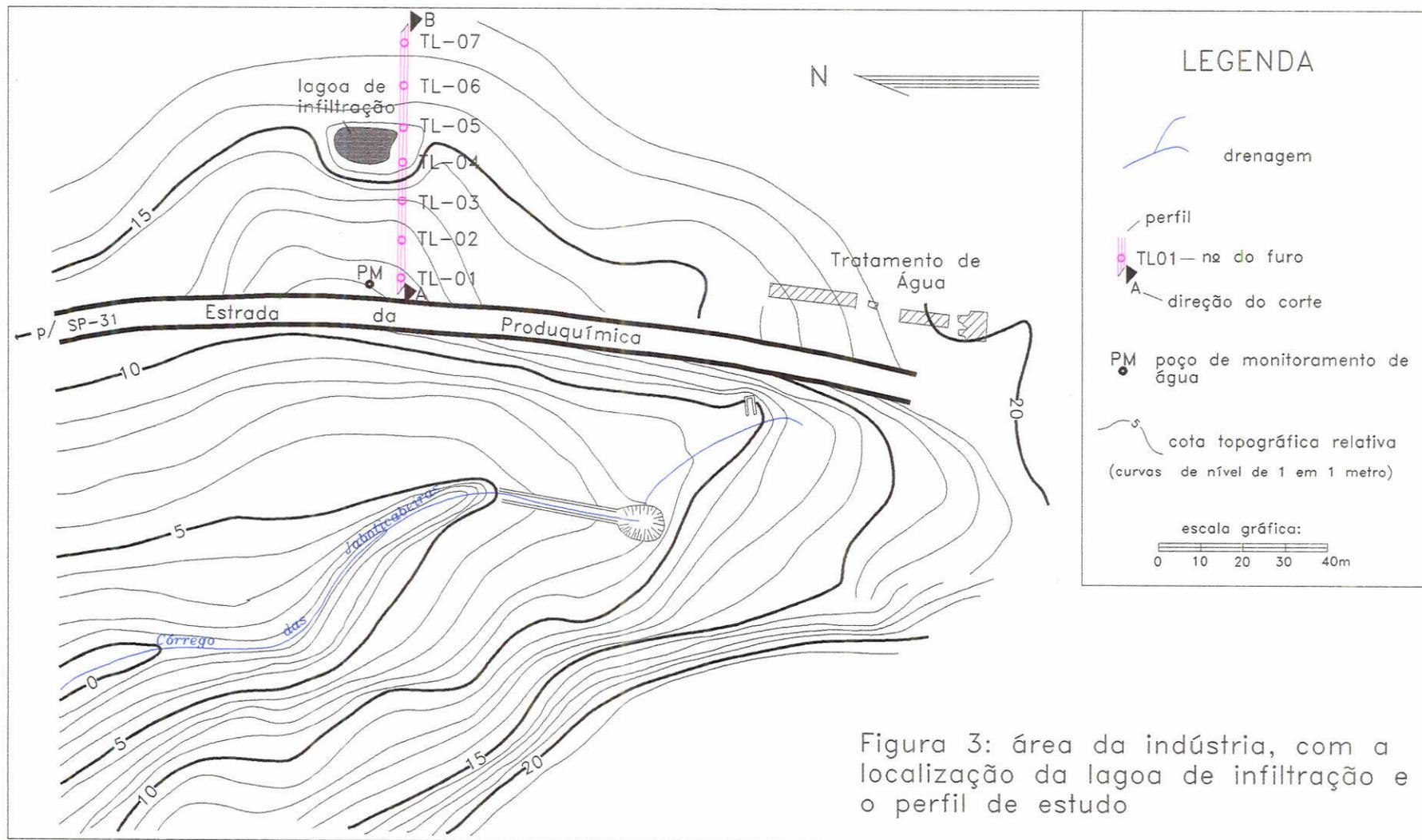


Figura 3: área da indústria, com a localização da lagoa de infiltração e o perfil de estudo



Fotografia 4: Aspecto geral da lagoa de infiltração.



Fotografia 5: Localização dos furos TL-01, TL-02 e TL-03. À direita do furo TL-01, poço de monitoramento de água (PM). Ao fundo, estrada de servidão da indústria. Foto tirada da barragem da lagoa para jusante.

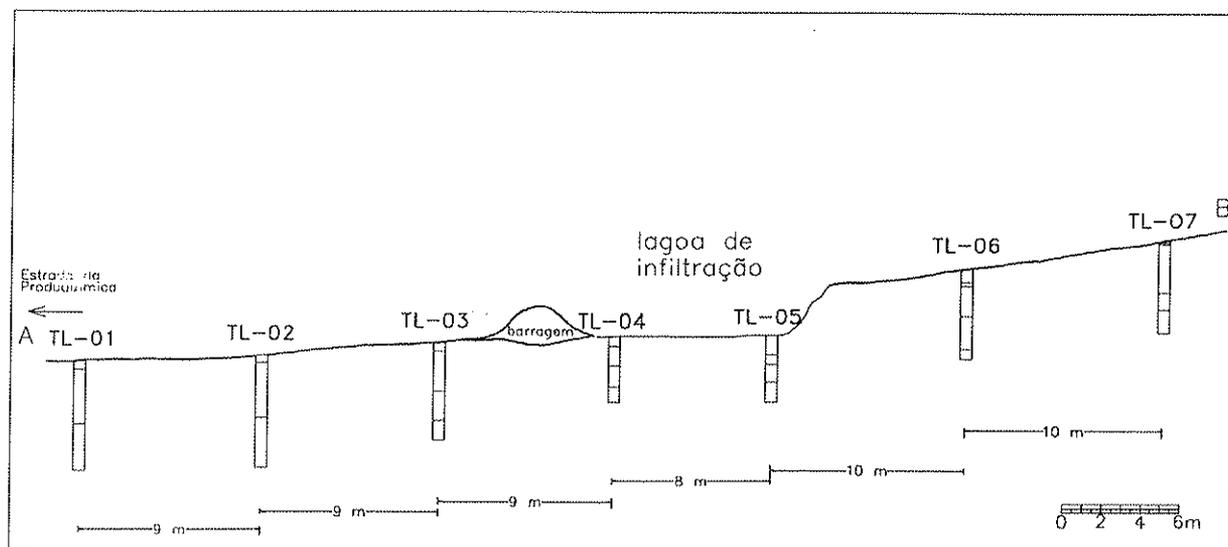


Figura 4: Localização das tradagens TL-01 a TL-07 na seção de estudo, com as respectivas distâncias entre as mesmas.

Cada furo locado tinha como propósito atravessar a camada de argila orgânica, identificada a jusante em afloramento ao longo da margem do Córrego das Jaboticabeiras e, se possível, atingir o nível do lençol freático, para a obtenção de amostras que permitissem comparar o comportamento geoquímico dos metais pesados nas zonas saturada e não-saturada. Estes furos atingiram profundidade média de 4,5 metros, com o freático sendo atingido por volta dos 3,5 metros na época da tradagem, no mês de setembro (final da estação seca).

5.1.2. Coleta e seleção das amostras para análises

Os trabalhos de coleta de material visaram amostrar a toposseqüência na sua totalidade. Para isto, foram coletadas amostras de 0,25 em 0,25 m, sendo estas retiradas diretamente do trado (aproximadamente 350 gramas) e acondicionadas em sacos plásticos, que foram identificados com a seguinte nomenclatura: *nº Furo - trecho*.

No Laboratório de Amostras do Departamento de Geologia Geral (DGG) do IG/USP, foi realizada a organização das amostras por furo e por profundidade. Com isto, obteve-se, para cada furo, uma visão geral dos seus níveis, bem como a clara identificação das amostras da camada de argila orgânica, o que possibilitou uma descrição mais detalhada das amostras. A partir destas informações, foi possível

elaborar um perfil com a localização das camadas de acordo com as profundidades obtidas na gradagem. Este desenho possibilitou a visualização das camadas na vertente, o que auxiliou na seleção das amostras que seriam encaminhadas para análise. No total, foram coletadas 139 amostras, que foram encaminhadas para análises granulométricas e químicas, de acordo com a Tabela 4, apresentada seguir.

<i>n^o furo</i>	<i>n^o de amostras</i>	<i>análise granul quant(1)</i>	<i>análise granul quali (1)</i>	<i>% de mat. org. (5)</i>	<i>DRX (2)</i>	<i>análises químicas (4)</i>	<i>MEV (3) grãos</i>	<i>MEV (3) lâminas</i>	<i>análise micr. (2),(4)</i>	<i>TOTAL</i>
TL-01	18	10	10	09	03	09			-	59
TL-02	17	10	10	08	04	08			-	57
TL-03	22	15	15	09	11	09	08	04	10	99
TL-04	15	10	10	07	04	07			-	53
TL-05	16	11	11	09	07	09	17	04	21	97
TL-06	26	09	09	10	03	10			-	67
TL-07	25	07	07	07	02	07			-	55
TOTAL	139	72	72	59+9(6)	34	59+9(6)	25	08	31	491

(1) Amostras encaminhadas para o Laboratório de Geoquímica - DGG/IG/USP

(2) Amostras encaminhadas para o NUPEGEL - IAG/USP

(3) Amostras encaminhadas para o Laboratório de Geoquímica - DPM/IG/UNESP

(4) Amostras encaminhadas para o Laboratório de Análises Micromorfológicas - DGG/IG/USP

(5) Amostras encaminhadas ao Laboratório de Análises Sedimentológicas do IG/SMA

(6) amostras "dublês", para controle de qualidade das análises

Tabela 4: Número total de amostras coletadas e encaminhadas para análise

5.2. Metodologia de Laboratório

5.2.1. Análises Granulométricas

Para as análises granulométricas, foram selecionadas amostras localizadas ao longo do perfil, dando ênfase para três situações principais: (1) acima da camada de argila cinza-escura; (2) na camada de argila cinza-escura, e (3) abaixo da camada de argila cinza-escura.

As amostras foram secas à temperatura ambiente, desagregadas e tiveram suas frações maiores que 2 mm eliminadas por peneiramento, acondicionadas em sacos com cerca de 50 gramas de amostra, e posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia Geral - DGG/IG/USP.

Foram determinadas, para cada amostra, as porcentagens de argila, silte fino, silte grosso, areia fina, areia grossa e teor de umidade.

O objetivo destas análises foi obter uma caracterização granulométrica destes horizontes, para futura correlação com suas características químicas e micromorfológicas, buscando obter informações quanto ao seu potencial de retenção de metais pesados.

5.2.2. Dosagem do conteúdo de matéria orgânica

A dosagem do conteúdo de matéria orgânica foi realizada no Laboratório de Análises Sedimentológicas do Instituto Geológico, SMA. Foram analisadas 68 amostras, das quais 09 eram amostras "dublês", que serviram para determinar a eficácia do processo.

Dentre os métodos conhecidos para determinação do conteúdo de matéria orgânica em solo (VERDADE, 1954; VERLENGIA & GARGANTINI, 1968), foi empregada a metodologia proposta por NAVARRA *et al* (1980) que utiliza água oxigenada para ataque da matéria orgânica.

As amostras foram secas em estufa, a seguir, pesada 1 g de amostra, que foi colocada em um béquer e atacada com solução de água oxigenada a 10% (aproximadamente 80 ml no total, adicionada aos poucos). A seguir, as amostras foram colocadas em chapa quente a aproximadamente 50-60°C, onde foi se adicionando a mistura de água oxigenada até que houvesse o cessamento da reação da mesma com a matéria orgânica (evidenciada pela ausência de bolhas).

Devido ao fato do material ter sido moído a 200 *mesh*, o processo foi mais lento: as amostras mais claras demoraram de 1 a 2 dias para dissolverem a matéria orgânica; as mais escuras, de 4 a 5 dias para cessar a reação. Após a secagem da solução, a amostra foi colocada em estufa, e pesada novamente, obtendo-se a diferença do material retirado, e calculando-se a porcentagem do material perdido (matéria orgânica).

5.2.3. Difractometria de Raio X (DRX):

Para estas análises, foram selecionadas amostras pertencentes à camada de argila cinza-escura.

As amostras foram secas em temperatura ambiente, moídas em moinho de ágata até obter-se granulometria inferior a 200 mesh (método do pó). Posteriormente, foram encaminhadas para o Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera - NUPEGEL do Instituto Astronômico e Geofísico - IAG da USP, onde foram analisadas.

No Laboratório de Difractometria de Raio X (DRX) do NUPEGEL, as 28 amostras foram preparadas para a análise. O material foi prensado em lâminas e submetido à análise por DRX, em um difratômetro TW3710 da marca Philips. Este equipamento encontra-se acoplado a um computador que possui o *Software APD*, através do qual foi realizado o tratamento preliminar de identificação dos principais minerais presentes, e a plotagem dos respectivos diagramas.

5.2.4. Análises Químicas:

Para as análises químicas, foram selecionadas amostras nos diferentes poços executados ao longo da toposseqüência, sendo estas localizadas acima, dentro e abaixo da camada de argila orgânica. Foram selecionadas um total de 59 amostras, além de 09 para controle ("dublês").

As amostras foram secas à temperatura ambiente, moídas em moinho de ágata a granulometria inferior a 200 mesh, e acondicionadas em frasco com cerca de 15 gramas de amostras. Posteriormente, foram encaminhadas para o Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências da UNESP, em Rio Claro-SP, para análise dos metais Cu, Zn, Pb, Cd, Mo e Mn por ICP-AES.

Foi utilizado o método de abertura total, com ácidos fortes a quente, com o objetivo de determinar o conteúdo total destes metais no solo. A metodologia empregada no Laboratório de Geoquímica do IG/UNESP para preparação das amostras para análise química pode ser descrita nas seguintes etapas:

1. Pesagem de 0,25 gramas de amostra em balança de precisão (Marca METLER AJ-100, com vidro -"capela"- e precisão de 4 casas decimais), e acondicionamento das mesmas em cadinhos de teflon, previamente descontaminados (fervidos em ácido nítrico).
2. Ataque com ácido clorídrico (HCl) 1M (7 a 10 ml), para acelerar a decomposição da matéria orgânica. Banho-maria até evaporação do HCl.
3. Adição de ácido fluorídrico (HF) até decomposição total da amostra (pernoite: 12 horas).
4. Nas amostras onde, após esta etapa, verificou-se a presença de resíduo no fundo do cadinho, foi efetuada uma filtração; a amostra filtrada foi posteriormente acondicionada em um balão volumétrico, sendo o volume restante (até 50ml) preenchido com HCl 1,75M. As amostras que não apresentavam resíduo foram diretamente acondicionadas no balão volumétrico, sendo o volume restante (50 ml), preenchido com HCl 1,75 M.
5. Secagem do resíduo do filtro, que foi posteriormente guardado.
6. Análise por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-EAS).

As amostras 3J e 25J foram processadas duas vezes para verificar se o resíduo proveniente da filtração ainda continha metal pesado ou não. Em um dos jogos, procedeu-se à metodologia normal. Nas amostras "dublês", foi elaborada a seguinte seqüência:

7. O resíduo do filtro foi acondicionado em cadinho com fundente, sendo posteriormente colocado em estufa até a fusão total do material. A seguir, foi adicionado ácido HF até a dissolução total da amostra, sendo esta solução adicionada ao restante da amostra. A seguir, foi efetuada a análise por ICP-EAS.
8. Comparação com os resultados das análises das amostras 3J e 25J elaboradas pelo processo comum (etapas 1 a 6).

As amostras "dublês" foram analisadas pelo processo comum e pelo processo de fusão total, para verificar se o resíduo das amostras possuía uma concentração de metais pesados, ou somente matéria orgânica.

Os resultados obtidos mostraram que o resíduo não continha metal pesado, visto que os erros de leitura se situavam dentro do limite de detecção do aparelho (0,5 - 1%). Em decorrência do observado, as demais amostras foram processadas somente pela fusão parcial.

De acordo com observações dos técnicos deste laboratório (inf. verbal), quando o ataque químico é realizado em amostras de rocha, há a dissolução completa da amostra, sem resíduos. O resíduo só é encontrado em amostras de solos, e de determinados tipos, geralmente aqueles mais escuros e mais ricos em matéria orgânica. No caso das amostras deste trabalho, o que se observou é que houve uma relação entre a cor da amostra e a quantidade de resíduo: quanto mais escura a amostra, maior a quantidade de resíduo no fundo do cadinho.

5.2.5. Análises Micromorfológicas

Para coleta do material indeformado, foram escavados um poço e um cachimbo, cujos locais foram escolhidos tomando-se por base os resultados obtidos nas análises químicas e na descrição macroscópica das tradagens iniciais executadas. Foram utilizados os seguintes critérios:

- a. Expressiva concentração de metais pesados; e
- b. Presença da camada de argila cinza-escura acima do nível do lençol freático

Com isto, foram selecionados dois pontos: (1) ao lado do furo TL-03, situado abaixo da lagoa de decantação, atingindo a profundidade de 3 metros; (2) ao lado do furo TL-05, localizado dentro da lagoa, sendo que foi executado um poço de 1,80 metros e uma trincheira de 2,10 metros, acima do poço e em continuidade ao seu perfil (cachimbo), totalizando 3,90 metros de perfil vertical (Figura 5).

Para a coleta do material indeformado, utilizaram-se de saboneteiras ("caixa dura") e uma espátula. A coleta foi realizada da base para o topo da parede do poço, para evitar contaminação do material. A saboneteira foi fixada no solo, e suas laterais foram escavadas, sendo o conteúdo da saboneteira retirado intacto e orientado (topo-base), o que possibilitou a preservação de suas características texturais e estruturais.

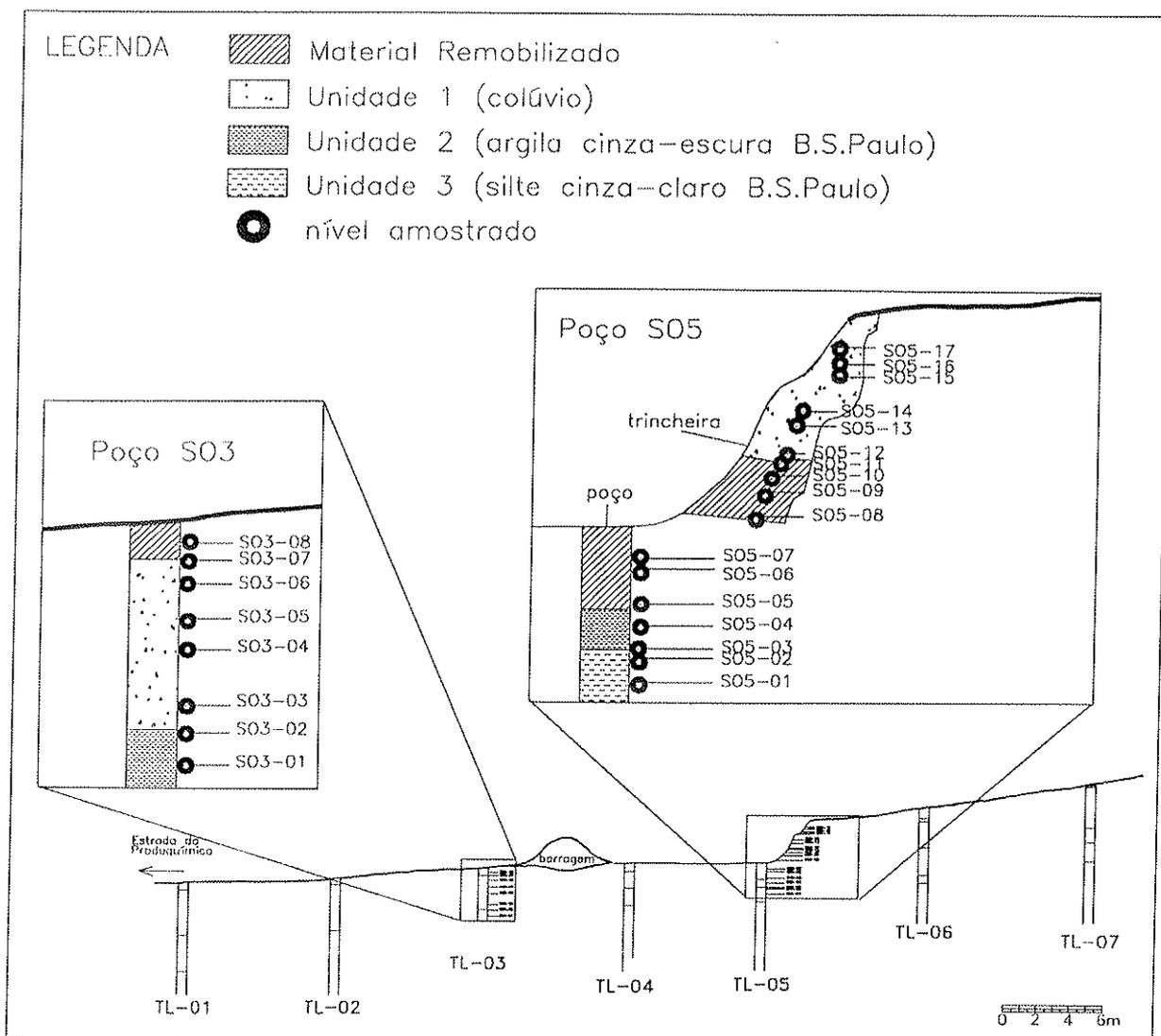


Figura 5: Localização dos perfis dos poços S03 e S05, com os respectivos níveis amostrados.

Posteriormente, foi efetuada uma seleção de grãos deste material em lupa microscópica, para serem analisados por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), no NUPEGEL / IAG. Os materiais amostrados nas saboneteiras foram impregnados no Laboratório de Impregnação de Amostras do DGG/IG/USP, e encaminhados para a confecção de lâminas delgadas na Seção de Laminação do IG/USP. As lâminas não foram recobertas com lamínulas, para possibilitar a posterior análise em MEV.

6. CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DE ESTUDO

Nos Anexos 1, 2 e 3 são apresentados, respectivamente, os resultados das análises granulométricas, conteúdo de matéria orgânica e análises químicas por ICP-AES dos diferentes perfis da seção de estudo. No Anexo 4 encontra-se a descrição macroscópica dos níveis dos 7 perfis, realizada no local da amostragem, e, posteriormente, no Laboratório de Preparação de Amostras do DGG/IG/USP.

A Figura 6 exibe a disposição espacial das unidades na seção de estudo, de acordo com os dados obtidos através dos perfis das sondagens e dos poços elaborados na mesma. A seção pode ser dividida em quatro unidades, sendo que destas, apenas as três primeiras serão objeto de detalhamento nesta dissertação:

- Unidade 1: argila de coloração alaranjada, correspondente ao material coluvionar;
- Unidade 2: argila de coloração cinza escura, correspondente aos sedimentos da Bacia de São Paulo;
- Unidade 3: silte de coloração cinza-clara, correspondente aos sedimentos da Bacia de São Paulo;
- Unidade 4: embasamento gnáissico (alterita), correspondente às rochas metamórficas pertencentes ao Complexo Embu.

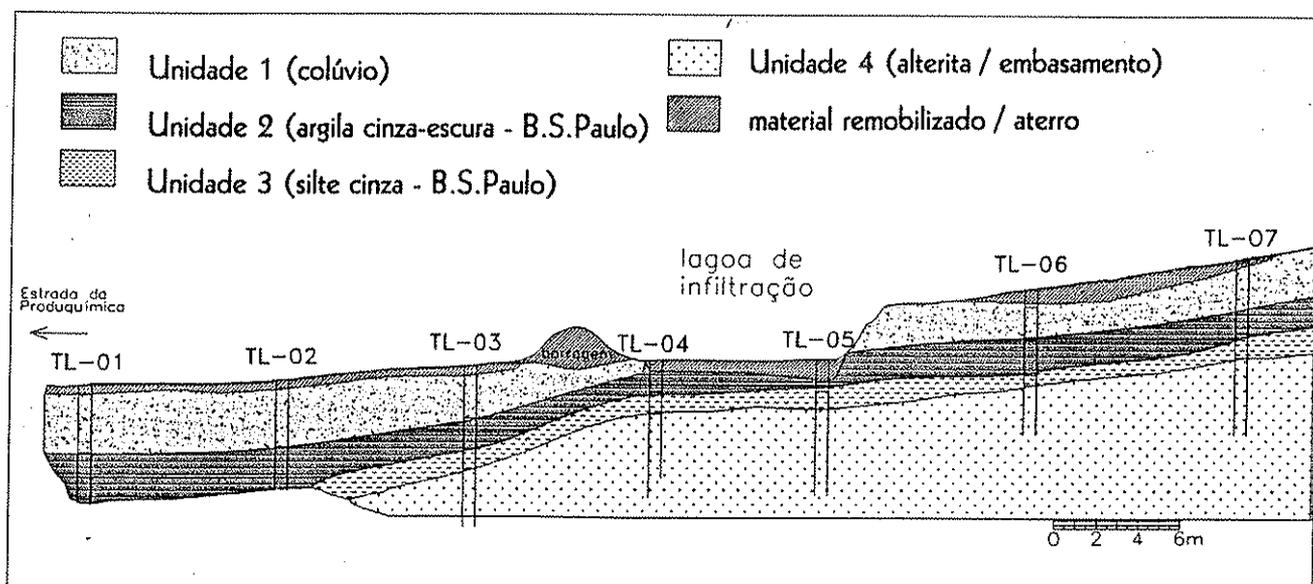


Figura 6: Organização espacial das unidades na seção de estudo.

As três unidades descritas podem ser visualizadas na Fotografia 6, em uma seqüência de material retirado através do trado manual. O primeiro plano é dado pela base e o plano de fundo, pelo topo da seqüência.



Fotografia 6: Unidades 1 (coloração alaranjada), 2 (coloração cinza-escura) e 3 (coloração cinza-clara), durante amostragem do perfil TL-03.

Para a classificação textural dos solos, utilizou-se o Diagrama proposto pelo serviço de Conservação de Solos do departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Figura 7), que é amplamente utilizado para classificação de solos no Brasil (OLIVEIRA et al, 1992; CATI/SAA, 1994).

De acordo com esta classificação, as classes texturais do solo encontram-se divididas em três grandes grupos: areias, francos e argilas, sendo que dentro de cada grupo, existem subdivisões de classes específicas, totalizando 12 subclasses. As descrições destes grupos, apresentadas a seguir, foram compiladas de BRADY (1989).

granulométrica de argila são eminentemente dominantes e as classes designam-se como argila, argila arenosa e argila siltosa e muito argilosa.

GRUPO DOS FRANCOS

Embora mais complexo, pode-se definir um solo franco ideal como uma mistura de partículas de areia, silte e argila. De acordo com a predominância de uma ou outra granulometria, este solo poderá ser subdividido em franco, franco-arenoso, franco-siltoso, franco-argilo-siltoso, franco-argilo-arenoso e franco-argiloso.

Considera-se silte o solo com porcentagem de silte acima de 80%, com menos de 12% de argila. De acordo com o autor, ele não é considerado com um grupo isolado.

Para a descrição macroscópica dos níveis, foram utilizadas descrições efetuadas durante a amostragem em campo e posterior descrição no laboratório.

Para a identificação microscópica das unidades, foram confeccionadas seções delgadas das amostras coletadas nos poços, previamente endurecidas para este fim.

Alguns grãos provenientes destas amostras também foram selecionados para a análise em MEV, com o objetivo de verificar a sua morfologia, bem como de identificar alguns metais pesados através do processo de varredura com elétrons retrodifusos.

Em uma segunda etapa de análises por MEV, as seções delgadas foram analisadas em pontos pré-determinados, com o objetivo de se obter informações a respeito da composição da matriz e grãos, bem como identificar a presença de MP e a sua relação com microestruturas presentes na amostra .

6.1. Unidade 1: Argila de coloração alaranjada (colúvio)

6.1.1. Caracterização Macroscópica

Esta unidade corresponde à camada superior de sedimento do perfil de estudo. Caracteriza-se por um material argiloso, muito plástico, de coloração

alaranjada, atingindo até 2,5 metros de profundidade no perfil, com exceção dos furos localizados dentro da lagoa (TL-04 e TL-05), onde encontra-se praticamente ausente, devido à escavação de material para construção da lagoa. Nos furos TL-01 e TL-02, principalmente, nota-se um aumento da porcentagem de quartzo em direção à base da camada. Torna-se escurecido em direção à base, apresentando um contato gradual com a camada inferior. Observações realizadas nas paredes dos poços escavados no local permitem a visualização do seu acamamento paralelo ao declive do terreno (aproximadamente 8°). Esta unidade está relacionada ao material coluvionar que aflora na área.

Na Figura 8 encontra-se apresentada a distribuição das porcentagens de areia, argila e silte dos seus diversos níveis, de acordo com as análises granulométricas obtidas ao longo do perfil. De acordo com os resultados obtidos no Diagrama de Classificação Textural de Solos (CATI/SAA, 1994), esta Unidade pode ser classificada como de textura argilosa a franco-argilo-arenosa.

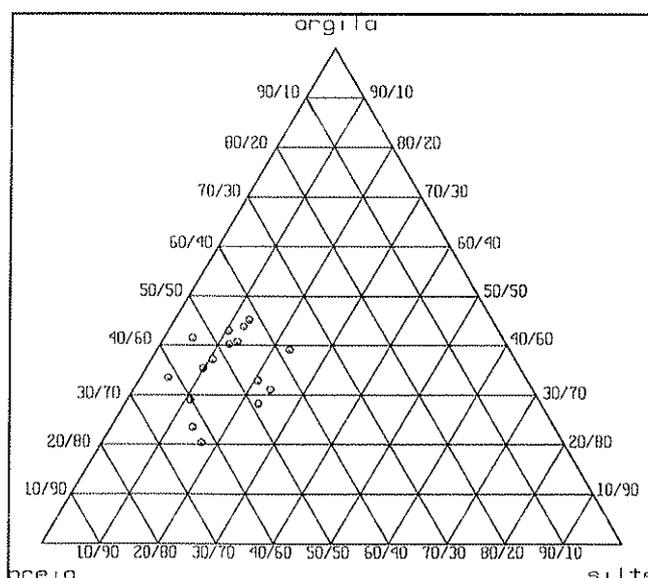


Figura 8 : Distribuição das porcentagens de areia, argila e silte de amostras da Unidade 1 em diagrama triangular de classificação textural de solos, de acordo com CATI/SAA (1994).

Com relação ao conteúdo de matéria orgânica nesta unidade, foram detectados valores de 1 a 4%. Um único valor anômalo de 5% foi determinado no furo TL-01, na profundidade de 0,75 a 1,00m.

6.1.2. Caracterização Microscópica

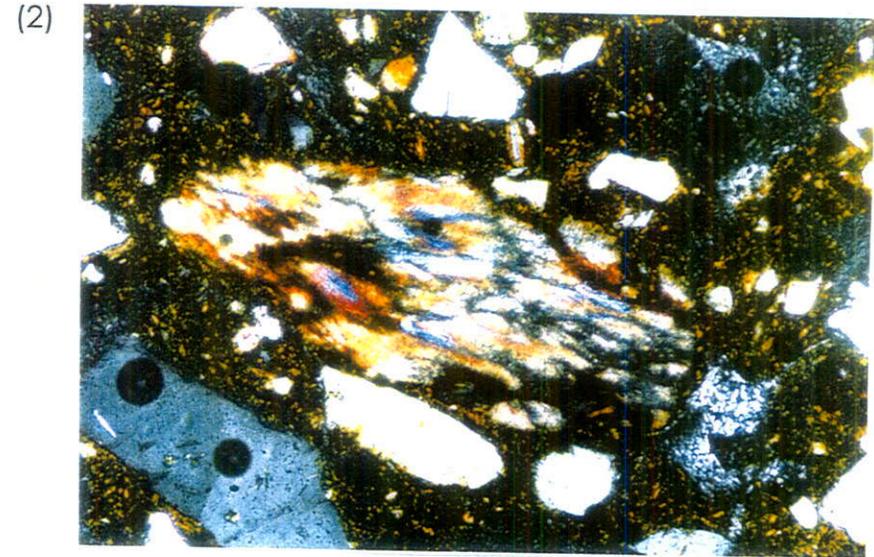
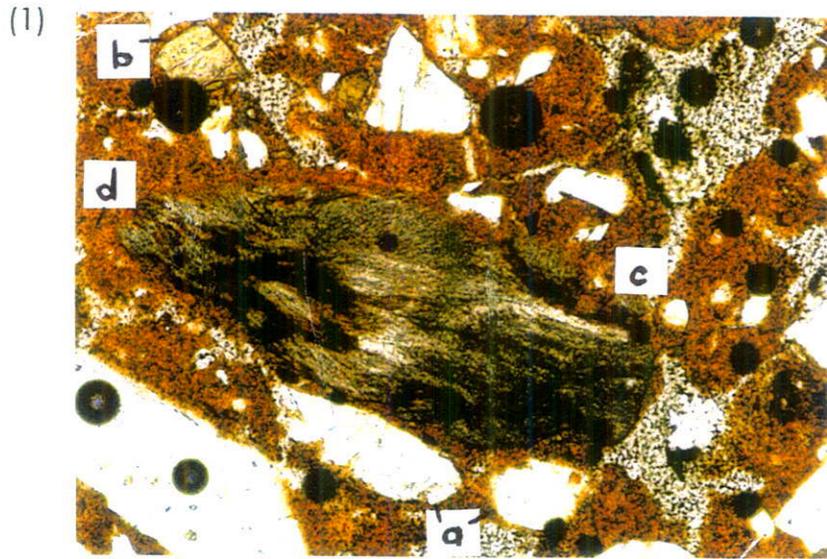
Descrições de lâminas petrográficas pertencentes a esta unidade permitem a identificação de minerais primários constituintes representados predominantemente por quartzo, sendo observados, secundariamente, turmalina e muscovita.

O quartzo se apresenta, em sua maioria, com extinção ondulante (quartzo metamórfico), sendo que alguns se encontram com inclusões de rutilo (filetes). Alguns grãos apresentam-se fraturados, sendo que estas fraturas estão preenchidas por hidróxido de Fe, como pode ser observado nas Fotomicrografias 1 e 2 da amostra SO3-03B.

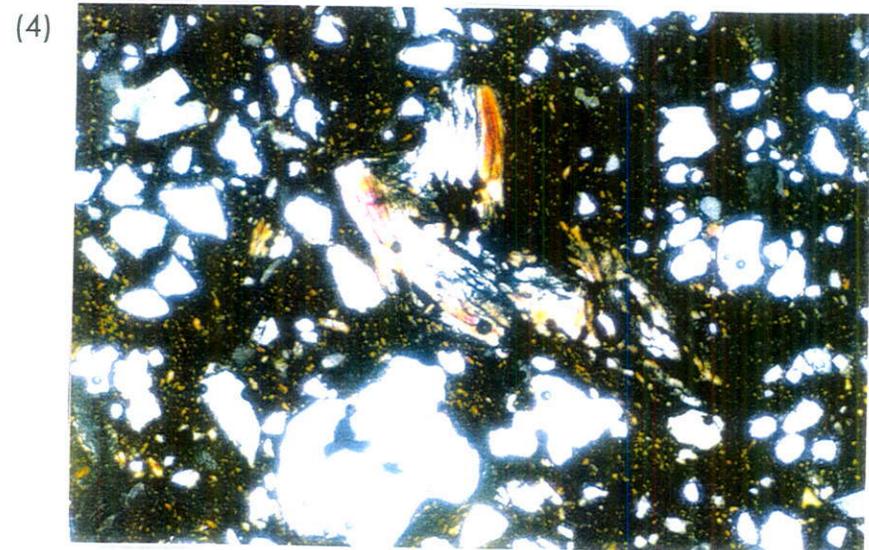
Os minerais secundários são representados por material prateado (provável caulinita), produto da alteração das micas (muscovitas). Na maioria das vezes elas se encontram com suas clivagens preenchidas por hidróxido de Fe (goethita), como pode ser observado nas Fotomicrografias 3 e 4 da amostra SO3-03B.

O plasma presente constitui-se de diferentes argilominerais (com predomínio de caulinita) e hidróxidos de ferro e manganês (goethita e amorfos), que apresentam coloração marrom-alaranjada com luz natural, e com luz polarizada, coloração marrom escuro a preto com vários pontos de birrefringência alta (argilominerais). Neste plasma, é possível observar a formação de nódulos goethíticos, com vazios preenchidos por hidróxido de Al (gibbsita), que se apresentam com coloração esbranquiçada em luz polarizada, como pode ser observado nas Fotomicrografias 5 e 6 da amostra SO5-17B.

Nesta unidade, também é possível observar restos de matéria orgânica pseudomorfisada e mineralizada, como exibido pela Fotomicrografia 7 da amostra SO3-06B.

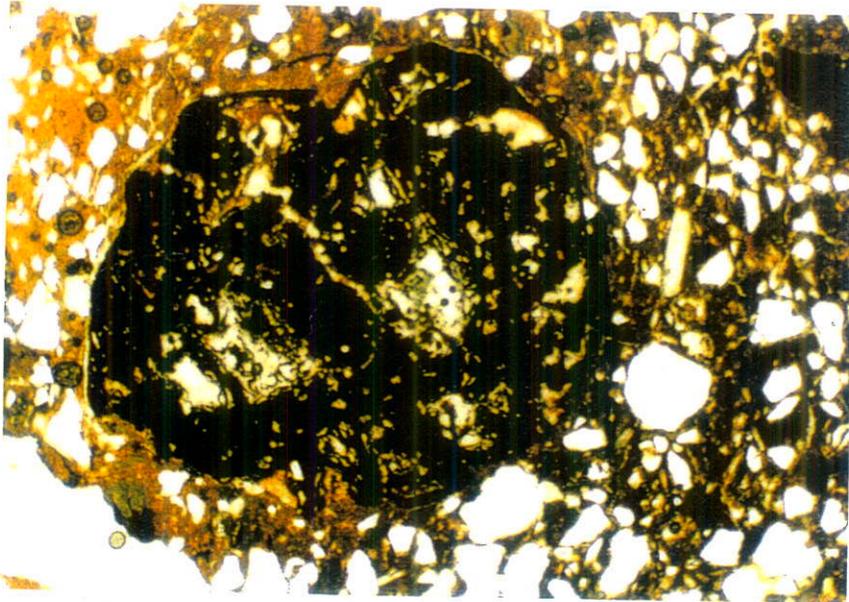


Fotomicrografias 1 (luz natural) e 2 (luz polarizada): Aspecto da matriz da amostra SO3-03B, pertencente à Unidade I. a) presença de quartzo com inclusões de rutilo (filetes); b) turmalina aparece como mineral acessório; c) grão de caulinita com material oxidado preenchendo as fraturas; d) matriz de coloração alaranjada, com microfissuras preenchidas por material quartzo-feldspático. Campo das fotos: 4,2 mm X 2,8 mm (objetiva 3,2; abertura 3,2:1).

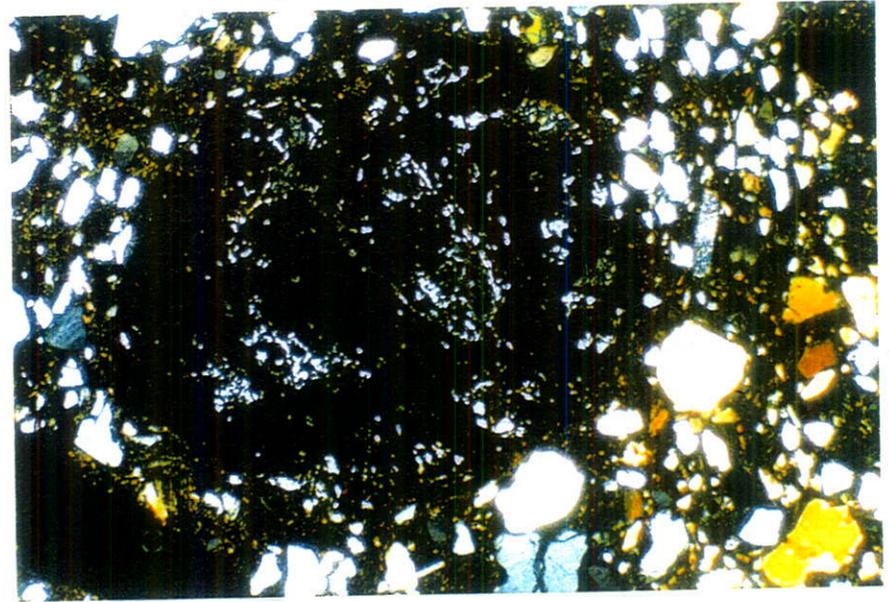


Fotomicrografias 3 (luz natural) e 4 (luz polarizada): Aspecto da amostra SO3-03B. Cristal de mica (muscovita), com fraturas preenchidas por hidróxido de ferro (goethita). As fraturas dos grãos de quartzo também encontram-se preenchidas com este material. Campo das fotos: 2,7 mm X 1,8 mm (objetiva 3,2; abertura 5:1).

(5)

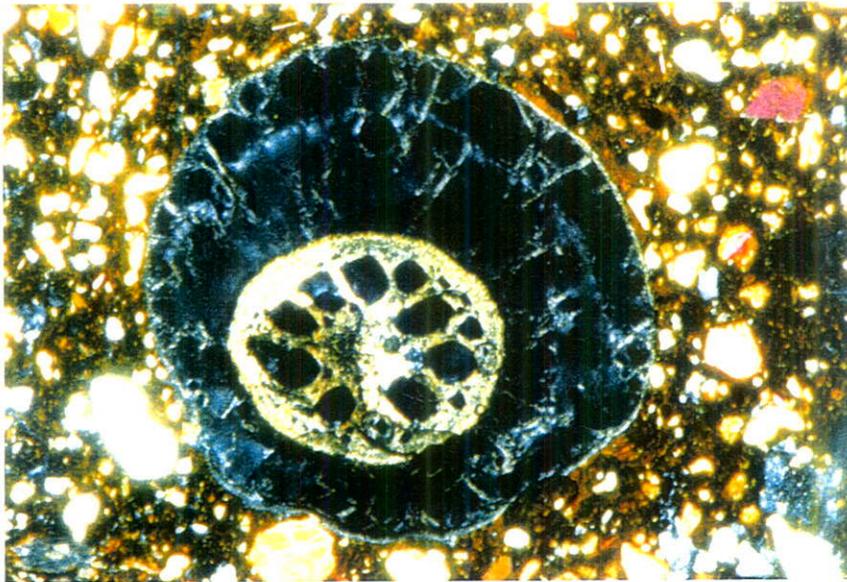


(6)



Fotomicrografias 5 (luz natural) e 6 (luz polarizada): Aspecto da amostra SO5-17B. Nódulo de hidróxido de ferro (goethita) com vazios preenchidos por hidróxido de alumínio (gibbsita), que se apresentam com coloração esbranquiçada com luz polarizada. Campo das fotos: 5,2mm X 3,7mm (objetiva 1,6; abertura 5:1).

(7)



Fotomicrografia 7 (luz polarizada): Aspecto da amostra SO3-06B. Restos de matéria orgânica (raízes de planta) pseudomorfisada e mineralizada. Campo da foto: 5,2mm X 3,7mm (objetiva 1,6; abertura 5:1)

6.1.3. Determinações em MEV

6.1.3.1. Fragmentos

Nesta etapa, foram submetidos à análise por MEV fragmentos do material coletado dos poços SO3 e SO5, de dimensões entre 4 e 8 mm.

O material clástico encontra-se representado pelo quartzo, que é encontrado freqüentemente por toda a amostra. Alguns grãos se encontram recobertos por material rico em Al e Fe. Em alguns casos, é possível observar feições de dissolução nas suas paredes (Imagem 1, Figura 9).

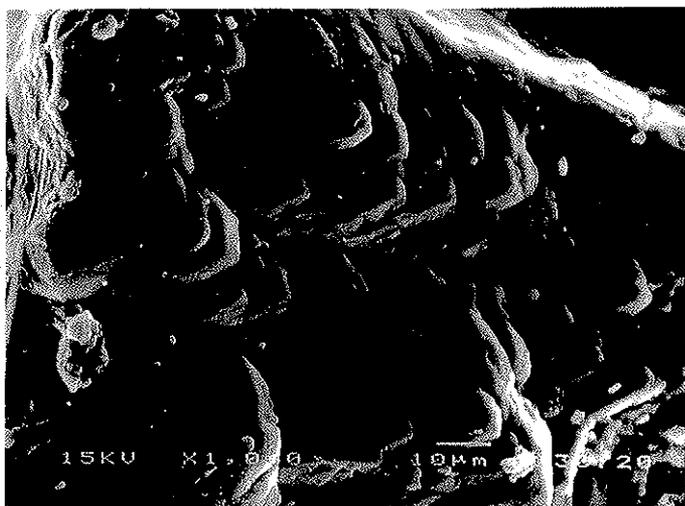


Imagem 1: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-16 em MEV; feição de dissolução de grãos de quartzo (aumento 1000X).

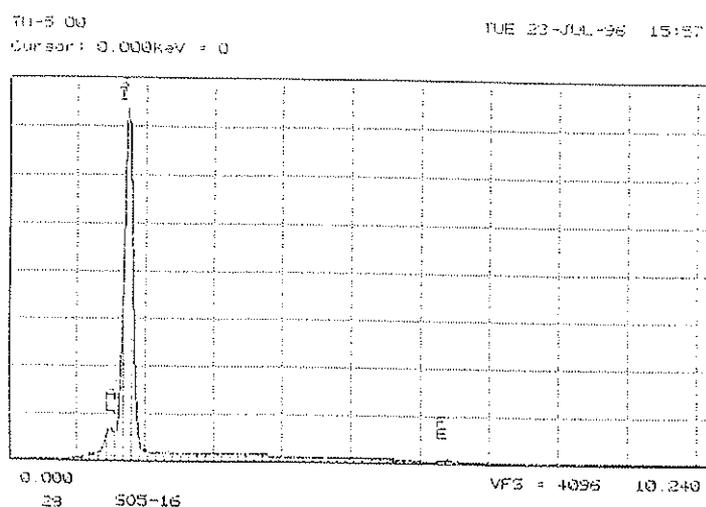


Figura 9: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 1, com análise qualitativa apresentada em espectro..

A matriz é composta essencialmente por Fe, Al e Si, sendo que em alguns locais encontra-se associada com K e Ti. Algumas vezes, apresenta aspecto pseudo-botrioidal (Imagem 2, Figura 10).

Nesta unidade, ocorrem microcavidades nas quais se observa a presença de material reprecipitado (caulinita, às vezes goethita, etc.), como no exemplo da amostra SO5-13, onde observa-se a precipitação de caulinita em uma de suas microcavidades (Imagem 3, Figura 11).

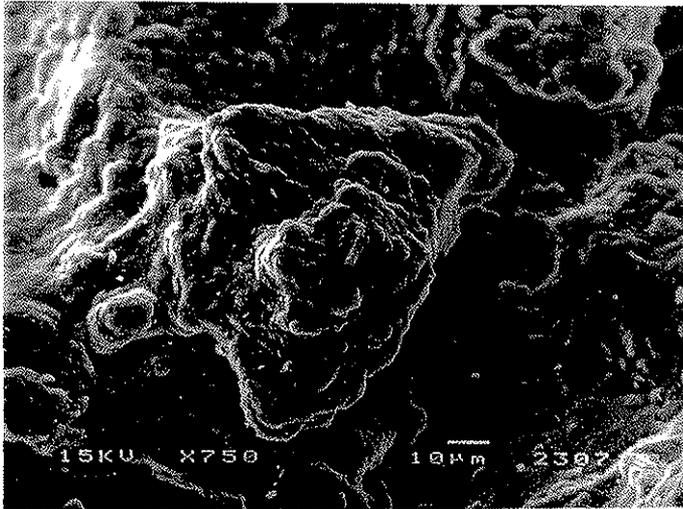


Imagem 2: Morfologia de grão de solo em MEV: aspecto da matriz da amostra SO5-14, de composição essencialmente caulínica (aumento 750X).

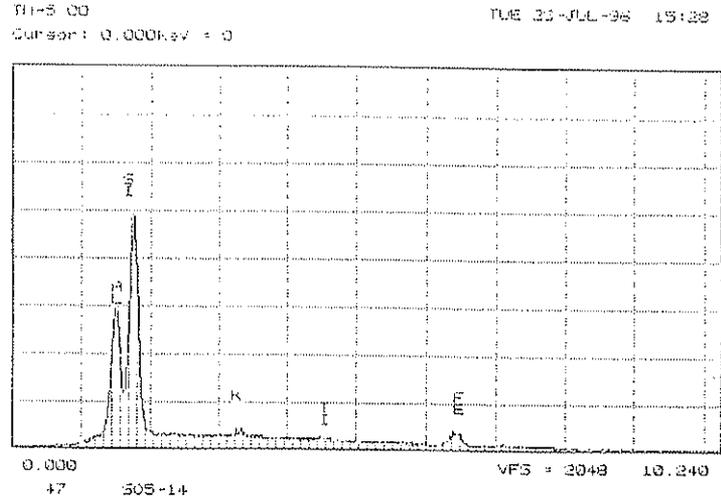


Figura 10: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 2, com análise qualitativa apresentada em espectro.

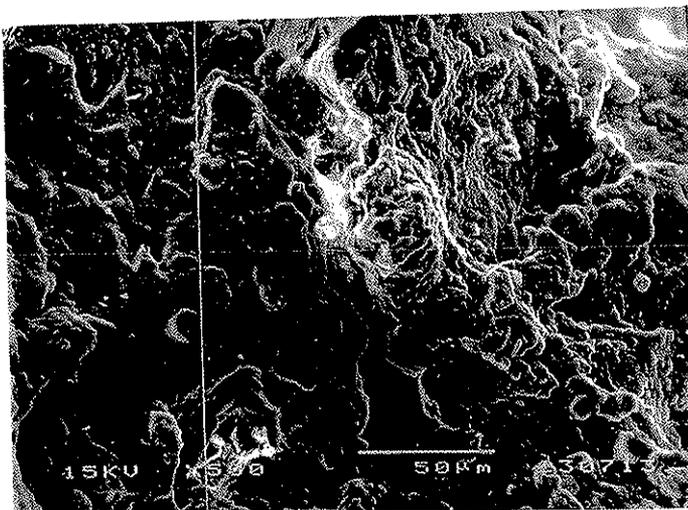


Imagem 3: Morfologia de grão de solo em MEV: aspecto do material precipitado em uma das microcavidades da amostra SO5-13. Composição essencialmente caulínica (aumento 500X).

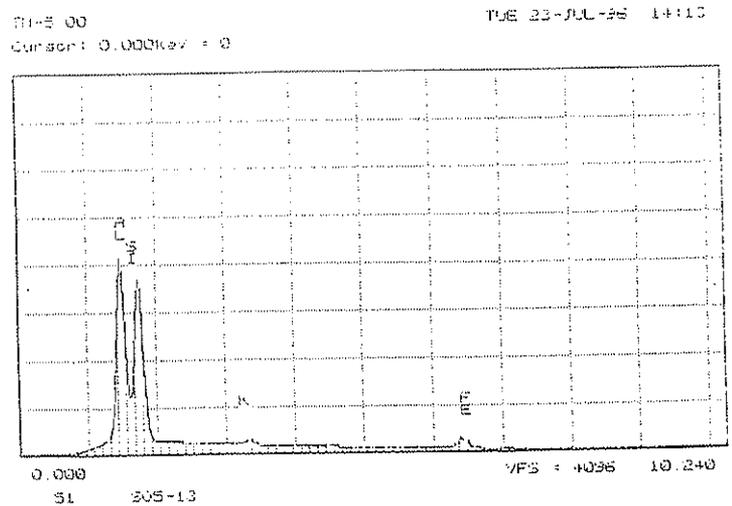


Figura 11: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 3, com análise qualitativa apresentada em espectro.

Em alguns locais, é possível observar a pseudomorfose de fragmentos de carvão por hidróxidos e óxidos de Fe e Mn, como no exemplo da amostra SO5-16 (Imagem 4, Figura 12). Alguns nódulos de Fe e Ti são observados associados à este tipo de material (Imagem 5, Figura 13).

Com exceção do manganês, que pode fazer parte da composição natural do solo, visto que está sempre associado à matriz e raramente aos grãos de minerais, não foi observada a presença de nenhum outro metal pesado nos grãos desta unidade.

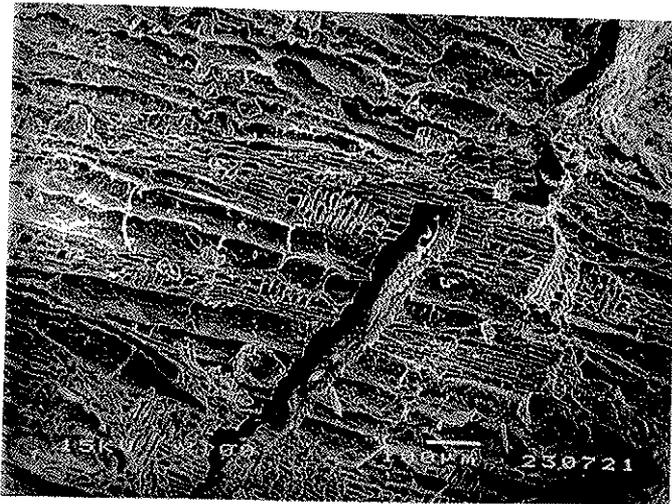


Imagem 4: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-16 em MEV: grão de carvão pseudomorfisado por Fe e Mn (aumento 100X).

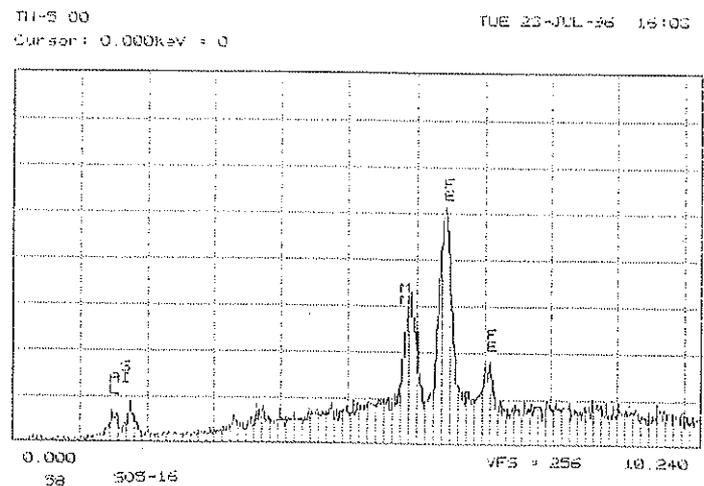


Figura 12: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 4, com análise qualitativa apresentada em espectro.

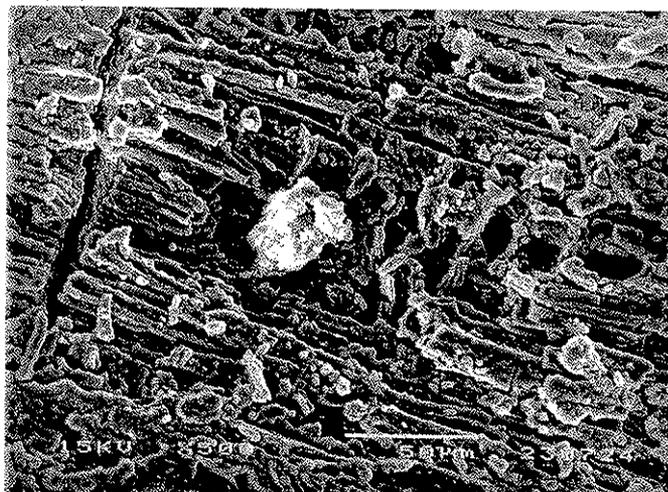


Imagem 5: Detalhe da Imagem 4. Presença de nódulo de Fe e Ti em cavidade do grão de carvão. Aumento 500X.

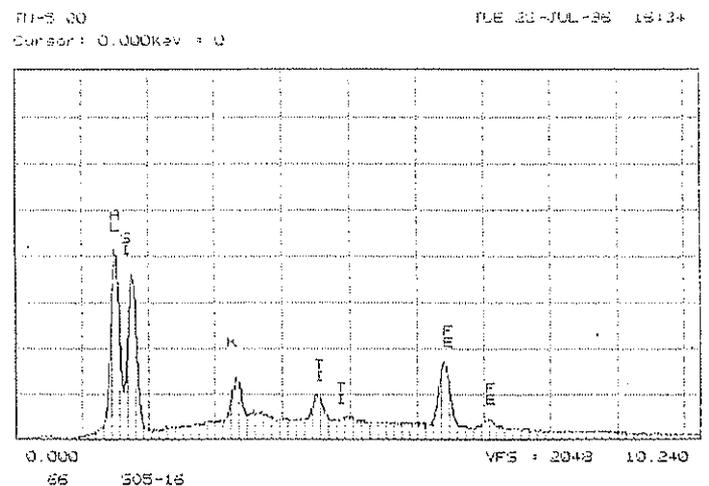


Figura 13: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 5, com análise qualitativa apresentada em espectro.

6.1.3.2. Lâminas

Análises em MEV de lâminas pertencentes à esta Unidade identificaram uma grande presença de compostos de Fe, geralmente associados à matriz, na forma de pequenos fragmentos.

Em algumas partes da matriz, este Fe se concentra, formando nódulos de material ferruginoso, onde secundariamente estão associados Si, Al e Ti (Imagem 6, Figura 14). Dentro de alguns nódulos foi detectada a presença de gibbsita.

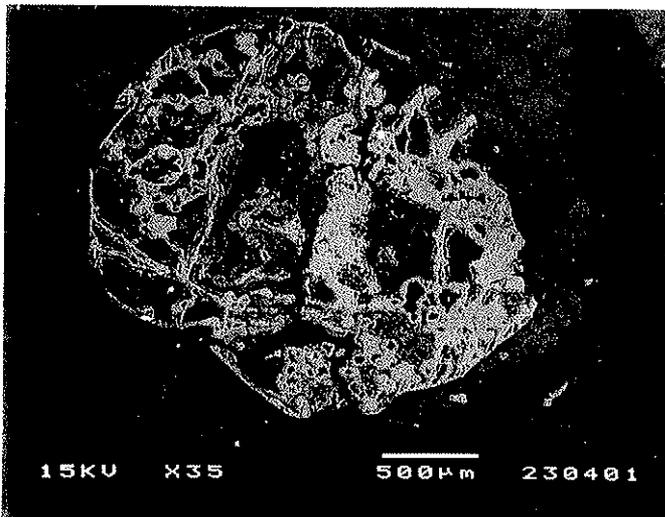


Imagem 6: Aspecto de nódulo de material ferruginoso (Fotomicrografias 5 e 6), em elétrons retrodifusos (Aumento 35X). O material ferruginoso está representado pelas porções mais claras.

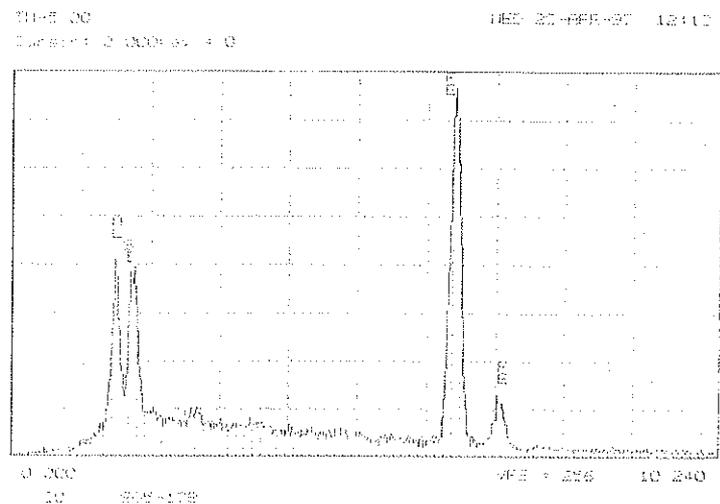


Figura 14: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 6, com análise qualitativa apresentada em espectro.

Na amostra SO3-06, estes nódulos encontram-se com fosfatos precipitados no seu interior, sendo que em alguns pontos, os fosfatos estão associados a ETR e Ag. Na amostra SO5-17B, detectou-se a presença de fragmento de composto de Ce preso à parede do nódulo (Imagem 7, Figura 15).

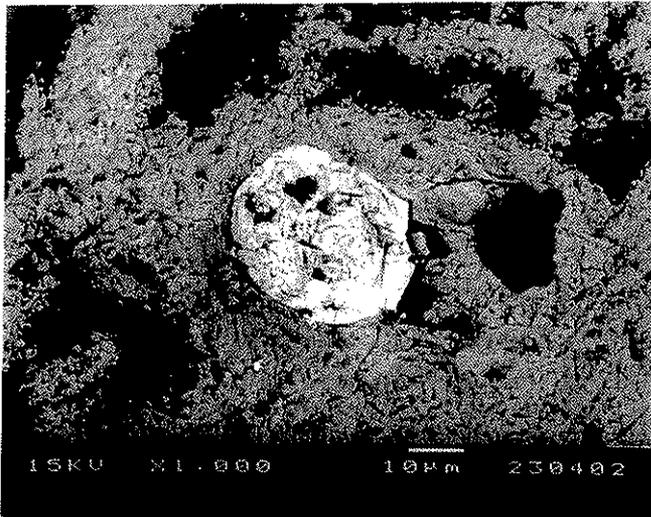


Imagem 7: Detalhe da parede do nódulo da Imagem 6, com fragmento de composto de Ce preso à sua estrutura (Aumento 1000 X).

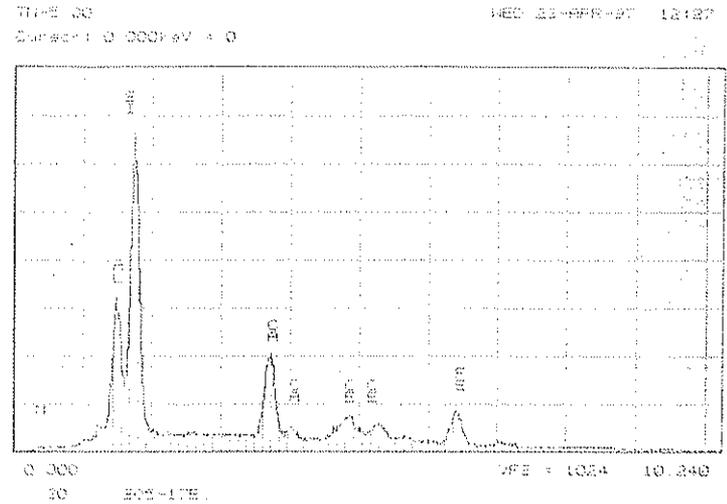


Figura 15: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 7, com análise qualitativa apresentada em espectro.

Também foi observada a precipitação de sais em microfissuras da matriz, geralmente sob a forma de cloretos, associados principalmente a K (Imagem 8, Figura 16) e Na, e secundariamente, ao Cu (Imagem 9, Figura 17).

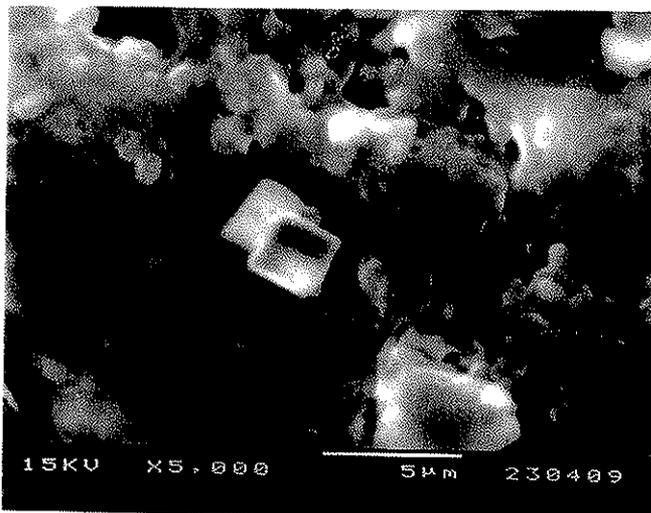


Imagem 8: Morfologia de grão de solo em MEV: cristais de KCl precipitados em microfissuras presentes na matriz da amostra SO3-06B. (Aumento 5000X)

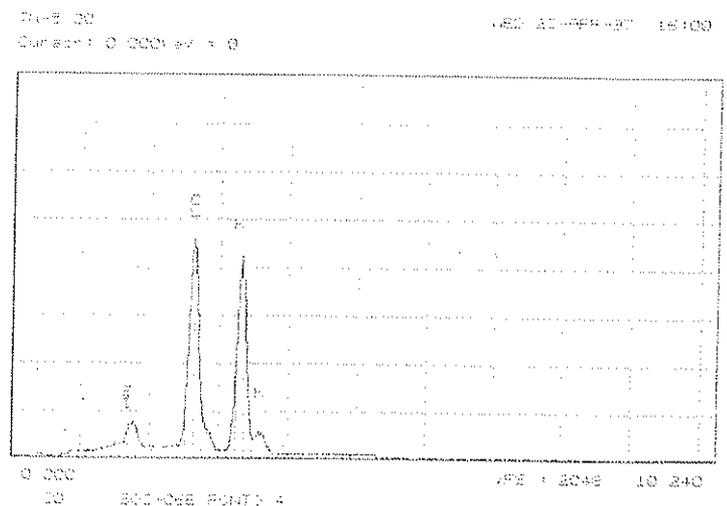


Figura 16: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 8, com análise qualitativa apresentada em espectro.

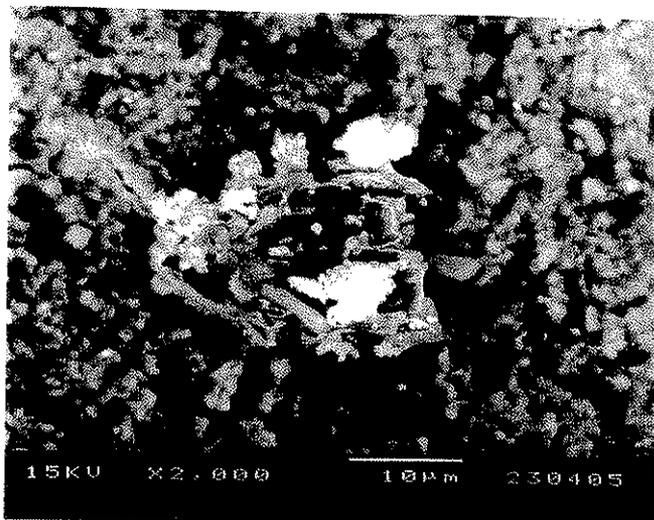


Imagem 9: Morfologia de grão de solo em MEV; Cu associado a Cl precipitado em microfissuras presentes na matriz da amostra SO5-17B. (Aumento 2000X).

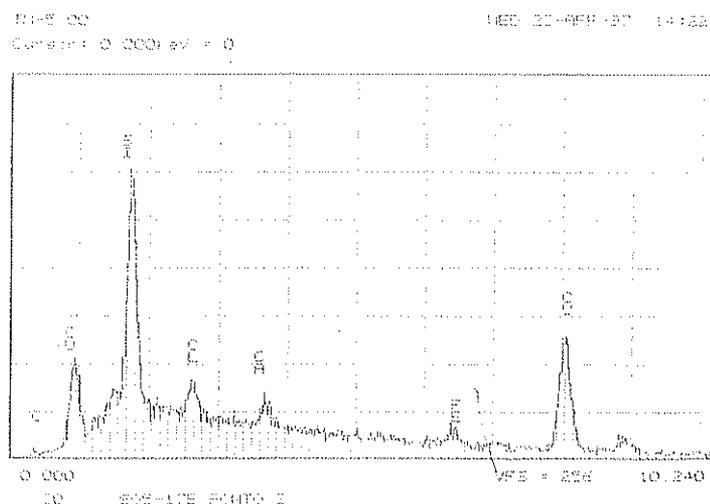


Figura 17: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 9, com análise qualitativa apresentada em espectro.

6.2. Unidade 2: Argila de coloração cinza-escura (sedimentos da Bacia de São Paulo)

6.2.1. Caracterização Macroscópica

Esta unidade é sotoposta à Unidade 1. Apresenta espessura média entre 2 a 2,5 metros nos furos TL-01 e TL-02, diminuindo em direção ao topo do perfil, chegando de 0,80 a 1 metro nos furos TL-06 e TL-07. Constitui-se de argilas de coloração cinza escura. Nos furos onde foi possível observar a sua base, (TL-03, TL-04, TL-05, TL-06 e TL-07), nota-se uma acentuada diminuição da quantidade de argila em direção à base, e a coloração tende ao cinza-claro. O contato com a camada inferior é gradual. Provavelmente este material relaciona-se aos sedimentos pertencentes à Bacia de São Paulo que afloram nas proximidades da área de estudo, em particular, aos sistemas lacustres que são comumente descritos neste tipo de formação (MELO et al, 1986; RICCOMINI, 1989; TAKIYA, 1991)

Na Figura 18 é apresentada a distribuição das porcentagens de areia, argila e silte dos seus diversos níveis, de acordo com as análises granulométricas obtidas ao longo dos perfis nesta unidade.

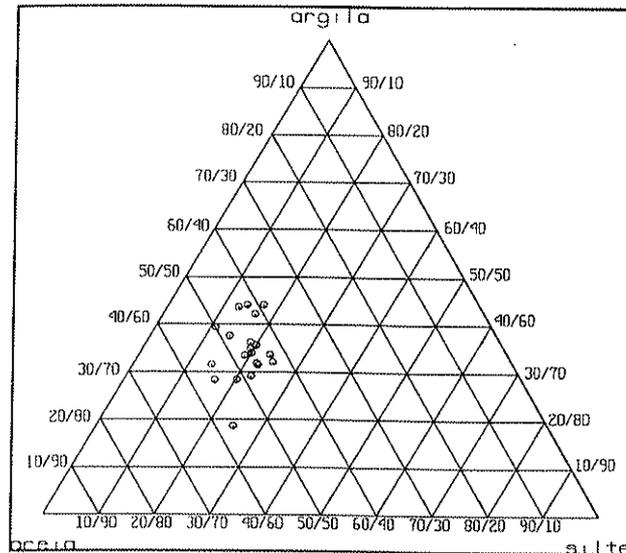


Figura 18: Distribuição das porcentagens de areia, argila e silte de amostras da Unidade 2 em diagrama triangular de classificação textural de solos, de acordo com CATI/SAA (1994).

Com os resultados obtidos no Diagrama de Classificação Textural dos Solos (SAA/CATI, 1994), podemos classificar esta Unidade como de textura argilosa a argilo-franco-arenosa. O que se pode observar em relação à Unidade anterior (Unidade 1), é que houve uma maior uniformidade na distribuição dos diferentes dados ao longo do Diagrama, e há uma tendência à migração para o campo das argilas.

Nesta Unidade, foram obtidos os maiores teores de matéria orgânica das três unidades analisadas, situando-se entre 4 a 7% para os furos TL-01 a TL-03 e 4 a 5% nos demais furos, com exceção do furo 5, onde não foram encontrados valores maiores que 2%.

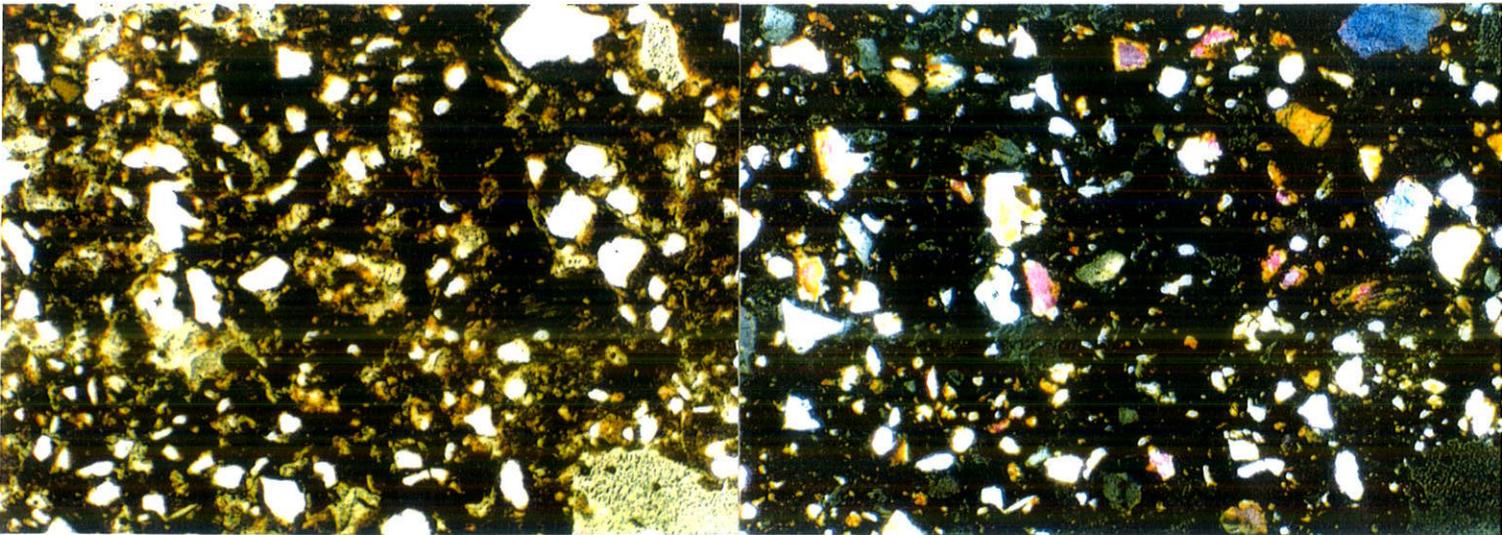
6.2.2. Caracterização Microscópica

As amostras pertencentes a esta unidade caracterizam-se essencialmente pela presença de minerais primários semelhantes aos descritos para a Unidade I: o quartzo é o constituinte predominante, e como acessórios ocorrem muscovita e turmalinas.

Os grãos de quartzo encontram-se emersos no plasma, sendo que alguns se apresentam subarredondados, com bordas de dissolução ou sendo recobertos por hidróxido de ferro. As Fotomicrografias 8 e 9 exemplificam as características principais desta unidade, com relação aos minerais primários.

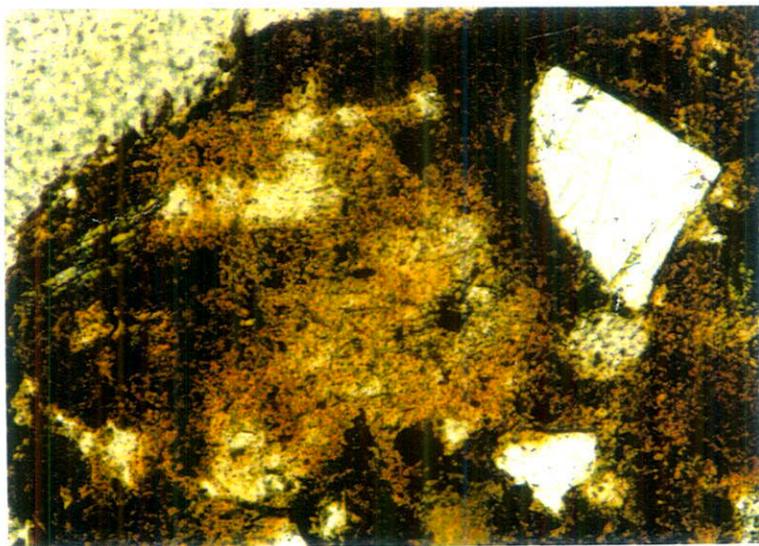
Os minerais secundários são representados pelo material proveniente da alteração das micas (muscovita => caulinita), de coloração cinza-prateada e alta birrefringência em luz polarizada. Alguns pontos da lâmina exibem a miscigenação deste material em avançado grau de alteração com o fundo matricial (plasma) (Fotomicrografias 10 e 11).

O plasma apresenta-se compacto e fino em comparação com o plasma da Unidade I. Apresenta coloração escura, e em alguns pontos, nota-se a acumulação do material ferruginoso em nódulos (Fotomicrografias 12 e 13). São observadas poucas cavidades, e algumas fissuras onde ocorre percolação de hidróxido de ferro.

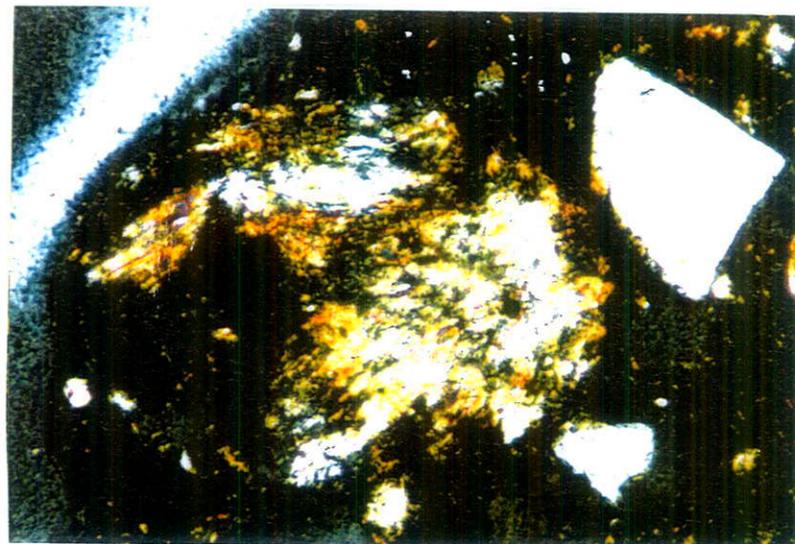


Fotomicrografias 8 (luz natural) e 9 (luz polarizada): Aspecto do plasma da Amostra SO5-05A, de coloração marrom escura. Os grãos de quartzo encontram-se emersos no plasma, apresentando-se subarredondados. Alguns se apresentam com borda recoberta por material ferruginoso, e outros, com dissolução nas bordas. Campo das fotos: 4,2 mm X 2,8mm (objetiva 3,2; abertura 3,2:1)

(10)

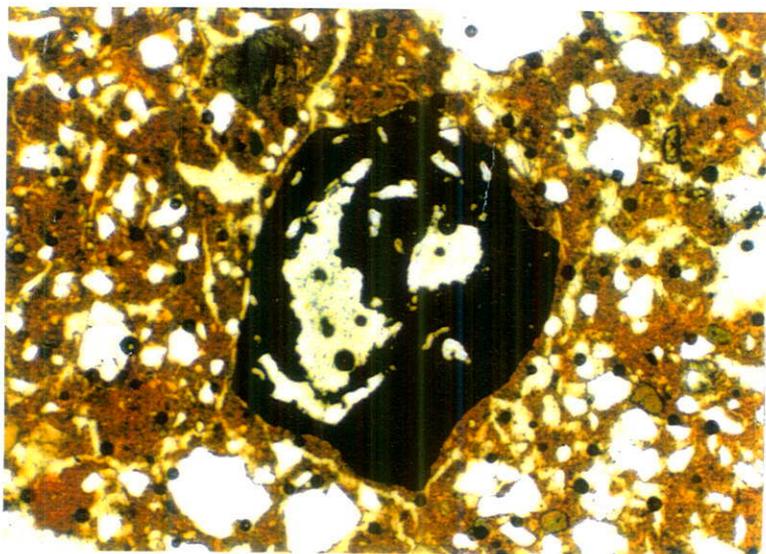


(11)

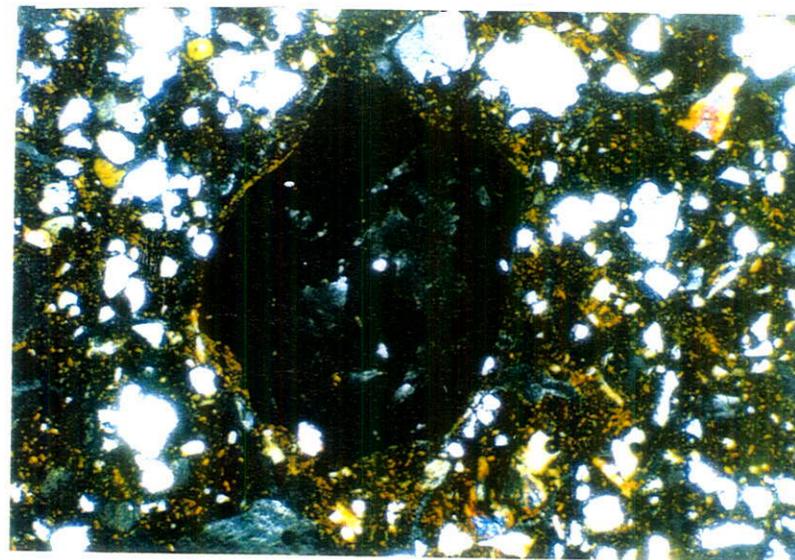


Fotomicrografias 10 (luz natural) e 11 (luz polarizada): aspecto da amostra SO5-05A. Caulinita em avançado grau de alteração, se incorporando ao plasma. Campo das fotos: 0,65mm X 0,45mm (objetiva 20, abertura 3,2:1)

(12)



(13)



Fotomicrografias 12 (luz natural) e 13 (luz polarizada): acumulação de material ferruginoso em nódulos na amostra SO3-02T. Campo das fotos: 3,2mm X 2,1mm (objetiva 3,2; abertura 4:1).

6.2.3. Determinações em DRX

Somente as amostras pertencentes a esta unidade foram submetidas à análise por DRX. Para cada perfil, foram selecionadas no mínimo três amostras: uma na parte superior, outra no meio e outra na parte inferior da camada.

Os resultados obtidos para as diferentes amostras são semelhantes ao longo de toda a seção de estudo. Através dos espectros, foi possível a identificação de quartzo, muscovita e argila do grupo da caulinita.

As Figuras 19, 20 e 21 exibem os resultados obtidos, respectivamente, para os furos TL-03 (localizado a jusante da lagoa), TL-05 (localizado dentro da lagoa) e TL-06 (localizado a montante da lagoa de infiltração).

De um modo geral, não se observaram variações muito significativas nestes espectros ao longo da seção de estudo. O que se nota é uma variação na intensidade dos picos das amostras com maior porcentagem de areia para as amostras com menor porcentagem de areia, onde o pico mais intenso do Quartzo aparecia mais ou menos diferenciado em relação aos demais.

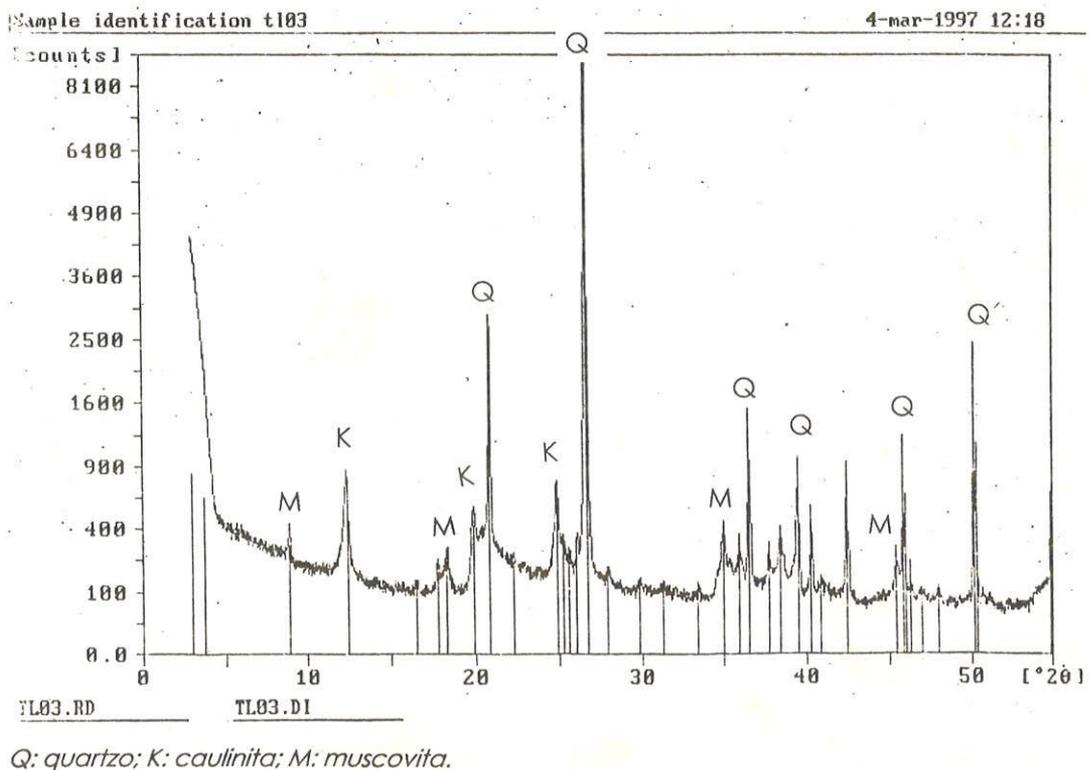


Figura 19: Resultado da análise por DRX da amostra do perfil TL-03, localizado a jusante da lagoa de infiltração.

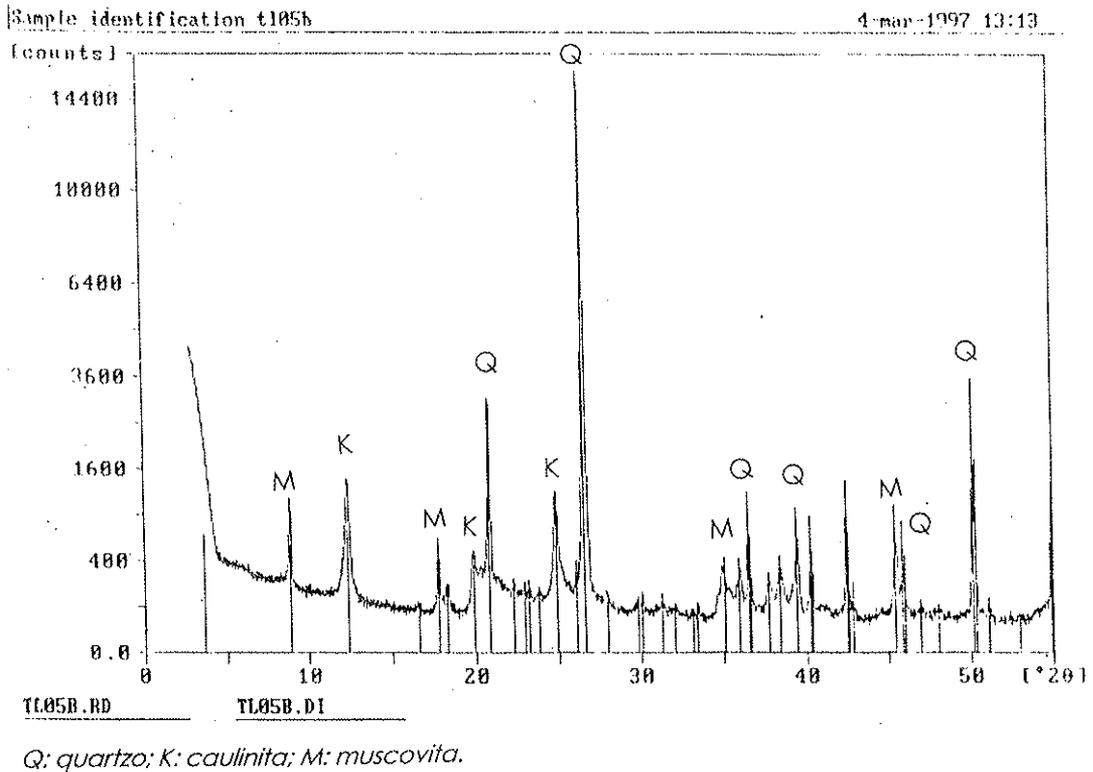


Figura 20: Resultado da análise por DRX da amostra do perfil TL-05, localizado dentro da lagoa de infiltração.

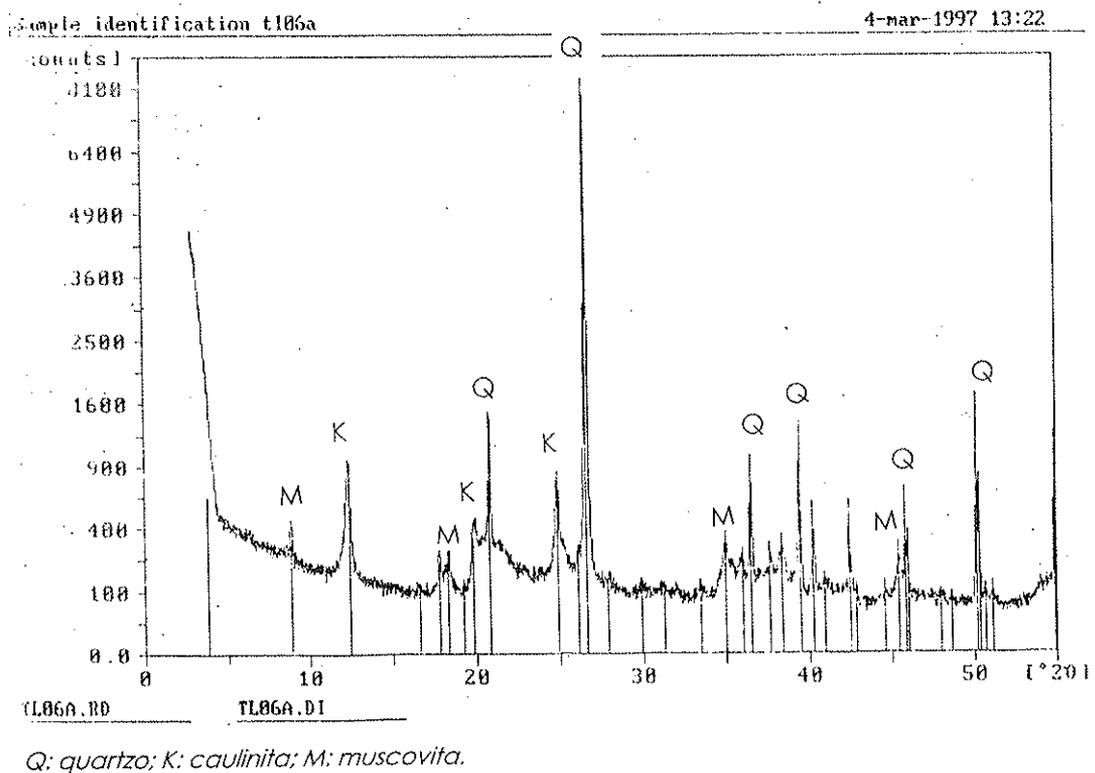


Figura 21: Resultado da análise por DRX da amostra do perfil TL-06, localizado a montante da lagoa de infiltração.

6.2.4. Determinações em MEV

6.2.4.1. Fragmentos

Os fragmentos desta unidade analisados em MEV, de dimensões entre 4 e 8mm, provêm de amostras coletadas nos poços SO3 e SO5. Em função dos inúmeros dados obtidos, dividiu-se os resultados em: minerais primários, matriz, minerais neoformados e metais pesados.

a) minerais primários:

Os minerais primários são representados essencialmente por quartzo, sendo identificados os acessórios ilmenita (Imagem 10, Figura 22) e zircão (Imagem 11, Figura 23).

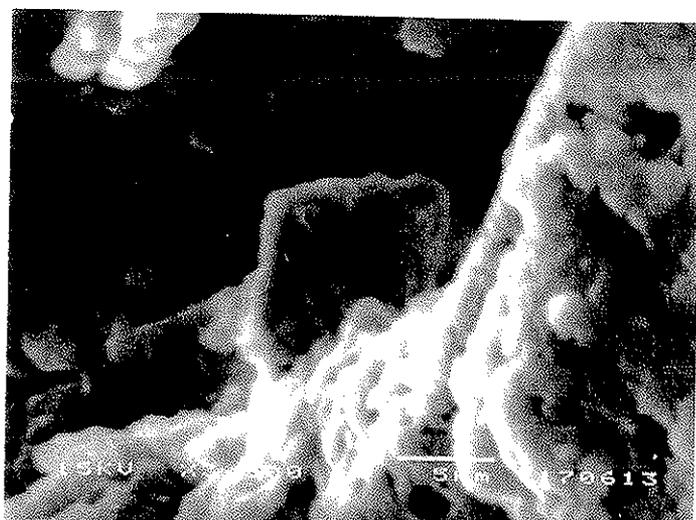


Imagem 10: Morfologia de grão da amostra SO5-06 em MEV: grão de ilmenita (grão de formato losangular, no centro da foto). Aumento 3500X.

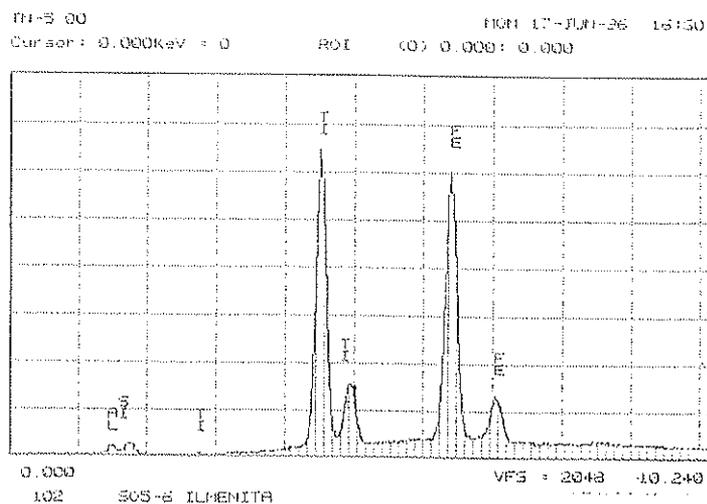


Figura 22: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 10, com análise qualitativa apresentada em espectro.

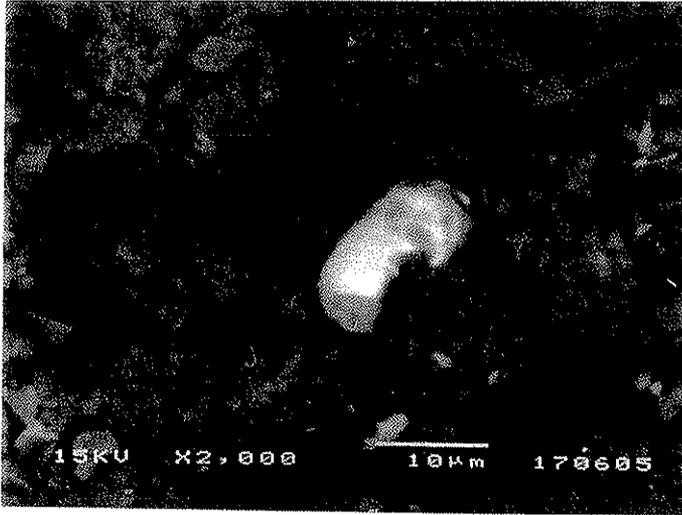


Imagem 11: Grão de composição metálica da amostra SO5-05 em MEV, com o emprego de elétrons retrodifusos: grão de zircão (grão de coloração mais clara). Aumento 2000X.

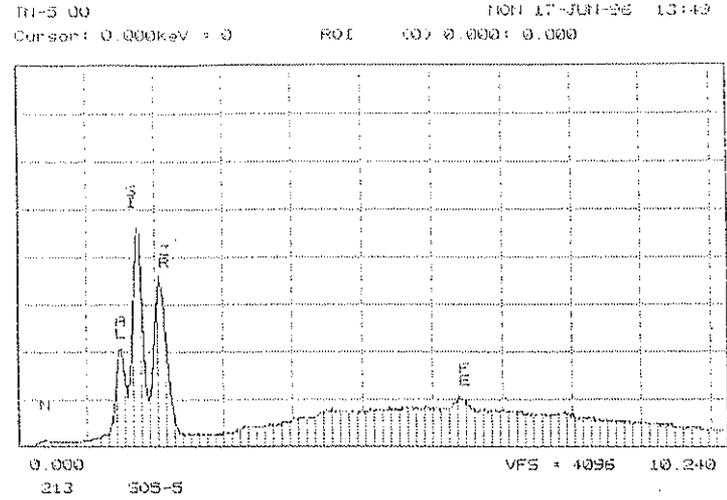


Figura 23: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 11, com análise qualitativa apresentada em espectro.

b)matriz

A matriz é composta de Al, Si, K, Ti e Fe. Alguns destes elementos são encontrados como nódulos ao longo desta. Em algumas amostras, observa-se a presença do Mn associado à matriz desta composição (Imagem 12, Figura 24).

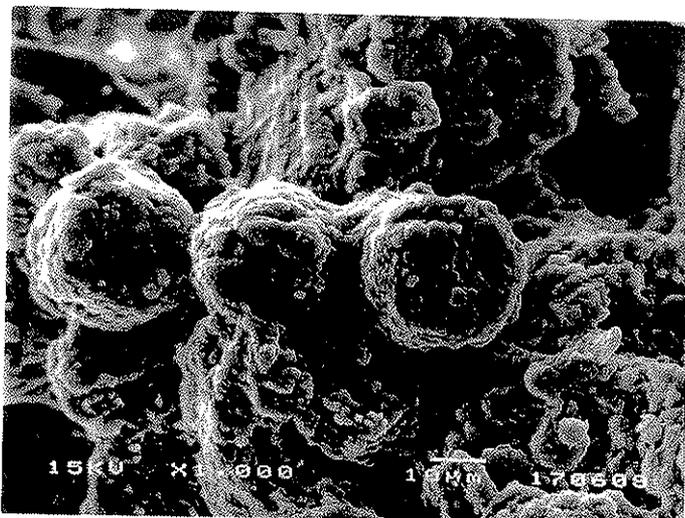


Imagem 12: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-05 em MEV: aspecto da matriz. (Aumento 1000X).

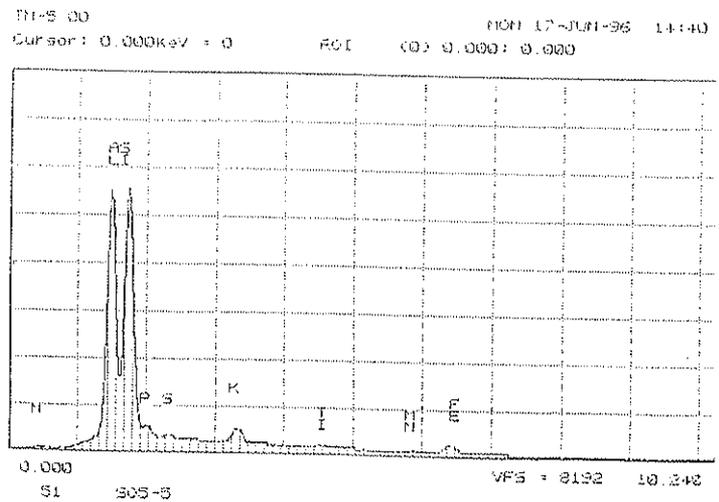


Figura 24: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 12, com análise qualitativa apresentada em espectro.

c) minerais neoformados

Ao longo desta unidade, foi possível a identificação de alguns minerais neoformados. A sílica proveniente da dissolução dos grãos de quartzo reprecipitou, originando um material secundário, na forma de placas de sílica, ou de bastonetes (Imagem 13, Figura 25).

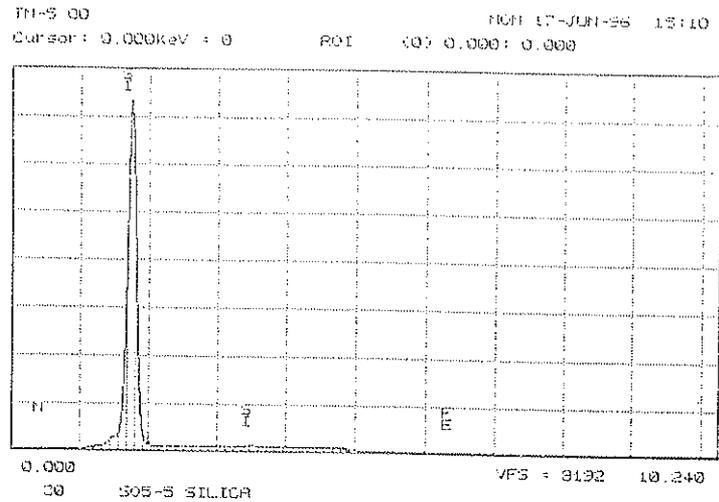
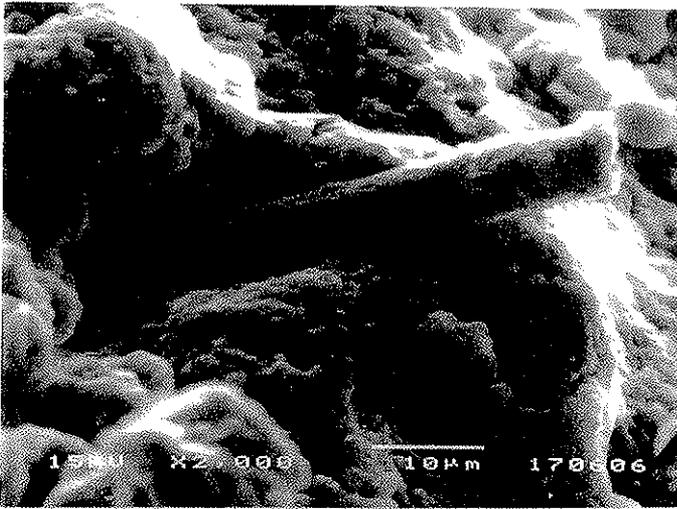


Imagem 13: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-05 em MEV: sílica neoformada, na forma de bastonete (Aumento 2000X).

Figura 25: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 13, com análise qualitativa apresentada em espectro.

A grande presença de Elementos Terras Raras, especialmente cério, possibilitou a neoformação de minerais (Imagem 14, Figura 26).

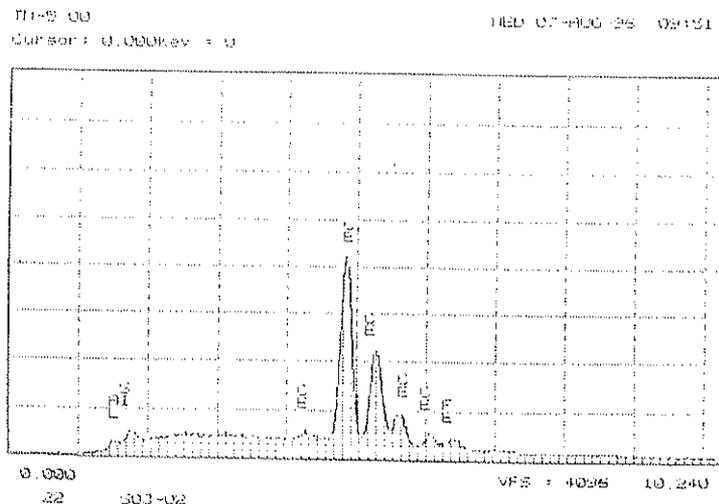
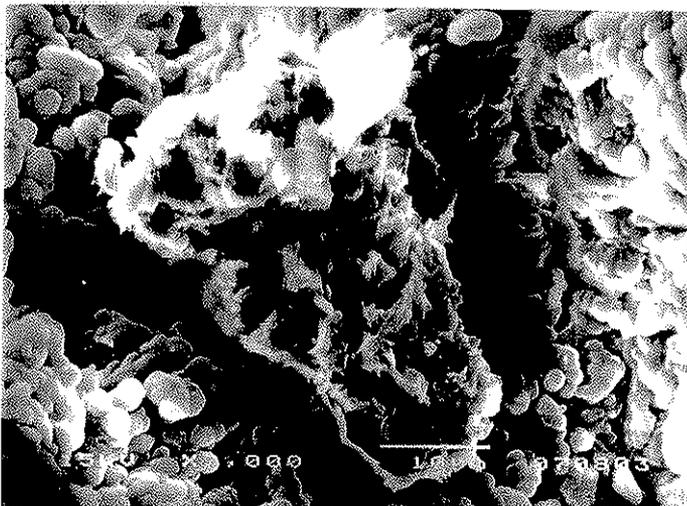


Imagem 14: Morfologia de grão de solo da amostra SO3-02 em MEV: neoformação de mineral de Cério (aumento 2000X).

Figura 26: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 14, com análise qualitativa apresentada em espectro.

d) metais pesados

Nesta unidade foi detectada uma maior presença de metais pesados, principalmente nas amostras do poço SO3 (SO3-02) e nas amostras localizadas no poço dentro da lagoa, no perfil SO5 (SO5-04, SO5-05, SO5-06 e SO5-07).

O Zinco representa o metal mais abundante nestas amostras, estando quase sempre associado à presença de Fe (Imagem 15 e Figura 27; Imagem 16 e Figura 28).

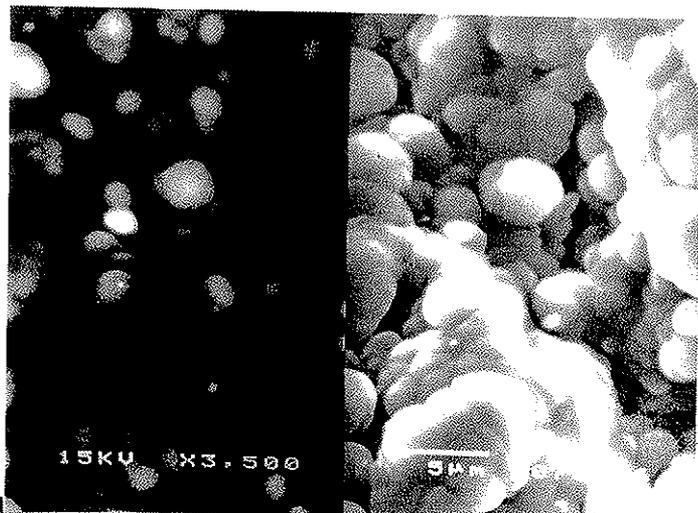


Imagem 15: Imagem em *Split* (emprego de elétrons retrodifusos/ luz natural) de fragmento de composto de Zn (grão claro no centro da foto). Aumento 3500X.

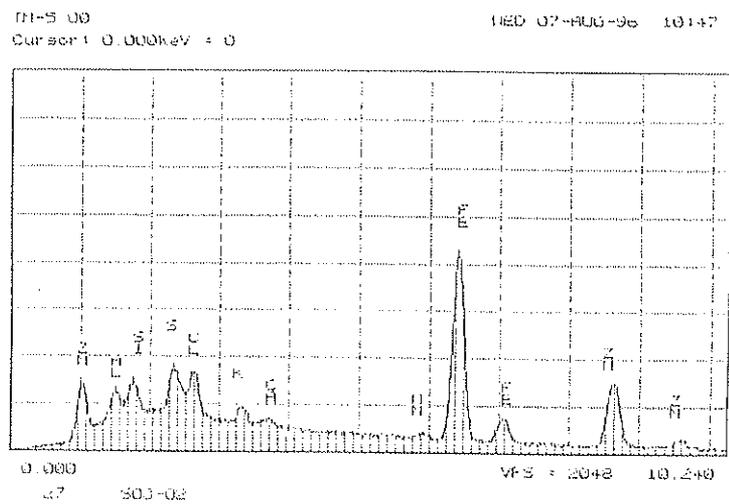


Figura 27: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 15, com análise qualitativa apresentada em espectro.

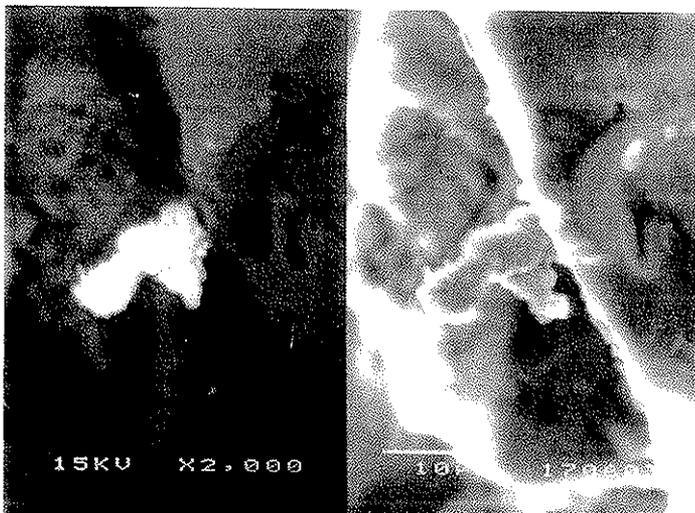


Imagem 16: Imagem em *Split* (emprego de elétrons retrodifusos/ luz natural) de fragmento de composto de Zn preso a grão de argila (aumento 2000X).

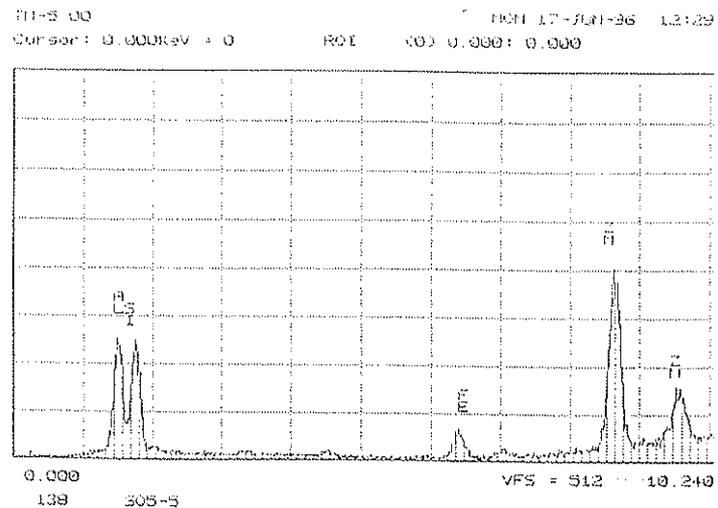


Figura 28: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 16, com análise qualitativa apresentada em espectro.

O cobre aparece associado ao ferro (hidróxidos vários), e aos sais neoformados, como cloretos, por exemplo (Imagem 17, Figura 29).

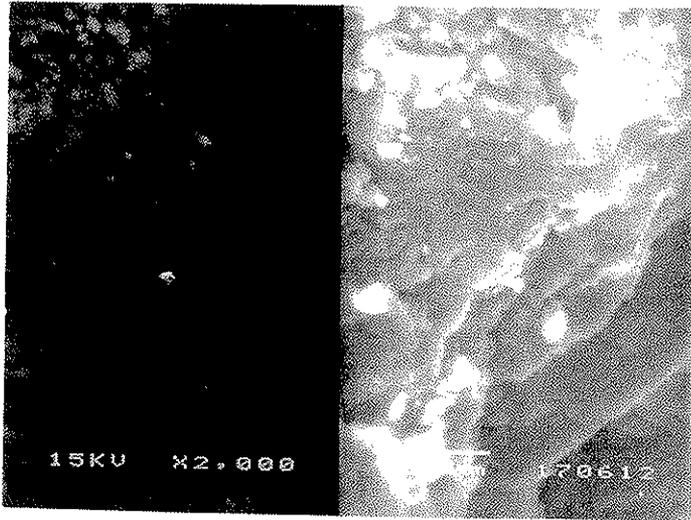


Imagem 17: Imagem em *Split* (emprego de elétrons retrodifusos/ luz natural) de fragmento de composto de Cu associado à presença de cloretos (ponto claro no centro da foto esquerda - elétrons retrodifusos). Aumento 2000X.

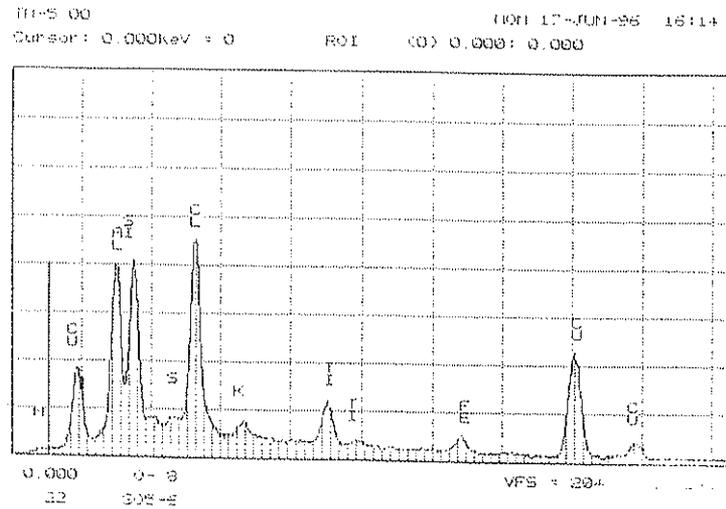


Figura 29: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 17, com análise qualitativa apresentada em espectro.

O chumbo encontra-se disseminado na forma de compostos granulares de formato ovalado ao longo das amostras desta unidade, sendo facilmente identificado no MEV através da utilização de elétrons retrodifusos, devido ao seu brilho extremamente forte (Imagem 18, Figura 30).

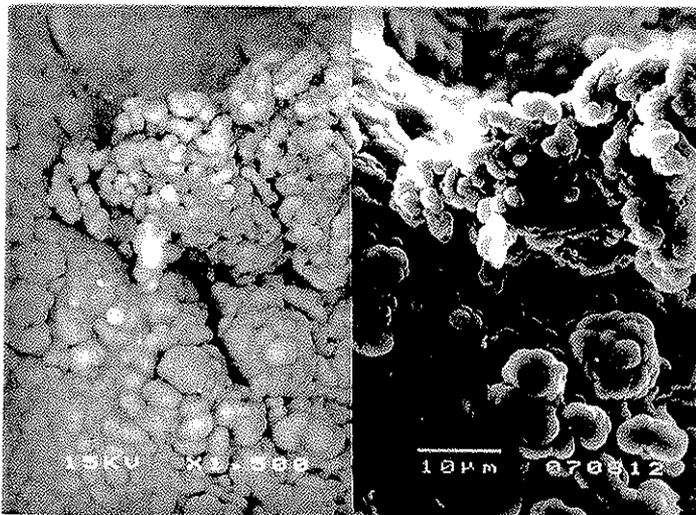


Imagem 18: Imagem em *Split* (emprego de elétrons retrodifusos/ luz natural) de fragmento de composto de Pb de formato ovalado, que aparece em coloração mais clara no centro da foto (aumento 1500X).

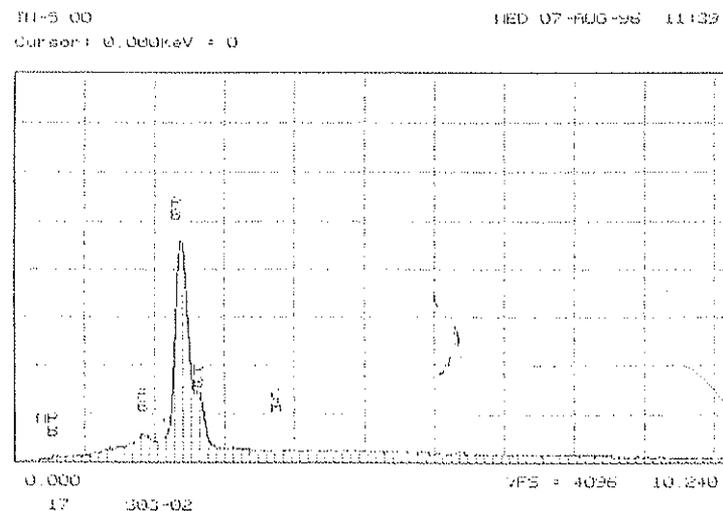


Figura 30: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 18, com análise qualitativa apresentada em espectro.

Como observado na Unidade 1, o manganês se encontra associado ao material reprecipitado, geralmente com a presença de Fe e Ti (Imagem 19, Figura 31). Os Elementos Terras Raras (ETR), embora não abordados neste estudo, também são comumente detectados ao longo desta unidade (nas amostras SO3-02, SO5-05 e SO5-07), estando representados principalmente pelo Cério e Lantânio (Imagem 20, Figura 32). Em muitos casos, os ETR são encontrados em associação com a Prata (Imagem 21, Figura 33).

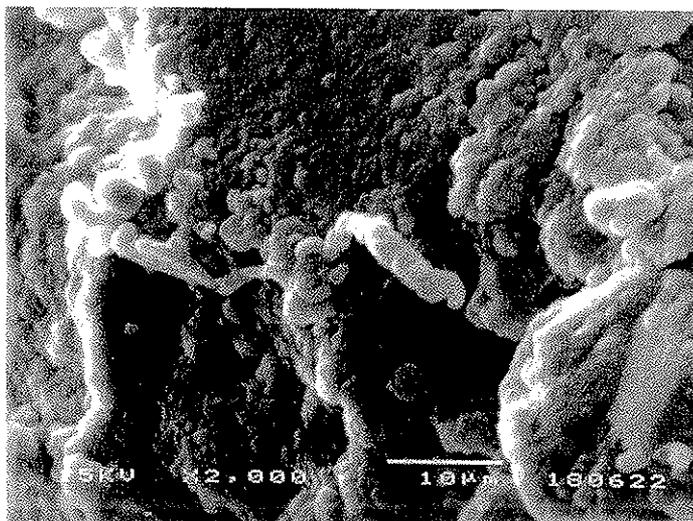


Imagem 19: Morfologia de grão de solo em MEV: aspecto da matriz da amostra SO5-02 (Aumento 2000X).

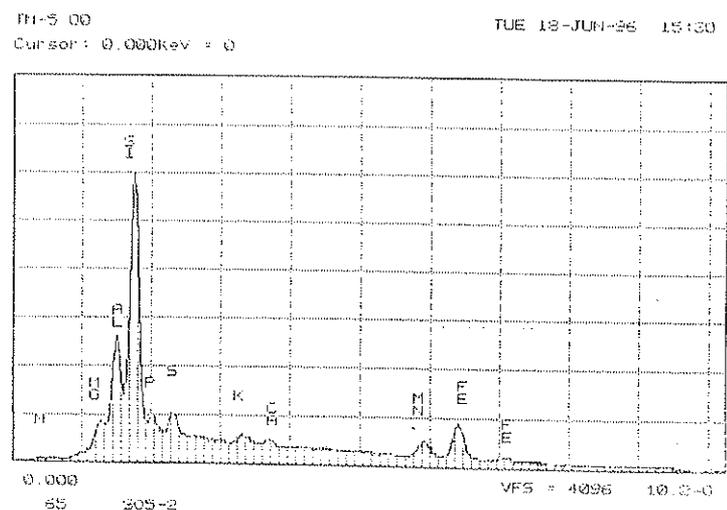


Figura 31: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 19, com análise qualitativa apresentada em espectro.



Imagem 20: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-07 em MEV: presença de ETR (Ce e La). Esfera no centro da imagem (Aumento 3500X).

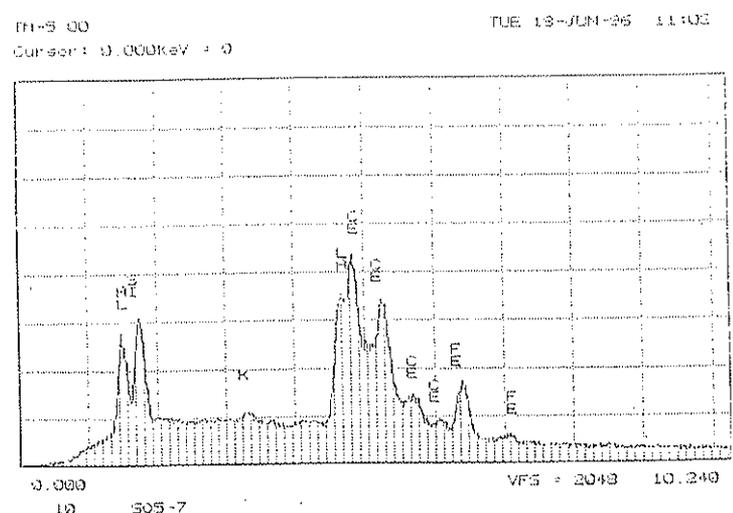


Figura 32: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 20, com análise qualitativa apresentada em espectro

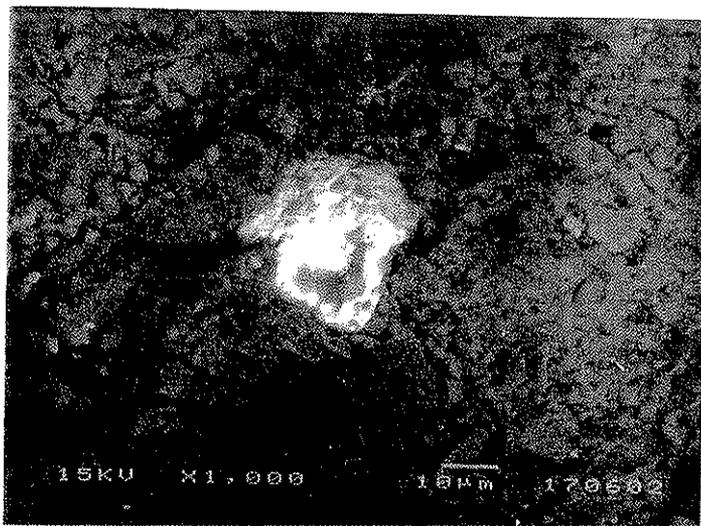


Imagem 21: Fragmento de comportamento metálico da amostra SO5-07 em MEV com o emprego de elétrons retrodifusos: presença de ETR (Nd, Ce e La) associados à Prata. Aumento 1000X.

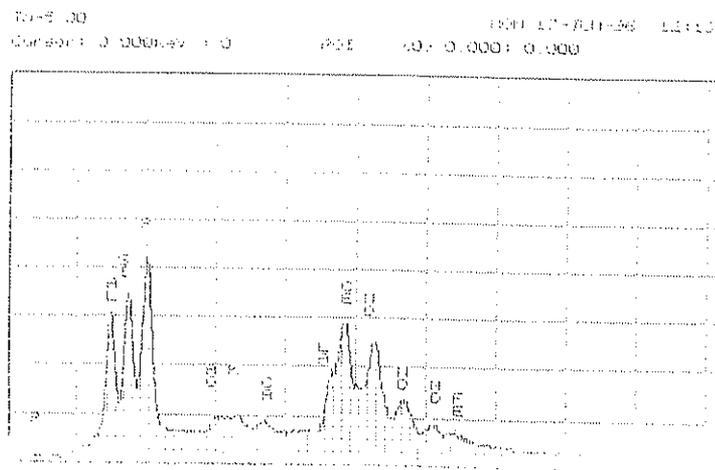


Figura 33: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 21, com análise qualitativa apresentada em espectro.

6.2.4.2. Lâminas

A análise em MEV de seções delgadas pertencentes a esta Unidade identificaram uma grande presença de sais (especialmente cloretos de K e Na), precipitados ao longo das microfissuras presentes na matriz.

Foram identificados, ao longo da amostra, vários fragmentos de Fe e Ti disseminados, localizados principalmente ao longo da matriz. Também na matriz, foram identificados vários fragmentos de compostos associados a MP, como fosfatos de Ag e ETR; Cu associado a ETR; Ni associado a ETR; compostos de W, Sr e Co; e compostos de ETR (Imagem 22, Figura 34).

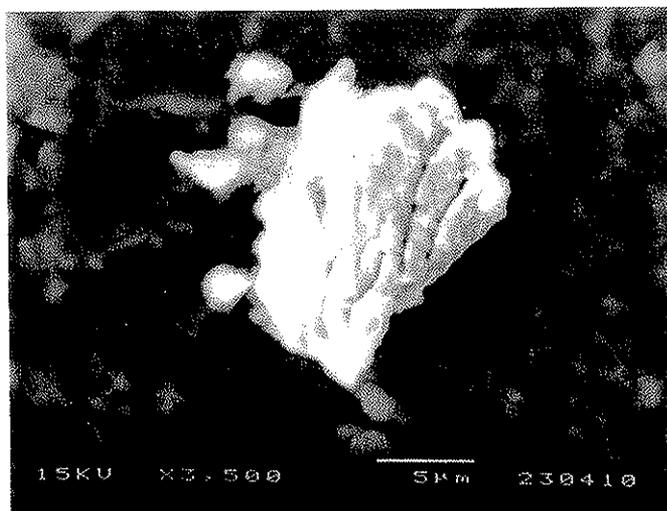


Imagem 22: Composto de ETR (Nd, Ce e La) associado a Mg e Si, na matriz da amostra SO5-05 (Aumento 3500 X)

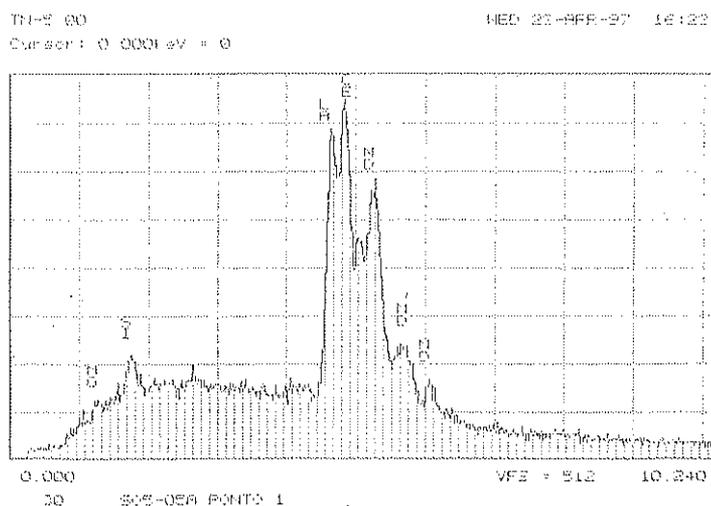


Figura 34: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 22, com análise qualitativa apresentada em espectro.

6.3. Unidade 3: Silte de coloração cinza-clara (sedimentos da Bacia de São Paulo)

6.3.1. Caracterização Macroscópica

Esta unidade está localizada abaixo da camada de argila cinza-escura (Unidade 2), e acima do embasamento (alterita). Provavelmente, relaciona-se aos sedimentos da Bacia de São Paulo, que afloram a jusante do Córrego das Jaboticabeiras (Fotografia 3), e que são utilizados em olarias para confecção da mistura para tijolos.

Caracteriza-se por um material de coloração cinza-clara, com textura siltosa, onde observa-se a presença de grãos de quartzo milimétricos que aumentam em quantidade em direção à sua base. O contato com o nível inferior (embasamento / alterita) é gradual.

Na Figura 35 é apresentada a distribuição das porcentagens de areia, argila e silte dos seus diversos níveis, de acordo com as análises granulométricas obtidas ao longo do perfil.

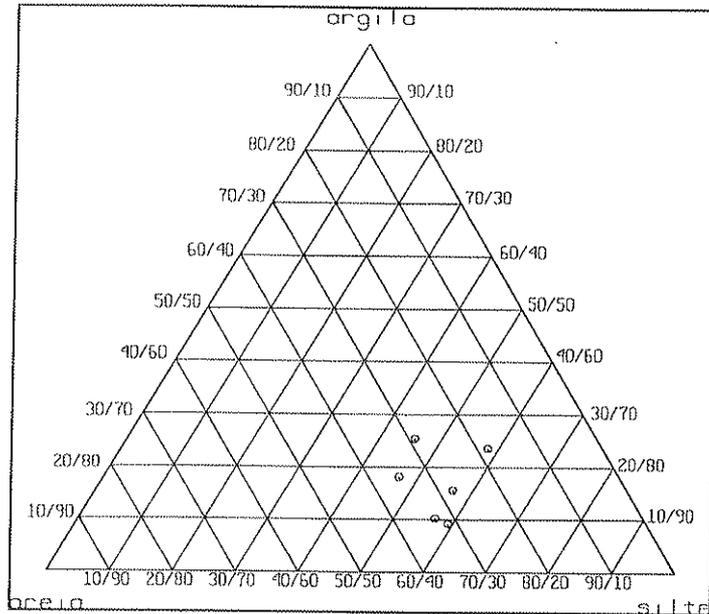


Figura 35: Distribuição da porcentagens de areia, argila e silte de amostras da Unidade 3 em diagrama triangular de classificação textural de solos, de acordo com CATI/SAA (1994).

De acordo com os resultados obtidos no Diagrama de Classificação Textural de Solos (CATI/SAA, 1994), podemos classificar a Unidade 3 como de textura franco a franco-siltosa. Com relação aos níveis superiores (Unidades 2 e 1), observa-se um maior aumento da porcentagem de silte, o que faz com que o material tenda para o campo dos francos / franco-siltosos.

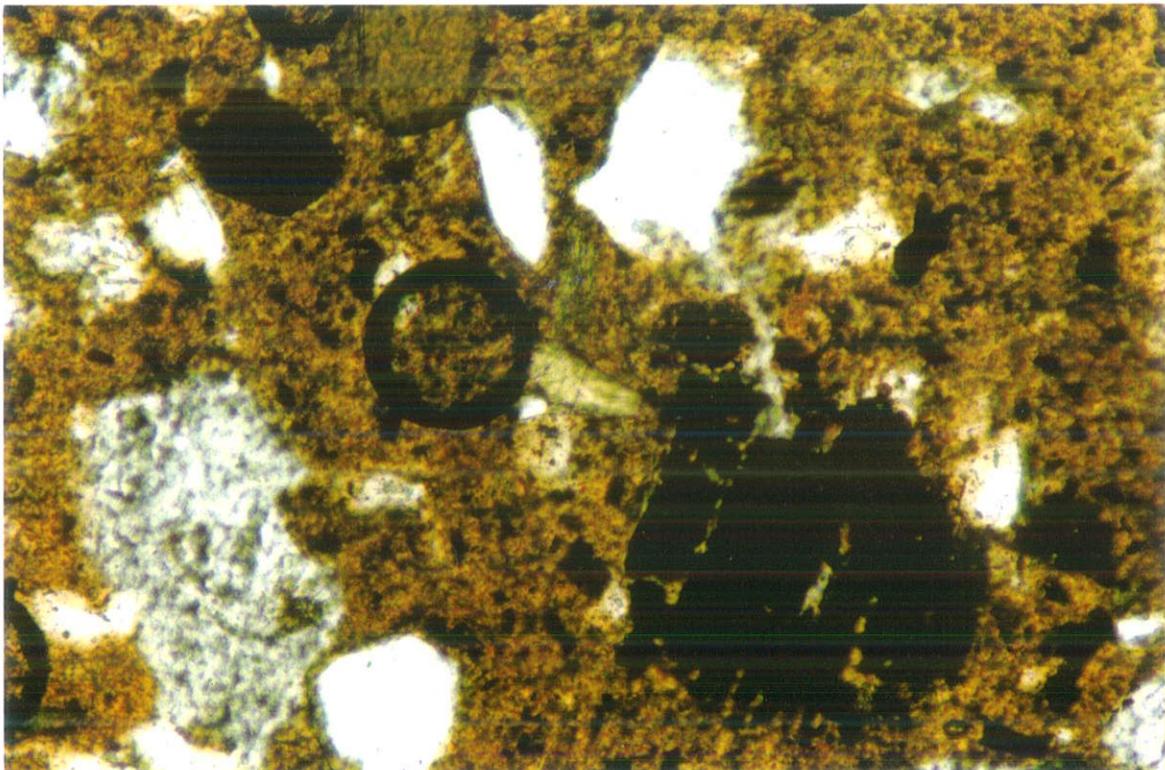
Os valores do conteúdo de matéria orgânica para este nível chegaram no máximo a 2%.

6.3.2. Caracterização Microscópica

Na lâmina S05-02, pertencente a esta unidade, pode-se observar a presença do material primário (clástico), representado por quartzos, turmalinas e alguns poucos minerais opacos (<1%). Os grãos de quartzo são em sua maioria angulosos, e de dimensões variadas. Alguns apresentam-se com inclusões de rutilo, e a grande maioria possui extinção ondulante. Alguns grãos de quartzo encontram-se recobertos por um material muito fino, argiloso.

Com relação aos minerais secundários, há uma grande quantidade de minerais de coloração cinza prateada em luz natural, e com uma birrefringência alta em luz polarizada, muito comum ao longo das amostras de todas as unidades deste perfil (caulinitas), provindas da alteração da muscovita.

O plasma é de cor marrom clara, com porções mais escuras devido à maior concentração de óxidos de ferro e matéria orgânica. Em alguns pontos, observa-se a presença de esqueletos de micas pseudomorfisadas por óxidos e hidróxidos de Fe (Fotomicrografia 14).



Fotomicrografia 14 (luz natural): Esqueletos de micas pseudomorfisadas por óxidos e hidróxidos de Fe, comuns na matriz da amostra SO5-02, pertencente a esta unidade. Campo das fotos: 0,41mm X 0,28mm (objetiva 20; abertura 5:1).

6.3.3. Determinações em MEV

6.3.3.1. Fragmentos

Os fragmentos das amostras SO5-01 e SO5-02, pertencentes a esta unidade, não exibiram conteúdos claros de Zn, Cu e Pb. Foi apenas detectada a presença de manganês, geralmente associado à matriz ou ao material reprecipitado.

O quartzo continua sendo abundante, e apenas identificou-se a presença de cristais de barita (Imagem 23, Figura 36), que não haviam sido identificados nos níveis anteriores. Estes cristais, geralmente bem formados, ocorrem em microfissuras do material, e podem ser explicados, de acordo com RICCOMINI et al (1988) como de provável origem hidrotermal.

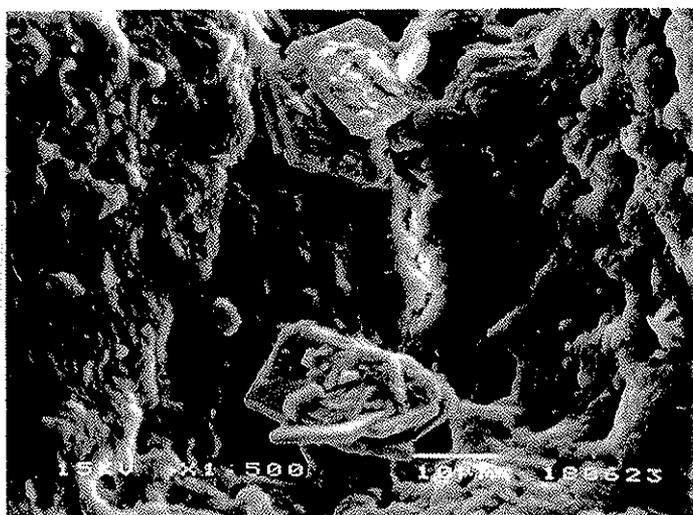


Imagem 23: Morfologia de grão de solo da amostra SO5-02 em MEV: cristais de barita em microcavidades (no centro superior e inferior da imagem). Aumento 1500X.

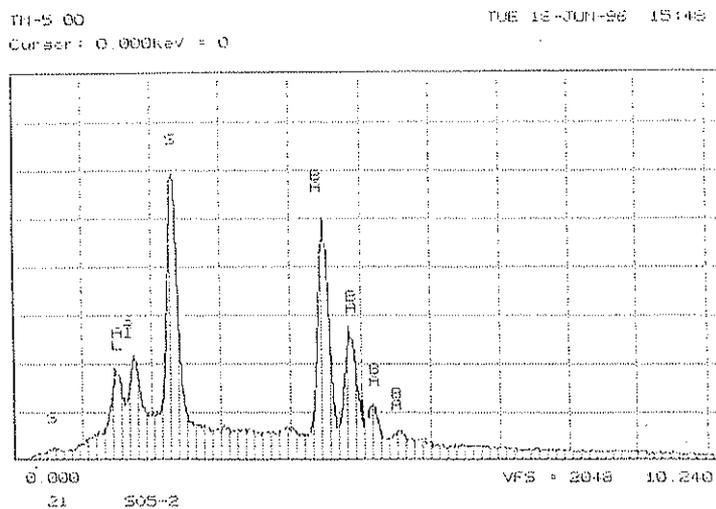


Figura 36: Diagrama Espectral Químico (EDS) da imagem 23, com análise qualitativa apresentada em espectro.

6.3.3.2. Lâminas

Análises em MEV de amostra do poço SO5 - único que atingiu esta Unidade - identificaram uma matriz de composição essencialmente caulínica (Si, Al, Ka, Ca e Fe), onde observa-se novamente a presença de Cl.

Na matriz, foram encontrados muitos grãos de zircão disseminados, além de fragmentos de compostos de fosfato, associados a ETR (Nd, Ce e La) e à Ag. Também foram identificados compostos de Cu com Cl e Zn; Cu e Cr associados ao Fe; além de Sn, que não haviam sido detectados nos fragmentos analisados anteriormente.

A barita, que foi identificada nos fragmentos analisados em MEV, como cristais bem formados, ocorre na lâmina SO-05 na forma de fragmentos disseminados na matriz, estando associada à presença de Si e Al, em menor quantidade.

7. COMPORTAMENTO DOS METAIS PESADOS NA SEÇÃO DE ESTUDO

De um modo geral, observa-se que há uma relação entre o padrão de comportamento dos MP e os litotipos presentes na seção de estudo - aqui representados pelas três Unidades descritas anteriormente: 1) colúvio; 2) argila cinza escura (B.S.Paulo) e 3) silte cinza-claro(B.S.Paulo). A seção pode ser dividida em três situações: a jusante, dentro e a montante da lagoa de infiltração.

O Anexo 5 apresenta a distribuição de Cu, Mn, Mo, Pb e Zn, e o Anexo 6, a distribuição de Cd na seção de estudo.

7.1. Comportamento dos metais pesados nos furos localizados a jusante da lagoa de infiltração: TL-01, TL-02 e TL-03.

As Tabelas 05, 06 e 07 apresentam os resultados analíticos para os metais Mo, Mn, Zn, Cd, Pb e Cu, bem como a caracterização granulométrica das unidades nos perfis TL-01 a TL-03. As Figuras 37 e 38 contemplam a distribuição comparada destes metais nos respectivos perfis de sondagem.

Profundidade (m) / Unidade	%mo	Caracterização Granulométrica (%)			Conteúdo em metais pesados(mg/kg)					
		argila	silte	areia	Cu	Pb	Zn	Mn	Mo	Cd
0.75-1.00 ⁽¹⁾	5	43.0	10.4	46.6	128.6	3.0	297.4	618.0	59.8	2.0
1.75-2.00 ⁽¹⁾	3	33.5	4.7	61.8	135.0	16.0	219.9	601.0	60.8	2.0
2.50-2.75 ⁽¹⁾	2	23.5	14.0	62.5	262.2	17.0	291.3	602.0	55.6	0.6
3.00-3.25 ⁽¹⁾	1	28.2	23.1	48.7	417.8	29.0	205.6	794.0	77.6	3.3
3.25-3.50 ⁽¹⁾	1	42.2	16.4	41.4	517.1	12.0	233.3	827.0	429.5	2.8
3.50-3.75 ⁽²⁾	5	34.6	19.2	45.5	809.7	18.0	249.3	1249.0	423.1	0.0
3.75-4.00 ⁽²⁾	7	32.1	24.8	43.1	841.4	21.0	230.5	1340.0	409.2	2.2
4.00-4.25 ⁽²⁾	4	33.6	23.5	42.9	792.8	11.0	231.4	1276.0	372.9	1.4

(1) Unidade 1 (colúvio); (2) Unidade 2 (argila cinza-escura B.S.Paulo) .

Tabela 05: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-01.

Profundidade (m) / Unidade	% mo	Caracterização Granulométrica (%)			Conteúdo em metais pesados(mg/kg)					
		argila	silte	areia	Cu	Pb	Zn	Mn	Mo	Cd
0.75-1.00 (1)	1	45.2	12.9	41.9	126.2	12.0	127.4	339.0	72.1	3.3
1.50-1.75(1)	2	41.5	4.9	53.6	65.2	30	117.9	540.0	73.0	2.8
2.00-2.25(1)	2	29.0	10.8	60.2	48.6	0.0	135.9	303.0	53.8	0.0
2.50-2.75(1)	2	40.2	11.9	47.9	151.8	2.6	208.8	421.0	68.7	2.2
3.00-3.25(2)	5	n.d.	n.d.	n.d.	391.7	10.0	187.2	597.0	403.3	1.4
3.50-3.75(2)	6	28.3	16.3	55.4	704.8	26.0	206.6	950.0	404.6	1.6
3.75-4.00(2)	5	29.1	22.4	48.5	672.0	25.0	207.0	907.0	396.6	1.6
4.00-4.25(2)	5	31.5	22.5	46.0	567.9	47.0	234.0	700.0	483.9	4.2

(1) Unidade 1 (colúvio); (2) Unidade 2 (argila cinza-escura B.S.Paulo); n.d.: não determinado.

Tabela 06: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-02.

Profundidade (m)	% mo	Caracterização Granulométrica (%)			Conteúdo em metais pesados(mg/kg)					
		argila	silte	areia	Cu	Pb	Zn	Mn	Mo	Cd
0.75-1.00(1)	n.d.	39.1	23.0	37.9	151.8	13.0	208.8	421.0	68.7	3.4
1.50-1.75(1)	2	37.2	10.5	52.3	115.3	30	191.1	186.0	68.6	2.8
2.00-2.25(1)	2	n.d.	n.d.	n.d.	129.3	25	287.9	168.0	72.1	2.6
2.25-2.50(1)	3	40.8	13.0	46.2	136.2	11	261.5	191.0	350.8	0.4
2.75-3.00(2)	4	43.7	12.7	43.6	303.7	32	157.2	554.0	398.0	1.2
3.00-3.25(2)	5	36.2	18.7	45.1	615.4	24	169.3	825.0	397.0	1.0
3.50-3.75(2)	5	33.5	19.0	47.5	802.3	9	203.5	1039.0	52.3	0.0
3.75-4.00(2)	4	34.0	20.0	46.0	496.0	18	163.2	628.0	361.1	0.6
4.75-5.00(3)	2	18.3	23.5	58.2	134.7	0	81.1	148.0	318.6	0.0

(1) Unidade 1 (colúvio); (2) Unidade 2 (argila cinza-escura B.S.Paulo); (3) Unidade 3 (silte cinza-claro B.S.Paulo); n.d.: não determinado.

Tabela 07: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-03.

Os furos localizados a jusante da lagoa de infiltração apresentam como característica principal o fato de não estarem alterados por escavações ou qualquer outro tipo de intervenção antrópica.

De um modo geral, observa-se uma tendência do aumento da concentração com a profundidade. Para o Cu e Mn, há um aumento de suas concentrações, à medida que a camada de argila cinza-escura (Unidade 2) é atingida, sendo que estas concentrações tendem a diminuir logo abaixo do lençol freático.

LEGENDA

-  Unidade 1 (colúvio)
-  Unidade 2 (argila cinza-escuro - B.S.Paulo)
-  Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
-  Unidade 4 (alterita / embasamento)
-  material remobilizado / aterro
-  nível de entulho
-  nível d'água

Metais Pesados

- Mn 
- Zn 
- Pb 
- Mo 
- Cu 

A

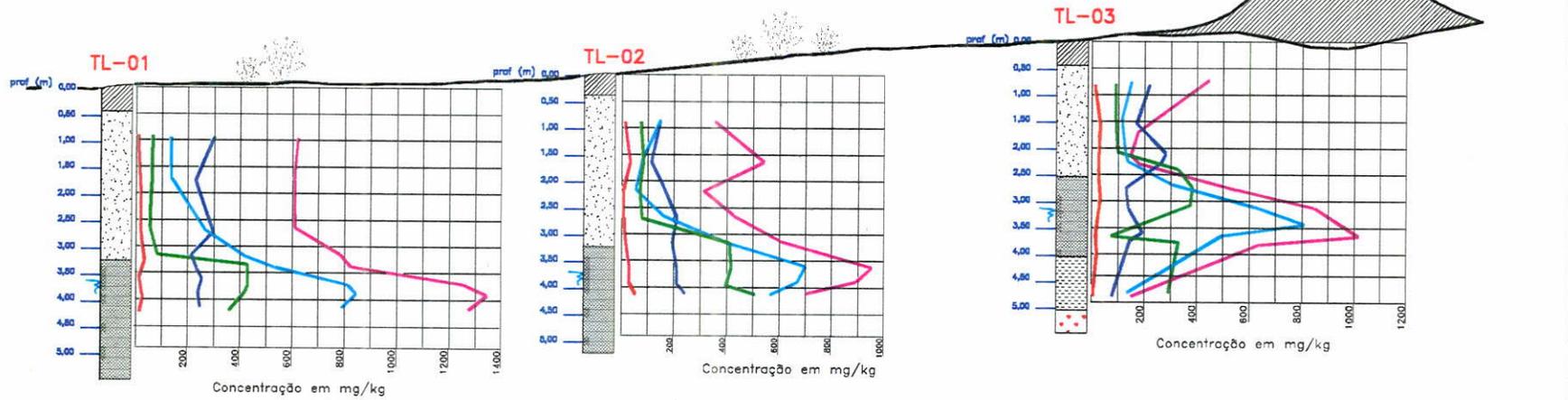


Figura 37: Comportamento do Mn, Zn, Pb, Mo e Cu nos perfis TL-01 a TL-03, situados à jusante da lagoa de infiltração

LEGENDA

-  Unidade 1 (colúvio)
-  Unidade 2 (argila cinza-escura - B.S.Paulo)
-  Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
-  Unidade 4 (alterita / embasamento)
-  material remobilizado / aterro
-  nível de entulho
-  nível d'água

Metais Pesados

Cd 

A

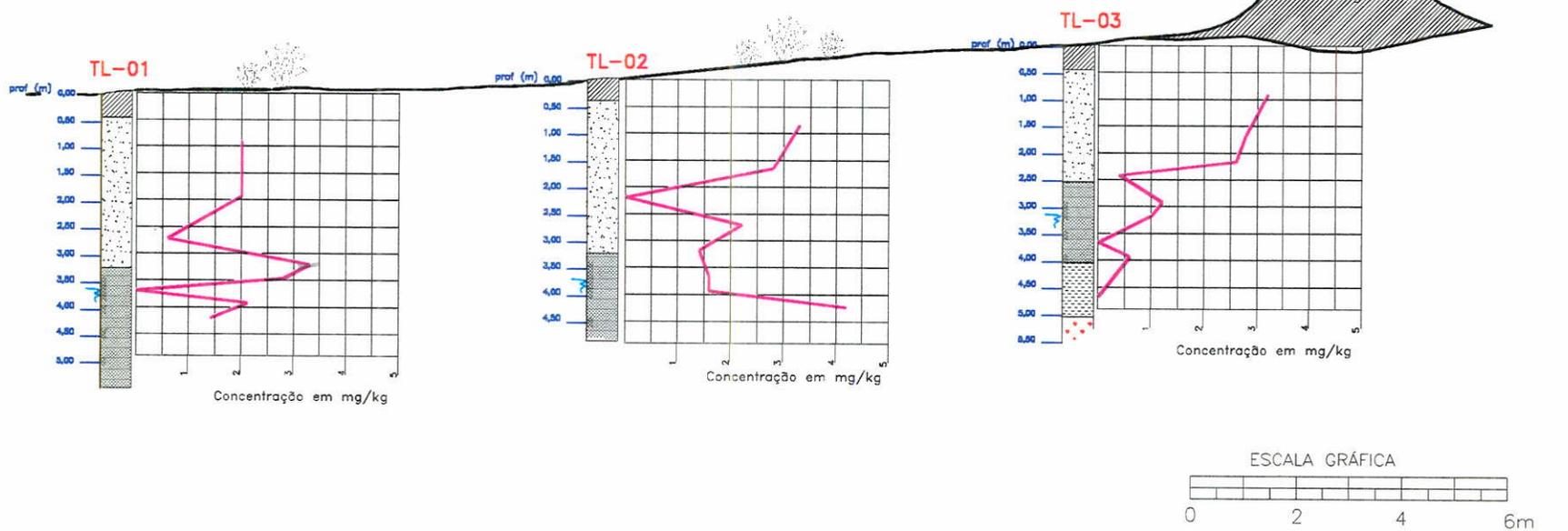


Figura 38 : Comportamento do Cd nos perfis TL-01 a TL-03, situados a jusante da lagoa de infiltração

O Mo apresenta o mesmo comportamento, porém, nos perfis TL-02 e TL-03 há uma tendência de diminuição de sua concentração logo abaixo do nível do lençol freático. No perfil TL-03, que é o único deste trecho que atingiu a unidade 3 (silte cinza-claro), estes três metais têm suas concentrações diminuídas nesta Unidade, como pode ser observado na Figura 37.

O Zn sofre um pequeno aumento da concentração na base da Unidade 1 (colúvio), onde atingiu valores de 287 a 291 mg/kg, sendo que esta concentração diminui ao se atingir a camada inferior.

O comportamento do Pb em relação aos diferentes litotipos nos perfis não apresenta um padrão uniforme, sendo obtidos valores de 0 a 47 mg/kg.

Os teores de Cd oscilam entre 0 e 4 mg/kg. Embora não tenha sido identificado um comportamento padrão com relação aos diferentes litotipos, observa-se um certo comportamento padrão do mesmo ao longo do perfil, em função da profundidade, principalmente nos primeiros 3,5 m. Para os furos TL-01 a TL-03, o Cd apresenta uma queda na sua concentração na profundidade de 2,0 a 2,5 metros; esta concentração aumenta até 3,5 metros, decaindo novamente, e aumentando logo em seguida (Figura 38).

7.2. Comportamento dos metais pesados nos furos localizados dentro da lagoa de infiltração: TL-04 e TL-05

A Tabelas 08 e 09 apresentam os resultados analíticos para os metais Mo, Mn, Zn, Cd, Pb e Cu, bem como a caracterização granulométrica das unidades nos perfis TL-04 e TL-05. As Figuras 39 e 40 exibem a distribuição comparada destes metais nos respectivos furos de sondagem.

Profundidade (m)	% mo	Caracterização Granulométrica (%)			Conteúdo em metais pesados (mg/kg)					
		argila	silte	areia	Cu	Pb	Zn	Mn	Mo	Cd
0,25-0,50	8	20,4	17,1	62,5	438	16	1075	27	512	0,0
0,50-0,60 ⁽¹⁾	4	n.d.	n.d.	n.d.	857	47	1136	333	544	2,0
0,75-1,00 ⁽¹⁾	n.d.	35,6	20,0	44,4	861	76	1120	347	496	0,2
1,00-1,25 ⁽¹⁾	4	31,8	22,0	46,2	945	129	721	423	369	0,6
1,25-1,50 ⁽¹⁾	4	28,4	20,2	51,4	501	75	247	488	315	0,0
1,50-1,75 ⁽²⁾	4	33,2	10,2	56,6	193	87	138	490	405	1,0
2,00-2,25 ⁽²⁾	n.d.	27,7	15,6	56,7	199	67	101	321	64	0,2

(1) Unidade 1 (colúvio); (2) Unidade 2 (argila cinza-escuro B.S.Paulo); n.d.: não determinado.

Tabela 08: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-04.

Profundidade (m)	% mo	Caracterização Granulométrica (%)			Conteúdo em metais pesados (mg/kg)					
		argila	silte	areia	Cu	Pb	Zn	Mn	Mo	Cd
0,25-0,50	n.d.	19,9	17,7	62,4	934	27	1104	570	387	0,0
0,50-0,75	2	25,8	16,3	57,9	377	34	280	352	65	0,6
0,75-1,00	2	25,7	17,7	56,6	231	29	134	352	371	0,6
1,00-1,25 ⁽¹⁾	1	39,3	10,8	49,9	214	20	143	491	394	0,8
1,25-1,50 ⁽¹⁾	1	41,5	13,2	45,3	119	24	73	622	417	1,2
1,50-1,75 ⁽²⁾	1	31,6	14,0	54,4	91	35	96	494	421	2,2
1,75-2,00 ⁽²⁾	2	37,6	14,2	48,2	73	39	95	560	71	2,4
2,00-2,25 ⁽²⁾	1	44,1	17,0	38,9	144	48	95	106	71	4,2
2,50-2,75 ⁽³⁾	n.d.	31,6	9,2	59,2	73	38	125	72	72	2,6

(1) Unidade 1 (colúvio); (2) Unidade 2 (argila cinza-escuro B.S.Paulo); (3) Unidade 3 (silte cinza-claro B.S.Paulo); n.d.: não determinado.

Tabela 09: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-05.

Os perfis TL-04 e TL-05, localizados dentro da lagoa de infiltração, não possuem a parte superior do perfil de solo, devido a cortes e remobilização de material para construção da lagoa e "manipulações" de fundo da mesma (inclusão de cal, remoção com trator, etc).

No perfil TL-04, nota-se um aumento da concentração de Mn, Mo, Cu e Zn, quando a camada de argila cinza-escuro (Unidade 2) é atingida, sendo que para o Cu e Zn, a concentração diminui ao se atingir a camada inferior (Unidade 3). Para o Mn e Mo, a concentração diminui quando o lençol freático é atingido.

O Pb tende a aumentar a sua concentração na camada de argila cinza-escuro (Unidade 2) no furo TL-04, sendo que esta concentração diminui assim que a unidade inferior é atingida. Para o perfil TL-05, ele não apresenta um comportamento definido, mas há uma tendência do aumento de sua concentração com a profundidade (Figura 39).

O Cd não apresenta padrões de comportamento comuns nos perfis TL-04 e TL-05. No perfil TL-04, a sua concentração oscila, com comportamento semelhante ao observado nos furos TL-01 a TL-03. No perfil TL-05, a concentração de Cd tende a aumentar com a profundidade, diminuindo apenas quando a camada de silte cinza-claro (Unidade 3) é atingida (Figura 40).

LEGENDA

-  Unidade 1 (colúvio)
-  Unidade 2 (argila cinza-escura - B.S.Paulo)
-  Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
-  Unidade 4 (alterita / embasamento)
-  material remobilizado / aterro
-  nível de entulho
-  nível d'água

Metais Pesados

- Mn 
- Zn 
- Pb 
- Mo 
- Cu 

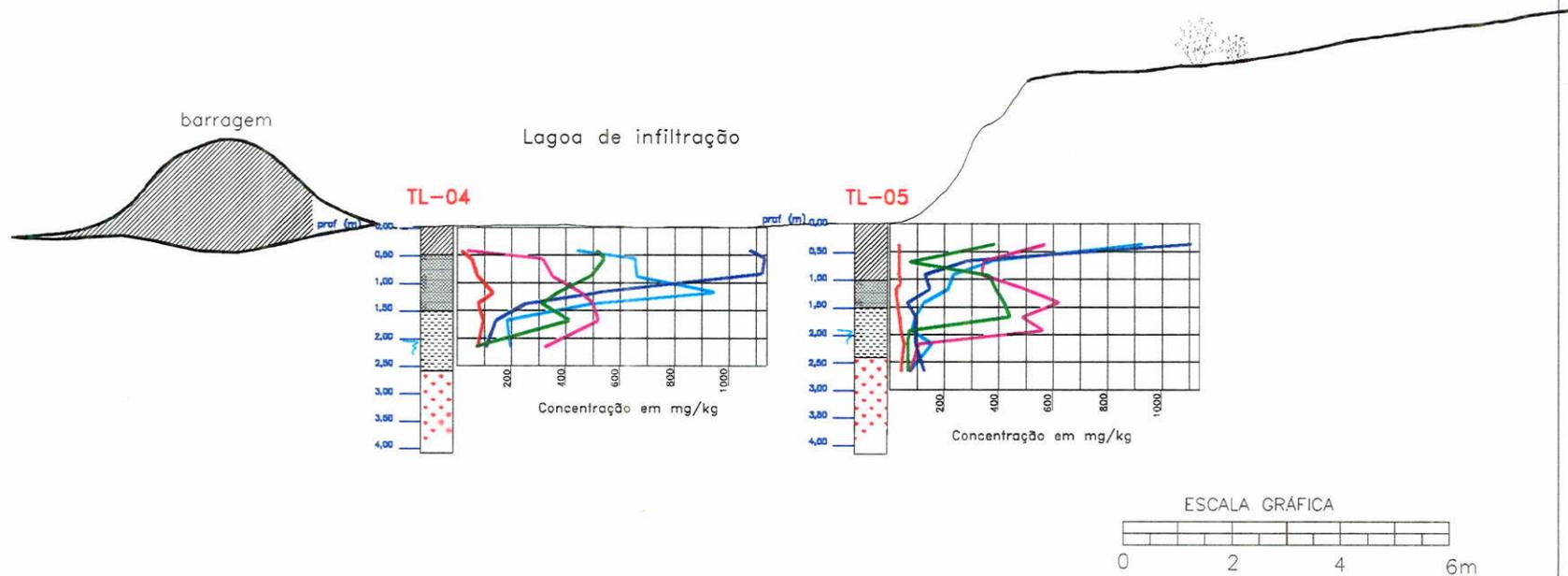


Figura 39 : Comportamento do Mn, Zn, Pb, Mo e Cu nos perfis TL-04 e TL-05, situados dentro da lagoa de infiltração

LEGENDA

-  Unidade 1 (colúvio)
-  Unidade 2 (argila cinza-escuro - B.S.Paulo)
-  Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
-  Unidade 4 (alterita / embasamento)
-  material remobilizado / aterro
-  nível de entulho
-  nível d'água

Metais Pesados

Cd 

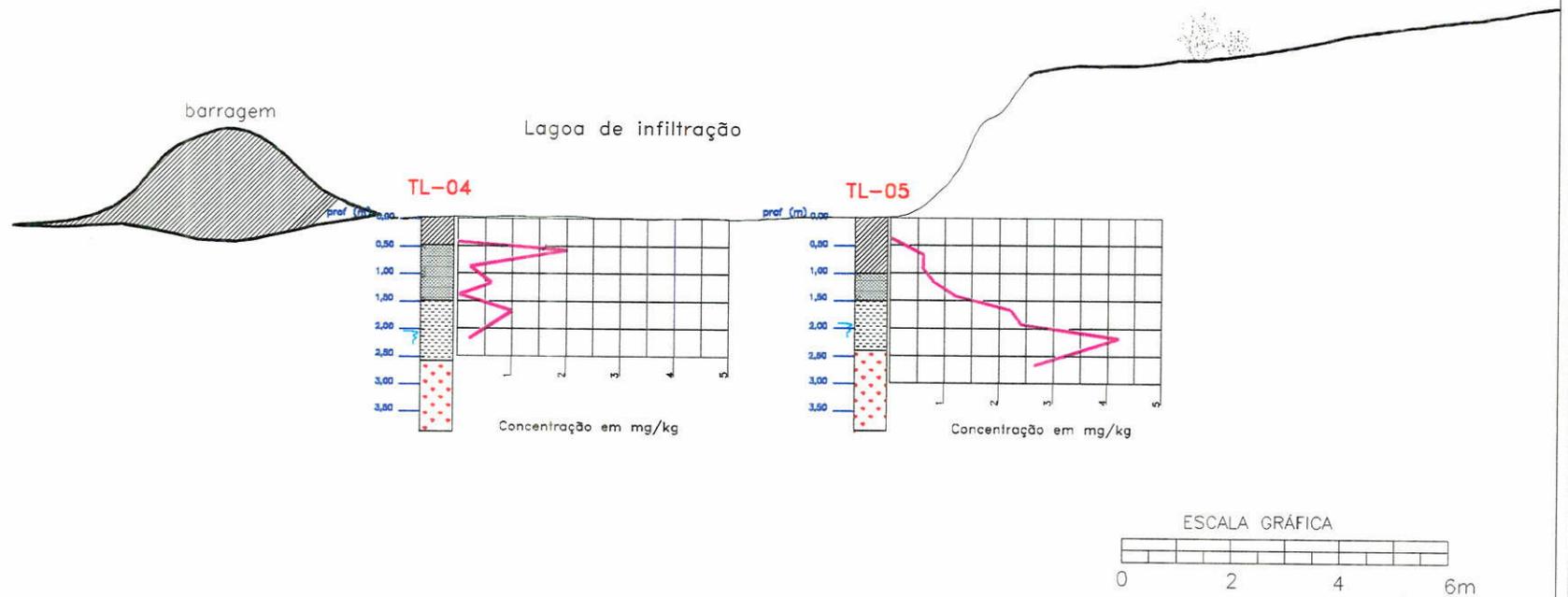


Figura 40: Comportamento do Cd nos perfis TL-04 e TL-05, situados dentro da lagoa de infiltração

7.3. Comportamento dos metais pesados nos furos localizados a montante da lagoa de infiltração: TL-06 e TL-07

Quando o perfil de estudo foi idealizado, pretendia-se comparar o comportamento dos metais pesados no solo com e sem a influência da lagoa de infiltração. Os furos TL-06 e TL-07 seriam utilizados para se determinar os valores de *background* dos metais pesados nas diferentes unidades de estudo.

Porém, ao serem efetuadas as tradagens, detectou-se a existência de um nível de entulho, de aproximadamente 30 cm de espessura, na profundidade 0,50 a 0,80m, que foi atingido por estes dois furos. Este nível caracteriza-se por um material escuro e úmido, de maior porosidade, onde se observa a presença de resíduos da indústria, como fios, plásticos, restos de embalagens, etc. (Fotografia 07). Neste nível também foi identificado o maior valor de matéria orgânica para as amostras analisadas: 10%.

Análises químicas de amostras pertencentes a este nível exibem um material com alta concentração de Cu (entre 3339 e 3375 mg/kg), Zn (entre 7174 e 8807 mg/kg), Mn (entre 6837 e 6545 mg/kg) e Pb (entre 191 e 521 mg/kg).



Fotografia 07: Aspecto do material presente em nível de entulho no furo TL-06.

As Tabelas 10 e 11 apresentam os resultados analíticos para os metais e as Figuras 41 e 42 a distribuição comparada para Mo, Mn, Zn, Cd, Pb e Cu nos perfis de sondagem TL-06 e TL-07.

Profundidade (m)	% mo	Caracterização Granulométrica (%)			Conteúdo em metais pesados (mg/kg)					
		argila	silte	areia	Cu	Pb	Zn	Mn	Mo	Cd
0,65-0,80	8	29,2	7,1	63,7	3375	521	8807	2891	280	1,0
0,75-1,00	10	7,7	34,8	57,5	1190	155	3260	6545	28	0,0
1,50-1,75 ⁽¹⁾	4	32,9	20,6	46,5	197	69	658	780	49	0,2
2,25-2,50 ⁽¹⁾	2	31,1	23,7	45,2	58	50	200	809	423	3,0
2,50-2,75 ⁽²⁾	2	18,6	24,6	56,8	48	33	70	1040	389	1,4
2,75-3,00 ⁽²⁾	3	18,0	34,0	48,0	88	21	54	1195	358	0,4
3,25-3,50 ⁽²⁾	4	34,3	22,2	43,5	74	28	76	1152	399	1,8
3,50-3,75 ⁽²⁾	5	32,2	17,2	50,6	75	24	107	1304	172	1,0
4,00-4,25 ⁽³⁾	2	36,7	13,2	50,1	62	46	121	956	77	3,8
4,50-4,75 ⁽³⁾	7	35,1	18,1	46,8	57	27	98	727	68	1,4

(1) Unidade 1 (colúvio); (2) Unidade 2 (argila cinza-escura B.S.Paulo); (3) Unidade 3 (silte cinza-claro B.S.Paulo).

Tabela 10: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-06.

Profundidade (m)	% mo	Caracterização Granulométrica (%)			Conteúdo em metais pesados (mg/kg)					
		argila	silte	areia	Cu	Pb	Zn	Mn	Mo	Cd
0,25-0,50	4	22,0	17,7	60,3	3339	191	7174	6237	52	0,6
1,00-1,25 ⁽¹⁾	6	43,8	12,6	43,6	59	22	94	234	70	2,8
2,25-2,50 ⁽¹⁾	4	35,4	9,8	54,8	71	16	77	219	65	1,2
2,75-3,00 ⁽²⁾	5	40,3	12,4	47,3	58	29	78	348	61	1,8
3,00-3,25 ⁽²⁾	4	36,6	19,0	44,4	85	37	57	354	408	1,4
3,25-3,50 ⁽²⁾	2	24,9	29,8	45,3	69	30	64	412	187	2,2
3,50-3,75 ⁽³⁾	2	29,0	25,4	45,6	94	19	62	585	298	1,8

(1) Unidade 1 (colúvio); (2) Unidade 2 (argila cinza-escura B.S.Paulo); (3) Unidade 3 (silte cinza-claro B.S.Paulo);

Tabela 11: Teor de matéria orgânica, caracterização granulométrica e conteúdo de metais pesados no furo TL-07.

O Cu, Pb e Zn, que se encontram em altos teores no nível de entulho, diminuem a sua concentração com o aumento da profundidade, sendo que para o Cu, a concentração nas Unidades 1 e 2 deste trecho da seção atinge valores muito abaixo dos encontrados para este metal nas mesmas Unidades nos furos TL-01 a TL-03.

O Mn, presente em altos teores no nível de entulho, diminui a sua concentração com a profundidade, porém, esta concentração volta a aumentar quando a camada de argila cinza-escura é atingida. Ao se atingir o lençol freático, a sua concentração diminui.

Como pode se notar na Figura 41, com exceção do Mn, todos os outros metais decrescem em conteúdo com a profundidade (próximo de 1,5 m), estabilizando as suas concentrações na base ou pouco abaixo do nível de entulho.

Deste ponto em diante, Mo e Mn adquirem comportamento similar da concentração com a profundidade, ao passo que os outros metais mantêm-se estáveis até a base do perfil. Ao se atingir o lençol freático, Mo e Mn apresentam acentuada diminuição de suas concentrações.

O Mo, que não apresentou concentrações elevadas no nível de entulho, tende a aumentar a sua concentração ao ser atingido o nível de argila cinza-escura, sendo que esta concentração tende a diminuir quando a Unidade 3 é atingida.

Nestes perfis, o Cd apresenta um padrão de comportamento semelhante aos identificados nos furos TL-01 a TL-03, porém, no perfil TL-06, a sua maior concentração detectada foi na profundidade de 4,25m, na altura do lençol freático.

LEGENDA

-  Unidade 1 (colúvio)
-  Unidade 2 (argila cinza-escura - B.S.Paulo)
-  Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
-  Unidade 4 (alterita / embasamento)
-  material remobilizado / aterro
-  nível de entulho
-  nível d'água

Metais Pesados

- Mn 
- Zn 
- Pb 
- Mo 
- Cu 

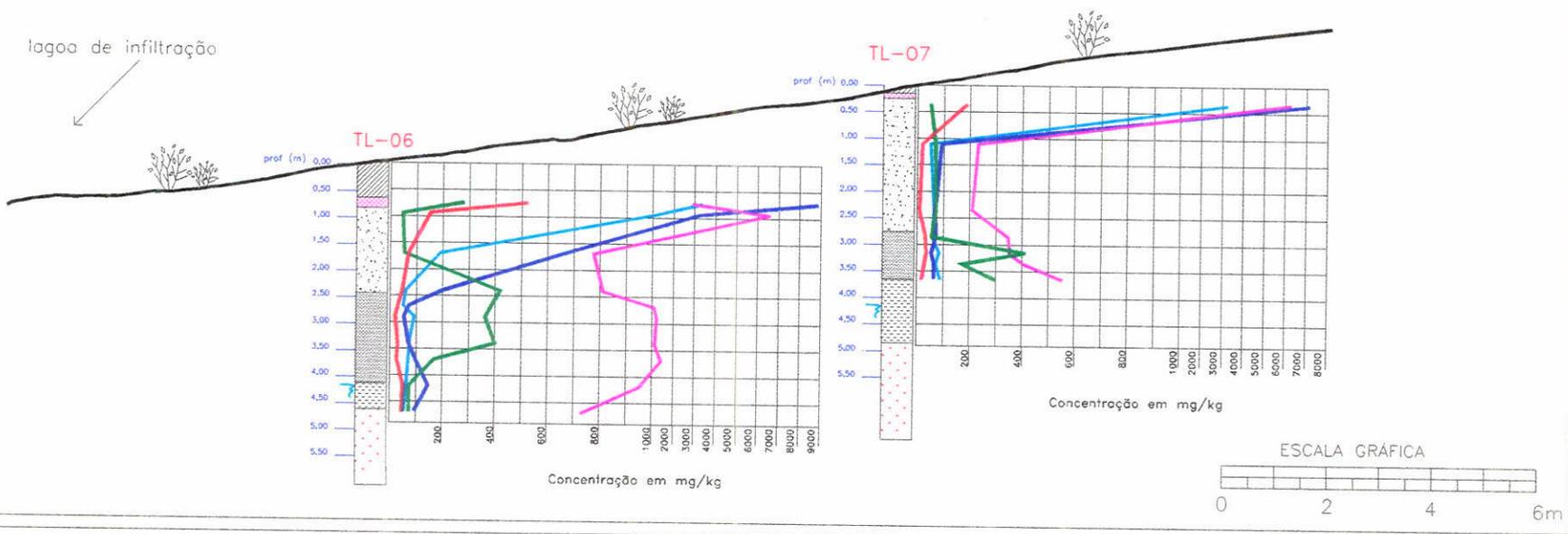


Figura 41: Comportamento do Mn, Zn, Pb, Mo e Cu nos perfis TL-06 e TL-07, situados a montante da lagoa de infiltração

LEGENDA

-  Unidade 1 (colúvio)
-  Unidade 2 (argila cinza-escura - B.S.Paulo)
-  Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
-  Unidade 4 (alterita / embasamento)
-  material remobilizado / aterro
-  nível de entulho
-  nível d'água

Metais Pesados

Cd 

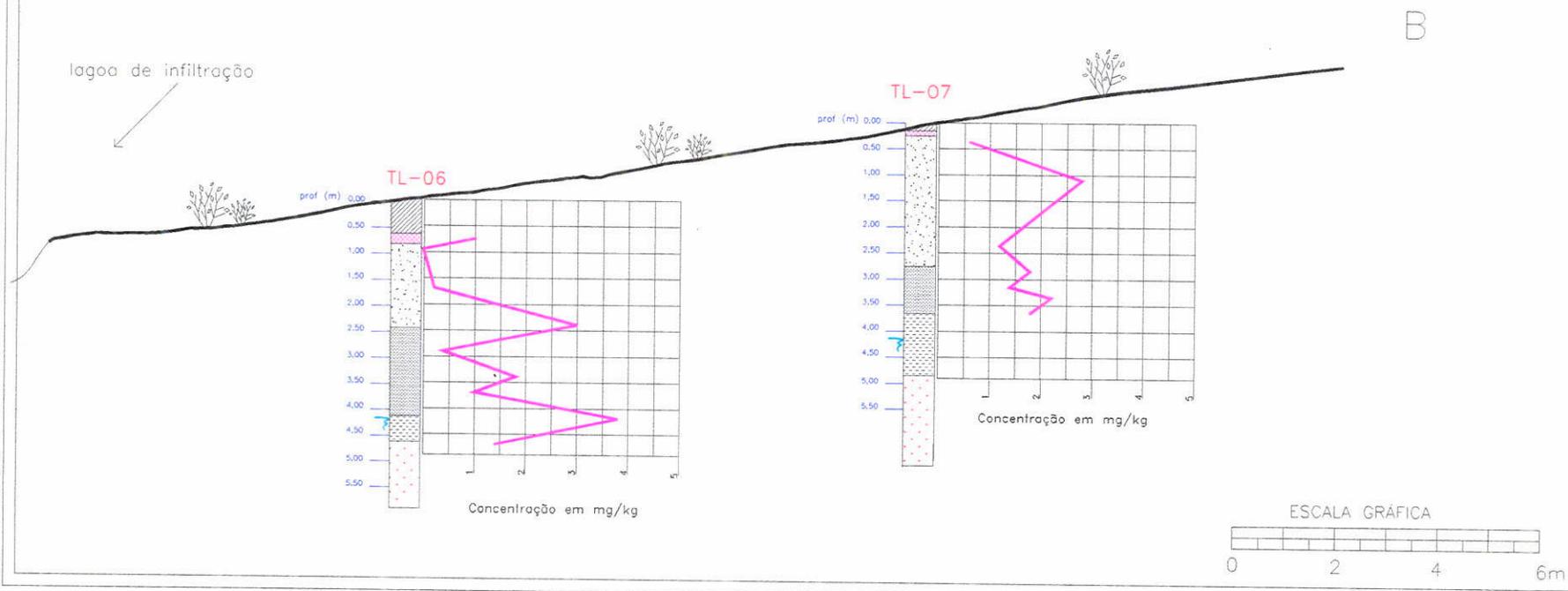


Figura 42: Comportamento do Cd nos perfis TL-06 e TL-07, situados a montante da lagoa de infiltração

8. ASSOCIAÇÕES DOS METAIS PESADOS COM A GRANULOMETRIA E TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA NA SEÇÃO DE ESTUDO

Os dados obtidos através de análises químicas e granulométricas de amostras das diferentes unidades presentes no perfil, possibilitaram a identificação de correlações existentes entre o comportamento dos metais pesados e as características granulométricas e de conteúdo de matéria orgânica no perfil.

Para a elaboração dos gráficos de correlação, utilizou-se o *software Excel 5.0 for Windows*. Os dados foram plotados 2 a 2 em um gráfico do tipo XY, de onde foi possível obter-se o valor da correlação linear entre estes dois dados (identificada nos gráficos como R^2), bem como a reta de correlação linear e sua equação. Para uma correlação de 100%, o valor de R^2 é igual a 1.

8.1. Associações do conteúdo de MP com a granulometria

Alguns furos exibem forte correlação entre a porcentagem de silte, argila ou areia, e o comportamento dos metais pesados no perfil. No caso do Mn, não foi possível observar nenhuma correlação expressiva entre o seu conteúdo no perfil e a granulometria dos sedimentos.

a) associações com o conteúdo de argila

Não foi observada uma boa correlação entre o conteúdo de argila e o teor de metais pesados ao longo de todo o perfil. As correlações mais altas observadas referem-se ao Pb e Zn, encontrando-se, no primeiro caso, os valores de 0,46 (TL-03) e 0,56 (TL-04) (Figuras 43 e 44), e para o segundo metal 0,53 (TL-03) (Figura 45).

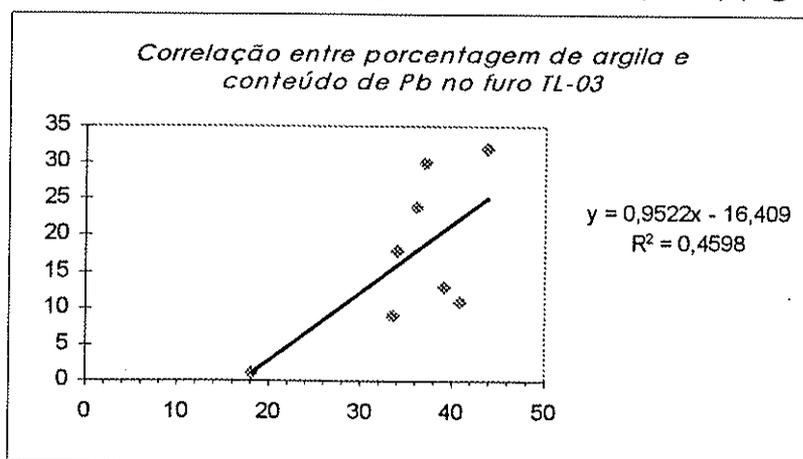


Figura 43 : Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de argila e conteúdo de chumbo nas amostras do furo TL-03.

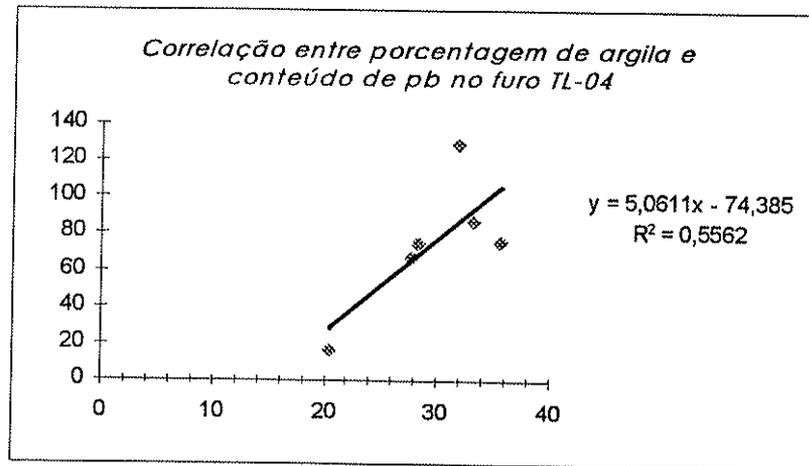


Figura 44 : Gráfico de correlação linear entre a percentagem de argila e conteúdo de chumbo nas amostras do furo TL-04.

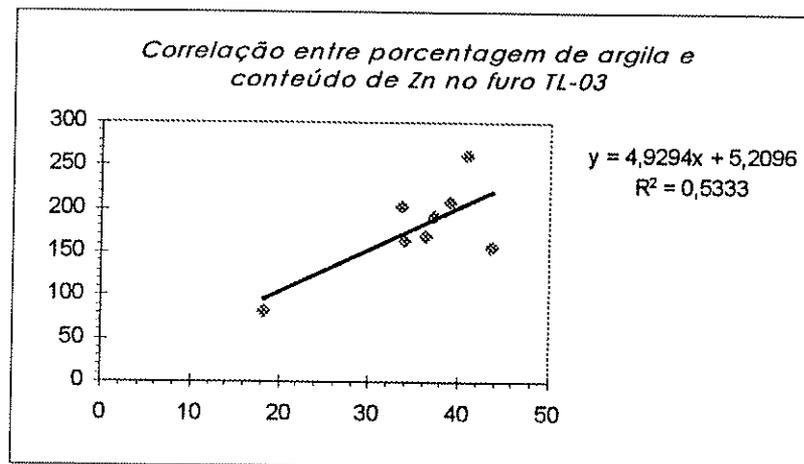


Figura 45 : Gráfico de correlação linear entre a percentagem de argila e conteúdo de zinco nas amostras do furo TL-03.

b) associações com o conteúdo de silte

Ao contrário da argila, o silte apresenta uma melhor correlação com o conteúdo de metais pesados ao longo de todo o perfil.

Para o Cu, foi observada uma boa correlação entre o seu conteúdo e a percentagem de silte nos diversos níveis, nos furos TL-01 ($R^2= 0,69$), TL-02 ($R^2= 0,71$) e TL-04 ($R^2=0,7$), situando-se os furos restantes com uma correlação abaixo de 0,40 (Figuras 46, 47 e 48).

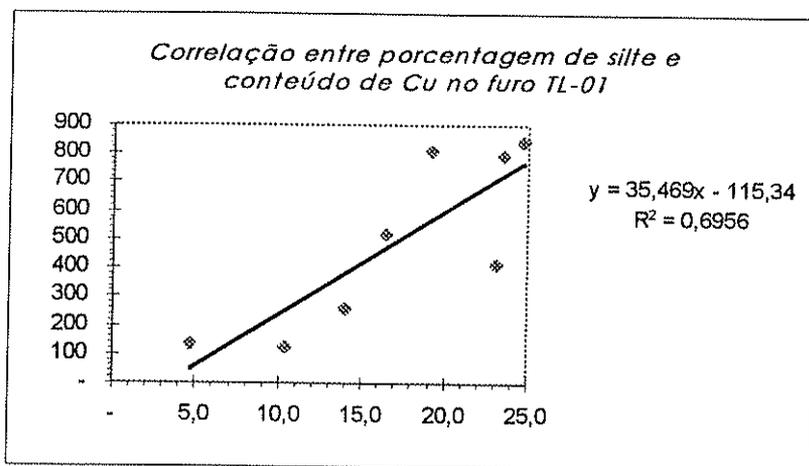


Figura 46 : Gráfico de correlação linear entre a percentagem de silte e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-01.

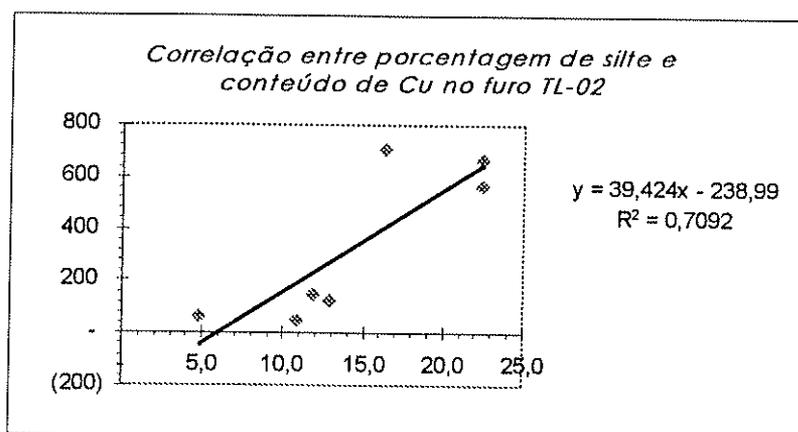


Figura 47 : Gráfico de correlação linear entre a percentagem de silte e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-02.

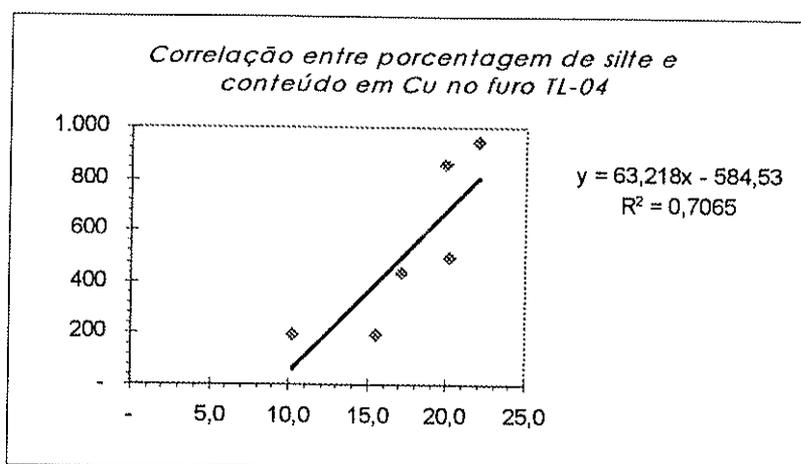


Figura 48 : Gráfico de correlação linear entre a percentagem de silte e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-04.

No caso do Zinco, o maior valor observado foi no furo TL-02 ($R^2=0,64$ - Figura 49). Neste furo, também encontra-se o maior valor observado para o Mo, de $R^2=0,75$ (Figura 50).

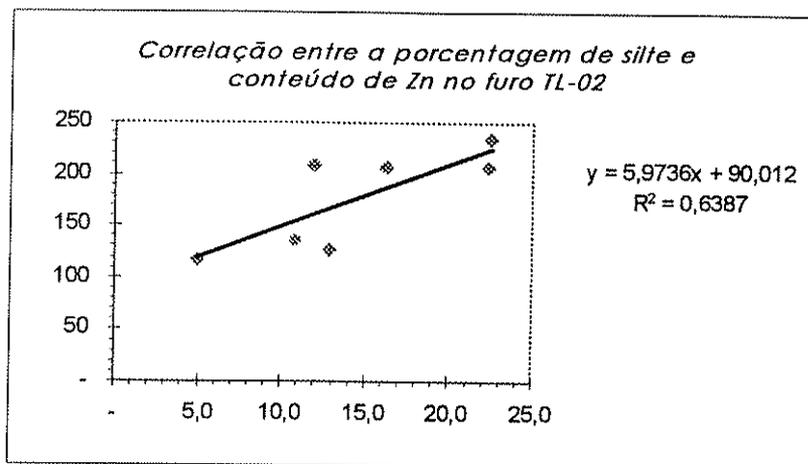


Figura 49: Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de silte e conteúdo de zinco nas amostras do furo TL-02.

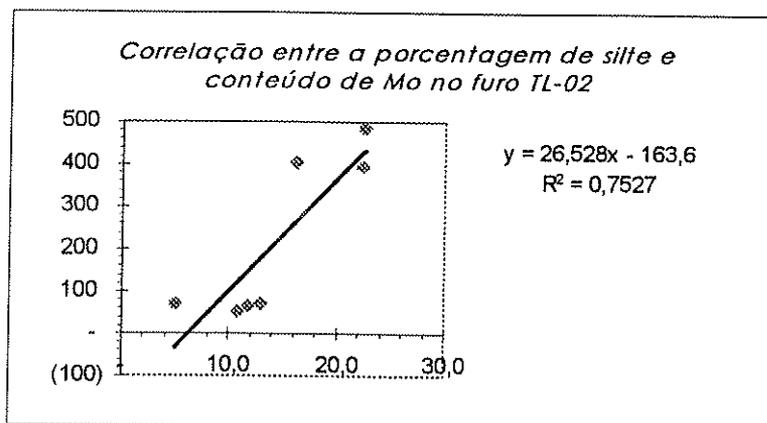


Figura 50 : Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de silte e conteúdo de molibdênio nas amostras do furo TL-02.

c) associações com o conteúdo de areia

Apenas o cobre apresentou uma correlação negativa com a areia, nos furos TL-01 ($R^2=0,46$) e TL-04 ($R^2=0,65$) (Figuras 51 e 52). Para os demais metais, não foi observada uma correlação existente entre o seu conteúdo no perfil e a porcentagem de areia no mesmo.

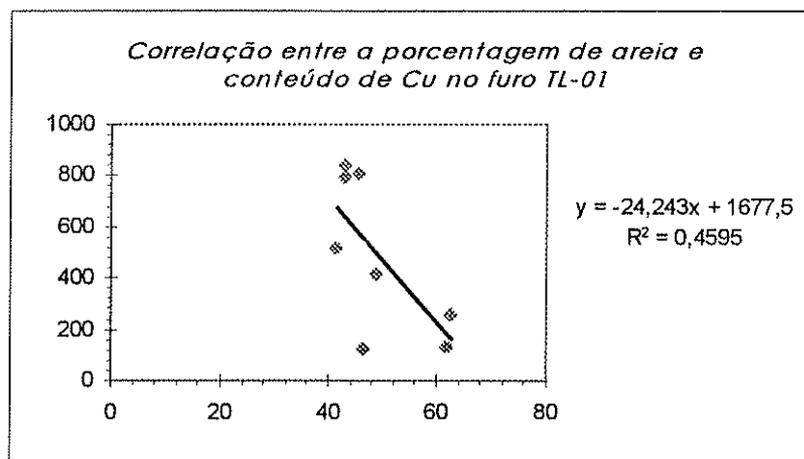


Figura 51 : Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de areia e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-01.

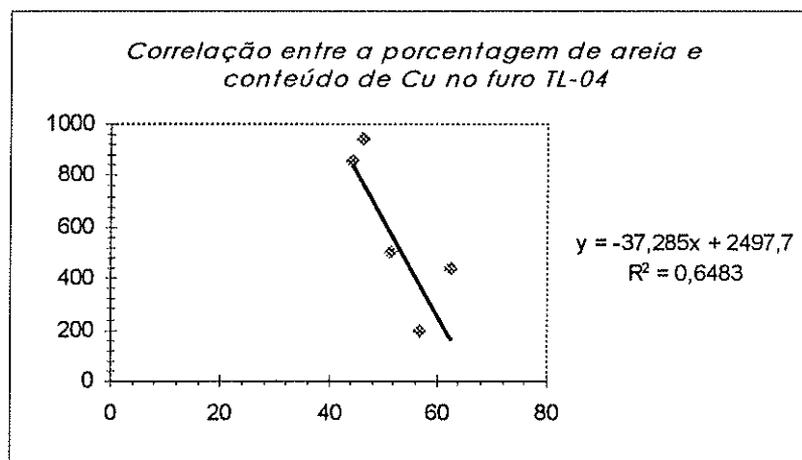


Figura 52 : Gráfico de correlação linear entre a porcentagem de areia e conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-04.

8.2. Associações do conteúdo de MP com o teor de matéria orgânica

No perfil de estudo, foi possível observar um bom coeficiente de correlação linear ($R^2 = 0,60$) entre o teor de zinco e o de matéria orgânica apenas nos furos TL-06 e TL-07, desconsiderando-se o nível de entulho. Nos furos TL-02, TL-04 e TL-05, esta correlação ficou ao redor de $R^2 = 0,50$, e para os demais furos, ao redor de 0,25.

O cobre apresenta boas correlações com o teor de matéria orgânica nos furos TL-02 ($R^2 = 0,8711$) e TL-03 ($R^2 = 0,848$) (Figuras 53 e 54), sendo observada também uma correlação no furo TL-06 ($R^2 = 0,63$), desconsiderando-se o nível de entulho, sendo que esta correlação é menor nos demais.

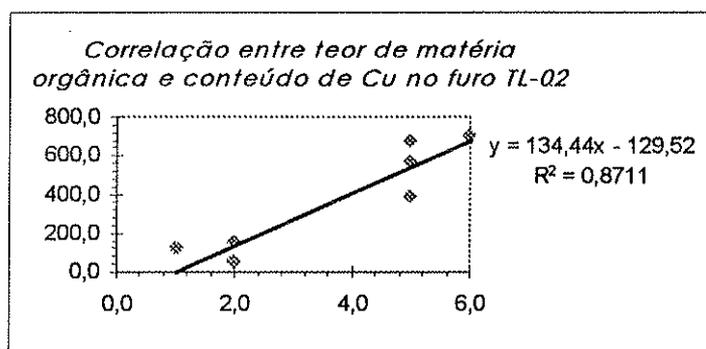


Figura 53 : Gráfico de correlação linear entre o teor de matéria orgânica e o conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-02

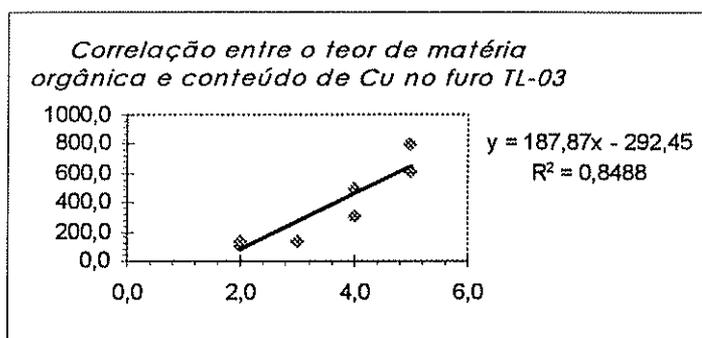


Figura 54 : Gráfico de correlação linear entre o teor de matéria orgânica e o conteúdo de cobre nas amostras do furo TL-03.

O manganês foi o metal que apresentou a melhor correlação com o teor de matéria orgânica no perfil. Nos furos TL-02 e TL-03, foram observadas correlações de 0,79 e 0,91, respectivamente (Figuras 55 e 56), sendo que no furo TL-01, esta correlação caiu para $R^2=0,35$.

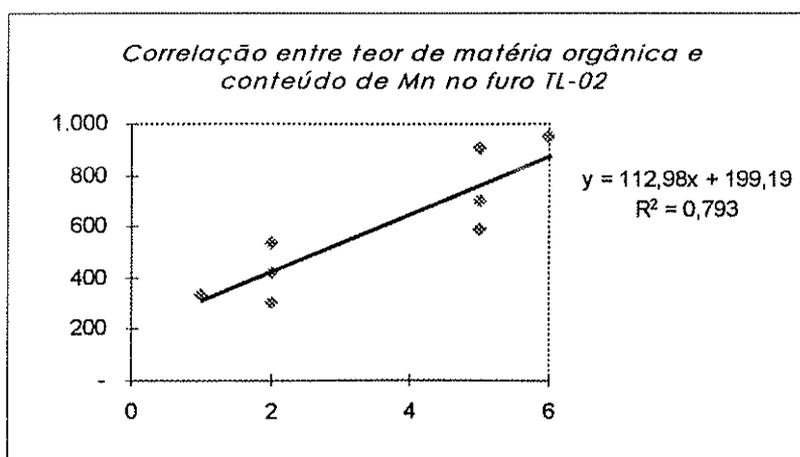


Figura 55 : Gráfico de correlação linear entre o teor de matéria orgânica e o conteúdo de manganês nas amostras do furo TL-02.

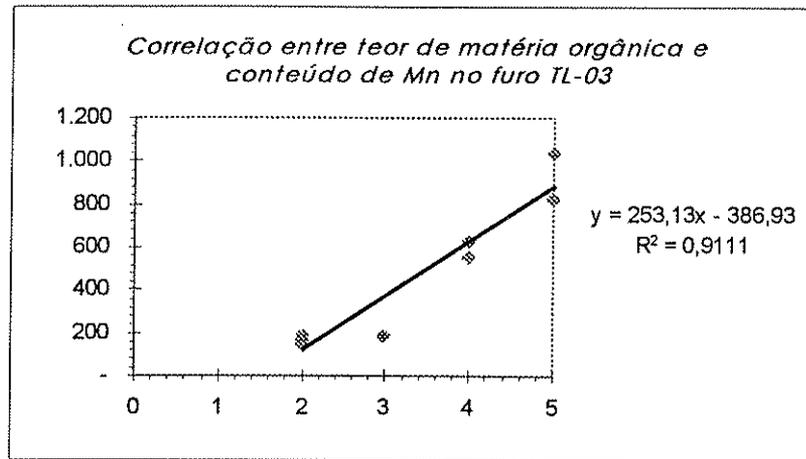


Figura 56: Gráfico de correlação entre o teor de matéria orgânica e o conteúdo de manganês nas amostras do furo TL-03.

8.3. Correlações entre o comportamento do Cu, Pb e Zn no perfil

O cobre, chumbo e zinco apresentam um comportamento semelhante ao longo do perfil, principalmente nos furos localizados dentro e a montante da lagoa (TL-04 a TL-07). Neste local, o comportamento destes metais apresenta correlações da ordem de 0,90 (Figuras 57, 58 e 59).

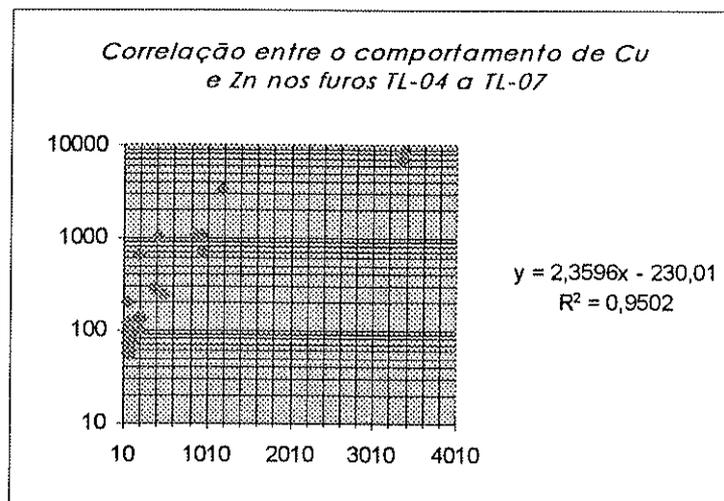


Figura 57: Gráfico de correlação linear entre o comportamento do Cu e Zn nos furos TL-04 a TL-07.

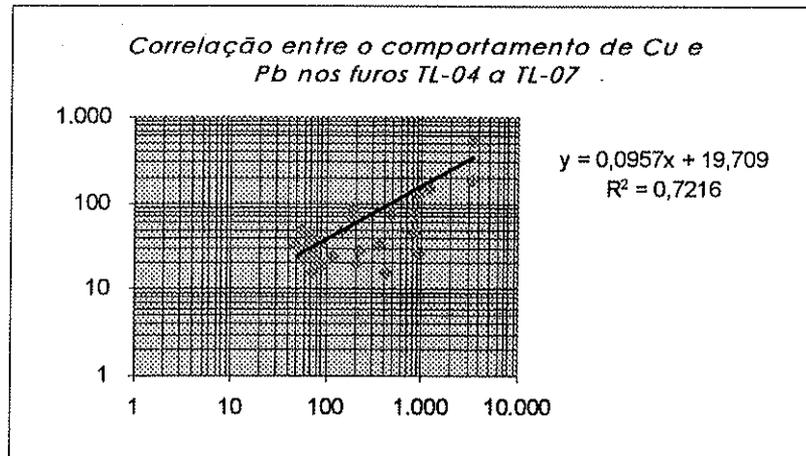


Figura 58: Gráfico de correlação linear entre o comportamento do Cu e Pb nos furos TL-04 a TL-07.

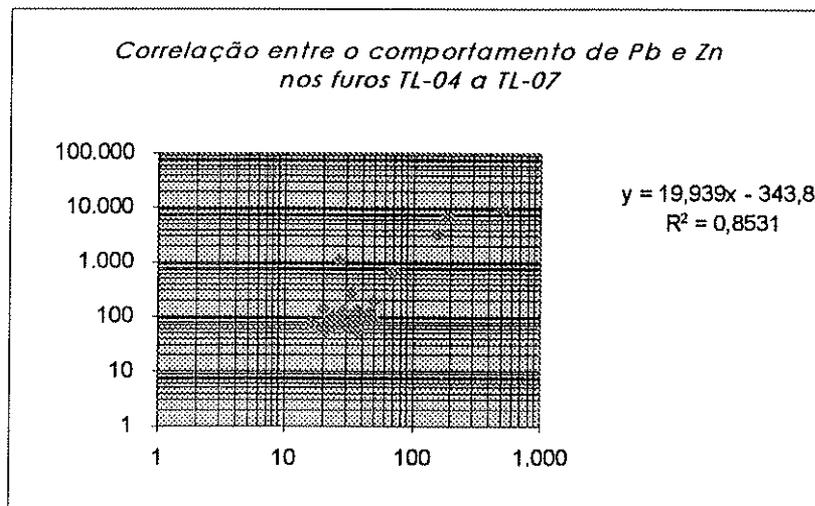


Figura 59: Gráfico de correlação linear entre o comportamento do Pb e Zn nos furos TL-04 a TL-07.

9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

9.1. Comportamento dos metais pesados (MP) na seção de estudo

Os dados apresentados nos capítulos anteriores permitem o estabelecimento de nítida correlação entre o conteúdo de metais pesados e a camada de argila cinza-escura (Unidade 2), especialmente nos furos TL-01 a TL-03, onde os diferentes perfis não sofreram intervenção antrópica. Esta correlação também pode ser observada nos furos superiores, embora tenham sofrido modificações no topo do seu perfil de solo por outras atividades (lagoa de infiltração e nível de entulho). No nível de entulho, foram encontradas as maiores concentrações para Cu, Pb, Zn e Mn.

Nos furos TL-01 a TL-03, especialmente neste último, onde identificou-se e caracterizou-se a seção completa dos diferentes litotipos observados, nota-se um aumento dos teores de Cu, Zn e Pb assim que a argila cinza-escura é atingida.

O Mn e Mo apresentam comportamento semelhante na camada de argila cinza-escura (Unidade 2), aumentando consideravelmente sua concentração quando ela é atingida, nas três situações (a jusante, dentro e montante da lagoa). O que se observa, na maioria dos perfis, é que a diminuição da sua concentração coincide não somente com a passagem para a unidade inferior, mas também com o nível do lençol freático (período de seca).

MATHEWS et al (1994), ao estudarem o comportamento do Cd em solos com alto conteúdo de matéria orgânica, localizados abaixo de um aterro sanitário, não observaram um padrão de distribuição deste metal, sendo que seus teores variaram localmente, tanto horizontal quanto verticalmente de 0,002 a 14,8 mg/kg. O Cd não apresentou um padrão de comportamento em relação aos litotipos que pudesse ser identificado ao longo dos perfis. Também não foram identificadas correlações entre Cd e as características granulométricas ou de teor de matéria orgânica nos diferentes perfis. Observou-se, porém, um certo padrão com relação à profundidade nos diferentes perfis, onde até a profundidade de 2,50m, houve uma diminuição da sua concentração; desta profundidade até 3,50m, houve um novo aumento da sua concentração. A partir desta profundidade, a concentração de Cd continua

sofrendo aumento e decréscimo, até a base dos perfis. Para o perfil TL-05, a concentração deste metal aumenta com a profundidade, decaindo quando a Unidade 3 (camada de silte cinza-clara) é atingida.

Comportamento similar foi observado para o Pb nos furos TL-01 a TL-03. Nos demais furos, apresentou concentração mais alta na superfície, seja devido à lagoa de infiltração, seja devido à camada de entulho. Com o aumento da profundidade, de modo geral, a concentração de Pb diminuiu.

Embora alguns autores apontem para uma correlação existente entre o comportamento do Cd e Pb em ambientes sujeitos à contaminação antropogênica, este tipo de correlação não foi observado na seção de estudo.

Outras correlações, como comportamento geoquímico semelhante entre Cd e Zn, são apontadas em THORTON (1996), e foram observadas apenas no perfil TL-02, onde parece ocorrer uma semelhança nos aumentos e decréscimos das concentrações destes dois metais, ocorrendo em profundidades muito semelhantes. Porém, não foram identificados valores de correlação significativos, quando os dados foram plotados em um diagrama do tipo XY.

Nos furos TL-06 e TL-07 foram detectadas correlações muito altas entre o comportamento do Cu, Zn e Pb. Para o caso do Cu e Zn, esta correlação chega à ordem de 0,95, evidenciando não haver nestes perfis, competição entre estes dois metais, como sugerido por KUO & BAKER (1980) e sim, comportamentos geoquímicos semelhantes.

Nestes furos, em especial, nota-se uma grande concentração de Pb, Zn e Cu, que diminuem drasticamente logo no primeiro metro de perfil. Isto pode sugerir que há a precipitação destes metais em associação com óxidos e hidróxidos de ferro, como já foi sugerido por McBRIDE (1994). Tal comportamento impediria que estes metais migrassem para a base do perfil.

VALADARES & CATANI (1975) ao analisarem o conteúdo de Zn natural em solos do Estado de São Paulo, notaram haver correlação entre o conteúdo de óxidos de ferro das amostras e o seu teor de Zn, ao redor de 0,75. VALADARES (1975), ao estudar o conteúdo de Cu natural em solos do Estado de São Paulo, também encontrou boa correlação entre o conteúdo de Cu nos mesmos e o seu teor de óxido de ferro.

Neste estudo, não foram efetuadas análises químicas que pudessem quantificar o conteúdo de ferro nas amostras. Nas análises microscópicas de amostras da argila cinza-escura (Unidade 2), foi identificada uma matriz mais escura, provavelmente devido à presença de matéria orgânica e hidróxidos de ferro amorfos associados. Em alguns casos, este material tende a concentrar-se dando origem a nódulos.

Nas análises em MEV, tanto dos fragmentos quanto das lâminas, foi identificada uma grande presença de Fe, geralmente disseminado na matriz, ocorrendo, por vezes, associado aos MP. No entanto, os DRX dos diferentes materiais não exibiram picos definidos para hidróxidos ou óxidos de Fe, o que nos leva a supor que estes encontrem-se sob formas amorfas, como sugerido por PARKMAN *et al* (1996).

As análises em MEV identificaram a presença de metais pesados principalmente na Unidade 2 (argila cinza-escura), sendo que, dos detectados nas análises químicas, apenas foi possível a identificação de Pb, Cu, Zn e Mn. O Cd e o Mo não chegaram a ser identificados nas amostras selecionadas.

Geralmente Cu, Pb e Zn aparecem associados a argilas, hidróxidos de Fe, sais e compostos neoformados. Ocorrem com frequência como pequenos fragmentos dispersos na matriz, ou ainda associados aos compostos precipitados em microfissuras presentes nesta. O Mn ocorre precipitado no próprio plasma que constitui a matriz.

9.2. Conteúdo de MP X Granulometria

Os dados obtidos nos capítulos anteriores exibiram uma tendência dos MP estarem associados às partículas finas da seção de estudo, em especial à fração silte.

Os furos localizados a jusante da lagoa, por não terem sofrido intervenções antrópicas significativas, são os que apresentam melhor correlação entre o conteúdo de metais pesados e as características intrínsecas das diferentes unidades, como granulometria e teor de matéria orgânica.

O silte foi a fração granulométrica que apresentou as melhores correlações com o conteúdo de MP, principalmente em relação ao Cu, Zn e Mo nos furos TL-01 e TL-02. Uma boa correlação entre o silte e o Cu também foi observada no furo TL-04, localizado dentro da lagoa de infiltração. Por outro lado, no furo TL-05, localizado

dentro da lagoa, e TL-06 e TL-07, localizados a montante da mesma, não foi obtido este tipo de correlação.

O Cu também apresentou um padrão de comportamento com relação à quantidade de areia no solo - principalmente nos furos TL-01 a TL-03 - obtendo uma forte correlação negativa com a mesma, tendendo a diminuir a sua concentração com o aumento da porcentagem de areia. Provavelmente, isto pode estar relacionado à porosidade do solo e à dinâmica da água nos interstícios. Provavelmente, o Cu pode estar sendo lixiviado pela água visto que na maioria das amostras analisadas por MEV, ele quase sempre estava presente na forma de sais (cloretos).

9.3. Conteúdo de MP X Teor de matéria orgânica

O teor de matéria orgânica é apontado por vários autores como um dos principais agentes de retenção de metais pesados no solo. GROHMANN (1972) menciona que isto se deve ao fato da matéria orgânica possuir uma superfície específica muito elevada ($700\text{m}^2/\text{g}$), o que faz com que a sua presença no solo influencie significativamente as propriedades físico-químicas do mesmo, aumentando a sua superfície específica e capacidade de retenção de metais. Na seção de estudo, observou-se que, com exceção dos níveis de entulho e da base da lagoa de infiltração, foi na camada de argila cinza-escura (Unidade 2) que foram obtidos os maiores teores de matéria orgânica e os maiores conteúdos de Cu, Mn, Mo e Pb.

VALADARES & CATANI (1975) e VALADARES (1975), ao estudarem a concentração natural de Zn e Cu em solos do Estado de São Paulo, não obtiveram uma boa correlação entre o conteúdo destes metais e o teor de matéria orgânica no solo, situando-se estes valores em 0,20 para o Zn e 0,17 para o Cu. KUO & BAKER (1980) e ERALDISHI & O'CONNOR (1982), porém, identificaram em seus trabalhos uma certa afinidade do cobre com o teor de matéria orgânica do solo.

Na presente dissertação, os resultados mostram que na seção de estudo, o Cu foi o metal que apresentou melhor correlação com o teor de matéria orgânica, principalmente nos furos localizados a jusante da lagoa de infiltração.

Também foi observada uma boa correlação entre o manganês e o teor de matéria orgânica nestes perfis. CASTRO et al (1992) já haviam obtido boas correlações entre a distribuição deste metal e o teor de matéria orgânica em solos argilosos do Estado de São Paulo.

Para os demais metais abordados neste estudo, não foram observadas correlações significativas.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos através das diversas análises efetuadas, bem como das observações de campo, permitem elaborar as seguintes considerações:

1. Embora não exista um registro do material previamente lançado na lagoa, a análise das tortas provenientes do beneficiamento atual, bem como a análise de amostras na base da lagoa (furos TL-04 e TL-05) e do nível de entulho (TL-06 e TL-07) evidenciam um material com alto conteúdo de metais pesados, especialmente Cu, Pb e Zn;
2. O material infiltrado na lagoa atravessou as camadas situadas abaixo da mesma, sendo retido pela camada da argila cinza-escura, com alto conteúdo de matéria orgânica (Unidade 2). Análises em MEV de amostras desta unidade identificaram a presença de metais (Cu, Zn, Mo e Mn) presos a argilas, associados a sais neoformados, associados à presença de Fe, e precipitados na matriz e no plasma.
3. As análises em MEV demonstraram que a precipitação dos metais não está associada à organização textural do solo. Eles se encontram em pequenos fragmentos, geralmente disseminados ao longo da matriz, não sendo encontrados precipitados em microfraturas existentes na mesma.
4. Cu, Pb e Zn apresentam comportamento geoquímico semelhante nas áreas que sofreram intervenção antrópica (lagoa de infiltração e nível de entulho - TL-04 a TL-07), tendo sido obtidos valores de correlação superiores a 0,85 para estes metais.
5. O Mn e Mo apresentam comportamento geoquímico semelhante ao longo do perfil, em relação aos diferentes litotipos, aumentando a sua concentração quando a Unidade 2 é atingida. Há uma tendência da diminuição de suas concentrações quando se aproxima do lençol freático (período de seca). Provavelmente, o Mn deve estar sendo retido pela matéria orgânica presente nesta Unidade, visto que foi, ao lado do Cu, o metal que obteve melhor correlação com o seu conteúdo: 0,91.
6. Existe uma correlação entre o comportamento dos metais pesados (MP) e as granulometrias finas do perfil. Ao contrário do citado na literatura, foi a fração silte, e não a argila, que apresentou as melhores correlações com o conteúdo de metais pesados; as melhores correlações obtidas para o silte foram: Cu (0,70), Zn (0,64) e Mn

(0,75), ao passo que, para a argila, as melhores correlações obtidas foram com o Pb e Zn, situando-se , em ambos os casos, ao redor de 0,55.

7. O Cd, embora não apresente nenhuma correlação com granulometria, teor de matéria orgânica, ou comportamento em relação aos diferentes litotipos ou aos outros metais analisados, apresenta um comportamento padrão em relação aos primeiros metros do perfil de solo, sendo que este tipo de comportamento só não foi observado no furo TL-05.
8. Ao contrário do esperado em solos tropicais, os compostos à base de sais permaneceram no sistema, tendo sido encontrados freqüentemente precipitados ao longo de microfraturas da matriz, formando compostos bem cristalizados. Cloretos de K e Na são os mais abundantes, tendo sido encontrado Cu associado à estes sais.
9. A disposição de material rico em metais pesados sobre um latossolo (colúvio) possibilitou a migração dos mesmos até 2 a 3 metros de profundidade, como pode ser observado nas seções dos Anexos 5 e 6. Nota-se em desordenamento no comportamento geoquímico dos metais nos perfis que estão sofrendo diretamente uma influência antrópica (TL-04 a TL-07), ao passo que, nos perfis a jusante da lagoa, tende a ocorrer um ordenamento no comportamento geoquímico dos mesmos.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D.C. 1986. *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. New York, Springer Verlag, 532 p.
- ALLOWAY, B. J. 1990. *Heavy Metals in Soils*. London, Blackie and Son Ltd, 339p.
- ALLOWAY, B. J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. London, Blackie Academic & Professional, 368p.
- AMARANTE, A.; SÍGOLO, J.B. 1996. Concentração de metais pesados (Cu, Zn, Mn e Mo) em horizontes argilo-orgânicos de rochas sedimentares da Bacia de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador. *Anais...Salvador*, v.2, p.157-160.
- ASSUNÇÃO, J.C.B.de. 1996. *Análise Mineralógica, Geoquímica e Textural de lodos gerados e dispostos pela ETE de Barueri - SP: Associações com metais pesados e seus efeitos no solo*. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, IG/USP, 118 p.
- AUBERT, H.; PINTA, M. 1977. *Trace Elements in Soils*. Oxford, Elsevier Scientific Publ. Co, 395 p.
- BARRÈS, M. 1989. Rôle de la géologie dans l'élimination des déchets urbains et industriels, quelques exemples. *Mines & Carrières*, Paris, 71, p. 51-55.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; VALADARES, J.M.A.S. 1976. O molibdênio em solos do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 15, Campinas. *Anais...Campinas*, p.107-111.
- BENNETT, G.F. 1989. Impact of toxic Chemicals on local wastewater treatment plant and the environment. *Environmental Geology and Water Sciences*, 13 (3), p. 201-212.
- BRADY, N.C. 1989. *Natureza e Propriedade dos Solos*. Rio de Janeiro, Ed. Freitas Bastos, 598 p.

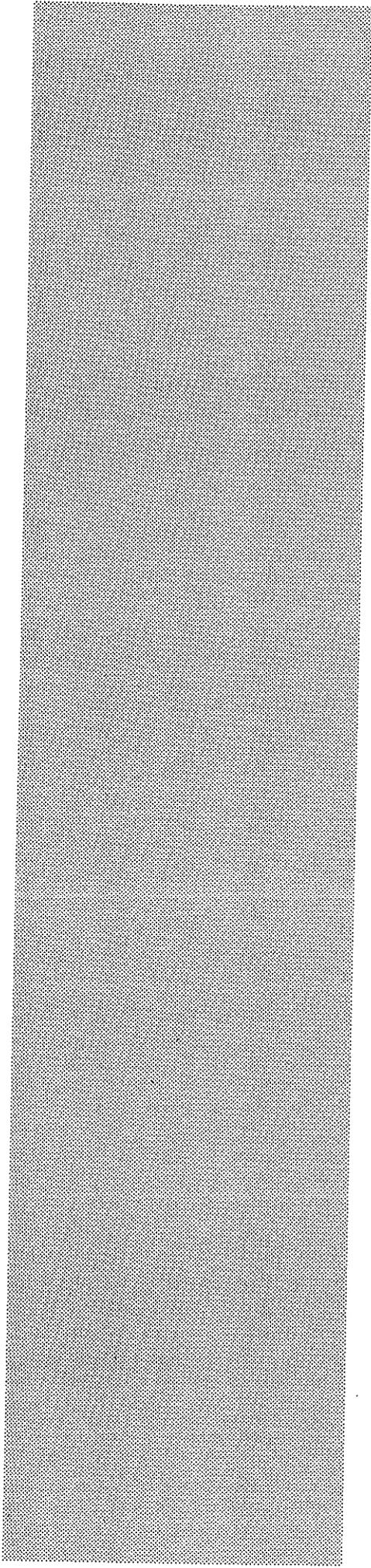
- CASTELO BRANCO, M.A.; Balsa, M.E.; GUSMÃO, M.R.; VIEIRA E SILVA, J.M.; FERNANDES, M.L.; SEQUEIRA, E.M. 1996. Use of pyrite in the reclamation of degraded calcareous soils. *Applied Geochemistry*, vol. 11, p. 347-349.
- CASTRO, O.M.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. 1992. Teores de Zinco, Cobre, Manganês e Ferro em dois latossolos sob plantios direto e convencional. Campinas, *Bragantia*, 51 (1), p. 77-84.
- CATANI, R.A.; GALLO, J.R. 1951 A extração de manganês e suas formas de ocorrência em alguns solos do Estado de São Paulo. Campinas, *Bragantia*, 11 (7-9), p.255-266.
- CATANI, R.A.; KÜPPER, A. 1946. Algumas características químicas dos solos do Estado de São Paulo e sua interpretação analítica. Campinas, *Bragantia*, 6 (4), p. 147 - 163.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. 1990. *Projeto Santa Isabel / Mogi das Cruzes / Mauá - Relatório Final*. São Paulo, CPRM, V.1.
- COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL / SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CATI/SAA. 1994. *Manual técnico de Manejo e Conservação do Solo e Água*. Campinas, CATI/SAA, Manual nº 39, v.2.
- COSTA, J.B. da. 1991. *Caracterização e Constituição do solo*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 527 p.
- COTTER-HOWELLS, J.; CAPORN, S. 1996. remediation of contaminated land by formation of heavy metals phosphates. *Applied Geochemistry*, vol.11, p. 335-342.
- ELRASHIDI, M.A.; O'CONNOR, G.A. 1982. Influence of solution composition on sorption of zinc by soils. *Soil Science Society of America Journal*, 46 (6), p. 1152-1157.
- GÖSKET, J.; PRIETO, G.; PÖLMANN, H. 1996. Fixation of harmful substances in lamellan metal-metal-hydroxisalts. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY IN TROPICAL COUNTRIES, 2, Cartagena. *CD-ROM...Cartagena*
- GROHMANN, F. 1972. Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. II - Influência da matéria orgânica, dos óxidos de ferro livres e dos cátions trocáveis, na superfície específica total do solo. Campinas, *Bragantia*, 31 (14), p. 167-185.

- HAINES, R.C.; HARRIS, M.R. 1987. Main Types of Contaminants. *Reclaiming Contaminated Land*, Blackie & Son Ltd., p. 39-60.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO -SP-IPT/SA; Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia - SICCT.1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT/SICCT, 2 V.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO - IGG. 1974. Folha Suzano (escala 1: 50.000).
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. 1984. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton, CRC Press Inc., 315 p.
- KARCZEWSKA, A. 1996. Metal species distribution in top- and sub-soil in an area affected by copper smelter emissions. *Applied Geochemistry*, V.11, p. 35-42.
- KARCZEWSKA, A.; CHODAK, T.; KASZUBKIEWICZ, J. 1996. The suitability of brown coal as a sorbent for heavy metals in polluted soils. *Applied Geochemistry*, V.11, p. 343-346.
- KELLY, J.; THORNTON, I.; SIMPSON, P.R. 1996. Urban Geochemistry: a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. *Applied Geochemistry*, V.11, p. 363-370.
- KOONER, Z.S. 1993. Comparative study of adsorption behaviour of copper, lead and zinc onto goethite in aqueous systems. *Environmental Geology*, 21, p. 242-250.
- KUO, S.; BAKER, A.S. 1980. Sorption of copper, zinc and cadmium by acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44 (5), p. 969-974.
- LORING, D.H.; ASMUND, G. 1989. Heavy metal contamination of a Greenland Fjord System by mine wastes. *Environmental Geology and Water Sciences*, 14 (1), p. 61-71.
- MALAVOLTA, E. 1994. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: metais pesados, mitos, mistificação e fatos*. São Paulo, Produquímica, 153 p.
- MALINI, S. ; NAGAIA, N.; PARAMESH, L.; VENKATARAMAIAH, P. 1995. Study of the distribution of trace elements in soils in and around mysore City, Karnataka. *Environmental Geology*, 26, p. 107-110.

- MANTEI, E.J.; COONROD, D.D. 1989. Heavy metal content in the stream sediments adjacent to a sanitary landfill. *Environmental Geology and Water Sciences*, 13 (1), p. 51-58.
- MATHEWS, W.H.; BUSTIN, R.M. 1994. Trace metal geochemistry of peat under a sanitary landfill - a reconnaissance. *Environmental Geology*, 23, p.14-22.
- McBRIDE, M.B. 1994. *Environmental Geochemistry of Soils*. New York, Oxford University Press, 406 p.
- MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V.; COIMBRA, A.M. 1986. Tectônica e sedimentação na área das bacias de São Paulo e Tremembé. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia. *Anais.....Goiânia*, p. 321-336.
- MELO, M.S.; PONÇANO, V.L., MOOK, W.G. AZEVEDO, A.E.G.de. 1987. Datações C14 em sedimentos quaternários da Grande São Paulo. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO - ABEQUA, 1, Porto Alegre. *Anais...Porto Alegre*, p.427 -437.
- NAVARRA, C.T.; FURTADO, V.V.; EICHLER, B.B.; PRADO, O.R. 1980. Distribuição da matéria orgânica nos sedimentos costeiros e nos solos hidromórficos da orla litorânea do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Oceanográfico - IO/USP*, v. 29, p.267-270.
- NIMER, E. 1977. Clima. In: Geografia do Brasil - Região Sudeste. Rio de Janeiro, IBGE, V.3, p. 51-89.
- OLIVEIRA, J.B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. 1992. *Classes Gerais de Solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento*. Jaboticabal, FUNEP, 201 p.
- PARKMAN, R.H.; CURTIS, C.D.; VAUGHAN, D.J. 1996. Metal fixation and mobilisation in the sediments of the Afon Goch estuary - Dulas Bay, Anglesey. *Applied Geochemistry*, V.11, p. 203-210.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SUZANO - PMS. 1991. *Plano Diretor do Município - Item III: Município de Suzano - Dados Gerais*. p. 33-38.
- PROHIC,E.; JURACIC, M. 1989. Heavy Metals in sediments - problems concerning determination of the antropogenic influence. Study in the Krka River estuary,

- Eastern Adriatic Coast, Yugoslavia. *Environmental Geology and Water Sciences*, 13 (2), p. 145-151.
- RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. 1987. *Análise Química do Solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill, 170 p.
- RICCOMINI, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, IG/USP, 256 p.
- RICCOMINI, C.; COUTINHO, J.M.V.; GUARANÁ, C.A.; COIMBRA, A.M.; HACHIRO, J.; ATENCIO, D.; IOMASA, W.W. 1988. *Evidências de Hidrotermalismo em sedimentos da Bacia de São Paulo: Considerações Genéticas*. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 60, p. 105-106 (Resumos).
- SÍGOLO, J.B.; AMARANTE, A. 1996. Heavy Metal retention in a organic argillaceous layer near a chemical industry in Suzano, State of Sao Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY IN TROPICAL COUNTRIES, 2, Cartagena. *CD-ROM...Cartagena*.
- SÍGOLO, J.B.; AMARANTE, A. 1997. Zn, Mo, Mn and Cu concentration in an argillaceous layer near a chemical industry in Suzano, State of Sao Paulo, Brazil. CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 4, Braga. *Actas da 10ª Semana...Braga*, p. 511-514.
- SÍGOLO, J.B.; MELLO JR., R.F. 1994. O uso da geoquímica na caracterização da contaminação industrial do solo por metais pesados: um caso prático. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú. *Anais...Camboriú*, V.1, p. 63-64.
- TAKIYA, H. 1991. *Aplicações de métodos quantitativos espaciais a dados geológicos da Bacia de São Paulo*. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, IG/USP, 109p.
- TAN, K.H. 1993. *Principles of Soil Chemistry*. New York, Marcel Dekker Inc, 2nd Edition, 362p.

- THORNTON, I. 1996. Impacts of mining on the environment: some local, regional and global issues. *Applied Geochemistry*, V.11, p. 355-361.
- VALADARES, J.M.A.S. 1975. Cobre em solos do estado de São Paulo. I - Cobre Total. Campinas, *Bragantia*, 34, p. 125-132.
- VALADARES, J.M.A.S.; CATANI, R.A. 1975. Zinco em solos do Estado de São Paulo. I - Zinco Total. Campinas, *Bragantia*, 34 (5), p. 133-139.
- VERDADE, F.C. 1954. Ação da água oxigenada sobre a matéria orgânica do solo. Campinas, *Bragantia*, 13 (24), p. 287 - 295.
- VERLENGIA, F.; GARGANTINI, H. 1968. Determinação de matéria orgânica em solos - estudo comparativo de métodos. Campinas, *Bragantia*, 27 (23) , p. 257-265.



ANEXO 1

T2418
2.2

ANEXO I
ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS QUANTITATIVAS
PARA AS AMOSTRAS NOS DIFERENTES PERFIS

Tabela 1/5

Perfil / prof (m)	Análise Granulométrica Quantitativa						Total
	Argila %	Silte Fino %	Silte Grosso %	Areia Fina %	Areia Grossa %	Umidade %	
TL01 / 0,00 - 0,25	41,00	8,56	3,52	25,30	19,79	2,62	100,79
TL01 / 0,75 - 1,00	41,82	6,01	4,16	24,74	20,53	1,15	98,41
TL01 / 1,75 - 2,00	30,60	-	4,29	35,41	21,00	1,75	93,05
TL01 / 2,50 - 2,75	24,07	10,93	3,34	23,26	40,58	1,52	98,70
TL01 / 3,00 - 3,25	28,05	18,25	4,64	25,65	22,83	2,11	101,53
TL01 / 3,25 - 3,50	40,90	11,42	4,47	21,45	18,57	2,76	99,50
TL01 / 3,50 - 3,75	31,31	11,52	6,50	26,76	14,44	3,50	94,03
TL01 / 3,75 - 4,00	30,60	16,52	7,06	25,26	15,76	3,25	98,45
TL01 / 4,00 - 4,25	32,53	17,64	5,61	22,93	18,20	2,83	99,44
TL02 / 0,75 - 1,00	44,47	8,46	3,82	21,83	20,61	2,19	101,3
TL02 / 1,50 - 1,75	37,89	-	4,50	25,08	23,80	2,78	94,05
TL02 / 2,00 - 2,25	28,56	6,83	4,14	36,72	22,31	1,90	100,46
TL02 / 2,50 - 2,75	30,19	8,67	4,23	31,29	24,92	2,03	101,38
TL02 / 3,00 - 3,25	40,29	17,44	4,82	22,94	19,91	2,37	107,77*
TL02 / 3,25 - 3,50	29,17	12,54	5,76	27,73	19,83	3,11	98,14
TL02 / 3,50 - 3,75	24,07	13,77	7,29	32,40	18,23	3,93	99,69
TL02 / 3,75 - 4,00	41,31	18,36	5,56	19,74	8,99	3,94	97,90
TL02 / 4,00 - 4,25	38,55	25,29	4,65	16,94	8,00	4,21	97,64

ANEXO 1
ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS QUANTITATIVAS
PARA AS AMOSTRAS NOS DIFERENTES PERFIS

Tabela 2/5

Perfil / prof (m)	Análise Granulométrica Quantitativa						
	Argila %	Silte Fino %	Silte Grosso %	Areia Fina %	Areia Grossa %	Umidade %	Total
TL03 / 0,75 - 1,00	42,73	31,00	3,98	21,22	20,10	6,67	125,70*
TL03 / 1,50 - 1,75	36,72	5,61	4,79	26,86	24,71	1,58	100,27
TL03 / 2,00 - 2,25	36,72	6,32	4,94	26,52	22,95	3,65	101,10
TL03 / 2,25 - 2,50	40,80	7,44	5,38	22,92	22,46	5,58	104,58
TL03 / 2,75 - 3,00	42,84	7,85	4,56	22,40	20,54	2,05	100,24
TL03 / 3,00 - 3,25	34,98	12,34	5,77	24,83	19,00	2,63	99,55
TL03 / 3,50 - 3,75	32,13	11,93	6,23	26,91	18,61	3,48	99,29
TL03 / 3,75 - 4,00	32,64	12,44	6,82	26,99	17,35	3,23	99,47
TL03 / 4,00 - 4,25	31,00	10,60	5,69	24,92	27,24	1,79	101,24
TL03 / 4,75 - 5,00	17,95	15,40	8,14	27,40	30,80	0,85	100,84
TL03 / 5,00 - 5,25	8,77	24,37	9,48	28,65	32,58	0,33	104,18
TL03 / 2,50 - 2,60	7,34	20,91	8,74	28,09	37,24	0,95	103,27

ANEXO I
ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS QUANTITATIVAS
PARA AS AMOSTRAS NOS DIFERENTES PERFIS

Tabela 3/5

Perfil / prof (m)	Análise Granulométrica Quantitativa						Total
	Argila %	Silte Fino %	Silte Grosso %	Areia Fina %	Areia Grossa %	Umidade %	
TL04 / 0,25 - 0,50	19,68	9,48	6,79	29,81	29,53	3,61	98,90
TL04 / 0,75 - 1,00	34,47	13,66	5,61	22,68	20,23	3,12	99,77
TL04 / 1,00 - 1,25	30,49	15,60	5,65	24,93	19,52	1,96	98,15
TL04 / 1,25 - 1,50	27,23	12,03	7,43	27,99	21,33	2,44	98,45
TL04 / 1,50 - 1,75	36,00	6,93	4,16	28,66	32,66	1,32	109,73
TL04 / 1,75 - 2,00	33,66	9,38	4,29	28,34	25,23	1,07	101,97
TL04 / 2,00 - 2,25	27,13	9,18	6,05	32,22	23,23	3,04	100,85
TL05 / 0,25 - 0,50	19,17	10,40	6,61	31,49	28,58	2,84	99,09
TL05 / 0,50 - 0,75	23,33	7,34	7,44	31,96	20,34	6,52	96,93
TL05 / 0,75 - 1,00	24,68	11,11	5,88	27,42	27,00	4,31	100,40
TL05 / 1,00 - 1,25	38,14	5,71	4,76	24,78	23,64	1,58	98,61
TL05 / 1,25 - 1,50	41,10	7,85	5,27	26,78	18,13	2,33	101,46
TL05 / 1,50 - 1,75	32,53	9,89	4,60	27,66	28,32	1,20	104,20
TL05 / 1,75 - 2,00	37,43	8,87	5,24	28,61	19,27	1,56	100,98
TL05 / 2,0 - 2,25	45,59	12,44	5,02	26,60	13,62	2,15	105,42

ANEXO I
ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS QUANTITATIVAS
PARA AS AMOSTRAS NOS DIFERENTES PERFIS

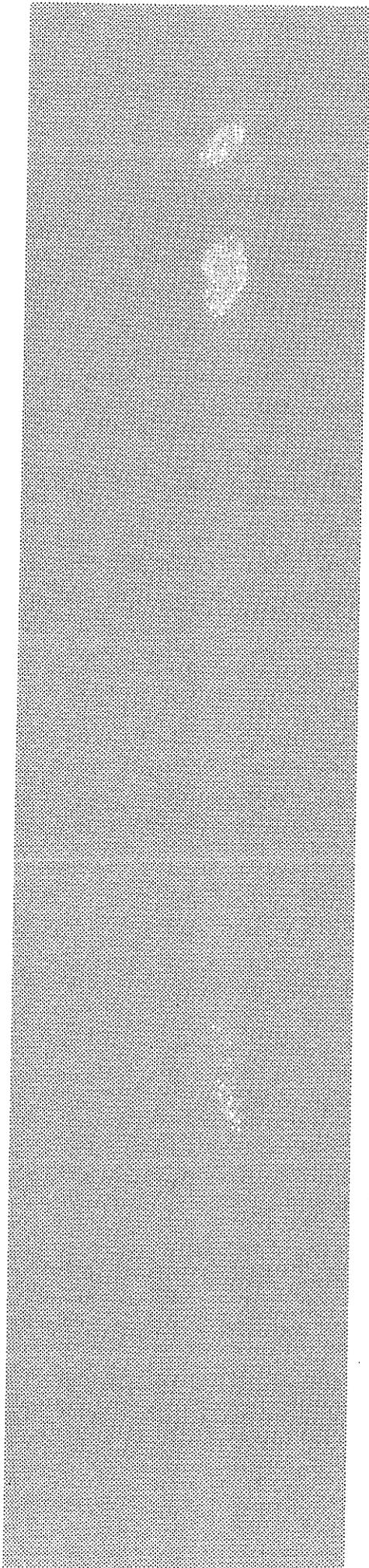
Tabela 4/5

Perfil / prof (m)	Análise Granulométrica Quantitativa						Total
	Argila %	Silte Fino %	Silte Grosso %	Areia Fina %	Areia Grossa %	Umidade %	
TL06 / 0,80 - 1,00	6,93	25,90	5,21	24,84	26,50	6,57	95,95
TL06 / 1,60 / 1,80	31,31	15,09	4,50	23,12	21,11	3,70	98,23
TL06 / 2,20 - 2,40	30,80	18,36	5,09	21,02	23,70	1,02	100,00
TL06 / 2,40 - 2,60	22,23	21,72	6,14	25,80	23,55	2,42	101,86
TL06 / 2,60 - 2,80	18,05	14,64	9,46	35,19	20,01	3,45	100,84
TL06 / 2,80 - 3,00	17,64	19,27	13,96	31,69	14,95	3,00	100,51
TL06 / 3,0 - 3,20	30,49	15,50	8,46	25,54	17,68	3,88	101,55
TL06 / 3,20 - 3,40	33,04	14,68	6,67	23,27	18,50	3,59	99,75
TL06 / 3,40 - 3,0	33,92	7,85	5,62	23,67	20,82	2,73	97,61
TL06 / 3,60 - 3,80	30,19	10,71	5,37	26,32	21,16	2,56	96,31
TL06 / 4,00 - 4,20	36,00	8,36	4,56	26,45	22,61	0,93	98,91
TL06 / 4,40 - 4,60	34,68	12,03	5,88	30,34	15,88	2,20	101,10

ANEXO I
ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS QUANTITATIVAS
PARA AS AMOSTRAS NOS DIFERENTES PERFIS

Tabela 5/5

Perfil / prof (m)	Análise Granulométrica Quantitativa						Total
	Argila %	Silte Fino %	Silte Grosso %	Areia Fina %	Areia Grossa %	Umidade %	
TL07 / 0,20 - 0,40	21,11	11,42	5,44	29,10	28,61	3,70	99,38
TL07 / 1,00 - 1,20	42,33	8,05	4,13	23,87	18,32	2,86	99,56
TL07 / 2,20 - 2,40	34,37	5,61	3,92	26,36	26,88	3,21	100,35
TL07 / 2,80 - 3,00	39,06	7,24	4,84	24,95	20,83	3,40	100,32
TL07 / 3,00 - 3,20	33,04	12,34	4,87	23,95	16,07	4,16	94,43
TL07 / 3,20 - 3,40	23,25	22,44	5,46	24,39	17,90	3,61	97,05
TL07 / 3,40 - 3,60	27,94	17,44	7,08	26,69	17,21	2,76	99,12
TL07 / 3,60 - 3,80	28,05	15,09	6,72	28,98	13,81	2,13	94,78
TL07 / 3,80 - 4,00	31,51	10,81	6,59	29,25	20,32	1,60	100,08



ANEXO 2

ANEXO 2
DOSAGEM DO CONTEÚDO DE MATÉRIA ORGÂNICA
PARA AS AMOSTRAS NOS DIFERENTES PERFIS

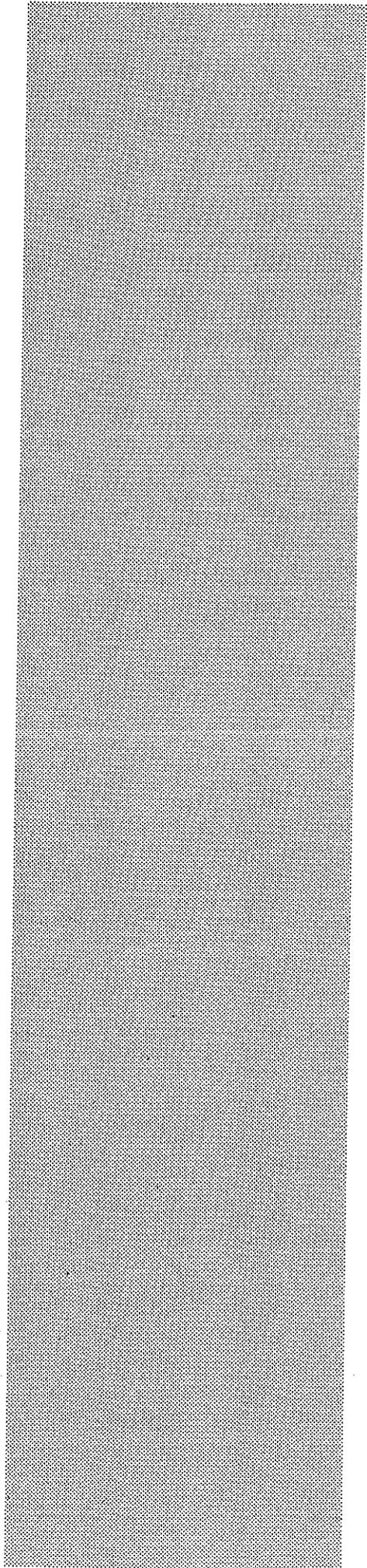
Tabela 1/2

furo / profundidade	amostra	peso béquer	peso inicial (/g amostra + bequer)	peso final (amostra + bequer)	peso total de matéria orgânica eliminada	% matéria orgânica na amostra
TL01/3,25-3,50	01J	59,24	60,24	60,23	0,01	01
TL01/3,50-3,75	02J	69,79	70,79	70,74	0,05	05
TL01/3,75-4,00	03J	71,33	72,33	72,26	0,07	07
TL01/4,00-4,25	04J	46,78	47,78	47,74	0,04	04
TL02/3,00-3,25	05J	77,71	78,71	78,66	0,05	05
TL02/3,50-3,75	06J	67,61	68,61	68,55	0,06	06
TL02/3,75-4,00	07J	61,56	62,56	62,51	0,05	05
TL02/4,00-4,25	08J	61,93	62,93	62,88	0,05	05
TL03/2,25-2,50	09J	59,22	60,22	60,19	0,03	03
TL03/2,75-3,00	10J	69,77	70,77	70,73	0,04	04
TL03/3,00-3,25	11J	71,30	72,30	72,25	0,05	05
TL03/3,75-4,00	12J	46,76	47,76	47,72	0,04	04
TL03/4,75-5,00	13J	77,68	78,68	78,66	0,02	02
TL04/1,00-1,25	14J	67,58	68,58	68,54	0,04	04
TL04/1,25-1,50	15J	61,54	62,54	62,50	0,04	04
TL04/1,50-1,75	16J	61,91	62,91	62,87	0,04	04
TL04/0,75-1,00	17J	61,54	62,54	62,51	0,03	03
TL04/0,50-0,60	18J	61,90	62,90	62,86	0,04	04
TL05/0,75-1,00	19J	59,22	60,22	60,20	0,02	02
TL05/1,00-1,25	20J	69,77	70,77	70,76	0,01	01
TL05/1,25-1,50	21J	67,57	68,57	68,56	0,01	01
TL05/1,50-1,75	22J	77,67	78,67	78,66	0,01	01
TL06/0,60-0,80	23J	71,29	72,29	72,21	0,08	08
TL06/2,20-2,40	24J	46,75	47,75	47,73	0,02	02
TL06/2,60-2,80	25J	59,23	60,23	60,21	0,02	02
TL06/2,80-3,00	26J	67,58	68,58	68,55	0,03	03
TL06/3,20-3,40	27J	71,31	72,31	72,27	0,04	04
TL06/3,60-3,80	28J	61,92	62,92	62,87	0,05	05
TL07/3,00-3,20	29J	69,78	70,78	70,74	0,04	04
TL07/3,20-3,40	30J	61,54	62,54	62,52	0,02	02
TL07/3,40-3,60	31J	46,77	47,77	47,75	0,02	02
TL05/0,25-0,50	32J	77,68	78,68	78,62	0,06	06
IGUAL A 04J	33J	71,33	72,33	72,29	0,04	04
IGUAL A 07J	34J	61,56	62,56	62,51	0,05	05
IGUAL A 17J	35J	61,92	62,92	62,84	0,08	08
IGUAL A 14J	36J	59,25	60,25	60,21	0,04	04
IGUAL A 11J	37J	69,79	70,79	70,74	0,05	05
TL01/0,75-1,00	38J	46,78	47,78	47,73	0,05	05
TL01/1,75-2,00	39J	77,69	78,69	78,66	0,03	03
TL01/2,50-2,75	40J	67,59	68,59	68,57	0,02	02

ANEXO 2
DOSAGEM DO CONTEÚDO DE MATÉRIA ORGÂNICA
PARA AS AMOSTRAS NOS DIFERENTES PERFS

Tabela 2/2

furo / profundidade	amostra		peso inicial (1g amostra + bequer)	peso final (amostra + bequer)	peso total de matéria orgânica eliminada	% matéria orgânica na amostra
TL01/3,00-3,25	41J	61,54	62,54	62,53	0,01	01
TL02/0,75-1,00	42J	69,77	70,77	70,75	0,02	02
TL02/1,50-1,75	43J	71,30	72,30	72,28	0,02	02
TL02/2,00-2,25	44J	61,90	62,90	62,88	0,02	02
TL02/2,50-2,75	45J	59,23	60,23	60,21	0,02	02
TL03/0,75-1,00	46J	67,58	68,58	68,55	0,03	03
TL03/1,50-1,75	47J	77,68	78,68	78,66	0,02	02
TL03/2,00-2,25	48J	46,77	47,77	47,75	0,02	02
TL03/3,50-3,75	49J	77,69	78,69	78,64	0,05	05
TL04/0,25-0,50	50J	59,24	60,24	60,21	0,03	03
TL04/2,00-2,25	51J	71,31	72,31	72,30	0,01	01
TL05/0,50-0,75	53J	61,55	62,55	62,53	0,02	02
TL05/1,75-2,00	54J	67,59	68,59	68,57	0,02	02
TL05/2,00-2,25	55J	46,76	47,76	47,754	0,01	01
TL06/0,80-1,00	57J	69,78	70,78	70,68	0,10	10
TL06/1,60-1,80	58J	61,91	62,91	62,87	0,04	04
TL06/4,00-4,20	59J	46,76	47,76	47,74	0,02	02
TL06/4,40-4,60	60J	61,91	62,91	62,84	0,07	07
TL07/0,20-0,40	61J	71,30	72,30	72,26	0,04	04
TL07/1,00-1,20	62J	67,58	68,58	68,52	0,06	06
TL07/2,20-2,40	63J	69,77	70,77	70,73	0,04	04
TL07/2,80-3,00	64J	59,24	60,24	60,19	0,05	05



ANEXO 3

Tabela 1/3

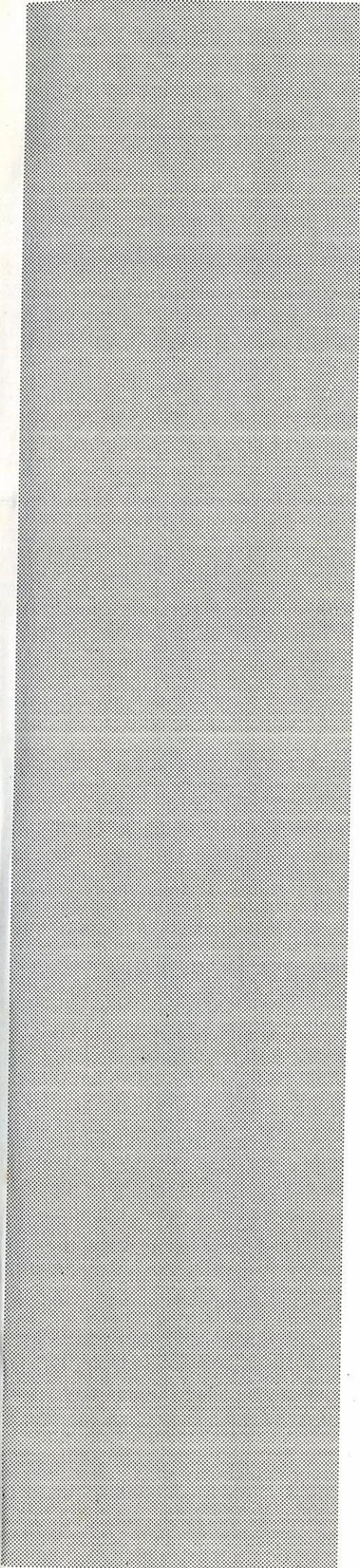
furo/prof. (m)	nº da análise	peso da amostra	Z n		C d		P b		M n		M o		C u	
			ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg
TL01/3,25-3,50	01J	0,2420	1,129	233,264	0,060	1,9	0,457	12,0	3,334	827,0	2,079	429,545	2,503	517,149
TL01/3,50-3,75	02J	0,2483	1,238	249,295	0,061	2,0	0,488	18,0	5,168	1249,0	2,101	423,077	4,021	809,706
TL01/3,75-4,00	03J	0,2551	1,176	230,498	0,061	2,0	0,509	21,0	5,697	1340,0	2,088	409,251	4,293	841,435
TL01/4,00-4,25	04J	0,2498	1,156	231,385	0,054	0,6	0,455	11,0	5,312	1276,0	1,863	372,898	3,961	792,834
TL02/3,00-3,25	05J	0,2420	0,906	187,190	0,058	1,4	0,450	10,0	2,406	597,0	1,952	403,306	1,896	391,736
TL02/3,50-3,75	06J	0,2468	1,020	206,645	0,059	1,6	0,526	26,0	3,934	956,0	1,997	404,579	3,479	704,822
TL02/3,75-4,00	07J	0,2514	1,041	207,041	0,059	1,6	0,525	25,0	3,801	907,0	1,994	396,579	3,379	672,037
TL02/4,00-4,25	08J	0,2511	1,175	233,971	0,072	4,2	0,634	47,0	2,931	700,0	2,430	483,871	2,852	567,901
TL03/2,25-2,50	09J	0,2453	1,283	261,517	0,053	0,4	0,454	11,0	0,782	191,0	1,721	350,795	0,668	136,160
TL03/2,75-3,00	10J	0,2496	0,785	157,252	0,057	1,2	0,559	32,0	2,303	554,0	1,987	398,037	1,516	303,686
TL03/3,00-3,25	11J	0,2492	0,844	169,342	0,056	1,0	0,520	24,0	3,426	825,0	1,979	397,071	3,067	615,369
TL03/3,75-4,00	12J	0,2528	0,825	163,172	0,054	0,6	0,493	18,0	2,644	628,0	1,826	361,155	2,508	496,044
TL03/4,75-5,00	13J	0,2423	0,393	81,098	0,043	0,0	0,400	0,0	0,596	148,0	1,544	318,613	0,653	134,750
TL04/1,00-1,25	14J	0,2496	3,598	720,753	0,054	0,6	1,044	129,0	1,759	423,0	1,843	369,191	4,717	944,912
TL04/1,25-1,50	15J	0,2495	1,230	246,493	0,044	0,0	0,772	75,0	2,030	488,0	1,570	314,629	2,502	501,403
TL04/1,50-1,75	16J	0,2467	0,680	137,819	0,056	1,0	0,830	87,0	2,014	490,0	1,997	404,743	0,950	192,542
TL04/0,75-1,00	17J	0,2488	4,644	933,280	0,052	0,2	0,780	76,0	1,439	347,0	1,976	397,106	3,890	781,752
TL04/0,50-0,60	18J	0,2509	5,702	1136,309	0,062	2,2	0,635	47,0	1,392	333,0	2,730	544,041	4,300	856,915
TL05/0,75-1,00	19J	0,2502	0,672	134,293	0,054	0,6	0,546	29,0	1,468	352,0	1,855	370,703	1,154	230,616
TL05/1,00-1,25	20J	0,2442	0,700	143,325	0,055	0,8	0,498	20,0	1,997	491,0	1,923	393,735	1,043	213,554
TL05/1,25-1,50	21J	0,2468	0,359	72,731	0,057	1,2	0,517	24,0	2,559	622,0	2,056	416,532	0,585	118,517
TL05/1,50-1,75	22J	0,2526	0,487	96,397	0,062	2,2	0,579	35,0	2,081	494,0	2,126	420,823	0,462	91,449

Tabela 2/3

furo/prof. (m)	nº da análise	peso da amostra	Z n		C d		P b		M n		M o		C u	
			ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg
TL06/0,60-0,80	23J	0,2511	44,229	8807,049	0,056	1,0	3,018	521,0	12,100	2891,0	1,406	279,968	16,948	3374,751
TL06/2,20-2,40	24J	0,2499	1,002	200,480	0,066	3,0	0,650	50,0	3,370	809,0	2,114	422,969	0,291	58,223
TL06/2,60-2,80	25J	0,2520	0,355	70,437	0,058	1,4	0,564	33,0	4,370	1040,0	1,963	389,484	0,243	48,214
TL06/2,80-3,00	26J	0,2495	0,271	54,309	0,053	0,4	0,503	21,0	4,970	1195,0	1,786	357,916	0,441	88,377
TL06/3,20-3,40	27J	0,2511	0,382	76,065	0,060	1,8	0,540	28,0	3,316	1152,0	2,003	398,845	0,370	73,676
TL06/3,60-3,80	28J	0,2484	0,532	107,085	0,056	1,0	0,517	24,0	5,399	1304,0	0,855	172,101	0,371	74,678
TL07/3,00-3,20	29J	0,2490	0,284	57,028	0,058	1,4	0,585	37,0	1,471	354,0	2,031	407,831	0,422	84,739
TL07/3,20-3,40	30J	0,2498	0,320	64,051	0,062	2,2	0,548	30,0	1,717	424,0	0,935	187,150	0,343	68,655
IGUAL A 30J	30JB	0,2498	0,335	67,054	0,062	2,2	0,552	30,0	1,764		2,074	415,132	0,340	68,054
TL07/3,40-3,60	31J	0,2494	0,309	61,949	0,060	1,8	0,493	19,0	2,432	585,0	1,488	298,316	0,468	93,825
TL05/0,25-0,50	32J	0,2487	5,489	1103,538	0,051	0,0	0,535	27,0	2,364	570,0	1,925	387,012	4,646	934,057
IGUAL A 04J	33J	0,2401	1,162	241,983	0,051	0,0	0,447	10,0	5,156	1288,0	1,266	263,640	3,946	821,741
IGUAL A 07J	34J	0,2499	1,159	231,893	0,062	2,2	0,560	32,0	3,980	956,0	0,954	190,876	3,917	783,713
IGUAL A 17J	35J	0,2497	5,591	1119,543	0,059	1,6	0,621	44,0	1,305	314,0	2,479	496,396	4,300	861,033
IGUAL A 14J	36J	0,2495	3,399	681,162	0,051	0,0	1,026	125,0	1,570	378,0	1,759	352,505	4,804	962,725
IGUAL A 11J	37J	0,2523	0,900	178,359	0,058	1,4	0,530	26,0	3,357	978,0	0,345	68,371	3,072	608,799
TL01/0,75-1,00	38J	0,2500	1,487	297,400	0,056	1,0	0,416	3,0	2,577	618,0	0,299	59,800	0,643	128,600
TL01/1,75-2,00	39J	0,2515	1,106	219,881	0,051	0,0	0,482	16,0	2,520	601,0	0,306	60,835	0,679	134,990
TL01/2,50-2,75	40J	0,2509	1,462	291,351	0,053	0,4	0,485	17,0	2,516	602,0	0,279	55,600	1,316	262,256
TL01/3,00-3,25	41J	0,2505	1,030	205,589	0,064	2,6	0,545	29,0	3,316	794,0	0,389	77,645	2,093	417,764
TL02/0,75-1,00	42J	0,2461	0,627	127,387	0,067	3,3	0,458	12,0	1,390	339,0	0,355	72,125	0,621	126,168
TL02/1,50-1,75	43J	0,2498	0,589	117,894	0,065	2,8	0,552	30,0	2,250	540,0	0,365	73,058	0,326	65,252
TL02/2,00-2,25	44	0,2480	0,674	135,887	0,050	0,0	0,385	0,0	1,253	303,044	0,267	53,831	0,241	48,589
TL02/2,50-2,75	45J?	0,2490	1,040	208,835	0,064	2,6	0,508	22,0	1,746	121,0	0,342	68,675	0,756	151,807

Tabela 3/3

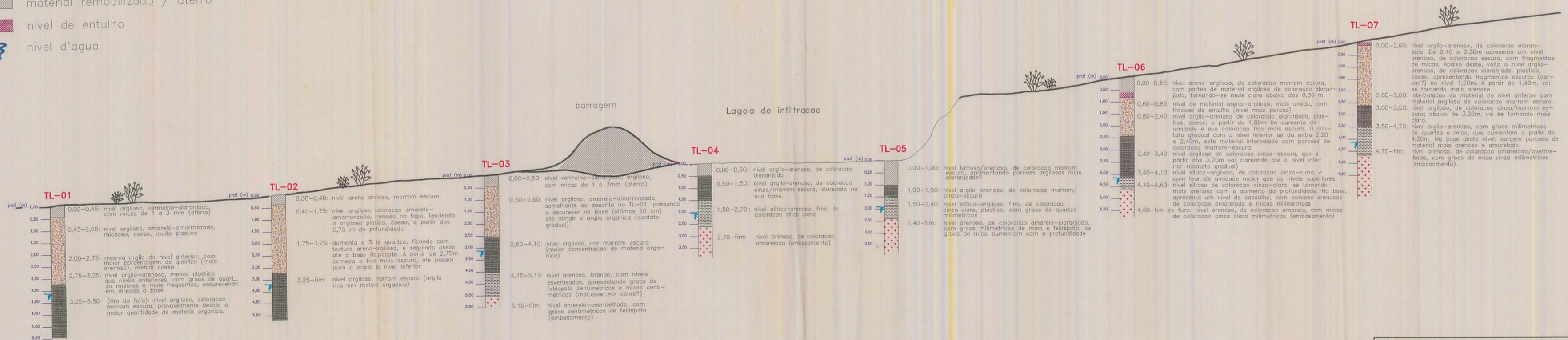
furo/prof. (m)	nº da análise	peso da amostra	Z n		C d		P b		M n		M o		C u	
			ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg	ICP	mg / kg
TL03/0,75-1,00	46J	0,2507	0,895	178,500	0,068	3,4	0,465	13,0	0,867	207,0	0,394	78,580	0,409	81,572
TL03/1,50-1,75	47J	0,2501	0,956	191,124	0,065	2,8	0,549	30,0	0,776	186,0	0,343	68,573	0,577	115,354
TL03/2,00-2,25	48J	0,2482	1,429	287,873	0,064	2,6	0,522	25,0	0,697	168,0	0,358	72,119	0,642	129,331
TL03/3,50-3,75	49J	0,2504	1,019	203,474	0,049	0,0	0,444	9,0	4,336	1039,0	0,262	52,316	4,018	802,316
TL04/0,25-0,50	50J	0,2495	5,366	1075,351	0,051	0,0	0,478	16,0	1,100	265,0	2,554	511,824	2,183	437,475
TL04/2,00-2,25	51J	0,2507	0,508	101,316	0,052	0,2	0,734	67,0	1,342	321,0	0,319	63,622	1,000	199,442
TL05/0,50-0,75	53J	0,2500	1,399	279,800	0,054	0,6	0,572	34,0	1,468	352,0	0,323	64,600	1,886	377,200
TL05/1,75-2,00	54J	0,2453	0,464	94,578	0,063	2,4	0,592	39,0	2,289	560,0	0,364	74,195	0,356	72,564
TL05/2,00-2,25	55J	0,2503	0,474	94,686	0,072	4,2	0,640	48,0	0,444	106,0	0,357	71,314	0,723	144,427
TL05/2,50-2,75	56J	0,2499	0,624	124,850	0,064	2,6	0,589	38,0	0,298	72,0	0,360	72,029	0,364	72,829
TL06/0,80-1,00	57J	0,2499	16,294	3260,104	0,029	0,0	1,175	155,0	27,260	6545,0	0,142	28,411	5,949	1190,276
TL06/1,60-1,80	58J	0,2500	3,292	658,400	0,052	0,2	0,745	69,0	3,250	780,0	0,247	49,400	0,984	196,800
TL06/4,00-4,20	59J	0,2500	0,604	120,800	0,070	3,8	0,631	46,0	3,983	956,0	0,386	77,200	0,308	61,600
TL06/4,40-4,60	60J	0,2497	0,490	98,118	0,058	1,4	0,535	27,0	3,025	727,0	0,341	68,282	0,283	56,668
TL07/0,20-0,40	61J	0,2495	35,800	7174,349	0,054	0,6	1,355	191,0	22,810	6237,0	0,257	51,503	16,661	3338,878
TL07/1,00-1,20	62J	0,2501	0,472	94,362	0,065	2,8	0,511	22,0	0,975	234,0	0,350	69,972	0,294	58,776
TL07/2,20-2,40	63J	0,2491	0,385	77,278	0,057	1,2	0,481	16,0	0,910	219,0	0,323	64,833	0,353	70,855
TL07/2,80-3,00	64J	0,2507	0,393	78,381	0,060	1,8	0,544	29,0	1,453	348,0	0,308	61,428	0,289	57,639
IGUAL A 3J	03JB	0,2494	1,147	229,952	0,060	1,8	0,501	20,0	5,850	1407,0	2,023	405,573	4,164	834,804
IGUAL A 25J	25JB	0,2481	0,370	74,567	0,055	0,8	0,551	30,0	4,325	1046,0	1,869	376,663	0,242	48,771



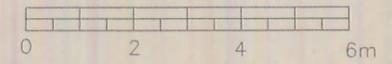
ANEXO 4

LEGENDA

- Unidade 1 (coluvio)
- Unidade 2 (argila cinza-escuro - B.S.Paulo)
- Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
- Unidade 4: alterita / embasamento
- material remobilizado / aterro
- nível de entulho
- nível d'água



ESCALA 1:100

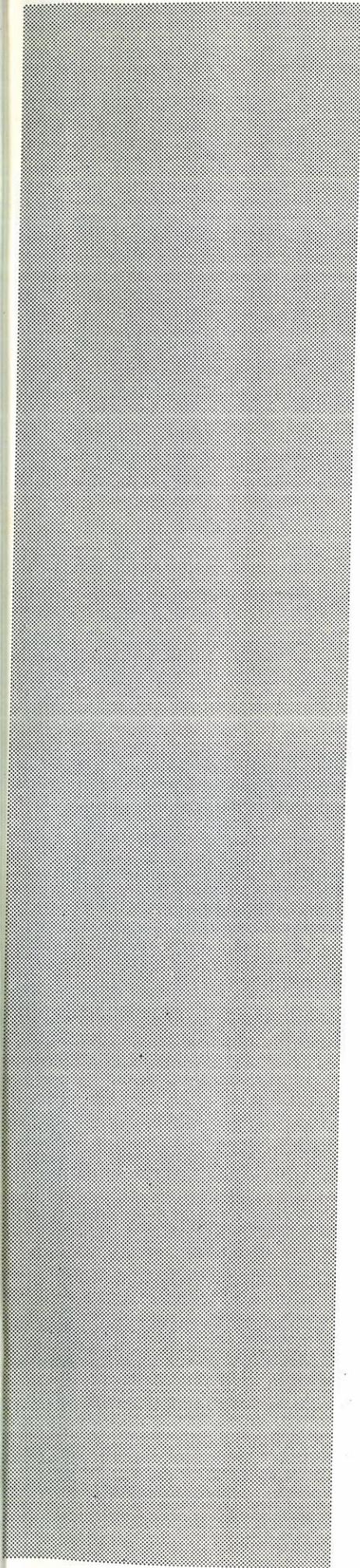


COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DE METAIS PESADOS EM
 SEDIMENTOS ARGILOSOS DA BACIA DE SAO PAULO, SUZANO-SP

Andrea Amarante

Departamento de Geologia Geral / Instituto de Geociências / USP

ANEXO 4: Descrição da secao estudada



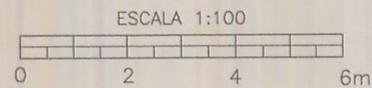
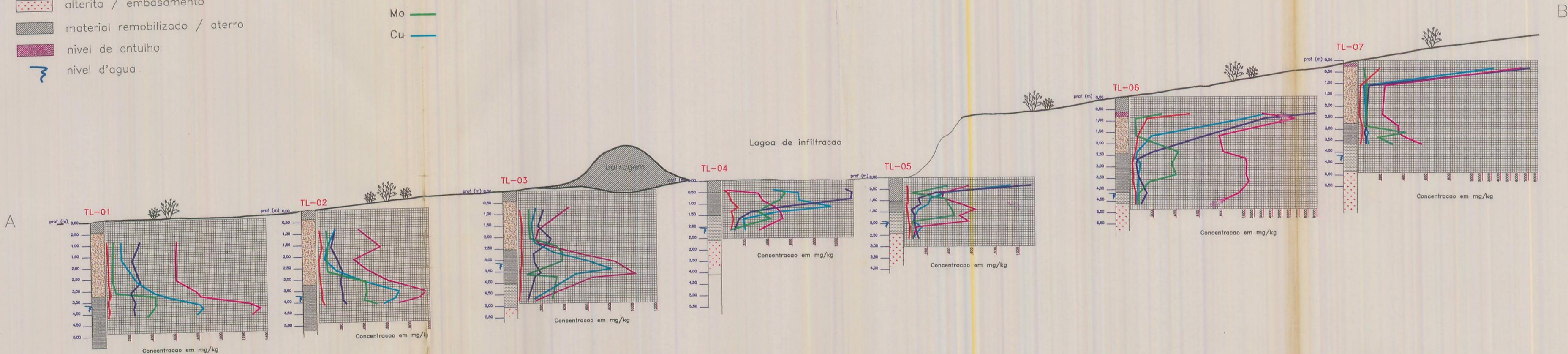
ANEXO 5

LEGENDA

-  Unidade 1 (coluvio)
-  Unidade 2 (argila cinza-escuro - B.S.Paulo)
-  Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
-  alterita / embasamento
-  material remobilizado / aterro
-  nivel de entulho
-  nivel d'agua

Metais Pesados

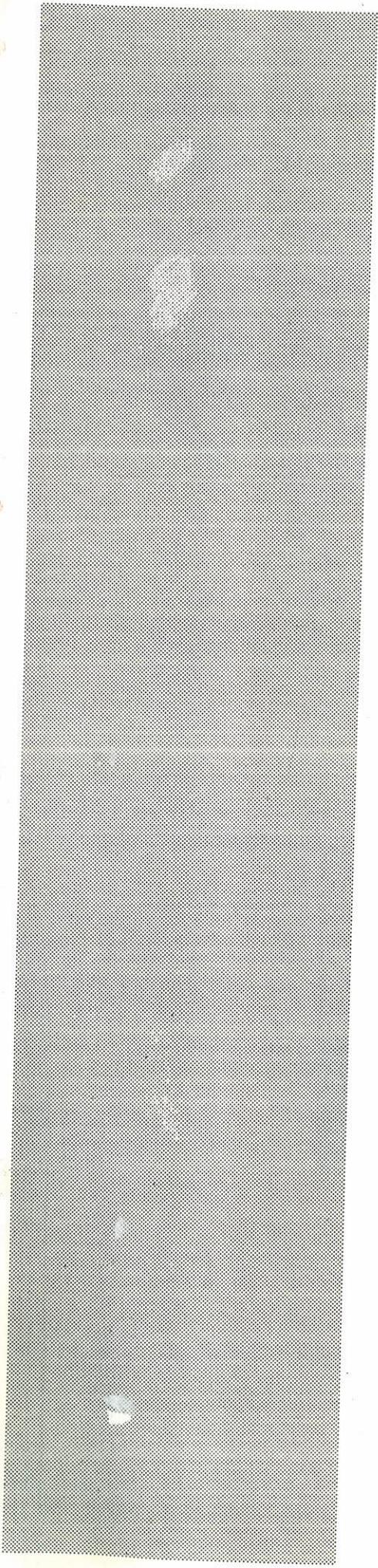
- Mn 
- Zn 
- Pb 
- Mo 
- Cu 



COMPORTAMENTO GEOQUIMICO DE METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS ARGILOSOS DA BACIA DE SAO PAULO, SUZANO-SP

Andrea Amarante
Departamento de Geologia Geral / Instituto de Geociencias / USP

ANEXO 5: Comportamento dos metais ao longo da secao estudada
Parte I: Cu, Mn, Mo, Zn e Pb



ANEXO 6

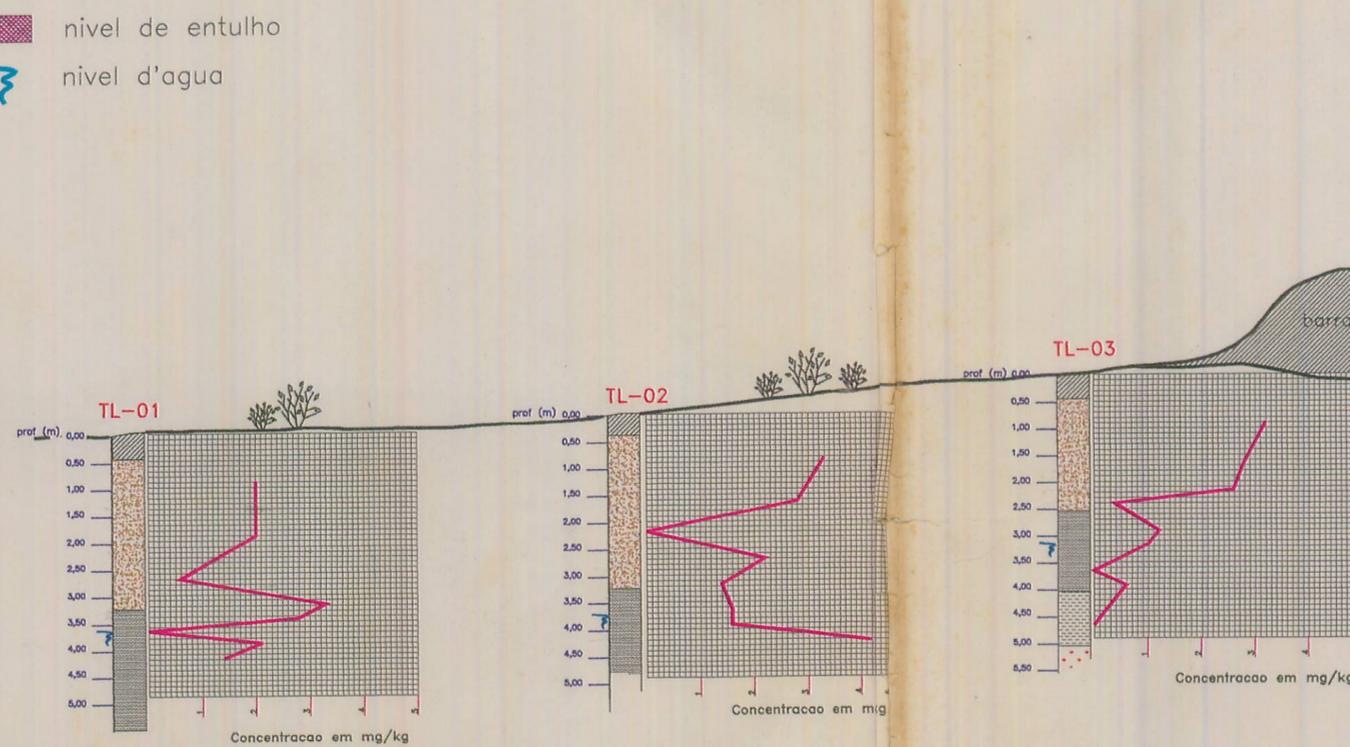
LEGENDA

- Unidade 1 (coluvio)
- Unidade 2 (argila cinza-escuro - B.S.Paulo)
- Unidade 3 (silte cinza-claro - B.S.Paulo)
- alterita / embasamento
- material remobilizado / aterro
- nivel de entulho
- nivel d'agua

Metais Pesados

Cd

A

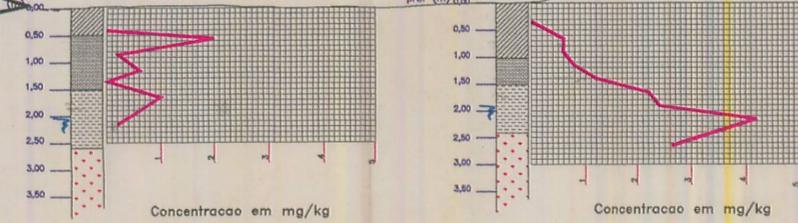


Lagoa de infiltração

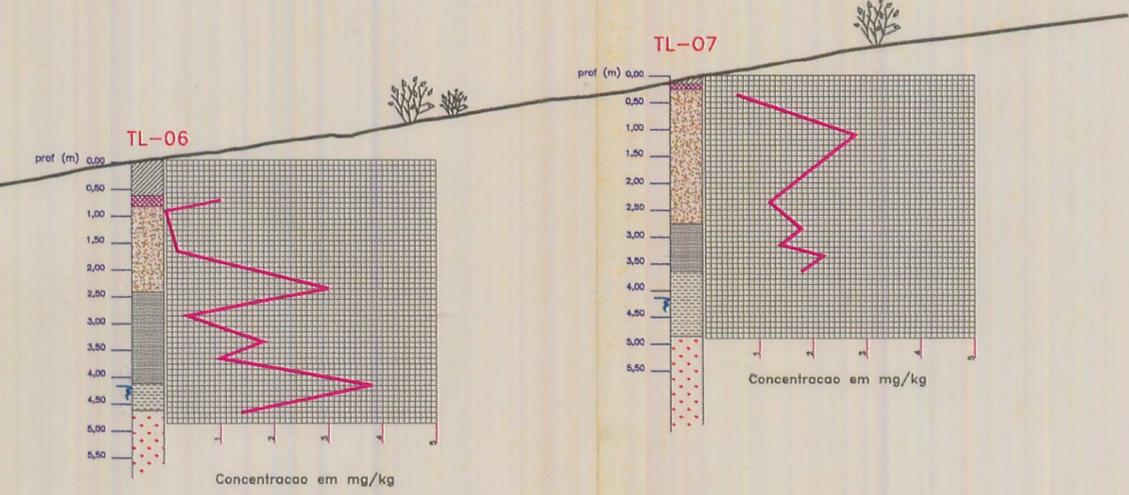
barragem

TL-04

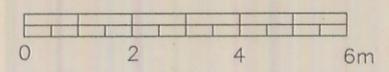
TL-05



B



ESCALA 1:100



COMPORTEAMENTO GEOQUIMICO DE METAIS PESADOS EM
SEDIMENTOS ARGILOSOS DA BACIA DE SAO PAULO, SUZANO-SP

Andrea Amarante

Departamento de Geologia Geral / Instituto de Geociencias / USP

ANEXO 6: Comportamento dos metais ao longo da secao estudada
Parte II: Cd