UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO GEOQUÍMICA, MINERALÓGICA E TEXTURAL DE LODOS RESIDUAIS GERADOS NA ETE DE BARUERI – SP: INFLUÊNCIAS NO SOLO E NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

JOSÉ CARLOS BRANCO DE ASSUNÇÃO

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujiani Sígolo

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T3526
U. S. P.

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Joel Barbujiani Sígolo	
Examinadores:	Prof. Dr. José Roberto Campos	
	Dr. Rodrigo César de Araújo Cunha	
	Profª. Drª. Sonia Maria Barros de Oliveira	
	Dr. Wagner Bettiol	

SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO GEOQUÍMICA, MINERALÓGICA E TEXTURAL DE LODOS RESIDUAIS GERADOS NA ETE DE BARUERI-SP: INFLUÊNCIAS NO SOLO E NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

José Carlos Branco de Assunção

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujiani Sígolo

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T3526
U. S. P.

TESE DE DOUTORADO

Programa de Geoquímica e Geotectônica

DEDALUS - Acervo - IGC

30900010087

SÃO PAULO
2001

AGRADECIMENTOS

Agradeço mais uma vez à providência. Ela continuou colocando pessoas competentes e dedicadas no meu caminho. E também, mais uma vez, me deu a oportunidade de tentar buscar respostas para o aparentemente confuso e caótico. Afinal, este é um dos grandes desafios da vida.

Agradeço de coração a algumas pessoas que muito me ajudaram:

Ao Prof. Dr. Joel Barbujiani Sígolo, que me orientou;
ao pessoal da Sabesp, que me acolheu de forma tão simpática;
e ao Geólogo Mauro Fumio Yamamoto, do Nomos Análises Minerais, que executou todas as análises químicas com grande competência.
Agradeço à Estela e ao Pedro, minha família, que, generosamente, souberam abrir mão da minha atenção, por um tempo tão longo.

Agradeço também à **FAPESP**, que financiou integralmente essa pesquisa.
Agradeço à **SABESP**, que permitiu o acesso às suas instalações para a execução dos trabalhos.
Finalmente, agradeço ao **INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA USP**, que me acolheu há mais de 20 anos. Nessa escola, me tornei geólogo, mestre e doutor.

Muito Obrigado.

SUMÁRIO

RELAÇÃO DAS TABELAS CONTIDAS NA TESE i

RELAÇÃO DOS QUADROS CONTIDOS NA TESE vi

RELAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS CONTIDAS NA TESE vii

RELAÇÃO DAS FIGURAS CONTIDAS NA TESE viii

RESUMO x

ABSTRACT xi

I. INTRODUÇÃO 1

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 2
A. INTRODUÇÃO 2

B. OS ESGOTOS URBANOS 6

C. OS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS 9
1. Etapa de Tratamento Primário 9
2. Etapa de Tratamento Secundário 10
3. Etapa de Tratamento Terciário 12

D. OS METAIS PESADOS 15
1. Ag 15
2. Cd 16
3. Cr 19
4. Cu 21
5. Fe 22
6. Mn 23
7. Ni 25
8. Pb 26
9. Zn 28

E. A DISPOSIÇÃO DOS LODOS DE ETE's NO SOLO 29
1. Utilização como fertilizantes 30
a. Evolução da pesquisa sobre o uso dos lodos na agricultura 30
b. As normas legais para uso de lodos na agricultura 33
2. A disposição dos lodos em aterros 36

F. O ESTUDO EXECUTADO EM BARUERI 38

III. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ESTUDADO 43

A. LOCALIZAÇÃO E ACESSO 43

B. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS 44
1. Clima 44

2. Hidrologia 44
a. Águas superficiais 44
b. Águas Subterrâneas 45
3. Geomorfologia e solos 46

C. GEOLOGIA 46

IV. TRABALHOS EXECUTADOS 48

A. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA RESÍDUOS E SOLOS 48
1. Escolha dos pontos para coleta de amostras 48
2. Materiais e métodos 50
a. Trabalhos de campo 50
. Reconhecimento e planejamento inicial 50
. Verificação de espessuras e delimitação dos corpos 50
. Amostragem 52
b. Trabalhos de laboratório 58
. Preparação das amostras 58
- Secagem inicial 58
- Homogeneização, quarteamento, peneiramento e moagem 58
. Análises químicas 59
- Dosagem de metais 59
- Determinação do pH 60
. Análises Granulométricas 60
. Análises mineralógicas
- Análise mineralógica da fração argila por Difratometria de raios X 60
- Análise mineralógica das frações silte e areia 61
. Observações de morfologias ao Microscópio Eletrônico de Varredura e determinações químicas qualitativas ao EDS 61

B. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA ÁGUA E CHORUMES 61
1. Escolha dos pontos para amostragem 61
2. Materiais e métodos 62
a. Trabalhos de campo 62
. Instalação e recuperação de poços de monitoramento 62
. Amostragem 70
. Análises executadas no campo 70
b. Trabalhos de laboratório 70
. Preparação das amostras 72
. Análises químicas 72

V . RESULTADOS OBTIDOS 73

A. CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS CORPOS DE RESÍDUOS 73
1. Caracterização macroscópica dos corpos de resíduo disposto 73
a. Descrição dos corpos 73
b. Localização dos corpos e dos pontos amostrados 74
2. Caracterização geral dos locais de disposição dos corpos 74
a. Declividade 74
b. Litologias que ocorrem nas áreas de disposição dos corpos 74
3. Características dos resíduos frescos que originaram os corpos 75

a. Época de geração dos resíduos 75
b. Teores de metais nos resíduos antes da sua disposição no local 75
c. Outras características importantes dos resíduos originais 76

B. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DISPOSTOS 76
1. Caracterização química 76
a. pH 76
. Determinação dos valores do pH de abrasão 76
- Corpo Oeste: perfil A 76
- Corpo Sul: perfil A 77
- Corpo Sul: perfil B 77
- Corpo Sul: perfil C 78
- Corpo Leste: perfil A 78
- Corpo Leste: perfil B 79
- Corpo Leste: perfil C 79
Considerações preliminares: 1) Comparação entre os valores obtidos para os pH's dos resíduos dispostos e os pH's dos resíduos frescos 80
. Variação vertical dos valores do pH em cada ponto amostrado 80
Considerações preliminares: 2) As variações dos pH's dos resíduos dispostos em função da profundidade 82
b. Dosagem de metais com abertura por ácidos fortes a quente 83
. Verificação da ocorrência de remoção dos metais dos resíduos 83
- Comparação entre os teores dos resíduos disposto e fresco: cálculo da Parcela Removida 86
Considerações preliminares: 3) A probabilidade da ocorrência ou não da remoção de metais dos resíduos 92
. Verificação da intensidade de remoção dos metais 93
Considerações preliminares: 4) Avaliação quantitativa da remoção de metais dos resíduos 96
. Avaliação qualitativa da distribuição vertical dos teores dos metais 96
Considerações preliminares: 5) O comportamento vertical dos teores dos metais nos resíduos 104
. Detalhamento da variação vertical dos teores de metais 104
Considerações preliminares: 6) Estimativa da variação vertical dos teores dos metais 105
c. Dosagem de metais com abertura por água deionizada a frio 106
Considerações preliminares: 7) A ocorrência de metais sob formas solúveis em água 109
2. Caracterização física 110
a. Caracterização da distribuição granulométrica 110
Considerações preliminares: 8) A composição granulométrica dos resíduos 116
b. Variação vertical da composição granulométrica 116
Considerações preliminares: 9) A variação vertical da composição granulométrica 119
3. Caracterização Mineralógica 119
a. Análise mineralógica da fração argila 119
b. Análise mineralógica das frações silte e areia 120
Considerações preliminares: 10) Composição mineralógica das frações argila, silte e areia 124
4. Caracterização de grãos ao Microscópio Eletrônico de Varredura 125

C. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO SOTOPOSTO AOS RESÍDUOS 141
1. Caracterização química 141

a. pH 141
. Determinação dos valores do pH de abrasão 141
- Corpo Oeste: perfil A 141
- Corpo Sul: perfil A 142
- Corpo Sul: perfil B 142
- Corpo Sul: perfil C 143
- Corpo Leste: perfil A 144
- Corpo Leste: perfil B 144
- Corpo Leste: perfil C 144
- Corpo Leste: perfil D 145
Considerações preliminares: 11) Valores dos pH's do solo 146
. Variação vertical dos valores do pH em cada ponto amostrado 146
Considerações preliminares: 12) A variação vertical dos pH's do solo 148
b. Dosagem dos metais com abertura por ácidos fortes a quente 149
. Avaliação do significado ambiental dos resultados obtidos 149
Considerações preliminares: 13) Comparação dos teores de metais encontrados nos solos com os teores de referência e de intervenção 152
. A variação dos teores dos metais em função da profundidade 155
Considerações preliminares: 14) A variação dos teores em função da profundidade 160
c. Dosagem dos metais com abertura por água deionisada a frio 160
2. Caracterização física 161
a. Caracterização da distribuição granulométrica 161
. Correlação entre os teores da fração argila e os teores de metais 166
Considerações preliminares: 15) Correlação entre os teores de argilas e os de metais 167
3. Caracterização Mineralógica 167
a. Análise mineralógica da fração argila 167
b. Análise mineralógica das frações silte e areia 168
4. Observação de morfologias 169

D. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E CHORUMES 171
1. Caracterização química 171
a. Resultados obtidos nas análises de águas e chorumes 171
. Considerações preliminares: 16) Os resultados obtidos na caracterização dos chorumes 171
. Considerações preliminares: 17) Os resultados obtidos nas análises químicas das águas subterrâneas 183
. Considerações preliminares: 18) Avaliação dos resultados obtidos na caracterização química das águas subterrâneas do ponto de vista ambiental 184
b. O comportamento dos metais contidos no chorume e na água subterrânea em função do pH e do Eh dos meios e suas relações com os resíduos e solos 185
Considerações preliminares: 19) O comportamento dos metais no chorume, água subterrânea, resíduos e solos em função das variações do pH e do Eh em cada meio 187

VI. SÍNTESE E CONCLUSÕES FINAIS 197

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 205

RELAÇÃO DAS TABELAS CONTIDAS NA TESE

TABELA II-1: Evolução da parcela urbana da população mundial.....3

TABELA II-2: População das Regiões Metropolitanas brasileiras (1970 e 1980).....4

TABELA II-3: Produção de lodos residuais pelas 5 ETE's da RMSP até 2015.....6

TABELA II-4: Concentrações Máximas de Metais Pesados Admissíveis em Lodos de ETE's para uso agrícola (mg/kg em base seca).....34

TABELA II-5: Teores médios anuais de metais no Resíduo Fresco de Barueri 39

TABELA IV-1: Histórico da disposição do Resíduo Fresco na área da ETE de Barueri.....48

TABELA IV-2 : Alíquotas quarteadas das amostras de canal e de trado.....58

Tabela IV-3: Memória dos procedimentos adotados para coleta, preparação e análise das amostras de água subterrânea e chorume.....71

TABELA V-1: Principais características dos corpos de Resíduos Dispostos em Barueri.....73

TABELA V-2: Teores médios anuais de metais determinados nos resíduo frescos.....75

TABELA V-3: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil A do corpo Oeste.....76

TABELA V-4: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil A do corpo Sul.....77

TABELA V-5: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil B do corpo Sul.....77

TABELA V-6: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil C do corpo Sul.....78

TABELA V-7: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil A do corpo Leste.....78

TABELA V-8: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil B do corpo Leste.....79

TABELA V-9: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil C do corpo Leste.....79

TABELA V-10: Teores dos metais no resíduo disposto (T_d) Corpo Oeste – Perfil A...84

TABELA V-11: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil A....84

TABELA V-12: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil B....84

TABELA V-13: Teores dos metais no resíduo disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil C...85

TABELA V-14: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil A.....85

TABELA V-15: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil B.....85

TABELA V-16: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil C.....86

TABELA V-17: Teores médios de metais dos resíduos que originaram os corpos 86

TABELA V-18: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Oeste – Perfil A.....87

TABELA V-19: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Leste – Perfil A.....87

TABELA V-20: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Leste – Perfil B.....87

TABELA V-21: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Leste – Perfil C.....88

TABELA V-22: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Sul – Perfil A.....88

TABELA V-23: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Sul – Perfil B.....88

TABELA V-24: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Sul – Perfil C.....89

TABELA V-25: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Oeste Perfil A.....90

TABELA V-26: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Leste Perfil A.....90

TABELA V-27: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Leste Perfil B.....90

TABELA V-28: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Leste – Perfil C.....90

TABELA V-29: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Sul – Perfil A.....90

TABELA V-30: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Sul – Perfil B.....91

TABELA V-31: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Sul – Perfil C.....91

TABELA V-32: Percentuais de amostras sujeitas a cada nível de probabilidade de ocorrência de remoção de metais nos resíduos.....91

TABELA V-33: Maior probabilidade de remoção associada a cada metal em cada corpo de resíduos e no geral, a partir dos valores da parcela removida.....92

TABELA V-34: Taxa de Remoção (R): Corpo Oeste - Perfil A.....93

TABELA V-35: Taxa de Remoção (R): Corpo Leste - Perfil A.....93

TABELA V-36: Taxa de Remoção (R): Corpo Leste - Perfil B.....93

TABELA V-37: Taxa de Remoção (R): Corpo Leste - Perfil C.....94

TABELA V-38: Taxa de Remoção (R): Corpo Sul - Perfil A.....94

TABELA V-39: Taxa de Remoção (R): Corpo Sul - Perfil B.....94

TABELA V-40: Taxa de Remoção (R): Corpo Sul - Perfil C.....94

TABELA V-41: Resumo das Taxas de Remoção Médias (R) nos corpos de resíduo...96

TABELA V-42: Taxa de remoção associada a cada metal em cada corpo de resíduos e no geral, a partir dos valores da parcela removida.....96

TABELA V-43: Diferenças (D_{BT}) entre os teores dos metais na base (T_B) e no topo (T_T) de cada perfil e respectivos Fatores de Concentração na Base (F_{CB}).....105

TABELA V-44: Valores médios de F_{CB} para cada metal nos perfis analisados 105

TABELA V-45: Teores dos metais no resíduo disposto (T_d) Corpo Oeste – Perfil A.....106
TABELA V-46: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil A.....106
TABELA V-47: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil B.....106
TABELA V-48: Teores dos metais no resíduo disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil C.....107
TABELA V-49: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil A.....107
TABELA V-50: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil B.....107
TABELA V-51: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil C.....108
TABELA V-52: Valores médios das parcelas solúveis de cada metal em cada perfil 108
TABELA V-53: Ordem decrescente das Parcelas Solúveis dos metais nos perfis.....109
TABELA V-54: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Oeste Perfil A.....110
TABELA V-55: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil A.....110
TABELA V-56: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil B.....110
TABELA V-57: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil C.....111
TABELA V-58: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil A.....111
TABELA V-59: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil B.....111
TABELA V-60: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil C.....111
TABELA V-61: Resumo das ocorrências das classificações granulométricas.....115
TABELA V-62: Composição granulométrica média de perfis, corpos e resíduos.....116
TABELA V-63: Composição mineralógica da fração < 2μm dos resíduos de Barueri..... 120
TABELA V-64: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Oeste A 120
TABELA V-65: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Leste A 121
TABELA V-66: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Leste B 121
TABELA V-67: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Leste C 121
TABELA V-68: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Sul A.....122
TABELA V-69: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Sul B.....122
TABELA V-70: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Sul C.....123
TABELA V-71: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil A do corpo Oeste.....141
TABELA V-72: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil A do corpo Sul.....142

TABELA V-73: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil B do corpo Sul.....143
TABELA V-74: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil C do corpo Sul.....143
TABELA V-75: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil A do corpo Leste.....144
TABELA V-76: Valor de pH no solo sotoposto ao perfil B do corpo Leste.....144
TABELA V-77: Valor de pH no solo sotoposto ao perfil C do corpo Leste.....145
TABELA V-78: Valores de pH's no solo do perfil D do corpo Leste.....145
TABELA V-79: Valores médios dos pH's de abrasão dos solos sotopostos
TABELA V-80: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Oeste – Perfil A.....146
TABELA V-81: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Sul – Perfil A.....150
TABELA V-82: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Sul – Perfil B.....150
TABELA V-83: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Sul – Perfil C.....151
TABELA V-84: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Leste – Perfil A.....151
TABELA V-85: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Leste – Perfil B.....151
TABELA V-86: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Leste – Perfil C.....151
TABELA V-87: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Leste – Perfil D.....152
TABELA V-88: Teores de referência e intervenção - solos - Estado de São Paulo....148
TABELA V-88a: Distribuição granulométrica do solo Corpo Oeste Perfil A.....161
TABELA V-89: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Sul Perfil A.....161
TABELA V-90: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Sul Perfil B.....162
TABELA V-91: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Sul Perfil C.....162
TABELA V-92: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Leste Perfil A.....162
TABELA V-93: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Leste Perfil B.....162
TABELA V-94: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Leste Perfil C.....162
TABELA V-95: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Leste Perfil D.....163
TABELA V-96: Resumo das ocorrências das classificações granulométricas dos solos.....166
TABELA V-97: Coeficientes de Correlação entre os teores dos metais e os teores de argila nos solos sotopostos a cada perfil.....166
TABELA V-98: Composição mineralógica da fração < 2μm dos solos sotopostos 167
TABELA V-99: Composição mineralógica da fração silte e areia - conjunto dos perfis 168
TABELA V-100: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-01.....172

TABELA V-101: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-02.....173

TABELA V-102: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-03.....174

TABELA V-103: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-04.....175

TABELA V-104: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-05.....176

TABELA V-105: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-06.....177

TABELA V-106: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-07 (PZ-06).....178

TABELA V-107: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-08 (PZ-05).....179

TABELA V-108: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de chorume do poço PM-09.....180

TABELA V-109: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água de todos os poços.....181

Tabela V-110: Comparação entre os teores médios dos metais nos resíduos e o teor medido no chorume do PM-09.....182

Tabela V-111: Relação percentual entre os teores médios dos metais nos resíduos e o teor médio nos chorumes do PM-09.....182

TABELA V-112: Teores de intervenção - água subterrânea - Estado de São Paulo e teores médios determinados para a água subterrânea da área da ETE.....184

RELAÇÃO DOS QUADROS CONTIDOS NA TESE

QUADROS V-1 e V-2: À esquerda, análise química semi-quantitativa de EDS da determinação realizada no material A (núcleo). À direita, análise química semi-quantitativa de EDS da determinação realizada no material B (carapaça).....128

QUADRO V-3: À direita, análise química semi-quantitativa de EDS referente ao material CMCH indicando a presença de Zn e Pb.....129

QUADRO V-4: Relatório de análise química semi-quantitativa por EDS da determinação realizada no FNAC - ponto DE-4.....134

QUADROS V-5 e V-6: À esquerda, relatório analítico de EDS da determinação realizada no ponto DE2 da Fotografia V-14. À direita, resultado de análise química semi-quantitativa por EDS da determinação realizada no ponto DE3 da mesma fotografia.....135

QUADROS V-7, V-8, V-9 e V-10: Da esquerda para direita e de cima para baixo - resultados de análises químicas semi-quantitativas por EDS das determinações realizadas nos pontos a, b, c e d da Fotografia V-15.....136

QUADRO V-11: Resultado de análise química semi-quantitativa por EDS de determinação realizada no material da Fotografia V-16.....138

QUADRO V-12: À direita, relatório analítico de EDS referente ao material da fotografia 28, indicando a presença de Pb e Cu.....139

QUADROS V-13 E V14: Resultados de análises químicas semi-quantitativas por EDS das determinações realizadas nos materiais das Fotografias V-19 e V-20.....140

RELAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS CONTIDAS NA TESE

FOTOGRAFIA V-1: Imagem de AGLE (250X) e respectivo espectro EDS 125

FOTOGRAFIA V-2: Imagem de detalhe do grão AGLE - Elétron retro-difuso - 3500X Pontos a, b c e d submetidos a EDS.....126

FOTOGRAFIAS V-3 e V-4: À esquerda, imagem do grão AVER - Elétron retro-difuso - 200X - indicando a presença de 2 materiais distintos: A (núcleo) e B (carapaça), submetidos separadamente a EDS. À direita, detalhe da carapaça (material B) 1000X.....128

FOTOGRAFIA V-5: À esquerda imagem do material CMCH - 330X - exibindo micro cristais de fosfato de cálcio.....129

FOTOGRAFIAS V-6 e V-7: À esquerda imagem do material FESF - 160X - exibindo morfologia esferoidal com cavidades na superfície. À direita, imagem de grão fraturado de FESF - 300X- exibindo estrutura interna fibro-radiada.....130

FOTOGRAFIAS V-8 e V-9: À esquerda imagem do material FESF - 600X - elétron retro-difuso - exibindo as cavidades na superfície, muitas delas com concentrações de metais. À direita, imagem de detalhe de grão FESF - 2500X- elétron retro-difuso - com análise em seqüência efetuada através de cavidade.....131

FOTOGRAFIAS V-10 e V-11: À esquerda, imagem do material FNAC - 200X - exibindo estrutura colunar, similar à do carvão. À direita, mesma imagem - elétron retro-difuso - exibindo zonas mais brilhantes, ricas em metais.....133

FOTOGRAFIAS V-12 e V-13: À esquerda, imagem do material FNAC-1300X- exibindo estrutura colunar. À direita, mesma imagem - elétron retro-difuso.....133

FOTOGRAFIAS V-14 e V-15: À esquerda, imagem do material FNAC - 15000X - exibindo os pontos analisados DE2 e DE3. À direita, imagem de cristal contido no FNAC - 13.000X- exibindo os pontos analisados a, b, c e d.....135

FOTOGRAFIAS V-16 e V-17: À esquerda, imagem do material LEIC - 110X. À direita, imagem do mesmo material - 1.100X.....137

FOTOGRAFIA V-18: À esquerda imagem das micas - 100X - exibindo cristais individuais.....139

FOTOGRAFIAS V-19 e V-20: À esquerda, imagem de cristal de mica - 1.400X - elétron retro-difuso, com indicação do ponto a. À direita, imagem de outro cristal de mica, 3.500X - elétron retro-difuso, com indicação do ponto b.....139

RELAÇÃO DAS FIGURAS CONTIDAS NA TESE

FIGURA III-1: Mapa de localização e acesso da área estudada.....43
FIGURA III-2: Mapa geológico da região estudada e dos seus arredores.....47
FIGURA IV-1: Mapa geral da área estudada.....51
FIGURA IV-2: Perfil A do Corpo Leste.....53
FIGURA IV-3: Perfil B do Corpo Leste.....53
FIGURA IV-4: Perfil C do Corpo Leste.....53
FIGURA IV-5: Perfil D ao lado do Corpo Leste.....54
FIGURA IV-6: Perfil C do Corpo Sul.....54
FIGURA IV-7: Perfil A do Corpo Sul.....55
FIGURA IV-8: Perfil B do corpo Sul.....56
FIGURA IV-9: Perfil A do Corpo Oeste.....57
FIGURA IV-10: Perfil construtivo e litológico do poço de monitoramento PM-01.....63
FIGURA IV-11: Perfil construtivo e litológico do poço de monitoramento PM-02.....64
FIGURA IV-12: Perfil construtivo e litológico do poço de monitoramento PM-03.....65
FIGURA IV-13: Perfil construtivo e litológico do poço de monitoramento PM-04.....66
FIGURA IV-14: Perfil construtivo e litológico do poço de monitoramento PM-05.....67
FIGURA IV-15: Perfil construtivo e litológico do poço de monitoramento PM-06.....68
FIGURA IV-16: Perfil construtivo do poço de monitoramento chorume pm-09.....69
FIGURA V-1: Variação do pH dos resíduos e tendência de acordo com a profundidade.....83
FIGURA V-2: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Oeste-Perfil A.....97
FIGURA V-3: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Leste-Perfil A.....98
FIGURA V-4: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Leste - Perfil B.....99
FIGURA V-5: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Leste - Perfil C.....100
FIGURA V-6: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Sul - Perfil A.....101
FIGURA V-7: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Sul - Perfil B.....102
FIGURA V-8: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Sul - Perfil C.....103

FIGURA V-9: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Oeste Perfil A 112

FIGURA V-10: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil A 112

FIGURA V-11: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil B 113

FIGURA V-12: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil C 113

FIGURA V-13: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil A 114

FIGURA V-14: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil B 114

FIGURA V-15: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil C 115

FIGURA V-16: Variação vertical Argilas + Siltes Finos - Siltes Grossos + Areias Corpos Oeste e Sul.....117

FIGURA V-17: Variação vertical Argilas + Siltes Finos - Siltes Grossos + Areias Corpo Leste.....118

FIGURA V-18: Espectros EDS dos pontos a, b, c e d do grão de AGLE.....127

FIGURA V-19: Espectros EDS dos grãos FESF das Fotografias V-6 (esquerda) e V-7 (direita).....130

FIGURA V-20: Espectros EDS integrantes do transecto efetuado no grão FESF da Fotografia V-9. Pontos 1 a 6 exibidos da esquerda para a direita e de cima para baixo.....132

FIGURA V-21: Variação vertical dos pH's dos solos sotopostos aos resíduos.....147

FIGURA V-22: Distribuição vertical de metais no solo Corpo Oeste Perfil A.....156

FIGURA V-23: Distribuição vertical de metais no solo Corpo Sul Perfil A.....157

FIGURA V-24: Distribuição vertical de metais no solo Corpo Sul Perfil B.....158

FIGURA V-25: Distribuição vertical de metais no solo Corpo Leste Perfil D.....159

FIGURA V-26: Classificação granulométrica do solo Corpo Oeste Perfil A 163

FIGURA V-27: Classificação granulométrica do solo Corpo Sul Perfil A 164

FIGURA V-28: Classificação granulométrica do solo Corpo Sul Perfil B 164

FIGURA V-29: Classificação granulométrica do solo Corpo Leste Perfil D 165

FIGURA V-30: Classificação granulométrica do solo demais perfis 165

FIGURA V-31: Diagramas de Eh x pH para os metais estudados.....186

RESUMO

Esta Tese estuda o comportamento geoquímico dos metais Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn contidos em lodos residuais gerados na Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, SP, que ficaram expostos a condições intempéricas superficiais tropicais por 5 anos. A ETE de Barueri trata esgotos da Região Metropolitana de São Paulo aplicando o método do Lodo Ativado com uma etapa de Digestão Anaeróbia e outra de Condicionamento Químico por $FeCl_3$ e $Ca(OH)_2$. O resíduo resultante do processo, aqui denominado Resíduo Fresco, teve suas principais características químicas (teores de metais e valores de pH) monitoradas pela própria ETE e foi disposto ao ar livre, constituindo três grandes corpos com espessura média de 2,20m. Nesses corpos, foram coletadas amostras de canal e de trado, tanto dos resíduos quanto do solo a eles sotoposto. Essas amostras foram submetidas à determinação do pH e dos teores de Ag, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Pb e Zn com abertura por ácidos fortes a quente e abertura por água deionizada a frio. Foram determinada também a distribuição granulométrica e a composição mineralógica, bem como investigadas as morfologias em Microscópio Ótico e Microscópio Eletrônico de Varredura. A água subterrânea da área de deposição dos resíduos e os chorumes produzidos por eles também foram analisados para determinação de teores dos mesmos metais, pH, Eh e temperatura. Essas análises levaram à conclusão de que a interação entre processos de natureza endógena (digestão anaeróbia) e exógena (ação do meio ambiente) provocaram a diferenciação vertical dos corpos de resíduos, com individualização de duas zonas distintas: superior (aerada) e inferior (anóxica). A diminuição dos pH's e a solubilização de metais ocorreram de formas distintas em cada uma dessas zonas. Da porção basal, foram removidos principalmente Fe e Mn. Da porção superior foram removidos mais intensamente os demais metais. A grande maioria dos metais removidos ficaram retidos em hidróxidos de ferro dos solos, principalmente no seu primeiro metro de profundidade. Graças a isso, as águas subterrâneas não foram severamente atingidas, com exceção do Fe, Mn e Pb. Concluiu-se finalmente, que os resíduos são geoquimicamente ativos, liberam metais e que a forma da sua disposição no meio ambiente, principalmente a espessura dos corpos depositados, é fator determinante do seu comportamento geoquímico final.

ABSTRACT

This Thesis studies the geochemical behavior of metals Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn contained in residual sludges generated by the Sewage Treatment Plant (STP) in Barueri, São Paulo, which were exposed to superficial tropical weathering conditions for 5 years. The Barueri STP treats sewage originated in the São Paulo metropolitan region by means of the Activated Sludge method, with one stage of Anaerobic Digestion and another stage of Chemical Conditioning by $FeCl_3$ and $Ca(OH)_2$. The residue resulting from the process, herein called Fresh Residue, had its main chemical characteristics (metallic content and pH values) monitored by the STP themselves, and was disposed of in the open air, making up three large bodies 2.2 meters thick on average. In these bodies, channel and auger samples were collected, both from the residues and from the underlying soil. These samples underwent the determination of pH and contents of Ag, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Pb and Zn, with opening by hot strong acids and opening by cold deionized water. Granulometric distribution and mineralogical composition were also determined, and morphologies were investigated under optical and scanning electronic microscopes. Underground water in the residue deposition area and leakages originated by them were also analyzed so as to determine the contents of the same metals, pH, Eh, and temperature. Such analyses lead to the conclusion that the interaction between endogenous (anaerobic digestion) and exogenous (environmental action) processes caused the vertical differentiation of the residual bodies, resulting in two distinct, individualized zones: upper (aerated) and lower (anoxic). The decreasing pH's and the solubilization of metals occurred differently in both zones. From the bottom portion, mainly Fe and Mn were removed. From the top portion, the remaining metals were more intensely removed. Most metals removed were retained in the iron hydroxides contained in the soil, mainly in its top meter. Due to this factor, underground waters were not severely affected, except for Fe, Mn and Pb. In a nutshell, we can conclude that the residues are geochemically active, they release metals, and the form of their disposition in the environment, especially the thickness of deposited bodies, is a determining factor in their final geochemical behavior.

I - INTRODUÇÃO

Esta Tese representa a continuidade da pesquisa desenvolvida por este autor em 1996 quando da finalização de seu mestrado. A dissertação apresentada investigou o comportamento geoquímico de oito espécies de metais pesados presentes em um corpo tabular de lodos residuais provenientes da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de Barueri, SP. Na ocasião, foram avaliadas também algumas influências desses resíduos no solo sotoposto ao corpo. Naquela pesquisa foram analisadas amostras de solos e lodos, sendo feitas as determinações dos conteúdos de metais, do pH de abrasão, da distribuição granulométrica e da composição mineralógica. Também foram executadas análises químicas qualitativas e semi-quantitativas em microscópio eletrônico de varredura e em EDS. Os resultados obtidos foram submetidos a tratamentos matemáticos simples e estatísticos, sendo finalmente interpretados à luz da literatura. Chegou-se então a uma série de conclusões bastante significativas, todas apresentadas na dissertação, e que serão oportunamente discutidas. Iniciou-se, a partir daí, o desenvolvimento de uma linha de pesquisa que resultou na publicação de diversos trabalhos: SÍGOLO & ASSUNÇÃO (1995), ASSUNÇÃO & SÍGOLO (1997), ASSUNÇÃO & SÍGOLO (1998), SÍGOLO & ASSUNÇÃO (2000a); SÍGOLO & ASSUNÇÃO (2000b), SÍGOLO *et al.* (2001) e CORNU *et al.* (2001).

Dada a relevância do tema e a natureza dos resultados que estavam sendo obtidos decidiu-se pelo desenvolvimento de uma nova investigação, mais aprofundada, calcada nos procedimentos adotados na dissertação de 1996 e nos trabalhos subseqüentes. Essa nova pesquisa deveria ter um caráter mais abrangente e buscaria, não só integrar e dar consistência às informações até então levantadas, como serviria para testar os métodos propostos.

O presente volume contém os resultados desse novo trabalho. Nele, foram adotados os mesmos procedimentos para coleta de amostras de solo e resíduo utilizados na primeira pesquisa, bem como a maioria das técnicas de preparação e análise das amostras coletadas. Um diferencial significativo residiu no maior número de amostras analisadas: aproximadamente 6 vezes o número de amostras do trabalho inicial.

Além disso, as amostras foram coletadas em 8 locais diferentes, com características distintas entre si, ao invés de o serem em um único ponto, como no primeiro trabalho. Outro diferencial importante residiu na investigação da ocorrência de metais em dois meios não investigados na pesquisa inicial: a água subterrânea e o chorume gerado pelos resíduos. Neste novo trabalho, esses dois materiais foram amostrados durante um ano hidrológico completo e as amostras submetidas a análises químicas e físico-químicas. Os resultados obtidos através dessas análises vieram se juntar aos resultados obtidos nas análises das amostras de solos e resíduos, originando um conjunto de dados muito mais amplo.

Este volume apresenta, integra e discute as informações e resultados obtidos nessa nova pesquisa.

II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial que vive em meios urbanos vem se acentuando nas últimas décadas. A **Tabela II-1** exibe o total de habitantes de áreas urbanas nos anos de 1950, 1970 e 1985 em diferentes regiões do planeta e aponta as projeções para essas populações nos anos de 2000 e 2020.

TABELA II-1: Evolução da parcela urbana da população mundial
1950 a 1985: Valores levantados; **2000 e 2020:** Valores estimados.

	POPULAÇÃO URBANA									
	VALORES ABSOLUTOS (hab . 10^6)					PARCELA DA POPULAÇÃO TOTAL (%)				
REGIÃO	1950	1970	1985	2000	2020	1950	1970	1985	2000	2020
América do Norte	106	167	195	223	258	63,9	73,8	74,1	74,9	76,7
Europa	220	306	352	385	412	56,3	66,7	71,5	75,1	78,7
Ex-União Soviética	71	137	183	222	264	39,3	56,7	65,6	70,7	73,8
Oceania	8	14	17	21	27	61,3	70,8	71,0	71,3	75,0
América Latina	**67**	**163**	**279**	**419**	**609**	**41,0**	**57,4**	**68,9**	**76,8**	**82,9**
Leste da Ásia	112	265	357	484	768	16,8	26,9	28,6	32,8	45,8
Sul da Ásia	113	237	433	757	1381	16,1	21,3	27,7	36,5	51,4
África	35	81	165	341	767	15,7	22,5	29,7	39,1	52,3
Países Mais Des.	447	698	839	950	1063	53,8	66,6	71,5	74,4	77,2
Países Menos Des.	287	673	1144	1903	3425	17,0	25,4	31,2	39,3	53,1
Mundo	734	1370	1983	2853	4488	29,2	37,1	41,0	46,6	57,4

Fonte: DEMENY (1987a)

DEMENY, (1987b) ressalta o fato de que o crescimento das populações urbanas tem sido muito mais intenso nas regiões economicamente menos desenvolvidas. Exemplo disso, a América Latina passou a ser, a partir do ano 2000, a região com maior parcela relativa da sua população vivendo em ambientes urbanos. Essa região deverá chegar ao ano de 2020 com aproximadamente 609 milhões de habitantes - ou cerca de 82,9% da sua população - vivendo em cidades, se mantidos os atuais índices de crescimento populacional para esta área.

Nesse contexto, o Brasil tem desempenhado papel bastante significativo. Mesmo considerando-se a gradual redução da taxa de crescimento das populações urbanas ocorrida a partir de 1980 (TAVARES & MONTEIRO, 1994), de 4,9% para 2,6% ao ano, e as reduções posteriores que levaram a taxa de crescimento urbano aos

atuais 1,7% ao ano, estima-se que em 2015 cerca de 85% da população brasileira deverá estar vivendo em cidades (REICHENHEIM & WERNECK, 1994).

A intensificação do processo de urbanização brasileiro a partir de 1970 resultou no surgimento de 9 grandes aglomerados urbanos, denominados Regiões Metropolitanas, cujos crescimentos populacionais nas décadas de 70 e 80 são apresentadas na **Tabela II-2.**

TABELA II-2: População das Regiões Metropolitanas brasileiras (1970 e 1980).

	POPULAÇÃO URBANA (hab.)		VARIAÇÃO ABSOLUTA	VARIAÇÃO RELATIVA
REGIÃO	**1970**	**1980**	**(hab.)**	**(%)**
BELÉM	656.351	1.000.349	+ 343.998	+ 52,41
FORTALEZA	1.038.041	1.581.588	+ 543.547	+ 52,36
RECIFE	1.792.688	2.348.362	+ 555.674	+ 31,00
SALVADOR	1.148.828	1.772.018	+ 623.190	+ 54,25
BELO HORIZONTE	1.605.663	2.541.788	+ 936.125	+ 58,30
RIO DE JANEIRO	7.082.404	9.018.637	+ 1.036.233	+ 27,34
SÃO PAULO	**8.137.422**	**12.588.439**	**+ 4.451.017**	**+ 54,70**
CURITIBA	820.766	1.441.743	+ 620.977	+ 75,66
PORTO ALEGRE	1.531.168	2.232.370	+ 701.202	+ 45,80
TOTAL	23.815.301	34.527.274	+ 10.711.973	+ 44,97

Fonte: IBGE, (1990)

O crescimento desses grandes aglomerados urbanos produziu muitas conseqüências indesejáveis, porém, uma, foi especialmente danosa: a instalação de intensos processos de degradação ambiental nas áreas ocupadas. Dentre os recursos ambientais atingidos por esses processos, um dos mais seriamente comprometidos foram os recursos hídricos superficiais.

A demanda por água tratada nos centros urbanos brasileiros tem sido preferencialmente atendida através da captação dos recursos hídricos existentes nas suas imediações, por exigirem menores investimentos para seu aproveitamento. A água é captada, distribuída e utilizada nas mais diversas finalidades, retornando ao meio ambiente sob a forma de esgotos domésticos e industriais. Esses efluentes, se não forem devidamente tratados, acabam por contaminar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos com os quais entram em contato, originando um mecanismo progressivo e cumulativo de degradação ambiental. Muitas vezes esse processo chega a tal magnitude que acaba por atingir e comprometer os próprios mananciais e reservatórios que foram as fontes originais dos recursos hídricos consumidos.

No Brasil, as principais vítimas desse fenômeno têm sido as populações dos grandes centros urbanos da região sudeste, onde é comum a ausência ou insuficiência de redes para coleta de esgotos, bem como de estações para o seu tratamento.

Exemplo disso, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) há muitos anos vem enfrentando sérios problemas para garantir o abastecimento de água à sua população, causados em grande parte pela contaminação de seus próprios recursos hídricos por esgotos. A RMSP é o segundo maior aglomerado urbano do mundo, contando atualmente com uma população aproximada de 18 milhões de habitantes (ETEP-ESTÁTICA-JNS, 1998). Dessa população, cerca de 3,2 milhões de habitantes têm sido freqüentemente submetidos ao racionamento de água. Paradoxalmente, essa mesma população convive com a disponibilidade de recursos hídricos autóctones, em volumes da ordem de 1,0 bilhão de metros cúbicos, armazenados em reservatórios localizados dentro da RMSP, porém totalmente impróprios para o consumo em função da sua contaminação por esgotos.

O Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo e o Projeto de Despoluição do Rio Tietê, ambos já implantados, propõem a recuperação da qualidade ambiental dos recursos hídricos do sistema Pinheiros-Billings e do médio Tietê Superior a médio prazo, através do tratamento dos efluentes industriais e domésticos de toda Região Metropolitana. Já se encontram em operação na RMSP cinco ETE's: Barueri, Suzano, ABC, São Miguel e Parque Novo Mundo. A coleta e o tratamento dos esgotos nessas ETE's, em vazões que deverão variar de 17,82 m^3/s a 49,80 m^3/s (ETEP-ESTÁTICA-JNS, 1999) no período compreendido entre 1999 e 2015, deverá contribuir significativamente para a recuperação da qualidade ambiental dos recursos hídricos da RMSP.

No entanto, existe uma importante contrapartida de caráter negativo para a iniciativa de tratar tais vazões de esgotos: a geração de grandes volumes de lodos residuais, cujas quantidades são exibidas na **Tabela II-3**. O total de lodos produzidos pelas cinco ETE's da RMSP durante os próximos 15 anos deverá atingir a cifra de 3.636.345,40 toneladas, com uma média anual equivalente a 242.423,02 toneladas.

É importante ressaltar também que, para preservar seus recursos hídricos e a qualidade ambiental, um número crescente de municípios brasileiros vem implantando a coleta e o tratamento dos esgotos urbanos. A entrada em operação de

um número cada vez maior de ETE's por todo o Brasil deverá resultar na geração de volumes também crescentes de lodos residuais. Essa grande massa de resíduos exigirá procedimentos criteriosos para sua disposição adequada no meio ambiente.

TABELA II-3: Produção de lodos residuais pelas 5 ETE's da RMSP até 2015

ANO	PRODUÇÃO DE LODO PELAS 5 ETE's DA RMSP ATÉ 2015 (toneladas)						
	PRODUÇÃO DIÁRIA						PRODUÇÃO ANUAL
	BARUERI	SUZANO	ABC	S. MIGUEL	P.N.MUNDO	TOTAL	
1999	127,72	15,11	43,96	21,78	73,89	282,45	103.094,25
2000	133,18	13,87	47,16	23,22	77,99	295,41	107.824,65
2001	138,64	14,87	50,36	24,65	81,93	310,45	113.314,25
2002	190,16	15,87	63,08	34,45	131,24	434,80	158.702,00
2003	198,26	17,89	68,36	37,26	142,48	464,26	169.454,80
2004	206,38	21,95	73,36	40,16	153,61	493,42	180.098,30
2005	221,10	23,87	79,64	52,64	164,62	539,94	197.078,10
2006	233,85	25,79	82,76	56,10	175,67	572,25	208871,25
2007	246,61	27,71	85,88	59,47	186,67	604,42	220.613,30
2008	259,37	29,61	89,00	62,95	197,62	636,64	232.373,60
2009	272,12	31,50	92,13	66,58	208,52	668,96	244.170,40
2010	286,38	31,50	103,08	70,56	219,37	710,89	259.474,86
2011	289,66	31,50	103,52	71,80	221,78	718,26	262.164,90
2012	292,98	31,50	104,03	72,98	224,20	725,70	264.880,50
2013	296,32	31,50	104,56	74,17	226,62	733,17	267.607,50
2014	299,68	31,50	105,08	75,36	229,05	740,68	270.348,20
2015	303,07	31,50	105,71	76,67	231,49	748,44	273.180,60

FONTE: ETEP – ESTÁTICA – JNS (1998)

B. OS ESGOTOS URBANOS

" Considerando-se que o objetivo principal do tratamento de esgotos é garantir a preservação da qualidade ambiental, a disposição final do principal subproduto dos processos de tratamento (lodos) tem de estar de acordo com essa ética"

TYAGY *et al.* (1993)

As primeiras tentativas de tratamento de esgotos urbanos aconteceram em Paris, a partir de 1740, através da utilização de substâncias químicas (CULP, 1967). Nos 100 anos seguintes, um sem número de sistemas de tratamento com base no uso dessas substâncias foi implantado em diversos países da Europa.

As técnicas até então existentes proporcionavam boa remoção de resíduos sólidos dos esgotos, porém a carga orgânica e de patogênicos dos efluentes gerados no processo ainda provocavam sérios inconvenientes à saúde das populações e ao meio ambiente.

Em 1875, mais de 400 métodos diferentes de tratamento químico haviam sido patenteados na Inglaterra, a maioria deles prevendo a adição de cal e sais de ferro, além de outras substâncias, aos esgotos brutos. Os efluentes desses processos eram devolvidos diretamente ao meio ambiente. Esses procedimentos no entanto eram ineficientes, gerando grandes volumes de resíduos, lodos praticamente líquidos, que necessitavam de extensas áreas para o seu descarte. Entre 1880 e 1890 os processos baseados no tratamento químico atingiram o seu auge, havendo mais de 200 estações de tratamento por esse método em operação simultânea na Inglaterra. Mas, a baixa eficiência, a liberação de efluentes ainda sanitariamente inadequados e a geração de grandes volumes de lodos para os quais não havia destinação adequada fizeram com que o tratamento químico fosse gradativamente abandonado.

Em seu lugar, passou a ser utilizado o tratamento biológico, no qual a matéria orgânica presente nos esgotos é degradada por bactérias aeróbias. Esse processo gera efluentes sanitariamente mais adequados que o processo químico e resulta em menores volumes de lodos. Por isso, por volta de 1910, a grande maioria das estações já adotava o tratamento biológico, também conhecido por Processo de Lodos Ativados.

CULP (1967) assinala que o interesse por procedimentos químicos de tratamento de esgotos foi retomado a partir do artigo de RUDOLFS *et al.*, publicado em 1929, que descrevia os benefícios trazidos ao processo biológico pela adição de pequenas doses de cloreto de ferro - entre 5 e 15 mg para cada litro de esgoto tratado. O principal objetivo desse procedimento era melhorar a eficiência do processo como um todo, viabilizando etapas de coagulação e sedimentação após a digestão.

Entre 1936 e 1941 foram publicados diversos trabalhos envolvendo esses procedimentos (RUDOLFS & GEHM, 1936a, 1936b, 1936c, 1936d e 1938 e GEHM, 1938, 1939 e 1940). Neles, foram avaliados os comportamentos de parâmetros importantes no processo, como o pH e a DBO (Demanda Biológica de Oxigênio), na presença dos agentes químicos. Pesquisou-se também a influência desses agentes

(cal e cloreto de ferro) no andamento da digestão biológica, bem como a relação entre a eficiência da digestão e as quantidades de reagentes utilizados.

HAYES & THEIS, (1978) assinalam que as pesquisas sobre os processos de tratamento de esgotos nos anos 30 e 40 priorizavam os aspectos tecnológicos relacionados a procedimentos, instalações e equipamentos, e abordavam apenas pontualmente alguns aspectos ligados à química e à bioquímica dos processos. Dentre esses trabalhos, destaca-se o de RUDOLPHS & ZELLER (1932), que discute a toxicidade de alguns metais sobre o meio biológico responsável pela digestão dos esgotos. Esses autores observaram que os processos de tratamento primário e biológico removiam taxas significativas (50% a 60%) dos metais existentes nos esgotos, gerando lodos com teores de metais entre 6 e 37 vezes maiores que os teores dos esgotos originais.

A partir da década de 50, as pesquisas começaram a concentrar-se em dois objetos até então pouco estudados: o papel das bactérias no processo de digestão e o comportamento dos metais presentes nos esgotos durante o tratamento. STONES (1956, 1958a, 1958b, 1959 e 1960) pesquisou em detalhe o comportamento e o destino de diversos metais durante o processo de tratamento por lodos ativados, relatando a redução de 30% a 90% dos teores de Fe^{3+}, Cu^{2+}, Pb^{2+}, Ni^{2+} e Zn^{2+} nas etapas de tratamento primário e secundário, tendo verificado ainda que esses metais eram incorporados aos lodos gerados.

O interesse dos pesquisadores por esses novos objetos, principalmente pelo segundo, tinha razão de ser. Das primeiras iniciativas de tratamento químico de esgotos, na Paris de 1740, aos processos químicos e biológicos empregados nas novas ETE's em operação em meados do século XX, as características dos esgotos urbanos haviam mudado radicalmente. A urbanização e a industrialização aceleradas da Europa e Estados Unidos a partir do final do século XVIII resultaram, após 200 anos, não só na geração de volumes imensamente maiores de esgotos domésticos, como na incorporação de maciços volumes de efluentes industriais das mais variadas fontes e origens, contendo enorme gama de compostos orgânicos e inorgânicos.

No final da década de 60, as novas técnicas, equipamentos e instalações disponíveis para o tratamento de efluentes, associados à complexidade crescente da matriz dos esgotos deram origem a um grande esforço de pesquisa voltado à

compreensão dos diversos mecanismos físicos, químicos, biológicos, físico-químicos e bioquímicos envolvidos. A partir daí, as influências recíprocas entre esses mecanismos e os metais pesados presentes nos esgotos foram um dos temas mais exaustivamente estudados.

C. OS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

As técnicas de tratamento de esgotos empregadas atualmente combinam procedimentos físicos, mecânicos, biológicos, bioquímicos e químicos. Nos processos mais empregados, esses procedimentos são agrupados em três etapas principais (ECKENFELDER, 1991; DAMASCENO, 1996):

1. Etapa de Tratamento Primário

Esta etapa constitui-se em um conjunto de processos físicos simples (sedimentação e decantação primárias) que têm por objetivo remover as partículas sólidas sedimentáveis presentes nos esgotos. Essa remoção tanto reduz a massa total de materiais a serem submetidos ao processo biológico secundário como promove a retirada dos metais associados aos sólidos sedimentados, diminuindo os riscos criados pela sua presença à eficiência da etapa seguinte do processo de tratamento (BARTH *et al.*, 1965).

KEMPTON *et al.* (1987b), afirmam que a solubilidade dos metais numa matriz tão complexa como a dos esgotos é controlada pela concentração dos metais na fase solúvel e, principalmente, pelo teor de partículas sólidas em suspensão nos esgotos afluentes. Também é salientada a influência da capacidade de complexação, da estabilidade dos complexos orgânicos solúveis formados, da capacidade dos metais de se precipitarem diretamente na solução e da tendência dos metais de se agregarem à superfície das partículas sólidas presentes. Por outro lado, os metais em solução podem ser incorporados à fase sólida através dos mecanismos de precipitação direta; adsorção ou complexação a partículas sólidas pré-existentes; e precipitação seguida de associação do precipitado a partículas sólidas pré-existentes.

No tratamento primário, os processos de decantação e sedimentação nada mais fazem do que concentrar a fase sólida, à qual estão incorporadas parcelas importantes dos metais, gerando o Lodo Primário.

KEMPTON *et al.*, (1987a) observam que o tratamento primário pode remover de 40% a 70% do Cd, Cr, Cu, Pb e Zn dos esgotos, havendo no entanto metais, como Ni e Mn, que são removidos em escala menor (20% a 30%). VANNI *et al.*, (1994), estudando a composição dos materiais particulados presentes nos esgotos, concluíram que parcela significativa dos metais da fase insolúvel está adsorvida ou incorporada a partículas das mais variadas naturezas, de minerais cristalinos a fragmentos amorfos de origem orgânica.

Em algumas estações de tratamento, o lodo primário com sua carga de metais pode ser submetido a uma etapa adicional de tratamento, denominada Tratamento Terciário ou Tratamento dos Lodos, que será oportunamente abordada. Já nas estações que não executam o tratamento terciário, o lodo primário é removido do sistema para disposição final em local adequado. Os efluentes líquidos do tratamento primário seguem para o Tratamento Secundário.

2. Etapa de Tratamento Secundário

O tratamento secundário baseia-se no que KIFF (1978), denomina "processo de biofloculação de lodos ativados". Este processo pode ser dividido em duas etapas essenciais: a etapa do Reator Biológico e a etapa da Separação de Fases (BROWN & LESTER, 1979).

Os efluentes do tratamento primário são encaminhados ao Reator Biológico, para serem submetidos à digestão da matéria orgânica. No reator, populações de bactérias proliferam em ambiente aeróbio, oxidando a matéria orgânica e convertendo-a em dióxido de carbono, água e tecido celular. Segundo LESTER, (1983) o processo de crescimento e morte das bactérias dá origem a flocos biológicos, que BROWN & LESTER, (1982) denominam "polímeros bacterianos extracelulares", constituídos principalmente por polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos.

McKINNEY, (1952) foi um dos primeiros pesquisadores a propor uma explicação para a formação desses flocos: a mútua repulsão eletrostática entre células negativamente carregadas, verificada principalmente em culturas bacterianas já maduras. A formação de flocos biológicos durante o processo de digestão aeróbia é de grande importância para o processo de tratamento dos esgotos por dois aspectos: facilita, posteriormente, os processos de decantação e sedimentação da massa biológica e fixa os metais dissolvidos, presentes nos esgotos.

BROWN & LESTER, (1979), citando OLIVER & COSGROVE, (1974); BROUW *et al.*, (1973) e CHEN *et al.*, (1974), afirmam que o processo biológico é mais eficiente na fixação e remoção de metais do que o tratamento primário. NEUFELD & HERMAN, (1975), pesquisando a remoção dos metais Cd, Zn e Hg de efluentes, no tratamento secundário, constataram que eles concentraram-se na superfície dos flocos biológicos, em teores entre 4.000 e 10.000 vezes superiores aos teores medidos na solução.

CHENG *et al.*, (1975) propuseram um modelo de dois estágios para a adsorção dos metais à superfície dos flocos biológicos: no primeiro modelo, denominado estágio rápido, por durar de 3 a 10 minutos, a maior parte dos metais presentes na solução agrega-se rapidamente aos flocos biológicos. No segundo estágio, mais lento, podendo estender-se por horas, agregam-se aos flocos pequenas quantidades dos metais ainda disponíveis na solução, até que seja atingida uma fase de equilíbrio. CHEN, (1974) propôs dois mecanismos para explicar a agregação dos metais aos flocos: o primeiro seria o do aprisionamento de micro-fragmentos contendo metais diretamente na matriz de flocos biológicos. O segundo, seria o do estabelecimento de ligações químicas entre cátions metálicos e substâncias orgânicas, como ácidos urônicos, hexurônicos e hexosaminas, que integram os polímeros extracelulares e possuem carga negativa.

Ao final da digestão aeróbia, a mistura de água e flocos biológicos aos quais se agregaram os metais é encaminhada à etapa de Separação de Fases, que ocorre em decantadores secundários. As duas etapas do tratamento secundário acontecem em circuito fechado, permitindo o retorno da fase líquida dos decantadores ao processo de digestão, para eventual tratamento adicional. A massa biológica rica em metais, separada nos decantadores, é denominada Lodo Ativado.

O lodo ativado tanto pode ser submetido a uma etapa adicional de tratamento juntamente com o lodo primário (Tratamento Terciário), como pode ser removido do sistema para disposição final (estações sem a etapa de tratamento terciário). Os efluentes líquidos do tratamento secundário, se tiverem atingido as características sanitárias adequadas, são devolvidos ao meio ambiente, e em não sendo, são reprocessados.

3. Etapa de Tratamento Terciário

Essa etapa consiste no tratamento do Lodo Primário e do Lodo Ativado, ambos gerados nos processos anteriores. Ela subdivide-se nas fases de estabilização, condicionamento químico e desidratação do lodo.

Para a estabilização dos lodos, um dos processos mais utilizados é o da Digestão Anaeróbia. LESTER *et al.*, (1983) afirmam ser a digestão anaeróbia o mecanismo mais adequado para o tratamento de resíduos agressivos, como é o caso dos lodos ativados, embora ela não propicie a sua estabilização total. A performance do sistema é prejudicada pelo acúmulo da biomassa produzida junto aos efluentes gerados em ambiente fechado. Assim, a redução da DQO (demanda química de oxigênio) e a destruição dos sólidos não são completas.

LESTER *et al.*, (1983) dividem a digestão anaeróbica em duas etapas: a não metanogênica e a metanogênica. A etapa não metanogênica inicia-se com a hidrólise de gorduras, proteínas e polissacarídeos presentes no lodo ativado, originando ácidos graxos de cadeia longa, glicerol, peptídeos de cadeia curta, aminoácidos, monossacarídeos e dissacarídeos. A partir daí, inicia-se o processo de formação de ácidos, com a geração de hidrogênio, ácidos fórmico e acético, ácidos graxos, cetonas e álcoois. Essas substâncias serão o substrato para o desenvolvimento de bactérias acetogênicas, cujos metabolismos vão gerar hidrogênio e acetatos. Inicia-se então a etapa metanogênica, onde outras cepas de bactérias vão consumir esse substrato, gerando metano, dióxido de carbono e água.

A digestão anaeróbia dos lodos ativados pode resultar na redução de 60 a 75% dos sólidos voláteis, restando ao final do processo um resíduo orgânico composto

por uma mistura de tecidos microbianos, lignina, celulose, gorduras, compostos orgânicos nitrogenados e ácidos húmicos. Esses materiais constituem a matriz do Lodo Digerido.

Cabe lembrar que os lodos ativados submetidos à digestão anaeróbia carregam consigo a carga de metais, removida dos esgotos nos tratamentos primário e secundário. Alguns autores afirmam que, na digestão anaeróbia, a hidrólise dos polímeros biológicos pode provocar a liberação dos metais para a solução. Entretanto, LESTER *et al.*, (1983), contrariando essa tese, afirmam que a digestão anaeróbia reduz a fração solúvel da maioria dos metais presentes nos lodos, levando considerável proporção dos metais a permanecer fortemente associada à fase sólida, em compostos como sulfetos, por exemplo. Afirma também que os compostos inorgânicos são predominantes no lodo, havendo evidências, no entanto, de que as interações metais - compostos orgânico não são desprezíveis.

Ao final da digestão anaeróbia, o lodo residual estabilizado apresenta teores de resíduos sólidos totais próximos a 4%, sendo portanto ainda praticamente líquido. A redução do teor de água do lodo estabilizado é obtida inicialmente pelo processo de Condicionamento Químico. Nesse processo, o lodo estabilizado sofre a adição de substâncias químicas que propiciam a coagulação, floculação e sedimentação das partículas em suspensão, gerando o Lodo Condicionado, que é, finalmente, submetido ao processo de desidratação que pode ser mecânica ou térmica, originando o Lodo Condicionado Desidratado. Este lodo, que normalmente tem cerca de 40% de Resíduos Sólidos Totais, é o resíduo final do processo de tratamento. Este é o resíduo que deverá ser removido do sistema de tratamento e disposto em local ambientalmente adequado.

Cabe salientar a especial importância do processo de condicionamento químico, pois é nessa operação que são definidas as características físico-químicas finais dos resíduos. Uma das técnicas mais utilizadas para o condicionamento químico é a adição de $Ca(OH)_2$ e $FeCl_3$ ao sistema, de forma a induzir a coagulação dos colóides orgânicos e inorgânicos presentes nos lodos digeridos. Como efeito adicional, a adição desses compostos promove a precipitação química dos metais presentes, sob a forma de hidróxidos, óxidos e sais. A precipitação de compostos metálicos em função

do processo de condicionamento químico é descrita em detalhes por LINSTED *et al.*, (1971); NILSSON, (1971); MARUYAMA *et al.*, (1975); HANNAH *et al.* (1977) e JORGENSEN & JOHNSEN, (1989).

A adição dos reagentes $FeCl_3$ e $Ca(OH)_2$ aos lodos digeridos provoca inicialmente as seguintes reações (ECKENFELDER,1991):

1) $CaO + H_2O \Leftrightarrow Ca^{2+} + 2OH^-$
$Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^- \Leftrightarrow CaCO_3 + H_2O$
$5Ca^{2+} + 4OH^- + 3HPO_4^{2-} \Leftrightarrow Ca_5(OH)(PO_4)_3 + 3H_2O$ pH : 11

2) $FeCl_3 + 3H_2O \Leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3Cl^- + 3H^+$ pH : 6 a 7

Na ETE de Barueri, a interação entre esses processos leva o pH final do sistema a situar-se próximo a 12, favorecendo a precipitação de hidróxidos de ferro, hidróxidos metálicos diversos, carbonatos de cálcio e magnésio e fosfatos hidratados de cálcio.

É importante ressaltar a presença do $Fe(OH)_3$ nos lodos e o papel que esse composto pode assumir na retenção de outros metais. O Fe^{3+}, contido no $FeCl_3$ adicionado ao sistema, precipita-se em presença do $Ca(OH)_2$ originando hidróxidos de ferro. Diversos autores estudaram a influência dos hidróxidos de ferro no comportamento de outros metais. JENNE, (1968) apresenta um extenso trabalho discutindo o papel de hidróxidos de Fe e Mn na retenção e fixação de cátions metálicos. LU *et al.*, (1977); KALBASI *et al.*, (1978); FULLER & WARRICK, (1985); ELLIOT *et al.*, (1986) e LOXHAM, (1988), também discutem as implicações deste fenômeno.

Por tudo que foi exposto até aqui, conclui-se que os resíduos finais resultantes dos processos de tratamento de esgotos, quer sejam lodos primários, ativados, digeridos ou condicionados, são materiais quimicamente muito complexos, gerados em grandes volumes, nos quais ocorrem concentrações de metais que podem chegar a 10^4 vezes o teor dos esgotos originais (LAGERWERFF *et al.*, 1976). Assim, paradoxalmente, a ação saneadora do tratamento dos esgotos urbanos pode levar à geração de grandes volumes de um subproduto ambientalmente perigoso: lodos residuais ricos em metais pesados.

D. OS METAIS PESADOS

Do ponto de vista químico, existem na natureza cerca de 38 elementos classificáveis como metais pesados (COTRIM, 1991). Estes elementos são bons condutores de eletricidade, mostram relação inversa entre sua condutividade elétrica e a temperatura absoluta, relação direta entre sua resistividade elétrica e a temperatura absoluta, e além disso têm peso específico igual ou superior a 5,0 g/cm^3 (FORSTNER & WITTMANN, 1981). Do ponto de vista ambiental, a denominação "metais pesados" é utilizada para identificar um conjunto de cátions causadores de impactos negativos ao meio ambiente. Esse conjunto é constituído na realidade por metais e metalóides, principalmente Ag, As, B, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn e Zn. Dentre estes metais, alguns são descritos a seguir de forma resumida: os mais comuns em lodos de ETE's e que integram a parte experimental deste trabalho. As informações relatadas foram obtidas a partir dos trabalhos de FORSTNER & WITTMANN (1981), FERGUSSON, (1990), ALLOWAY, (1991) e MOORE (1991).

1) Ag

A prata é um elemento relativamente raro, cuja concentração média na crosta é de 0,7 mg/kg. As rochas sedimentares apresentam concentrações que variam entre 0,05 mg/kg a 0,25 mg/kg. Alguns folhelhos orgânicos podem contê-la em teores de até 1,0 mg/kg. No solo, apresenta-se em média com teores próximos a 0,1 mg/kg.

Este metal tem importância histórica e econômica na sociedade humana. Atualmente, os seus principais usos ocorrem na indústria fotográfica, na indústria joalheira, na cunhagem de moedas, na indústria de materiais médico-odontológicos e na indústria eletro-eletrônica.

A prata ocorre economicamente em minérios sulfetados, sob formas maciças e disseminadas, ou em veios. Normalmente, é componente secundário, associando-se a minerais de outros elementos, como Galena e Esfalerita.

A prata faz parte do grupo I B da Tabela Periódica, sendo o mais reativo dos metais nobres. Ocorre sob três espécies catiônicas, Ag^+, Ag^{2+} e Ag^{3+}, das quais a espécie monovalente é ambientalmente a mais importante. Essa espécie pode ocorrer

nos meios aquáticos superficiais sob diversas formas, incluindo AgCl, Ag_2S, AgSe, Ag_3AsS_3 e $Na(AgCl_2)$, esta última onde ocorre excesso de NaCl.

A prata pode formar complexos inorgânicos duplos com enxofre, arsênio, antimônio, selênio e telúrio. Forma também complexos orgânicos, principalmente com ácidos húmicos, insolúveis em pH's ácidos, e que tendem a ser adsorvidos, em magnitudes decrescentes, por: dióxidos de manganês, hidróxidos de ferro, argilas montmorilloníticas, argilas illíticas e argilas caoliníticas.

O comportamento da prata nos solos é fortemente influenciado pelas condições de pH e Eh, bem como pela intensidade da sua interação com a matéria orgânica. Estudos indicam que uma vez acumulada no solo, a prata tende a ser menos móvel que outros metais. Essa baixa mobilidade no entanto, pode aumentar na presença de matéria orgânica ou em situações de diminuição do pH.

Experimentos de laboratório têm mostrado que a prata é um dos mais tóxicos elementos a microorganismos, interferindo por isso nos processos bio-geoquímicos do solo. DRUCKER *et al.*, (1979) mostraram que teores de prata da ordem de 1,0 mg/kg reduziram significativamente o número total de bactérias aeróbias presentes no solo. Dentre 17 metais testados, a prata mostrou-se o mais tóxico. MOORE, (1991) ressalta, entretanto, que a maior parcela da prata no meio ambiente tende a permanecer sob formas não bio-disponíveis.

A intoxicação humana aguda por prata leva a dores abdominais violentas, convulsões e choque. Já a intoxicação crônica leva à argiria, na qual ocorre pigmentação cinza-ardósia dos cabelos, pele e órgãos internos. Os compostos de prata não são considerados carcinogênicos, mutagênicos ou teratogênicos.

De forma geral, a prata não é contaminante importante do meio ambiente. No entanto, em situações particulares, alguns resíduos que a contêm podem oferecer riscos ambientais. Nessa situação, destacam-se os lodos de estações de tratamento de esgotos, que podem conter Ag em teores da ordem de até 960 mg/kg.

2) Cd

O cádmio é um elemento relativamente raro, ocupando a posição de nº 67 na tabela de abundância dos elementos. Tem peso atômico 112,41, número atômico 48 e densidade de 8,65 g/cm^3. Funde a 320,9 °C e entra em ebulição a 765 °C.

Sua concentração média na crosta é de 0,1 mg/kg. Nos basaltos ocorre em teores de 0,13 mg/kg e nos granitos de 0,09 mg/kg. Os teores médios em folhelhos, calcáreos e arenitos são respectivamente 0,22 mg/kg, 0,028 mg/kg e 0,05 mg/kg.

O cádmio ocorre como subproduto nos minérios ZnS (Esfalerita) em teores normalmente situados entre 0,02 e 1,4% e $(Cu,Zn)(Sb,As)_4\ S_{13}$ (Tetraedrida-Tennartita) em teores médios de 0,6%. Existe uma clara relação entre Cd e Zn, também existente entre Cd e matéria orgânica. No carvão, o cádmio pode ocorrer em teores entre 0,01 e 22 mg/kg; na turfa entre 0,37 e 190 mg/kg e em óleos crus, entre 0,01 e 16 mg/kg.

Sua produção em 1985 foi da ordem de 14.000 toneladas anuais. Como um subproduto de minérios sulfetados de Zn, Pb e Cu, é produzido na razão de 3,0 a 3,5 kg para cada tonelada de Zn. Em 1985, o seu consumo anual foi equivalente a 14.000 toneladas. Dessa data até os dias atuais a produção praticamente estagnou-se em função dos problemas ambientais causados por ele.

Os principais usos do cádmio são: na galvanoplastia em coberturas anticorrosivas (uso em decréscimo) (22%); na fabricação de pigmentos amarelos e vermelhos para plásticos, tintas e cerâmicas (em decréscimo) (22%); como estabilizador de PVC contra calor, luz e descoloração (uso este restringido por questões ambientais) (12%); na fabricação de baterias recarregáveis de Ni/Cd (em expansão) (37%); na metalurgia (4%) e na fabricação de hastes de controle em reatores nucleares.

O cádmio faz parte do grupo II B da Tabela Periódica. Os seus compostos com baixa solubilidade em água são: CdO, CdS, $Cd(OH)_2$, $CdCO_3$ e $CdSiO_3$, cada composto com solubilidade relacionada a uma faixa de pH. Os óxidos de Cd têm estrutura cristalina semelhante à do NaCl e são solúveis em ácidos, resultando no cátion Cd^{2+}. O caráter básico dos seus óxidos resulta na sua baixa solubilidade em meio alcalino. Os hidróxidos de Cd precipitam-se a partir de soluções alcalinas mas redissolvem-se em pH's muito elevados, de acordo com as seguintes reações:

$$Cd^{2+} + 2OH^- \Leftrightarrow Cd(OH)_2$$

$$Cd(OH)_2 + 1 \text{ ou } 2OH^- \Leftrightarrow Cd(OH)_3^- \text{ ou } Cd(OH)_4^-$$

O $Cd(OH)^+$ em solução também é espécie conhecida, sendo provavelmente o produto inicial da hidrólise do Cd^{2+}: $Cd^{2+} + H_2O \Leftrightarrow Cd(OH)^+ + H^+$.

Em ambientes ricos em íons cloreto, podem precipitar-se hidroxi-cloretos de Cd(CdClOH), onde Cl^- e OH^- fixam-se em camadas alternadas dentro de uma estrutura cúbica.

Os carbonatos de Cd apresentam estrutura romboédrica semelhante à do $NaNO_3$ e têm baixa solubilidade (log Ksp= -13,7). Eles são solúveis em ácidos, só existindo como precipitados em pH's superiores a 8. Os carbonatos são especialmente importantes em ambientes de água doce. No mar, tendem a converter-se em cloro-espécies. O haleto de Cd mais importante é o cloreto ($CdCl_2$), que também cristaliza-se segundo estrutura cúbica. Todos os haletos de Cd são solúveis em água, podendo originar íons complexos como: CdX^+, CdX_3^- e CdX_4^{2-}. Em concentrações próximas a 10^{-3} moles/l de íons Cl^- os cloro-complexos começam a ter maior importância que os outros haletos. Em concentrações próximas a 0,06 moles/l de Cl^- as principais espécies formadas são Cd^{2+}, $CdCl^-$ e $CdCl_2$.

O cádmio tem forte afinidade por enxôfre. Os íons Cd^{2+} e S^{2-} são mutuamente polarizáveis, resultando em ligações químicas muito fortes. Os sulfetos de Cd podem apresentar estrutura cúbica, como a da Blenda, ou hexagonal, como a da Wurzita, ambos com solubilidade muito baixa na água (logK= -27,2). Em ambientes redutores, os sulfetos são a espécie mais estável, mas em meio oxidante desestabilizam-se, originando sulfatos solúveis. Carbonatos e sulfetos de Cd também podem ocorrer juntos, dependendo do equilíbrio da reação:

$$CdCO_3(s) + H_2S(g) \Leftrightarrow CdS(s) + H_2O + CO_2(g) \quad \log K=12,24$$

O comportamento do cádmio em meio aquoso é fortemente influenciado pelas condições de pH e Eh. No sistema $Cd/S^{2-}/CO_3^{2-}/OH^-$ tem-se o seguinte comportamento:

. pH's inferiores a 8: a espécie Cd^{2+} é a mais estável em ambientes oxidantes a levemente redutores. Na hipótese de ambientes com caráter mais redutor, a espécie estável passa a ser a dos sulfetos, insolúveis;

. pHs' entre 8 e 10: os carbonatos são a espécie mais estável mesmo em ambientes moderadamente redutores. Na hipótese de ambientes mais agressivamente redutores a espécie mais estável passa a ser, novamente, a dos sulfetos, insolúveis;

. pH's entre 10 e 13: precipitam-se hidróxidos de Cd. Em ambientes muito redutores precipitam-se os sulfetos de Cd;

. pH's superiores a 13: a espécie mais estável é a $Cd(OH)^{3-}$, solúvel.

O Cd e o Hg são os metais mais tóxicos para o homem. KIRK & LESTER, (1984) afirmam que o cádmio, uma vez absorvido, concentra-se no organismo humano, principalmente nos rins e no fígado. A sua excreção é feita principalmente através da urina. O acúmulo no córtex renal pode levar à diminuição da reabsorção de proteínas, resultando em proteinúria, excreção de proteínas de baixo peso molecular pela urina. Um exemplo muito estudado de envenenamento crônico por cádmio ocorreu no Japão. A água consumida pela população e as plantações de arroz no vale do rio Jintsu foram contaminadas durante muito tempo por efluentes de mineração, portadores de teores significativos do metal. Metade dos casos de envenenamento resultou em morte.

Existem evidências limitadas de que os compostos de cádmio são carcinogênicos para seres humanos. Não há evidências de que sejam mutagênicos ou teratogênicos.

O cádmio é elemento de alto risco ambiental. As principais fontes antropogênicas são efluentes industriais, fertilizantes fosfatados, efluentes de mineração e lodos de estações de tratamento de esgotos.

3) Cr

O cromo ocupa o nº 21 na tabela de abundância relativa dos elementos. Tem peso atômico 51,99, número atômico 24 e densidade de 7,19 g/cm^3. Funde a 1857 °C e entra em ebulição a 2677 °C.

É um elemento cuja concentração média na crosta é de da ordem de 100 mg/kg. As rochas ultramáficas são as mais rica em Cr, apresentando teores médios de 1800 mg/kg. As rochas basálticas e graníticas apresentam respectivamente teores médios de 220 mg/kg e 20 mg/kg de Cr. Folhelhos e argilas apresentam em média 120

mg/kg desse metal, enquanto calcáreos e arenitos portam teores da ordem de 10 mg/kg e 35 mg/kg, respectivamente.

O cromo tem importância econômica desde 1877, quando passou a ser utilizado em ligas metálicas. É resistente à oxidação, conferindo propriedades anti-corrosivas às ligas às quais é adicionado. A produção mundial de minério de cromo em 1990 foi de 10.000 x 10^3 toneladas. Atualmente os seus principais usos são na indústria metalúrgica, na indústria de refratários e na indústria química. O cromo é utilizado na fabricação de pigmentos, em cerâmicas, em inibidores de corrosão, em produtos eletrônicos, fungicidas, bateriais, fitas magnéticas e em diversos outros materiais. Ocorre economicamente em rochas ultramáficas ricas no mineral Cromita, variedade de espinélio resultante da solução sólida entre Cr_2O_3 e FeO.

O cromo faz parte do grupo VI B da Tabela Periódica, podendo ocorrer em diversos estados de oxidação, dos quais os mais comuns são as espécies Cr (III) e Cr (VI). A forma reduzida é a mais estável em ambientes superficiais. O Cr (VI) é espécie fortemente oxidante e, na presença de matéria orgânica, reduz-se a Cr (III), sobretudo em condições ácidas. Essa reação ocorre nos solos e, por isso, nesse meio o cromo predomina sob a forma reduzida, geralmente incorporado a óxidos ou hidróxidos insolúveis. Na água, as principais espécies portadoras de Cr (III) são $CrOH^{2+}$, $Cr(OH)_2^+$ e $Cr(OH)_4^-$.

O Cr (VI) ocorre em solução como componente de diversos ânions complexos, cujas naturezas variam de acordo com o pH. Podem ser originadas as espécies: cromato (CrO_4^{2-}), hidroxi-cromatro ($HCrO_4^-$) e dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$). Em pH's neutros a espécie mais comum é o cromato, enquanto os dicromatos só ocorrem em ambientes muito ácidos.

O cromo também pode formar complexos orgânicos estáveis e cineticamente inertes. Nessas reações, o Cr (III) é hexa-coordenado e forma preferencialmente complexos com aminas.

A adsorção de Cr (VI) por argilominerais, hidróxidos de ferro e óxidos de ferro e manganês é geralmente muito pequena. Já a adsorção de Cr (III) é muito rápida, principalmente em alguns argilominerais. Dessa forma, enquanto o Cr (VI) é muito móvel em ambientes aquáticos, o Cr (III) é rapidamente fixado nos sedimentos. A taxa de adsorção dessa espécie aumenta com o aumento do pH.

O cromo é micronutriente essencial para os animais. No homem, a espécie Cr (III) têm ação fisiológica sobre a insulina, tendo importância no metabolismo da glicose.

Os compostos de Cr (VI) são mais tóxicos para os seres humanos que os compostos de Cr(III). Intoxicações agudas por Cr (VI) podem causar diarréias, náuseas, danos ao fígado e aos rins, hemorragias internas, dermatites e problemas respiratórios. Já as intoxicações agudas por Cr (III) são extremamente raras. Há evidências de que a exposição crônica a cromatos de cálcio, chumbo, estrôncio e zinco , todos contendo Cr (VI) é carcinogênica. Os compostos solúveis de Cr (VI) são também freqüentemente mutagênicos. Já em relação aos compostos de Cr (III), não há evidências de que sejam carcinogênicos, mutagênicos ou teratogênicos.

Na contaminação ambiental, as fontes mais importantes de cromo são os efluentes industriais, efluentes domésticos, lodos de estações de tratamento de esgotos, resíduos metálicos e deposição atmosférica.

4) Cu

O cobre ocupa a 26ª posição na lista de abundância dos elementos. Tem peso atômico 63,546, número atômico 29 e densidade de 8,96 g/cm^3. Funde a 1083 °C e entra em ebulição a 2567 °C.

Sua concentração média na crosta é da ordem de 50 mg/kg. As rochas basálticas e graníticas apresentam respectivamente teores médios de 90 mg/kg e 15 mg/kg de Cu. Folhelhos e argilas apresentam em média 50 mg/kg desse metal, enquanto calcáreos e arenitos portam teores da ordem de 20 mg/kg e 40 mg/kg, respectivamente. Nos solos o teor de Cu pode variar de 2 a 150 mg/kg, principalmente em função da natureza geológica da rocha original.

Os usos modernos do cobre incluem a indústria de fios e componentes elétricos, a indústria metalúrgica, onde é utilizado na fabricação de ligas, indústria de tintas, além de uma série de aplicações de menor importância. A produção mundial de minério de cobre em 1990 foi de 8.500 x 10^3 toneladas. Os minerais mais importantes de cobre em ordem decrescente são a Calcopirita ($CuFeS_2$), a Calcocita (CuS_2) e a Bornita (Cu_5FeS_4).

O cobre é o primeiro elemento do subgrupo 1 B da Tabela Periódica. A sua estrutura atômica mantém 1 elétron no subnível $4s^1$, externo ao subnível $3d^{10}$, que está completo. Em função disso, o cobre tem comportamento semelhante ao dos metais da primeira série de transição (Cr, Mn, Fe, Co e Ni), podendo perder 2 elétrons muito facilmente. Enquanto a espécie Cu^{2+} é totalmente estável em água, a espécie Cu^{1+} é estável somente em soluções contendo excesso de alguns compostos como haletos e cianetos.

O cobre mostra tendência pronunciada de formar complexos com ligantes orgânicos e inorgânicos. A maioria do cobre dissolvido em águas superficiais, com pH's próximos á neutralidade, está complexada a carbonatos, nitratos, sulfatos e cloretos. Esses complexos ocorrem em muito maior escala do que a forma iônica simples Cu^{2+}. O cobre também forma complexos relativamente insolúveis com sulfetos, podendo ainda formar complexos orgânicos estáveis com ácidos húmicos.

O cobre tem uma forte afinidade por hidróxidos de ferro e manganês, materiais carbonáticos, alguns argilominerais e por matéria orgânica. Dependendo das condições físico-químicas do ambiente, até 90% do Cu presente poderá estar adsorvido à fase sólida.

O cobre é um micronutriente essencial para plantas e animais. No entanto, em doses maiores, os compostos de Cu são extremamente tóxicos para espécies de plantas aquática e fungos, sendo por isso muito utilizado como fungicida e herbicida.

Nos seres humanos, o cobre atua como catalizador de reações metabólicas e na síntese de proteínas e enzimas importantes como a Tirosinase e a Amina Oxidase. As intoxicações agudas por cobre podem causar queimações gástricas, diarréias, náuseas e vômitos. Já as intoxicações crônicas são raras. Não há evidências de que seja carcinogênico, mutagênico ou teratogênico.

Na contaminação ambiental, algumas fontes importantes são os defensivos agrícolas, as emissões atmosféricas e os lodos de estações de tratamento de esgotos.

5) Fe

O ferro ocupa a 4ª posição na tabela de abundância dos elementos. Sua concentração média na crosta é de da ordem de 5% em peso. Os seus principais minérios incluem a Magnetita (Fe_3O_4), a Siderita ($FeCO_3$), a Goethita (FeO(OH)) e a

Hematita (Fe_2O_3). Os usos modernos do ferro incluem uma gama imensa de produtos. A produção mundial de minério de ferro em 1990 foi da ordem de 715.000 x 10^3 toneladas.

Os principais estados de oxidação do ferro são Fe^{2+} e Fe^{3+}, este último predominante na maioria dos ambientes aquáticos superficiais. O Fe^{3+} quando combinado a sais ou óxidos é praticamente insolúvel em condições normais de Eh e pH. Já em condições redutoras, pode ocorrer a sua redução para a espécie Fe^{2+}.

Quando o Fe^{3+} é originado pela oxidação do Fe^{2+} na presença de íons fosfato, pode formar-se um ferro-fosfato básico insolúvel ($Fe_2(OH)_3PO_4$), ocorrendo a fixação do fosfato na fase sólida. Similarmente, condições redutoras levam à redução do Fe^{3+} para Fe^{2+}, liberando o íon fosfato para a solução. O ferro também complexa-se rapidamente com íons sulfato.

A proporção de metais que pode ser aprisionada em hidróxidos de Fe e de Mn é muito variável e depende das condições locais de pH e Eh. Esse fenômeno é especialmente observável em sedimentos de fundo, depositados em corpos d'água contaminados por metais. Diversos autores mostram que entre 6% e 30% do teor total de metais como Cu, Cr, Pb, Cd e Zn presentes na água, podem ser adsorvidos a hidróxidos de ferro presentes em sedimentos de fundo de estuários e rios.

Nos seres humanos, as intoxicações agudas por ferro podem causar vômitos, sangramento gastrointestinal, convulsões e coma. Já as intoxicações crônicas podem levar a aumento generalizado da deposição de ferro, denominada hemosiderose. Deposições em locais específicos levam a fibroses localizadas.

6) Mn

O manganês ocorre na crosta terrestre em concentrações médias próximas a 950 mg/kg. Nos calcáreos seu teor médio é de 500 mg/kg, enquanto nos arenitos é de 250 mg/kg. O manganês é micronutriente essencial à vida de plantas e animais.

A produção mundial de manganês em 1990 foi da ordem de 30.000 x 10^3 toneladas. Seus principais usos são na indústria metalúrgica e na fabricação de baterias e acumuladores elétricos. Os principais minérios de Mn explorados são a Pirolusita (MnO_2), a Rodocrosita ($MnCO_3$), a Manganita ($Mn_2O_3.H_2O$) e a Hausmanita (Mn_3O_4).

Nos compostos sólidos, o Mn pode existir em estados de oxidação que variam desde Mn (-II) até Mn (VII). Os estados de oxidação II, III e IV ocorrem nos óxidos, carbonatos e silicatos. Como exemplos dessas combinações podem ser citados a Pirolusita (MnO_2), a Rodocrosita ($MnCO_3$) e a Rodonita ($MnSiO_3$).

Em meio aquoso as espécies mais importantes são Mn (II) e Mn (IV). A forma Mn (VII) (permanganato) não é persistente em meios naturais, sendo rapidamente reduzida. Os nitratos, cloretos e sulfatos de Mn são muito solúveis em água, enquanto hidróxidos, sulfetos, carbonatos, óxidos e fosfatos de Mn são parcialmente solúveis.

A oxidação do Mn^{2+} é autocatalítica, podendo ser representada pela reação:

$$Mn^{2+} + \tfrac{1}{2}\, O_2 \Leftrightarrow MnO_{2\,(s)}$$

$$Mn^{2+} + MnO_{2\,(s)} \Leftrightarrow Mn^{2+}.\, MnO_{2\,(s)}$$

$$Mn^{2+}.MnO_{2\,(s)} + \tfrac{1}{2}\, O_2 \Leftrightarrow 2\, MnO_2$$

Em pH's próximos à neutralidade a oxidação do Mn (II) a Mn (IV) conduz à remoção de considerável quantidade da espécie reduzida, mais solúvel.

Os íons de Mn^{4+} são reduzidos a Mn^{2+} em condições menos redutoras do que as necessárias para reduzir os íons de Fe^{3+} para Fe^{2+}. Já a oxidação do Mn^{2+} a Mn^{4+} ocorre de forma muito mais lenta que a do Fe^{2+} a Fe^{3+}. Como resultado, em ambientes aquosos o Mn^{2+} solúvel é proveniente inteiramente das reações ocorridas na fase líquida, enquanto o Fe^{2+} solúvel é resultante da redução de Fe^{3+} presente em partículas sólidas dos sedimentos. Na água subterrânea, a migração do manganês se dá sob a forma reduzida, mais solúvel.

É importante ressaltar que o MnO_2 tem influência direta no estado de oxidação de outros metais. O Cr^{3+} reage diretamente com o MnO_2 produzindo a espécie Cr^{6+}. Dessa forma, a presença de MnO_2 em ambientes onde ocorra íons de Cr favorece a presença da espécie Cr^{6+}, que é mais perigosa ao meio ambiente e á saúde humana.

A ingestão diária de manganês recomendada para um adulto com peso de 70 kg é cerca de 1,2 mg. A inalação, outra forma de absorção de Mn, proporciona cerca de 0,002 mg de Mn/dia. A intoxicação aguda por manganês pode resultar em necrose pulmonar localizada. A intoxicação crônica é bem conhecida em trabalhadores

da área de mineração. O envenenamento por manganês compromete as funções neuro-transmissoras do sistema nervoso central. Os sintomas de envenenamento iniciam-se com apatia, anorexia, insônia, alucinações, perda de memória, comportamentos compulsivos progredindo até a rigidez muscular e tremores. Não há evidências de que seja carcinogênico, mutagênico ou teratogênico.

7) Ni

O níquel ocupa a 23ª posição na lista de abundância relativa dos elementos. Tem peso atômico 58,69, número atômico 28 e densidade de 8,90 g/cm^3. Funde a 1453 °C e entra em ebulição a 2732 °C.

Sua concentração média na crosta é da ordem de 75 mg/kg. As rochas basálticas apresentam teores médios de 160 mg/kg de Ni, enquanto rochas sedimentares portam teores bem inferiores, da ordem de 1 mg/kg. Graças às suas propriedades de resistência à corrosão, durabilidade, boa condutividade elétrica e térmica, o níquel é empregado em aproximadamente 3000 misturas diferentes para produção de aços e outras ligas metálicas. É também utilizado na indústria química, na produção de baterias, na fabricação de componentes eletrônicos e na indústria do petróleo.

A produção mundial de minério de níquel em 1990 foi de 800 x 10^3 toneladas. É extraído de dois minérios economicamente explotáveis: Óxidos lateríticos e Pentlandita ($(Ni, Fe)_9S_8$), esta última economicamente mais importante, associada a rochas máficas e ultramáficas.

O níquel é um metal de transição do grupo VIII da Tabela Periódica. Apesar de ocorrer em diversos estados de oxidação, somente a espécie Ni (II) é estável nas condições de pH e Eh predominantes nos ambientes naturais superficiais.

Em condições redutoras, o Ni pode se incorporar a sulfetos insolúveis. Sob condições aeróbias e em pH's inferiores a 9, complexa-se em hidróxidos, carbonatos, sulfatos e ligantes orgânicos. Pode ligar-se a compostos de Al e Mn através de ligações reversíveis, havendo em alguns ambientes, notável relação entre os teores de Ni e de Al. O níquel tem também afinidade por alguns argilominerais, aos quais é adorvido através de ligações também reversíveis.

Para os seres humanos, os níquel não é elemento essencial. As intoxicações agudas por níquel podem causar vários tipos de dermatoses. Há evidências de que pode ser carcinogênico a pessoas que mantêm contato prolongado com ele, como é o caso de trabalhadores da área metalúrgica. Para outras situações, não há evidências de que seja carcinogênico, mutagênico ou teratogênico.

Na contaminação ambiental, as fontes importantes de níquel são os efluentes industriais e também os lodos de estações de tratamento de esgotos.

8) Pb

O chumbo, depois do alumínio, cobre e zinco é o metal não ferroso mais importante. Tem peso atômico 207,2, número atômico 82 e densidade de 11,342 g/cm^3. Funde a 325 °C e entra em ebulição a 1751 °C.

Sua concentração média na crosta é da ordem de 13 mg/kg. As rochas basálticas apresentam teores médios de 3 mg/kg de Pb, as graníticas de 24 mg/kg, enquanto os folhelhos teores da ordem de 23 mg/kg. Os calcáreos apresentam teores médios de Pb de 5,7 mg/kg e os arenitos de 10 mg/kg.

A produção mundial de minério de Pb em 1985 foi de 3100 x 10^3 toneladas. Os principais minerais de minério são PbS (Galena), $PbCO_3$ (Cerussita) e $PbSO_4$ (Anglesita). Os carbonatos e sulfatos de Pb são originados da alteração intempérica dos sulfetos.

Os principais usos do chumbo são: fabricação de baterias (60%), em aditivos para petróleo (4%), em produtos extrudados (9%), em pigmentos (13%), na estabilização de PVC, na metalurgia (4%), no embainhamento de cabos (6%) e na fabricação de munição (3%).

O chumbo é membro do grupo IVb da Tabela Periódica. Tem dois estados de oxidação:Pb^{2+} e Pb^{4+}. No estado tetravalente é um poderoso oxidante, enquanto no estado divalente é mais estável. O Pb^{4+} associa-se a ligantes mais eletronegativos (O^{2-}, F^- e Cl^-) através de ligações essencialmente covalentes. Já o Pb^{2+} associa-se com ligantes redutores como Br^-, I^- e S^{2-}.

A estabilidade relativa dos compostos de chumbo é: compostos de Pb^{2+} inorgânico > compostos com Pb^{4+} orgânico > compostos com Pb^{4+} inorgânico > compostos com Pb^{2+} orgânico. Portanto, nos ambientes naturais a maioria do chumbo

divalente está em compostos inorgânicos, enquanto o chumbo tetravalente ocorre associado a compostos orgânicos.

Existem 3 espécies de compostos de chumbo com Oxigênio: PbO (tetragonal e ortorrômbico), PbO_2 (estrutura cristalina do rutilo) e Pb_3O_4 (na realidade um "plumbato de chumbo": $2Pb^{2+}$ PbO_4^{-4}). Os carbonatos básicos de Pb formam-se em soluções aquecidas: $3PbCO_3.2Pb(OH)_2$ e $2PbCO_3.Pb(OH)_2$. Existem também as cloro-espécies que formam-se em soluções com concentrações de Cl^- superiores a 0,1 moles/l e ainda um cloro-carbonato: $PbCl_2.PbCO_3$ (Fosgenita).

De forma geral, as condições de Eh e pH influenciam o comportamento do chumbo da seguinte maneira:

Em pH's francamente ácidos ocorre exclusivamente a espécie Pb^{2+}. Conforme aumenta o pH, inicia-se a formação da espécie $Pb(OH)^+$ e a diminuição da espécie Pb^{2+}. Em pH's próximos a 5 essa tendência acentua-se. Quando o pH atinge 8,5 o $Pb(OH)^+$ atinge o pico máximo de incidência e o Pb^{2+} desaparece. A partir daí começa a formar-se a espécie $Pb(OH)_2$, diminuindo a incidência de $Pb(OH)^+$. Essa tendência acentua-se a partir do pH 10, quando começam a formar-se as espécies $Pb(OH)_3^-$ e o $Pb(OH)_4^{2-}$. Em pH's superiores a 12 há o declínio do $Pb(OH)_3^-$ e um aumento do $Pb(OH)_4^{2-}$ que é a única espécie em pH 14. Podem existir também outras espécies em solução: $Pb_4(OH)_4^{4+}$, Pb_2OH^{3+}, $Pb_3(OH)_4^{2+}$ e $Pb_6(OH)_8^{4+}$.

O chumbo, em presença de carbonatos, tem o seguinte comportamento em função do Eh e do pH:

Em pH inferior a 5,5 o Pb ocorre exclusivamente na forma solúvel, Pb^{2+}. Na faixa de pH que vai de 5,5 a 8,5 é estável a espécie $Pb(CO)_3$. Em faixas mais alcalinas é estável o complexo $Pb_3(CO_3)^2(OH)_2$ e a espécie $Pb(OH)^-_3$, esta última acima de pH 13.

No meio natural o chumbo forma complexos pouco solúveis com hidróxidos, carbonatos, sulfetos e sulfatos. Pode formar também quelatos relativamente fortes com os ácidos húmico e fúlvico. A solubilidade do chumbo é extremamente influenciada tanto pela sua capacidade de formar complexos insolúveis como pela competição entre Pb e outros cátions por agentes formadores de complexos solúveis. Como exemplo, se houver cálcio disponível, ele irá competir com o chumbo pelos complexantes solúveis e, por isso menos chumbo irá solubilizar-se.

O chumbo liga-se facilmente a hidróxidos de Mn e Fe do solo, imobilizando-se. Por tudo isso, a sua solubilidade, mobilidade e biodisponibilidade são baixas nos meios naturais.

É importante ressaltar que a presença de NTA (Ácido Nitriloacético, usado em detergentes como substituto de fosfatos) junto a carbonatos de Pb, em lodos residuais de esgotos, pode levar à solubilização dos carbonatos de Pb, de acordo com a reação: $PbCO_3 + HT^{2-} \Leftrightarrow PbT^{-} + HCO_3^{2-}$.

As intoxicações agudas por chumbo podem causar fadiga, anemia, e problemas neurológicos. As intoxicações crônicas levam à perda de apetite, constipação, sensação de sabor metálico na boca, anemia, fraqueza, insônia, dores musculares e cólicas. Em casos mais graves podem causar hipertensão, malformação congênita, supressão de espermatozóides e danos ao sistema nervoso periférico. Há algumas evidências de que pode ser carcinogênico a pessoas que têm contato prolongado com o metal, como é o caso dos trabalhadores que manipulam diretamente o metal. Para outras situações, não há evidências de que o chumbo seja carcinogênico, mutagênico ou teratogênico.

O chumbo é o metal pesado mais disseminado como contaminante de solos. Na contaminação ambiental, as principais fontes são as emanações atmosféricas provenientes da exaustão de veículos, os efluentes de mineração e metalurgia e os lodos de estações de tratamento de esgotos.

9) Zn

O zinco ocupa a 24ª posição na relação de abundância relativa dos elementos. Tem peso atômico 65,38; número atômico 30 e densidade de 9,13 g/cm^3. Funde a 419,6 °C e entra em ebulição a 907 °C. Sua concentração média na crosta é da ordem de 80 mg/kg. As rochas basálticas apresentam teores médios de 100 mg/kg de Zn e as graníticas 40 mg/kg. Em folhelhos e argilas os teores médios são da ordem de 100 mg/kg. O zinco é empregado na indústria metalúrgica e de tintas, na fabricação de cosméticos, nas indústrias farmacêutica e química e na indústria eletro-eletrônica. A produção mundial de minério de zinco em 1990 foi de 7000 x 10^3 toneladas. Ele é extraído dos minerais: Esfalerita (ZnS), Zincita (ZnO), Smithsonita ($ZnCO_3$) e Calamina ($ZnSiO_4$).

O zinco pertence ao grupo IIB da Tabela Periódica e liga-se tanto com oxigênio como com nitrogênio ou enxofre, quando estes últimos forem doadores de elétrons. Sob condições aeróbias e ácidas, a espécie predominante é o Zn^{2+}, solúvel. Conforme ocorre aumento do pH até 11, a espécie estável passa a ser a $Zn(OH)_2$, precipitada. Em ph's superiores a 11 as espécies estáveis são $ZN(OH)_3^-$ e $ZN(OH)_4^{2-}$, todas solúveis. A imposição de condições anaeróbias levam à precipitação de sulfetos.

O zinco liga-se rapidamente a complexantes orgânicos, particularmente na presença de nitrogênio ou enxôfre. Liga-se a ácidos fúlvicos, formando complexos e quelatos solúveis em largas faixas de pH e a ácidos húmicos, que precipitam-se em pH's ácidos fixando o Zn. Liga-se também a complexos inorgânicos como cloretos, nitratos, fosfatos e sulfatos, os dois últimos muito importantes nos solos naturais. É também fixado em argilo-minerais e hidróxidos de Fe e Mn por adsorção e troca catiônica.

O zinco é um elemento traço essencial para seres humanos, animais e plantas. Nos seres humanos, as intoxicações agudas podem causar febre, diarréia, vômito e outros problemas gastro-intestinais. As intoxicações crônicas praticamente não ocorrem. Não há evidências de que seja carcinogênico, mutagênico ou teratogênico.

O zinco pertence ao grupo de elementos potencialmente mais perigoso ao meio ambiente, principalmente à vida vegetal. Junto ao cobre, níquel e cromo, é fito-tóxico. As fontes mais importantes de zinco são os efluentes de mineração e de metalurgia, os defensivos agrícolas, os lodos de estações de tratamento de esgotos e as emissões atmosféricas ligadas á queima de combustíveis fósseis.

E. A DISPOSIÇÃO DOS LODOS DE ETE's NO SOLO

Apesar da incineração e do lançamento ao oceano serem procedimentos ainda limitadamente empregados e da existência de várias linhas de pesquisa sobre a viabilidade de destinos alternativos para os lodos, como a sua utilização na fabricação de elementos para construção civil por exemplo, existem apenas dois mecanismos

realmente importantes e amplamente utilizados na destinação ambiental de lodos de ETE's: o seu uso como fertilizante na agricultura e a sua disposição em aterros.

1. Utilização como fertilizantes

A utilização dos lodos de ETE's na agricultura apresenta-se em uma primeira análise como a forma mais adequada de disposição ambiental, pois teria a virtude de transformar um resíduo em um insumo. A intensa pesquisa realizada sobre esse tema durante os últimos 30 anos evidenciou que, na realidade, essa destinação deve ser encarada com cautela.

a. Evolução da pesquisa sobre o uso dos lodos na agricultura

Do final do século XVIII até início do século XX, países como Inglaterra e Estados Unidos utilizaram os esgotos brutos provenientes de núcleos urbanos vizinhos a zonas agrícolas para irrigação de culturas. No entanto, o crescimento dos núcleos urbanos trouxe o aumento do volume dos esgotos gerados, tornando paulatinamente inviável o descarte direto dos efluentes: não havia áreas agrícolas suficientes para recebê-los.

A adoção de técnicas de tratamento dos esgotos urbanos em Estações de Tratamento revitalizou a destinação agrícola, pois os lodos residuais a serem dispostos nas áreas de cultivo tinham apenas 1% do volume dos esgotos originais (DAVIS, 1989). No entanto, com o passar do tempo, o crescimento das cidades trouxe consigo o crescimento do volume de resíduos e, novamente, ressurgiram os problemas para sua disposição.

De acordo com BOSWELL (1975), a aplicação direta de lodos de ETE's na agricultura sempre foi uma prática comum e estabelecida na América do Norte. Lá, o valor desses lodos como fontes dos nutrientes N, P e K era reconhecido desde 1926 (NOER, 1926). Trabalhos realizados nos anos 20 e 30, como os de MULLER, (1929) e FRAPS, (1932) estudaram o valor dos lodos de ETE's como fertilizantes, concluindo francamente pela sua utilização.

KORENTAGER, (1991) afirma que a importância do uso dos lodos como fertilizantes está nos seus teores de nitrogênio, fósforo e micronutrientes, além do seu conteúdo em matéria orgânica. Nos lodos, o nitrogênio encontra-se inserido principalmente em compostos orgânicos e, para que ele seja acessível às plantas, é necessário que seja deslocado para compostos inorgânicos através do processo de mineralização.

A taxa de mineralização estimada no primeiro ano de aplicação de lodos ativados ao solo é de 40%, sendo de 30% para lodos anaerobicamente estabilizados. Taxas dessa ordem tornam a disponibilização do nitrogênio dos lodos pouco eficiente. Outro fator limitante é a volatilização do N amoniacal (NH^{4+}), que acarreta perdas consideráveis de nitrogênio dos lodos para a atmosfera.

O Fósforo (P) é o nutriente de maior custo para a fabricação de insumos e fertilizantes inorgânicos. Em lodos de ETE's não submetidos a tratamento terciário, o P está incorporado a compostos orgânicos, sendo pouco acessível às plantas. Já os lodos que sofreram condicionamento químico podem apresentar grande parte do seu P em fosfatos inorgânicos, mais bio-disponíveis. O uso de lodos de ETE's na agricultura é freqüentemente prejudicado pelo desequilíbrio existente entre seus teores de Nitrogênio (N) e P, traduzido por teores de P normalmente muito superiores aos de N. Por isso, normalmente as quantidades disponíveis de N contidos em lodos de ETE's são insuficientes para as necessidades das culturas enquanto as de P são satisfatórias. Buscando solucionar o problema da insuficiência de N para as culturas, normalmente são aplicados volumes adicionais de lodos aos solos. Essa prática no entanto, acaba por aumentar também a quantidade do P adicionado, ação que pode ter conseqüências ambientais danosas. Os fosfatos são carreados pelas águas pluviais e acabam por acumular-se em corpos d'água superficiais, provocando a sua eutrofização e conseqüente comprometimento da sua qualidade ambiental. Eventuais deficiências dos solos em micronutrientes, como Cu, Mn, Zn, Mo e B, podem, em tese, ser supridas pela adição de lodos de ETE's. No entanto, os teores desses e de outros micro-elementos nesses lodos normalmente são muito elevados e acabam por trazer danos, ao invés de benefícios. O conteúdo de matéria orgânica dos lodos também pode ser benéfica aos solos, pois melhora suas características físicas e aumenta a sua capacidade de retenção hídrica, diminuindo a taxa de erosão.

Apesar do conhecimento existente desde a década de 30 de que lodos de ETE's podiam conter elevadas taxas de metais pesados, até meados da década de 60 a maioria das pesquisas sobre o seu uso na agricultura apresentavam viés francamente favorável a essa utilização. Como exemplo, já no final da década de 60, DALTON *et al.*, (1968) posicionam-se de forma claramente simpática ao uso dos lodos como fertilizantes, sem tocar no tema "metais pesados" ou abordar aspectos ambientais.

Na década de 70 o panorama começa a mudar. Apesar de alguns trabalhos como o de MANSON & MERRIT, (1975) ainda descreverem e avaliarem a eficiência do uso de lodos em comunidades agrícolas, tocando apenas de passagem no tema "metais pesados", as linhas predominantes de pesquisa sobre o tema começam a apresentar uma abordagem ambiental. O termo "metais pesados" passa paulatinamente a ser palavra-chave nos trabalhos sobre o uso de lodos de ETE's na agricultura. Como exemplo, JORGENSEN, (1975), JOHN & LAERHOVEN, (1976); ZENZ *et al.*, (1976); SIDLE *et al.*, (1977); RITTER & EASTBURN, (1978) e WILLIAMS *et al.*, (1980) pesquisaram o comportamento de metais pesados em solos que haviam recebido volumes de lodos de ETE's como fertilizante, verificando a mobilidade relativa dos metais e a importância de parâmetros tais como pH do solo, tempo de aplicação e tipo de solo.

Conforme aproximam-se os anos 80, as pesquisas começam a voltar-se cada vez mais ao estudo de particularidades do sistema solo - planta - metais pesados, bem como do comportamento de cada metal individualmente no meio ambiente. Exemplo dessa tendência, SOON, (1980) estuda a adsorção e a solubilidade do Cd em solos que receberam lodos de ETE's, avaliando o papel de argilo-minerais, óxidos e hidróxidos na retenção do metal. Por outro lado, KING & DUNLOP, (1982) pesquisaram o resultado da adição de lodos de ETE's em solos muito ricos em matéria orgânica avaliando a disponibilização dos metais para as plantas cultivadas, enquanto WILLIAM *et al.*, (1984) publicam trabalho que avalia a influência do tempo de aplicação no comportamento dos metais, em solos que receberam lodos de ETE's durante 6 anos.

Nos anos 90, SMITH, (1993) e PETRUZELLI *et al.*, (1994) são exemplos da continuidade dessas pesquisas na Inglaterra e na Itália.

No Brasil, apesar da importância do tema, relativamente poucos trabalhos foram produzidos sobre o comportamento de metais por adição de lodos de ETE's em solos agrícolas. Como exemplo, podem ser citados os trabalhos de BETTIOL, (1982); COTRIM, (1991), MATTIAZZO-PREZOTTO (1994), MATTIAZZO & BARRETO (1995), MATTIAZZO & GLÓRIA (1995), MATTIAZZO *et al.* (1995).

b. As normas legais para uso de lodos na agricultura

A grande maioria dos trabalhos sobre uso de lodos de ETE's na agricultura, produzidos a partir da década de 70, concentrou-se em estudar os efeitos potencialmente danosos ao meio ambiente que poderiam ser provocados pela adição continuada ao solo de lodos ricos em metais pesados.

Sincronamente, nos países desenvolvidos, os órgãos de proteção ao meio ambiente não tardaram em definir as normas legais que disciplinariam os usos dos lodos de ETE's. Vários limites foram impostos, entre outros aos teores de metais para que os lodos pudessem ser utilizados e às quantidades máximas de lodos aplicáveis por unidades de área. Com o passar do tempo, a maioria dos países desenvolvidos criou regras para aplicação de lodos. Algumas delas, apresentadas a seguir, foram retiradas de SANTOS, (1996).

Nos Estados Unidos, a United States Environmental Protection Agency (EPA) disciplina o uso de lodos desde 1972, controlando os limites de redução de patógenos, os limites de redução de vetores, os limites para teores de poluentes no lodo e os limites para a carga máxima de lodo aplicável a um determinado local. A sistemática de monitoramento dos teores de metais nos lodos gerados nas ETE's também é disciplinada nessas normas, sendo função da quantidade de lodo produzido. Assim, ETE's com produção anual inferior a 290 toneladas demandam uma única campanha anual para coleta e análise de amostras de lodo. As Estações que produzem entre 290 e 1500 toneladas/ano devem ter um monitoramento quadrimestral, enquanto estações que produzem entre 1.500 e 15.000 ton/ano devem fazer um monitoramento bimestral. Finalmente, produções superiores a 15.000 ton/ano obrigam a realização de monitoramentos mensais dos lodos.

Na Comunidade Econômica Européia, a Diretriz 86/278 da CEE limita a concentração de Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni e Zn nos lodos que se destinam à aplicação no

solo. Os limites não devem ser ultrapassados, salvo em solos com pH's permanentemente superiores a 7. Na França, a norma AFNOR NF U 44-041 de 1985, obrigatória a partir de 1988, regulamenta o uso de lodos na agricultura, não permitindo a sua aplicação em solos com pH's inferiores a 6. Na Alemanha, a Abfklär regulamenta a norma da CEE desde 1992: o solo não pode receber lodo se apresentar pH inferior a 5. Na Itália, existem restrições ao teor de Cr^{6+} que pode ser originado pela adição de lodos ao solo. Se o solo tiver condições para oxidar Cr^{3+}, gerando Cr^{6+}, não é permitida a disposição de lodos. Nos Países Baixos, a diretriz da CEE é regida pelo "Soil Protection" desde 1991. Além dos metais controlados pela CEE, também são controlados o teor de As, a quantidade mínima de matéria orgânica e o pH do lodo. No Reino Unido, o controle do uso do lodo é feito através do controle de poluentes no solo e das taxas de aplicação do lodo. Existem limites para os elementos considerados potencialmente tóxicos, no que diz respeito à sua máxima quantidade aplicada nos solos no prazo de 10 anos. Os elementos considerados perigosos são Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Hg, Cr, Mo, Se, As e fluoretos. A aplicação de lodos com todos esses elementos é limitada a solos com pH mínimo de 5. A **Tabela II-4** contém um resumo dos teores limites de metais pesados contidos em lodos de ETE's para uso na agricultura, em diversos países. Percebe-se claramente que existe uma grande variação entre os limites máximos permitidos nos diversos países em função de suas características individuais. Os limites mais restritivos são os aplicados nos Países Baixos.

TABELA II-4: Concentrações Máximas de Metais Pesados Admissíveis em Lodos de ETE's para uso agrícola (mg/kg em base seca)

	TEORES LIMITES (mg/kg) DE METAIS EM LODOS PARA USO AGRÍCOLA NOS VÁRIOS PAÍSES							
METAL	CEE	DINAMARCA	FRANÇA	ALEMANHA	ITÁLIA	LUXEMBURGO	PAÍSES BAIXOS	USA
Cd	20 a 40	0,8	20	5 a 10 *	20	40	**1,25**	85
Pb	750 a 1200	1200	800	900	750	1200	**100**	840
Cu	1000 a 1750	1000	1000	800	1000	1750	**75**	4300
Cr	1000 a 1750	100	1000	900	**	75	**0,75**	3000
Ni	300 a 400	30	200	200	300	400	**30**	420
Zn	2500 a 4000	4000	3000	2000 a 2500	2500	4000	**300**	7500

* Para solos com pH entre 5 e 6

** Depende do teor de Cr no solo e da capacidade do solo em oxidar Cr^{3+} a Cr^{6+}

Nos Estados Unidos, alguns exemplos de programas para disposição de lodos que obedecem a esses limites, podem ser apresentados. Em Nova Iorque (USA) há planos para utilização de 355 toneladas diárias (base seca) de lodos gerados na ETE local. O lodo deverá ser encaminhado para pastagens no Texas, para aplicação em plantações de trigo no Colorado e em plantações de laranja na Flórida. Também são dispostos em aterros para produtos perigosos na Pensilvânia, em aterros para resíduos comuns na Virgínia e utilizados na regularização de áreas baixas fora da cidade de Nova Iorque. A ETE de Boston, Massachusetts (USA) produz 195 toneladas por dia (base seca) de resíduos secos por difusão direta, que são utilizados como fertilizante por produtores de grama, como enchimento na fabricação de fertilizantes e como adubo na manutenção de gramados. Em Baltimore, Maryland (USA), após peletização, o resíduo da ETE é vendido para a agricultura, como repositor de nitrogênio (tem cerca de 6% de N). Em Silver Spring, Maryland (USA) o lodo é aplicado em campos de golfe, no acabamentos paisagísticos em canteiros centrais e faixas de domínio de rodovias, na jardinagem doméstica, como fertilizantes para produção de grama, em parques municipais e em projetos de reflorestamento. Percebe-se, por esses exemplos, que há vários usos para os lodos desde que sejam detalhadas tanto as suas características como as dos locais que irão recebê-los.

No Brasil, ainda não existe legislação específica para a disposição dos lodos de ETE's. Em São Paulo, o órgão ambiental (CETESB) tem adotado a NBR 10.004 para disciplinar a disposição desses resíduos no solo. Segundo a norma utilizada, a condição necessária para a codisposição de lodos com resíduos sólidos em aterros é a de que eles sejam classificados como "resíduos não perigosos" e, portanto, sejam enquadrados dentro da classe 2, definida pela própria NBR 10.004. Tal adaptação da NBR 10.004 é claramente inadequada, pois os lodos de ETE's não são, a rigor, resíduos sólidos. É importante ressaltar também que a norma brasileira quantifica os teores de metais em base úmida, ao contrário das normas européias e americanas que medem os teores em base seca. Apenas essa convenção já implica em limites mais elevados para as quantidade de metais admitidas para os resíduos brasileiros.

Segundo SANTOS (1996), a CETESB vem coordenando um processo para a criação de normas técnicas e procedimentos específicos para a disposição de lodos no estado de São Paulo. Esse trabalho busca fixar padrões de qualidade mínima para uso

dos lodos na agricultura de forma a proteger as águas superficiais e subterrâneas, a saúde de agricultores e a qualidade dos vegetais para consumo. Para isso, a norma pretende conceituar os diversos tipos de lodos gerados em ETE's e discutir os procedimentos para a coleta de amostras para sua caracterização. Busca também definir: os elementos que devem ser monitorados na massa bruta; os elementos que devem ser monitorados no lixiviado; os métodos analíticos que deverão ser utilizados; os teores máximos de metais nos lodos para seu uso na agricultura; as taxas de aplicação anual no solo agricultável e das respectivas taxas máximas cumulativas e os parâmetros e características dos solos e das culturas receptoras. Além disso, outro trabalho coordenado pela CETESB resultou no estabelecimento de valores de referência de qualidade e de intervenção para solos e água subterrânea em eventos de contaminação, inclusive por lodos de ETE's, válidos para o estado de São Paulo. Este trabalho resultou no volume CETESB, (2000).

2. A disposição dos lodos em aterros

Quando um determinado resíduo de ETE excede os limites de metais pesados definidos para a sua utilização na agricultura, ele passa a demandar outro tipo de destinação. Nesses casos, a solução mais adotada tem sido a sua colocação em aterros construídos com a adoção de técnicas que tentam evitar a migração dos elementos contaminantes para o meio circundante. De acordo com ASSUNÇÃO (1996), na grande maioria das situações, o solo, matéria prima desses aterros, tem sido encarado apenas como barreira mecânica aos resíduos, e portanto são levadas em conta principalmente suas características geotécnicas.

Pesquisadores como LUND *et al.*, (1976); GARRIGAN, (1977); WILLIAMS *et al.*, (1980), MATTHEUS, (1982); GERRITSE *et al.*, (1982), HIGGINS, (1984), GIBLIN *et al.*, (1985) e SIEGER & HERMANN, (1993) estudaram a participação do solo como elemento ativo no sistema, desempenhando papel importante na fixação dos elementos nocivos, e dessa forma consideraram também algumas de suas características geoquímicas.

FORSTNER & WITTMANN, (1981) afirmam que, para ocorrer efetivamente a contaminação do meio ambiente e de organismos por metais pesados, é necessária que ocorram simultâneamente duas condições:

1ª: Existir uma fonte, natural ou antropogênica, onde concentrem-se os metais,

2ª: Haver migração de metais a partir dessa fonte para qualquer dos compartimentos constituintes do meio ambiente superficial, e daí para os organismos.

A disposição em aterros de grandes massas de resíduos de ETE's contendo consideráveis teores de metais pesados, atende à primeira das condições: a existência da fonte. A possibilidade da ocorrência da segunda condição, ou seja, a migração dos metais a partir dos resíduos para o meio em função do aumento da sua mobilidade geoquímica tem sido objeto de estudo de pesquisadores como ANDERSSON, (1977a, 1977b e 1979); ALESII *et al.*, (1980); SCHALSCHA, (1980 e 1982) e FULLER & WARRICK, (1985).

Cabe ressaltar que as duas formas de disposição de lodos mais largamente praticadas no mundo (uso agrícola e disposição em aterros) apresentam entre si uma diferença fundamental: a taxa de aplicação do lodo ao solo. A aplicação agrícola embute a adição de volumes relativamente reduzidos de lodos, em áreas relativamente grandes, durante longos períodos de tempo. Portanto, essa aplicação pode ser considerada como uma aplicação diluída. Já a disposição de lodos em aterros, embute a deposição rápida, de grandes volumes de lodos, em locais espacialmente limitados. Dessa forma, essa aplicação pode ser considerada como uma aplicação concentrada. É muito provável que os mecanismos de disponibilização dos metais pesados dos lodos para o meio ambiente nessas duas aplicações sejam diferentes entre si. É provável também que as interações dos resíduos com os componentes dos solos e as velocidades de liberações dos metais para o meio ambiente também sejam diferentes. Surpreendentemente, verificou-se na presente pesquisa, que a quase totalidade dos trabalhos levantados sobre aplicação de lodos no solo tratou de adições diluídas, principalmente relacionadas ao seu uso agrícola. Foram poucos os trabalhos que investigaram situações de aplicações concentradas de lodos. A situação estudada por ASSUNÇÃO (1996), e que está sendo aprofundada no presente trabalho, trata

exatamente dessa situação: uma aplicação concentrada de lodos em área situada em Barueri, SP.

F. O ESTUDO EXECUTADO EM BARUERI

ASSUNÇÃO, (1996) caracterizou preliminarmente um caso de aplicação concentrada de lodos diretamente na superfície de solos associados a sedimentos aluvionares quaternários. A seguir, é apresentado um resumo com as principais observações efetuadas e resultados obtidos.

O autor buscou inicialmente caracterizar o lodo fresco, gerado na ETE de Barueri, da SABESP, no período compreendido entre 1988 e 1994. A ETE de Barueri opera segundo os métodos de tratamentos primário e secundário por lodos ativados. Os lodos gerados nesses dois processos são submetidos a uma etapa de tratamento terciário, com digestão anaeróbia, seguida de condicionamento químico por $Ca(OH)_2$ e $FeCl_3$ e desidratação mecânica. Todo o lodo desidratado, resíduo final do tratamento, gerado entre 1988 e 1994, foi disposto diretamente sobre o solo, dentro do terreno da ETE. Nesse período, foram gerados cerca de 335.000 toneladas de resíduos, cuja Taxa de Resíduos Sólidos Totais (Rt) variou entre 29% e 57% (em média 38%). O pH médio dos resíduos gerados situou-se sempre acima de 11,5.

O tratamento estatístico dos resultados de análises químicas do conteúdo em metais desses resíduos resultou em valores médios dos teores para cada ano entre 1991 e 1994, bem como em valores médios para todo o período. Esses valores são resumidos na **Tabela II-5**, a seguir.

Esses dados foram extremamente importantes para o estudo realizado, pois tornaram possível definir as características médias do resíduo original no instante "t_o", relativo à sua geração e disposição inicial. Essa composição pôde então ser comparada com uma segunda composição, obtida através da determinação dos mesmos parâmetros, no mesmo resíduo, relativos a um segundo instante "t_n", depois do resíduo ter sido submetido às condições intempéricas superficiais por período de alguns anos.

TABELA II-5: Teores médios anuais de metais no Resíduo Fresco de Barueri

ANO	Teores médios no Resíduo Fresco(mg/kg) – Limite de confiança de 90%						
	Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1991	63,20 ± 32,98	20,67 ± 7,29	1898,17 ± 403,10	1488,50 ± 601,46	749,83 ± 347,39	506,67 ± 199,38	4042,50 ± 872,80
1992	83,00 ± 386,44	97,00 ± 0,00	1789,40 ± 270,19	2515,80 ± 946,03	2148,20± 634,78	576,00 ± 204,04	4384,00 ± 615,49
1993	50,00 ± 16,11	25,67 ± 13,19	805,45 ± 195,44	738,82 ± 216,77	478,00 ± 111,04	302,44 ± 103,08	1474,90 ± 282,29
1994	108,47 ± 24,85	21,67 ± 7,01	916,80 ± 166,64	869,93 ± 148,91	492,7 1 ± 83,27	327,41 ± 92,36	2744,67 ± 535,27
MÉDIA	76,16 ± 19,94	23,33 ± 7,18	1352,46 ± 201,16	1403,26 ± 263,70	967,19 ± 233,34	437,29 ± 78,24	3141,52 ± 607,92

Fonte: ASSUNÇÃO (1996)

Além do conhecimento da composição inicial do lodo, foi fundamental a determinação do mecanismo de disposição dos resíduos no terreno, ou seja, onde foram depositados resíduos gerados em momentos diferentes. Uma vez que não existiam registros oficiais que descrevessem o desenvolvimento cronológico e espacial da disposição dos resíduos nos diferentes pontos do terreno, foram feitas entrevistas com funcionários e técnicos da ETE para levantar o histórico da disposição. O cruzamento de depoimentos e a comparação direta com outras informações de arquivo e de campo, levaram a um modelo final confiável. Através desse trabalho, foram identificados quatro corpos distintos de resíduos, denominados Norte, Sul, Leste e Oeste. No trabalho executado, foi definido o corpo Norte como o primeiro a ser investigado.

Foi efetuado o mapeamento superficial do Corpo Norte e definido um ponto para execução da amostragem. Optou-se pela realização de amostragem contínua e linear, abrangendo toda a dimensão vertical dos resíduos, amostragem essa que prosseguiu pelo solo situado abaixo dele, resultando em um único perfil de resíduos e solos. Cavou-se uma trincheira cortando o pacote de resíduos desde o seu topo até abaixo do nível do solo, criando-se assim um afloramento constituído por resíduos e solos a eles sotopostos, onde foram coletadas amostras de canal e indeformadas. Na base do corte, ao pé do afloramento, foi executada sondagem a trado para amostragem do subsolo.

Na amostragem do Corpo Norte, foram coletadas 21 amostras de canal e de trado que foram submetidas às seguintes análises: determinação dos teores de Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn por Absorção Atômica a partir de duas aberturas (ácidos

fortes a quente e água deionizada a quente); determinação do pH de abrasão; determinação da distribuição granulométrica por pipetagem e peneiramento, determinação da composição mineralógica da fração argila por difratometria de raios X; determinação da composição mineralógica das frações silte e areia por observação em estereomicroscópio e observação de microfeições e da composição química qualitativa de fragmentos ao microscópio eletrônico de varredura acoplado a EDS.

Depois de executadas todas as análises e efetuadas as interpretação dos resultados, chegou-se às seguintes conclusões:

. Os resíduos frescos produzidos pela ETE que vieram a originar o corpo Norte tinham pH médio de 11,9; Teor médio de Sólidos Totais de 38% e Teor médio de Umidade de 62%.

. Em 18 meses de exposição ao ar livre, ocorreu forte diminuição no valor do pH do resíduo, que caiu de 11,9 para 7,5.

. No mesmo período, houve significativa diminuição nos teores de quase todos os metais dos resíduos

. Após 18 meses, os teores dos metais na base do pacote de resíduo eram entre 1,9 e 3,5 vezes maiores que os teores no topo. Ocorreu portanto uma diferenciação vertical dos constituintes metálicos.

. A diferenciação vertical dos metais pode ter sido causada pela ocorrência isolada ou simultânea de dois mecanismos: diminuição mais intensa dos teores no topo do pacote do que na base (aumento relativo) e aumento dos teores da base (aumento absoluto), causada por remobilização interna e migração vertical dos metais, do topo para a base do pacote.

. A abertura por água deionizada a quente demonstrou a existência de uma parcela dos metais solúvel em água. A ordem relativa observada para a parcela solúvel de cada metal foi: Ni > Cu >> Cd > Mn > Zn > Ag > Pb > Cr > Fe.

. A análise granulométrica do resíduo indicou que as amostras da base do pacote eram mais ricas nas frações silte fino e argila que as do topo.

. Os principais compostos identificados como portadores de metais pesados foram: carbonatos mal cristalizados ou amorfos de Ca e Mg e carbonatos e/ou hidróxidos amorfos de Fe.

. Os elementos mais abundantes no resíduo disposto são: Si, Al, Ca, Fe, P, S, e Cl. Os elementos Si e Al estão associados a silicatos e alumino-silicatos de origem detrítica enquanto os elementos Ca, Fe, P, e S devem estar associados a compostos neoformados no processo de condicionamento químico do lodo, principalmente carbonatos, fosfatos, sulfatos e hidróxidos.

. Cu, Cr e Zn encontram-se associados a hidróxidos e possivelmente carbonatos de ferro.

. Pb, ocorre associado a materiais mais ricos nos elementos S, P e Ca, sob a forma de sulfatos, fosfatos e carbonatos da cálcio.

. Verificou-se uma associação direta entre metais pesados e compostos neoformados no processo de condicionamento químico do lodo. A quase totalidade dos metais pesados identificados estão incluídos em micro-agregados de compostos de Ca e Fe, precipitados nesse processo.

. O pH médio do solo sotoposto ao resíduo era 5,83; fato que favoreceu a permanência em solução dos metais que eventualmente tenham sido solubilizados a partir do resíduo.

. O solo sotoposto aos resíduos não apresentou anomalias significativas para Cd, Cr, Fe, Ni, Mn e Zn, de onde conclui-se que eles não retiveram quantidades significativas da parcela dos metais liberada dos resíduos.

. Os únicos metais que foram detectados em teores considerados anômalos no solo foram Ag, Cu e Pb.

. A simples presença dos resíduos provocou a retenção, mesmo que em teores muito baixos, de todos os metais no solo sotoposto, numa faixa com cerca de 1,30m de espessura abaixo do contato.

. Ocorreu a contaminação de alguns níveis mais profundos do solo sotoposto por Ag e Cu. Portanto ocorreu percolação de fluidos com Ag e Cu em solução até esses níveis.

. Apenas os metais Ag e Cu ocorrem em formas solubilizáveis no interior do perfil de solo, devendo estar ligados à fase sólida por ligações deslocáveis, como as existentes na adsorção de metais a argilo-minerais.

. A difratometria de raios X da fração argila dos solos mostrou perturbações que podem ser resultado de amorfização ou cristalização de minerais, numa faixa com quase 2,0 m de espessura abaixo do contato com os resíduos. É possível a ocorrência de modificações na composição e/ou estrutura dos minerais da fração mais fina do solo nessa faixa, por influência direta do resíduo.

. Em 18 meses de exposição dos resíduos houve considerável remoção de metais, que entraram em solução e praticamente não foram retidos pelo solo. Portanto, esses metais permaneceram em solução, podendo ter atingido o lençol freático e os corpos de água superficial.

. Os resíduos efetivamente oferecem riscos ambientais, cuja dimensão deverá ser melhor pesquisada.

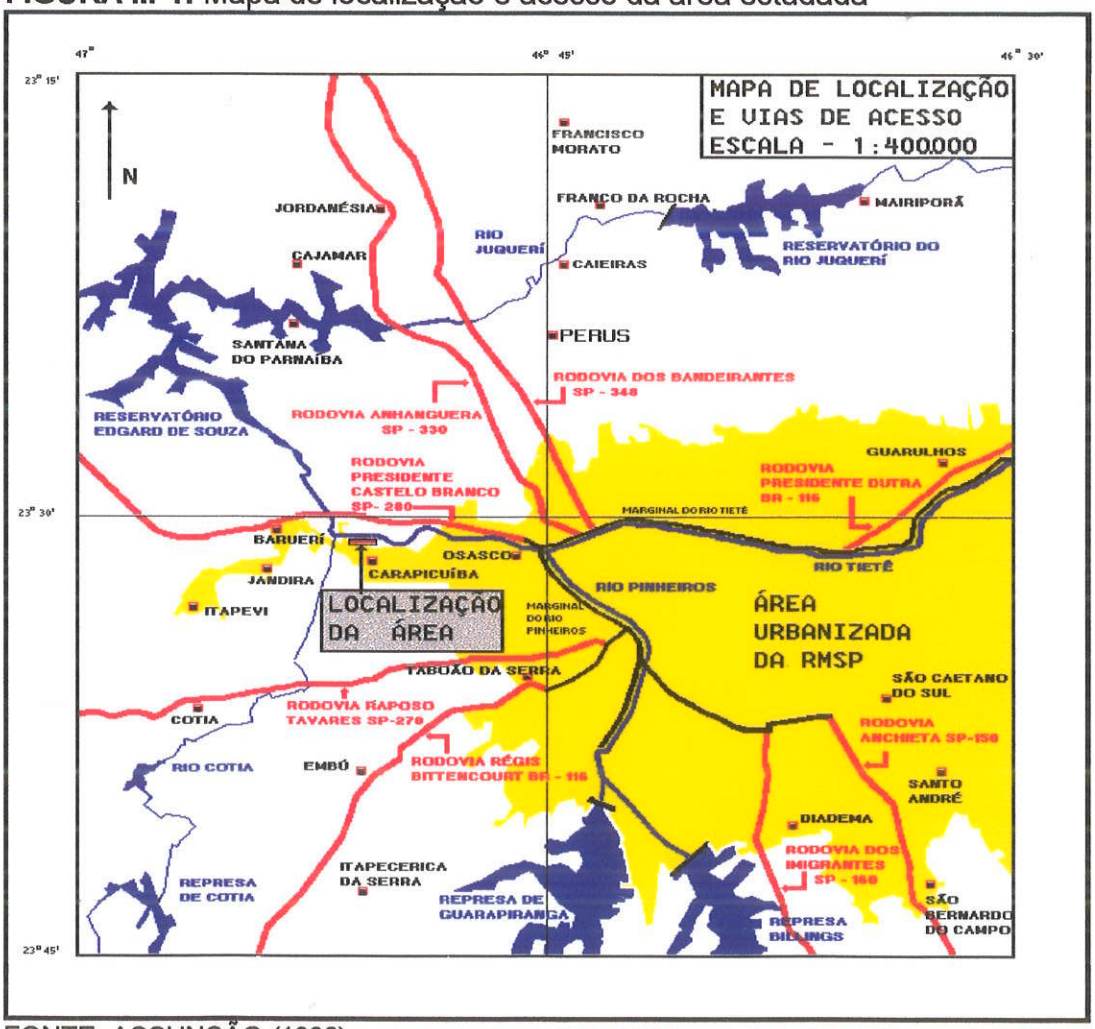
O grande número de observações e conclusões derivadas de um único perfil amostrado e a qualidade das informações obtidas levaram à principal conclusão do trabalho: a situação estudada merecia aprofundamento, com análise de um maior número de amostras, coletadas em um maior número de perfis. Merecia também a ampliação do seu escopo, com a inclusão da água subterrânea entre os parâmetros analisados.

O presente volume traz resultados e conclusões resultantes do aprofundamento e da ampliação desse trabalho.

A. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área estudada situa-se no município de Barueri, pertencente à Região Metropolitana de São Paulo. Está localizada nos limites do terreno da ETE de Barueri, entre a margem esquerda do rio Tietê e o leito da estrada de ferro da FEPASA, nas proximidades do Rio Cotia. A localização da área bem como as principais vias de acesso podem ser observadas na **Figura III-1**.

FIGURA III-1: Mapa de localização e acesso da área estudada



FONTE: ASSUNÇÃO (1996)

B. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

1. Clima

A região estudada apresenta clima classificado entre os grupos $\mathbf{C_{fb}}$ - Temperado sem Estação Seca e $\mathbf{C_w}$ - Subtropical com Inverno Seco, segundo a Classificação de Koeppen (NIMER,1989). No Mapa de Isoietas do Estado de São Paulo (DAEE, 1972a) a área estudada posiciona-se entre as curvas de 1300mm e 1400 mm de precipitação média anual. O posto pluviométrico P-12-108, localizado na Barragem Edgard de Souza em Santana do Parnaíba, apresenta média pluviométrica anual de 1340 mm. O mês mais quente do ano é fevereiro (22 °C) e o mais frio é julho (14 °C). A temperatura média anual é de 18 °C. A temperatura média do mês mais quente do ano varia entre 21 e 22 °C, enquanto a temperatura média do mês mais frio do ano está entre 14 e 15 °C. Na região, a umidade relativa do ar varia entre 72%, nos meses de julho e agosto, e 82%, nos meses de janeiro e fevereiro (DAEE, 1972b). Os valores médios de Evaporação Potencial e de Evaporação Real entre outubro e março (época de chuvas) são respectivamente 786mm e 530 mm. Já na época da seca (abril a setembro) esses valores caem a respectivamente 521mm e 176 mm. (Posto pluviométrico 3E-001- DAEE).

2. Hidrologia

a. Águas superficiais

A área estudada está situada a pequena distância dos rios Tietê e Cotia, que nesse trecho fazem parte da 1ª Zona Hidrográfica do Estado de São Paulo, Bacia 2 - Alto Tietê. Nessa região ambos os rios tiveram seus cursos originais retificados, sendo a ETE de Barueri construída sobre parte dos seus antigos leitos e várzeas aterrados.

De acordo com PENALOZA, (2001) o gradiente hidráulico da área da ETE varia entre 1,4%, no mês de outubro, e 2,1%, no mês de março. A Condutividade Hidráulica encontra-se na faixa 10^{-4} a 10^{-6}, atribuíveis a litologias síltico-arenosas a sílticas; compatíveis portanto com os resultados das análises granulométricas executadas por ASSUNÇÃO, (1996) em amostras de solo da área. Ainda de acordo com PENALOZA, (2001) as velocidades de fluxo da água subterrânea variam entre 0,35cm/ano, no mês de outubro, e 6,33m/ano no mês de março.

O fluxo da água subterrânea do local apresenta padrão radial, orientando-se do centro para a periferia da área. Esse padrão existe em função da posição do terreno em relação aos rios Cotia e Tietê, bem como a outros dois pequenos córregos que limitam a área. Dessa forma, o terreno é praticamente cercado por cursos de água, conforme pode ser observado na **Figura IV-1**. Cabe salientar também que a própria topografia do terreno, mais elevada na região central, induz o escoamento das águas superficiais segundo o mesmo padrão radial das águas subterrâneas, portanto em direção aos corpos d'água que limitam o terreno.

As águas superficiais da área apresentam alto nível de degradação ambiental e são classificadas como pertencentes à Classe 4 (resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86), sendo impróprias a qualquer uso doméstico, mesmo após tratamento.

b. Águas Subterrâneas

Os aqüíferos da região onde se situa a ETE de Barueri classificam-se regionalmente em três categorias distintas:

. Aqüíferos associados a rochas cristalinas não alteradas: pequenos volumes, associados a sistemas de fraturas, localizados em maior profundidade e apresentando baixa vazão específica (0,13 a 0,22 $m^3/h/m$).

. Aqüíferos associados a rochas cristalinas alteradas: pequenos volumes, associados à porosidade das rochas alteradas e secundariamente a fraturas, localizados próximos à superfície, apresentando vazões superiores às da categoria anterior, sendo muito influenciáveis pela poluição das águas superficiais.

. Aqüíferos associados a aluviões recentes do vale do rio Tietê: pequenos volumes, associados exclusivamente à porosidade dos sedimentos, localizados próximos à superfície, apresentando baixas vazões, sendo muito influenciáveis pela poluição das águas superficiais.

A água subterrânea do local estudado provem de aqüíferos aluvionares holocênicos. O seu pH médio em condições normais é de 5,5 e a sua temperatura próxima a 21,5 °C.

3. Geomorfologia e solos

A área estudada situa-se no compartimento geomorfológico denominado Planalto Paulistano, originado a partir da superfície erosiva Japi, que sofreu efeitos superpostos pela superfície erosiva do Alto Tietê ligada a eventos tectônicos de idade Terciária (ALMEIDA, 1964). A área localiza-se sobre estreita faixa de várzea do rio Tietê formada pelo retrabalhamento de seus próprios depósitos aluvionares. Essa faixa é plana, apresentando coeficientes de declividade inferiores a 1%. No local, ela é limitada ao norte pelo atual curso retificado do rio Tietê e ao sul pela área de relevo mais inclinado e acidentado, sustentado pelas Suítes Granitóides. Segundo a Carta dos Solos do Estado de São Paulo, elaborado pela Comissão de Solos do Ministério da Agricultura em 1960, os solos da região onde se situa a área estudada são classificados como Latossolos Vermelho/Amarelos Fase Rasa, e são originados da alteração intempérica das rochas cristalinas graníticas proterozóicas que ocorrem em escala regional.

C. GEOLOGIA

O contexto geológico da área estudada é apresentado na **Figura III-2**, que é uma ampliação do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, executado pela UNESP em convênio com o DAEE no ano de 1984, em escala 1 : 250.000.

Observa-se que nos arredores da região estudada ocorrem quatro unidades lito-estratigráficas distintas:

1. Holoceno: Depósitos aluviais recentes, areias e argilas, conglomerados na base. Unidade aflorante em alguns pontos do local estudado.

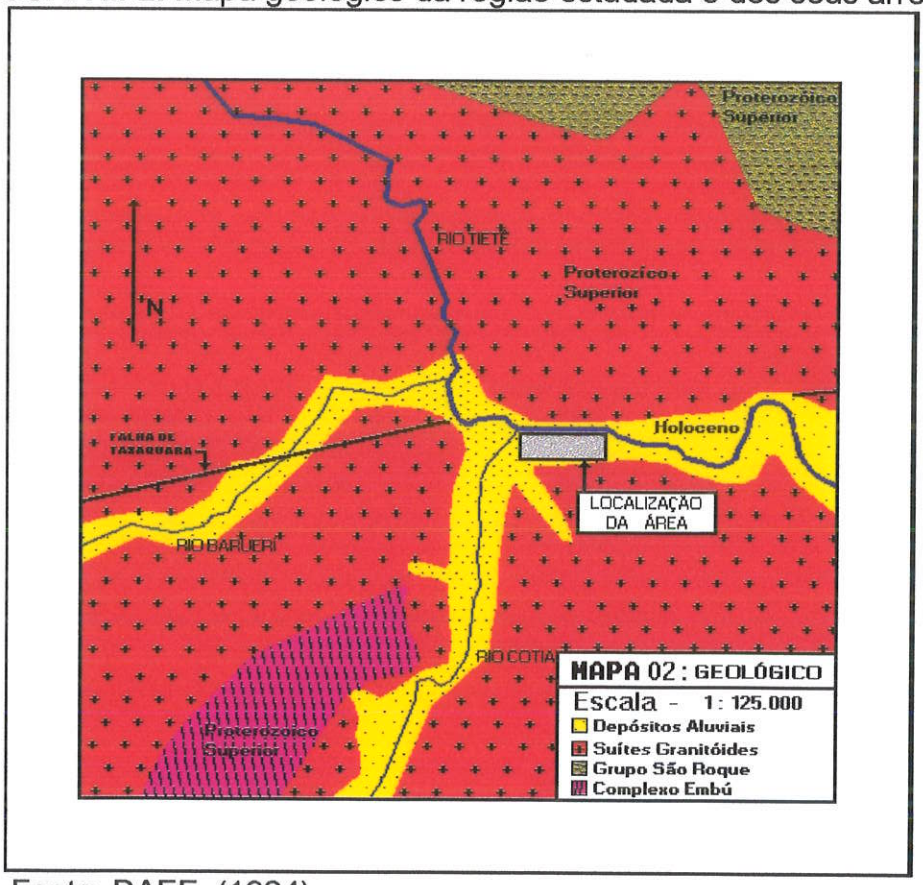
2. Suítes Granitóides: Corpos granitóides foliados com contatos parcialmente discordantes, textura porfiróide e composição tonalítica a granítica. Unidade predominante nos arredores da área estudada. Solos de alteração originados a partir dessa unidade foram utilizados na construção de aterros na área estudada.

3. Grupo São Roque: Filitos, incluindo metassiltitos, quartzoxistos, quartzitos a micaxistos subordinados. Unidade que ocorre a uma distância de 5 a 6 km ao norte da área.

4. Complexo Embú: Migmatitos heterogêneos. Ocorre a sudeste da área.

Duas dessas unidades geológicas são de maior interesse para este trabalho, por ocorrerem no local estudado ou nas suas imediações. A primeira ocorre na área da ETE e é representada por depósitos Holocênicos, pacotes sedimentares constituídos predominantemente por camadas argilosas, ricas em material orgânico, intercaladas com camadas detríticas mais grosseiras. Esses depósitos podem atingir 20 m de espessura e são de idade Quaternária. A Segunda ocorre no entorno da área da ETE, e é constituída pelas Suítes Granitóides, representadas por granitos intrusivos de aspecto porfirítico, coloração cinza clara, com fenocristais de feldspato distribuídos em matriz rica em hornblenda e biotita, que apresentam indícios de deformação dinâmica e idade aproximada de 600 milhões de anos (DAEE, 1975). Cabe ressaltar que foram construídos diversos aterros dentro da área da ETE, com a utilização de solos retirados de terrenos vizinhos (SABESP, 1994c). Dessa forma, os solos originados da alteração das rochas graníticas ocorrem no terreno da ETE como solos *"ex situ"* (aterros).

FIGURA III-2: Mapa geológico da região estudada e dos seus arredores



Fonte: DAEE, (1984).

IV. TRABALHOS EXECUTADOS

Por ter estudado materiais de composição extremamente variável, esta pesquisa demandou uma extensa etapa experimental para atingir os objetivos propostos. Inicialmente, foram executadas as atividades de campo: mapeamento da área da ETE, instalação e recuperação de poços de monitoramento de água subterrânea e chorumes e coleta de amostras de resíduos, solos, chorumes e águas subterrâneas. A seguir, vieram as atividades desenvolvidas em laboratório, com utilização de diversas técnicas para caracterização dos materiais. Os procedimentos adotados nos trabalhos de campo e laboratório são apresentadas a seguir.

A. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA RESÍDUOS E SOLOS

1. Escolha dos pontos para coleta de amostras

O principal objetivo desta Tese foi o de caracterizar e comparar as características obtidas nos diferentes materiais existentes nos três pacotes de resíduos não estudados por ASSUNÇÃO (1996). De acordo com este autor, cada um dos três corpos (Sul, Leste e Oeste) apresentava características particulares, no que se refere a idade, espessura e fisiografia do local de disposição. Assim, para que os objetivos principais pudessem ser atingidos plenamente, foi importante a escolha criteriosa dos pontos para coleta de amostras nos três corpos, de forma a se melhor identificar as eventuais diferenças existentes entre eles. Essa escolha levou em conta, inicialmente, as idades estimadas para cada corpo de resíduos, apresentadas na **Tabela IV-1**.

TABELA IV-1: Histórico da disposição do Resíduo Fresco na área da ETE de Barueri

Época de disposição	Local de disposição	Observações
jul/88 a jun/90	Corpo Leste bloco A	Resíduo removido em 01/93 para Corpo Oeste bloco A
jul/90 a dez/90	Corpo Norte bloco A	
jan/91 a jun/91	**Corpo Oeste bloco B**	
Jul/91 a fev/92	**Corpo Sul bloco A**	
Mar/92 a out/92	----------	Resíduo depositado em outro local
Nov/92 e dez/92	Corpo Norte bloco B	
Jan/93 a jul/93	**Corpo Norte bloco C**	Corpo Oeste bloco A recebeu o resíduo do corpo Leste bloco A
Ago/93 a dez /93	**Corpo Leste bloco B**	
Jan/94 a mar/94	Corpo Leste bloco C	
Abr/94 a jun/94	Corpo Sul bloco A	

Fonte: ASSUNÇÃO, (1996) OBS: Em negrito: blocos amostrados

Avaliando-se as características individuais de cada corpo, optou-se pela coleta de amostras em 8 pontos distintos: 1 no corpo Oeste, 3 no corpo Sul e 4 no corpo Leste. A localização dos pontos escolhidos pode ser observada na **Figura IV-1**, que também exibe outras feições importantes da área estudada. Os corpos amostrados apresentaram as seguintes características gerais:

a. Corpo Oeste: depositado sobre área praticamente plana, evidenciando poucos sinais de movimentação pós-disposição. As amostras foram coletadas em uma parede vertical, com espessura aparente de 2,80m, nos limites do corpo de resíduos. O solo sotoposto ao corpo no ponto amostrado foi perfurado por sondagem a trado para coleta de amostras. Os resíduos amostrados foram gerados e dispostos no local entre janeiro e junho de 1991.

b. Corpo Sul: no local amostrado, o corpo Sul apresentava alguns sinais de movimentação pós-disposição, sendo comum a presença de torrões centimétricos de solo inseridos na matriz dos resíduos. O corpo foi depositado sobre terreno com declividade acentuada, próxima a 20%. As amostras de resíduos foram coletadas em uma parede aberta especialmente para essa finalidade, com espessura aparente de 3,0m. A época estimada para disposição dos resíduos no local é julho de 91 a fevereiro de 92.

c. Corpo Leste: depositado sobre terreno com pequena declividade. Em muitos locais apresentava claros indícios de movimentação posterior à disposição inicial. O corpo não apresenta continuidade lateral ou espessura constante, sendo constituído na realidade por inúmeras pilhas individuais, interligadas pela base, cobrindo toda a área. A espessura dos resíduos nesse corpo variava entre 0,20m e 2,00m. A época estimada para geração e disposição dos resíduos do corpo Leste é agosto a dezembro de 1993.

2. Materiais e métodos

Uma vez escolhidos os pontos para coleta de amostras em cada corpo, foi dada seqüência ao trabalho com a execução dos procedimentos de campo e laboratório. Os métodos, materiais e equipamentos envolvidos são apresentados a seguir.

a. Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo constituíram-se de três etapas: reconhecimento da área, verificação dos limites dos corpos de resíduos a partir do mapa de ASSUNÇÃO (1996), e amostragem.

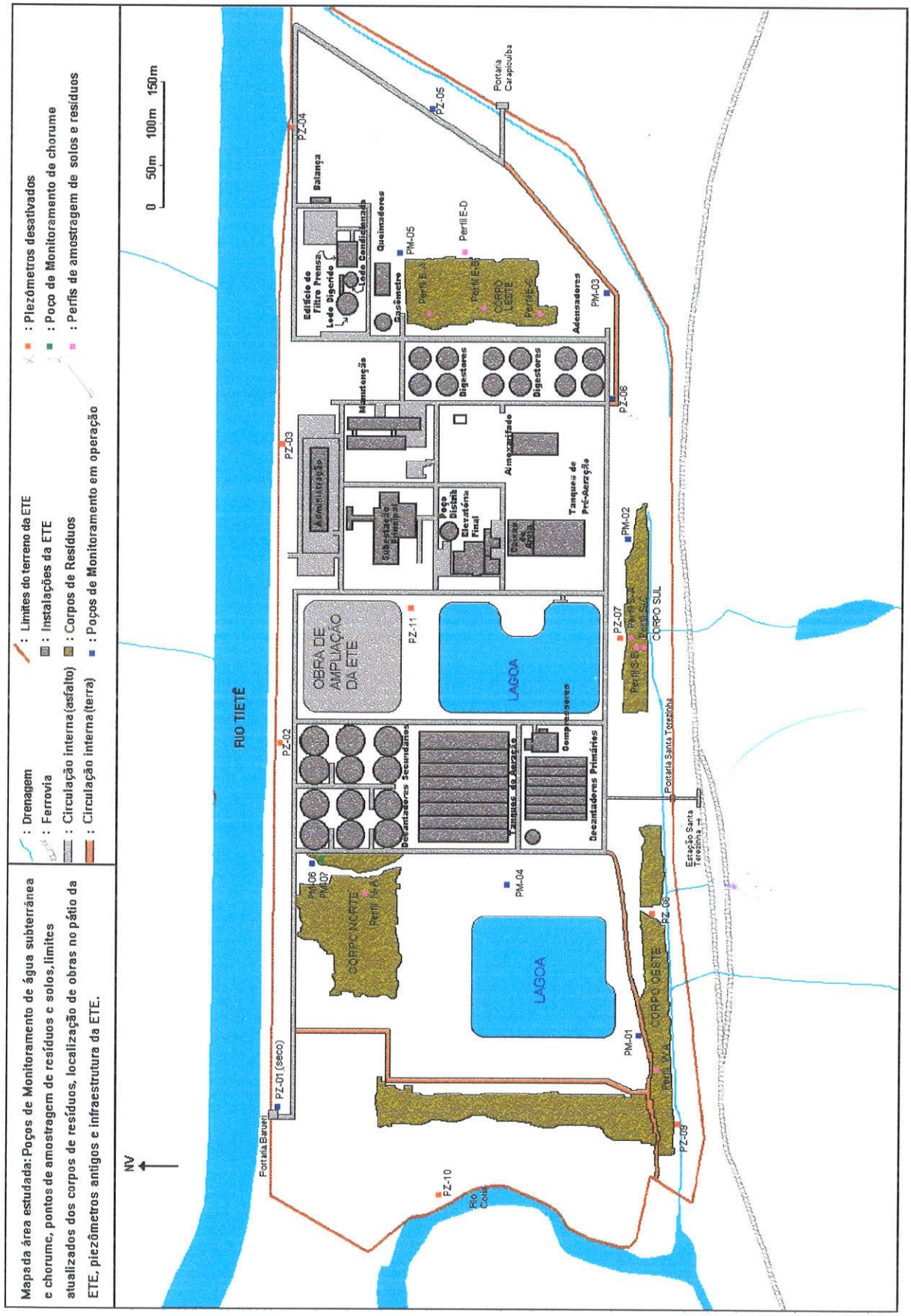
. Reconhecimento e planejamento inicial

Essa etapa visou levantar as características gerais dos corpos e dos locais de disposição dos resíduos para planejamento do acesso aos pontos de amostragem. Nessa etapa também foram definidos os equipamentos, ferramentas e materiais necessários aos trabalhos.

. Verificação de espessuras e delimitação dos corpos

A verificação das espessuras e dos limites dos corpos foi feita a partir de levantamentos pré-existentes, executados pela própria SABESP durante a disposição dos resíduos e por ASSUNÇÃO, em 1996. Foram medidos e confirmados os limites e as espessuras dos três corpos escolhidos. Desse trabalho resultou o mapa exibido na **Figura IV-1**.

FIGURA IV-1: Mapa geral da área estudada



. Amostragem

Depois de reconhecida a área e mapeados os corpos, passou-se à coleta de amostras de resíduos e solos para as várias determinações e análises em laboratório. Em cada um dos pontos escolhidos foi executada amostragem contínua, linear, por toda a dimensão vertical dos corpos de resíduos. Sempre que possível, a amostragem prosseguiu pelo solo situado imediatamente abaixo do resíduo amostrado, resultando em um único perfil vertical relativo aos resíduos e solos. No corpo Leste, foram amostrados 4 perfis: A, B, C e D. As amostras de resíduos foram coletadas por sondagem a trado diretamente sobre a superfície das pilhas. As diversas tentativas de atravessar os resíduos para amostrar o solo sotoposto foram infrutíferas, em função da existência de um nível de fragmentos deciméticos de rocha e de concreto logo abaixo dos resíduos. Como a amostragem de um perfil de solo era importante, optou-se pela execução de uma sondagem em local próximo aos resíduos, porém não diretamente recoberto por eles. No corpo Sul, foram amostrados 3 perfis: A, B e C. Foi aberta uma trincheira perpendicular à maior dimensão do corpo de resíduos e paralela ao sentido do mergulho da declividade. Essa trincheira cortou o pacote de resíduos desde o seu topo até abaixo do nível do solo, originando um novo afloramento. Nesse afloramento, foram coletadas amostras de canal no perfil A (cota arbitrária = x) e no perfil B (cota arbitrária = x – 1,10m). Nesses 2 pontos, na base dos perfis, foram executadas sondagens a trado para amostragem do subsolo. No perfil C (cota arbitrária = x – 1,60), as condições de segurança permitiram apenas a coleta de amostras dos resíduos.

No corpo Oeste, foi amostrado um único perfil: o perfil A. As amostras de canal foram coletadas na parede pré-existente no pacote de resíduos. Na base do perfil, foi executado um furo de trado para coleta de amostras do solo.

Para ilustrar a distribuição espacial das amostras nos 8 pontos escolhidos nos 3 corpos, são apresentadas as **Figuras IV-2, IV-3, IV-4, IV-5, IV-6, IV-7, IV-8 e IV-9**. Essas figuram exibem os perfis com a distribuição vertical das amostras e com uma descrição de campo dos diversos materiais observados.

Cabe ressaltar que os perfis apresentados incluem amostras indeformadas, que foram coletadas nos resíduos e solos. No entanto, alterações nos procedimentos analíticos inicialmente definidos, excluíram as análises previstas para essas amostras.

FIGURA IV-2: Perfil A do Corpo Leste

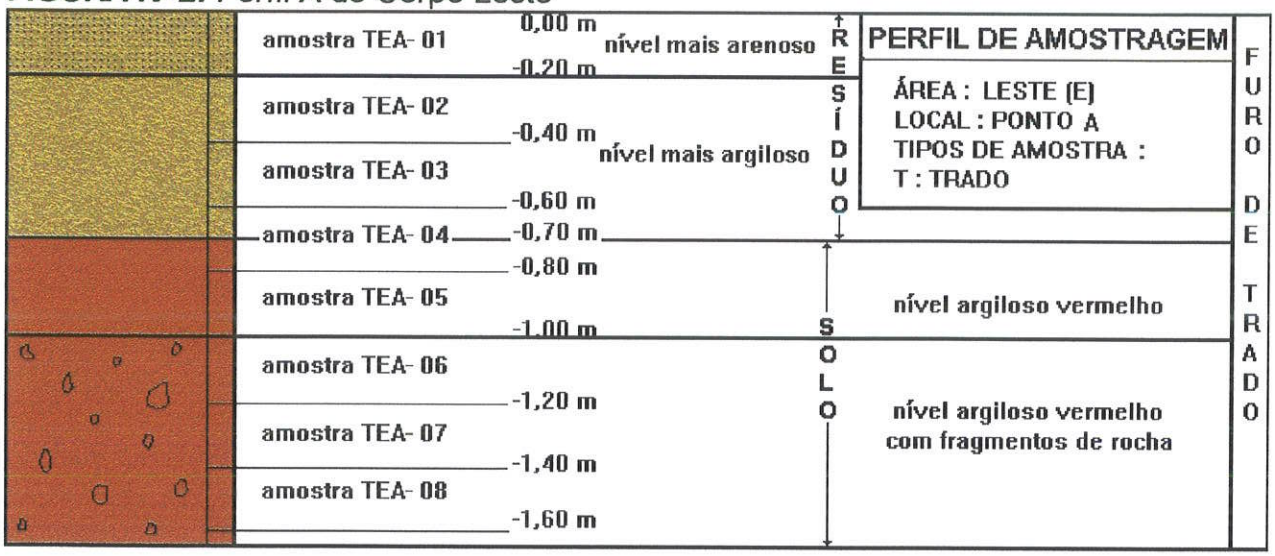


FIGURA IV-3: Perfil B do Corpo Leste

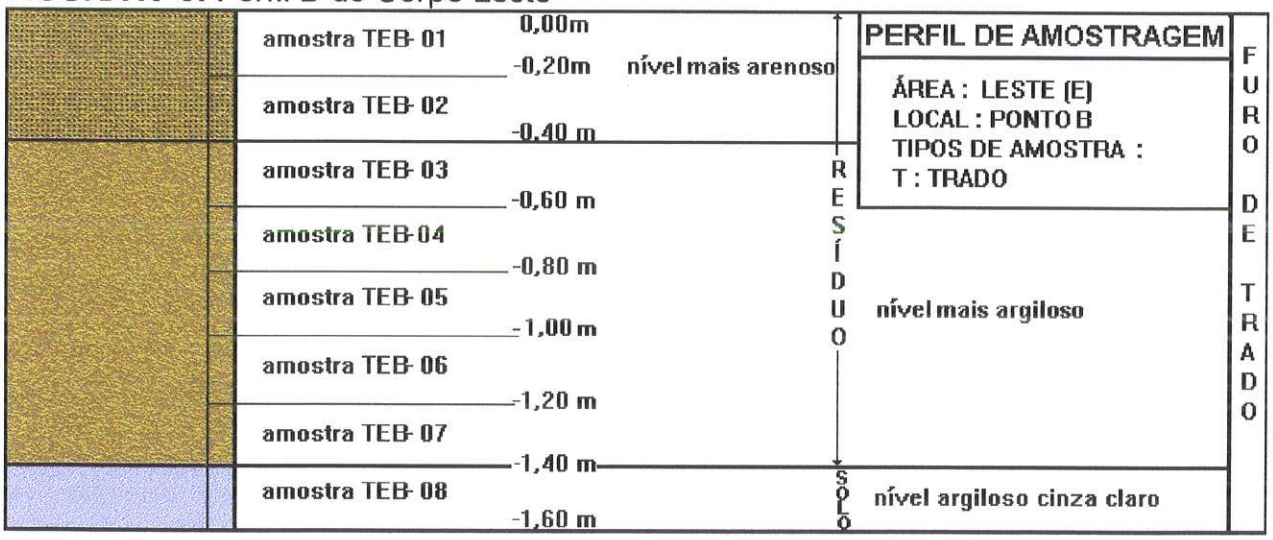


FIGURA IV-4: Perfil C do Corpo Leste

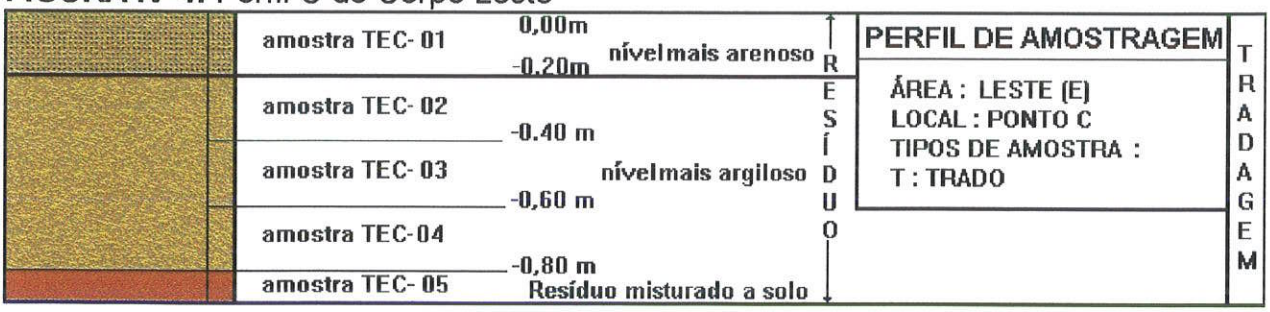


FIGURA IV-5: Perfil D ao lado do Corpo Leste

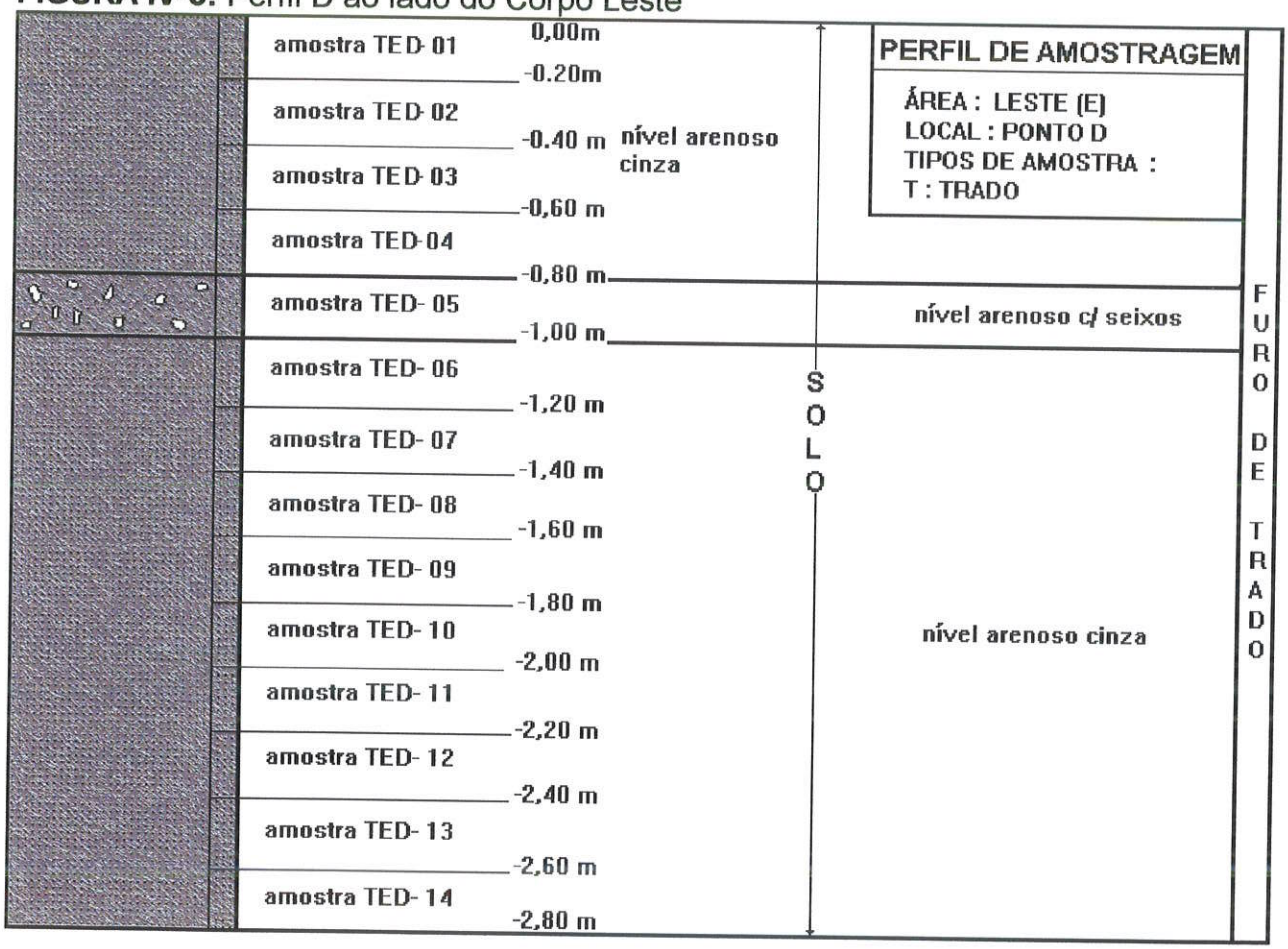


FIGURA IV-6: Perfil C do Corpo Sul

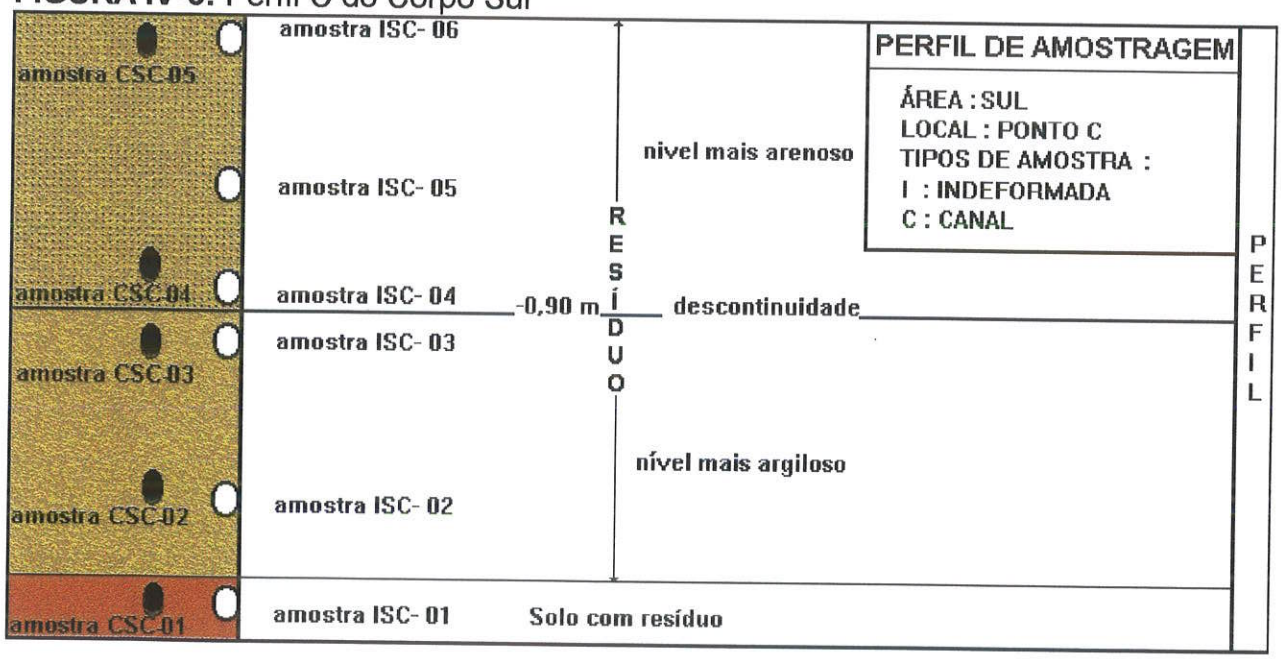


FIGURA IV-7: Perfil A do Corpo Sul

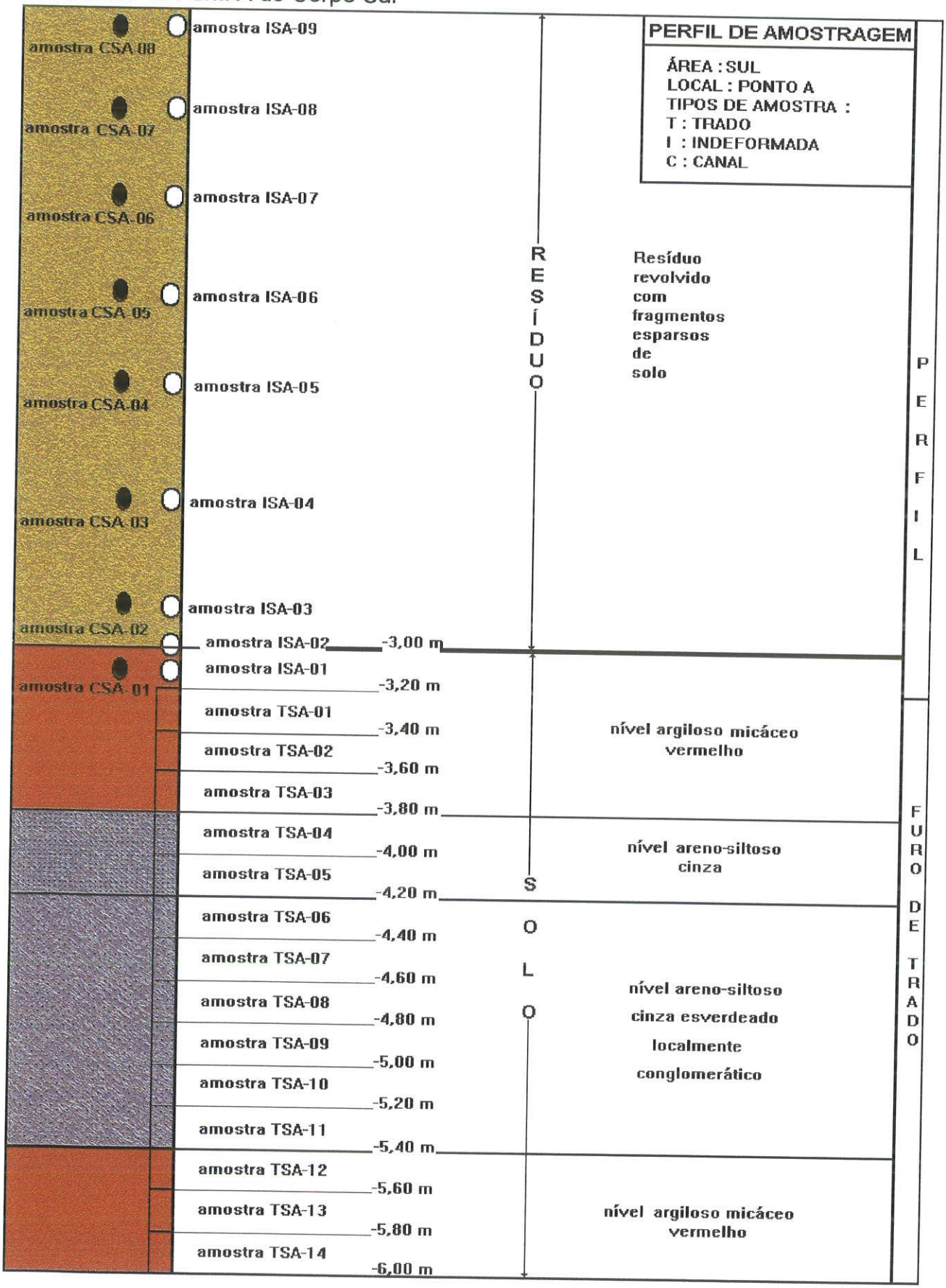


FIGURA IV-8: Perfil B do corpo Sul

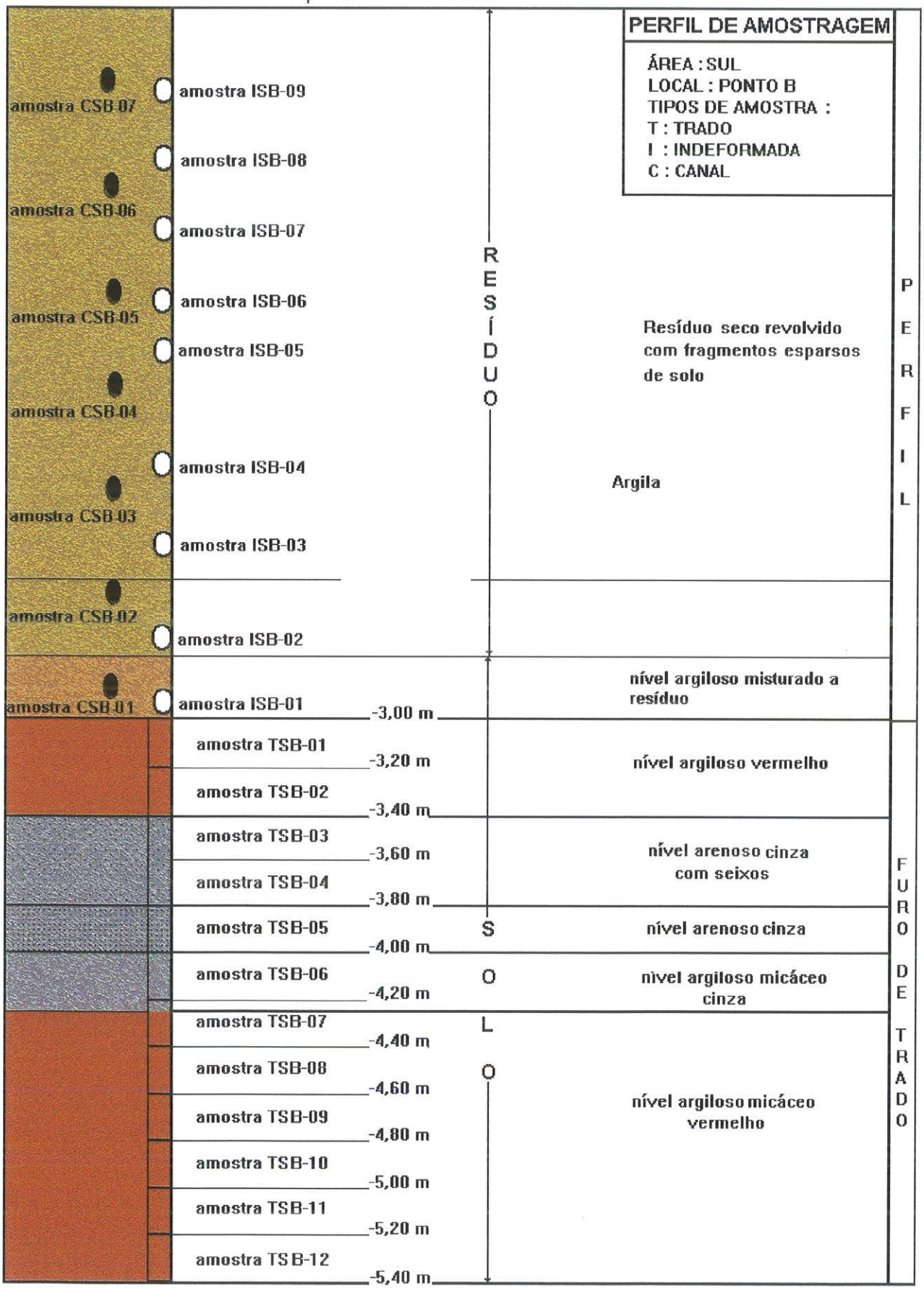
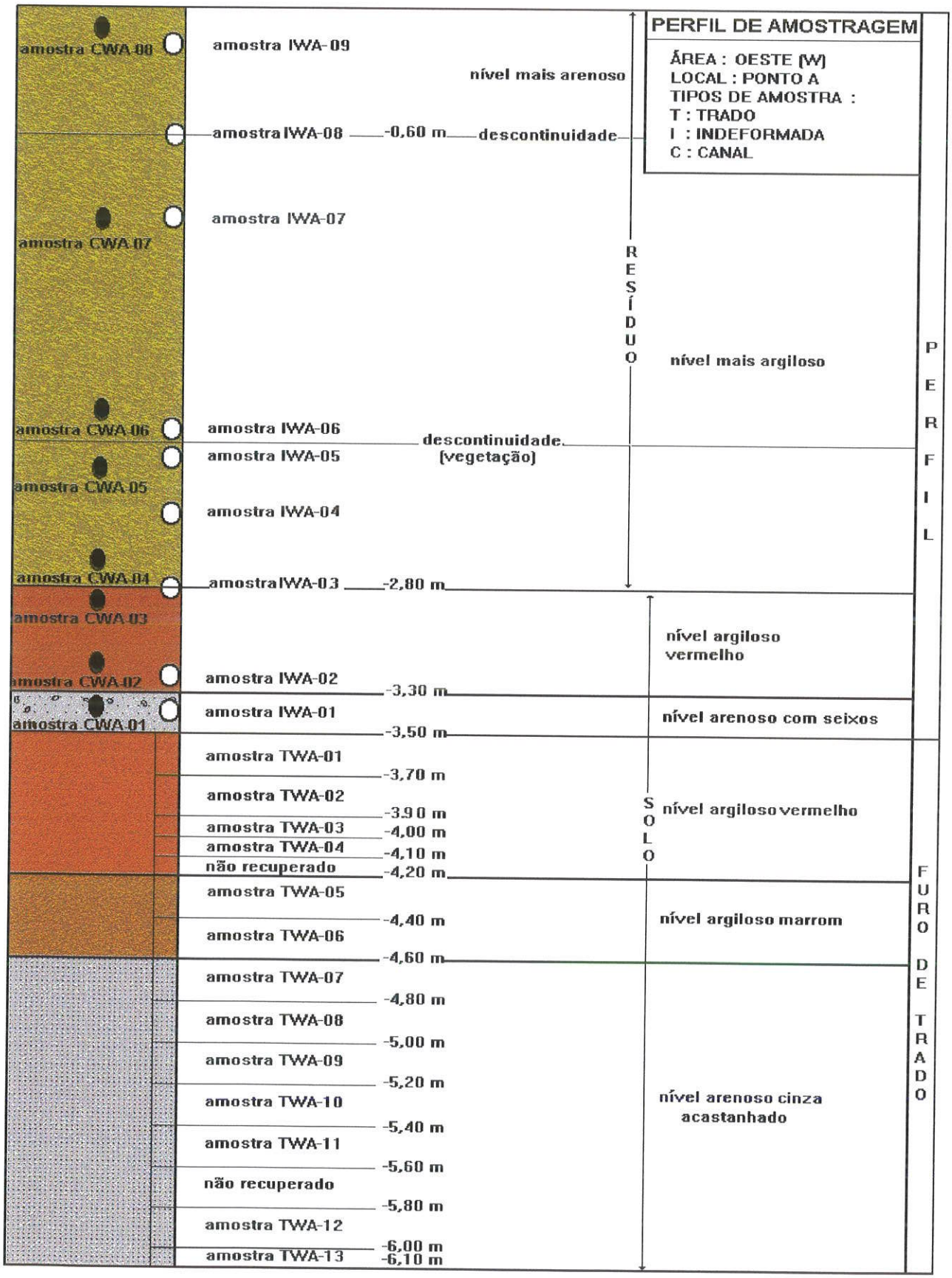


FIGURA IV-9: Perfil A do Corpo Oeste



As sondagens a trado foram feitas com a utilização de trado de aço inox, do tipo concha, com ∅ = 2,5" e hastes com engate rápido.

b. Trabalhos de laboratório

As amostras de solos e resíduos coletadas passaram por uma série de procedimentos, desde as preparações iniciais até a aplicação final de cada técnica analítica escolhida. Esses procedimentos serão brevemente descritos a seguir.

. Preparação das amostras

As amostras de trado e canal foram preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras do IGc - USP. Os principais procedimentos de preparação consistiram em:

- Secagem inicial

As amostras de canal e de trado foram secas à temperatura ambiente, ficando expostas à sombra durante o período médio de uma semana em bandejas de madeira recobertas por papel, até que fosse possível a sua desagregação manual.

- Homogeneização, quarteamento, peneiramento e moagem

Depois de secas, as amostras de canal e de trado foram desagregadas, homogeneizadas e quarteadas com a utilização da técnica da pilha cônica (POSSA & LUZ, 1984). Foram quarteadas cinco alíquotas com peso próximo a 50g, que foram utilizadas de acordo com as finalidades mostradas na **Tabela IV-2**.

TABELA IV-2 : Alíquotas quarteadas das amostras de canal e de trado

ALÍQUOTA	PESO (g)	FINALIDADE
A	50	Dosagem de metais
B	50	Determinação do pH
C	50	Análise granulométrica *
D	50	Análise de morfologias no MEV
E	50	Arquivo
OBS: * Originou amostras para as análises mineralógicas		

As alíquotas "A", destinadas às análises químicas, foram processadas em gral de ágata, sendo o material reduzido a granulometrias com diâmetros inferiores a

150 mesh e enviado para análise. As alíquotas "B" foram enviadas diretamente para determinação do pH. As alíquotas "C", enviadas para análise granulométrica, passaram por peneiramento prévio em malha 2,0 mm, com separação, pesagem e arquivamento da fração retida e envio da fração passante para as análises. As alíquotas "D", destinadas à análise de morfologias ao MEV, passaram por um peneiramento em malha 2,00 mm, com separação da fração retida e envio para análise.

. Análises químicas

- Dosagem de metais

As alíquotas "A", de resíduos e solos, secas e moídas abaixo de 150 mesh, preparadas a partir das amostras de canal e de trado seguiram para o laboratório NOMUS Análises Minerais Ltda. onde foram submetidas à dosagem dos metais: Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. A determinação dos metais contidos nas alíquotas foi realizada a partir de duas aberturas distintas:

. Abertura por ácidos fortes a quente: ataque por mistura de HNO_3 e HCl na proporção de 1 : 3, aquecida sob refluxo, a uma temperatura de 100 °C, até a dissolução da amostra. O objetivo desse procedimento foi o de quantificar os metais pesados presentes nos resíduos dispostos e nos solos com utilização das mesmas técnicas utilizadas pela SABESP na quantificação de metais nos resíduos frescos. Esse cuidado visou possibilitar melhores condições de comparação entre os resultados.

. Abertura por água deionizada a frio: foi utilizado o procedimento proposto por CAMPANELLA *et al.*, (1985) para lodos condicionados: agitação de 2g de amostra em 200 ml de água deionizada durante 8 horas. A porção sobrenadante foi filtrada em membrana com abertura de poros de 0,45 μm. O objetivo desse procedimento foi o de quantificar os teores de metais sob formas mais solúveis em água nas amostras de resíduos dispostos e solos.

As soluções obtidas através das duas aberturas foram analisadas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo Varian AA-1475.

- Determinação do pH

Nas alíquotas "B" das amostras de resíduos e solos previamente secas, determinou-se o pH de abrasão. Adicionou-se 10 ml da fração <2,00 mm das alíquotas de solo e resíduos a 25 ml de água deionizada. A mistura foi agitada mecanicamente por 5 minutos, ficando a seguir em repouso por cerca de 1 h. Em seguida foi feita a leitura do valor do pH com a utilização de equipamento Orion modelo 250-A previamente calibrado para pH's 4 e 7.

. Análises Granulométricas

As alíquotas "C" de resíduos e solos foram secas em estufa a 60 °C e em seguida pesadas. Passaram a seguir por tratamento com H_2O_2 a 50 volumes a quente para oxidação da matéria orgânica. Eliminada a matéria orgânica, submeteu-se as amostras ao método de análise por Pipetagem e Peneiramento, que forneceu as distribuições percentuais de argila, silte fino, silte grosso, areia fina e areia grossa. As diversas frações granulométricas obtidas seguiram para a execução das análises mineralógicas.

. Análises mineralógicas

- Análise mineralógica da fração argila por Difratometria de raios X

Foram submetidas a esse método as frações granulométricas mais finas (∅< 2μm) das amostras, separadas durante as análises granulométricas. Os objetivos desse procedimento foram: determinar os argilominerais mais importantes presentes nos resíduos e nos solos e verificar a eventual ocorrência de compostos neoformados nesses mesmos materiais. As amostras foram montadas a úmido, superpostas com espátula sobre lâminas de vidro, e submetidas ao difratômetro de Raio X da marca ZEISS modelo URD-6, em operação no IGc - USP.

- Análise mineralógica das frações silte e areia

As frações granulométricas silte e areia das amostras de resíduos e de solos separadas durante a análise granulométrica foram submetidas a Análise Mineralógica Qualitativa de Grãos. Essas frações sofreram separação gravimétrica em líquidos densos e os produtos obtidos foram analisados em estereomicroscópio para identificação dos minerais. O objetivo desse procedimento foi principalmente o de verificar a existência de compostos como carbonatos, fosfatos, sulfatos ou hidróxidos de metais pesados, que pudessem ter se precipitado a partir das soluções que geradas pelos resíduos. Tanto os indivíduos claramente neoformados como os fragmentos portadores de estruturas que pudessem ser associadas a fenômenos de neoformação ou dissolução também foram separados para análise ao microscópio eletrônico de varredura.

. Observações de morfologias ao Microscópio Eletrônico de Varredura e determinações químicas qualitativas ao EDS

Os grãos com feições de interesse, separados durante as análises mineralógicas das frações silte e areia, foram submetidos a processo de metalização a vácuo por carbono em equipamento Denton Vacuum Desk II. As amostras metalizadas foram analisadas no Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM 5600 LV, acoplado a EDS, em operação no NUPEGEL, em Piracicaba.

B. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA ÁGUA E CHORUMES

1. Escolha dos pontos para amostragem

Um outro objetivo do presente trabalho foi o de verificar a presença de metais na água subterrânea do local estudado. Além dos teores dos metais, foram determinados também alguns outros parâmetros eventualmente úteis à interpretação do comportamento dos metais. O chorume gerado pelos resíduos dispostos foi analisado com os mesmos objetivos.

Para coleta de amostras de água subterrânea foi necessária a instalação de 6 poços de monitoramento, além da recuperação de 2 poços já existentes na área,

sendo amostrados portanto 8 poços. Para coleta de amostras do chorume, foi implantado um poço de monitoramento sobre os resíduos dispostos no corpo Norte. A localização de todos os poços de monitoramento instalados pode ser visualizada na Figura IV-1. A escolha dos locais para sua implantação buscou proximidade com os vários corpos de resíduo tentando, na medida do possível, manter uma distribuição espacial homogênea dentro da área estudada.

2. Materiais e métodos

Uma vez escolhidos os pontos para instalação dos poços de monitoramento, foram executadas as atividades de campo e laboratório. Os métodos utilizados, bem como os materiais e equipamentos envolvidos, serão apresentados a seguir.

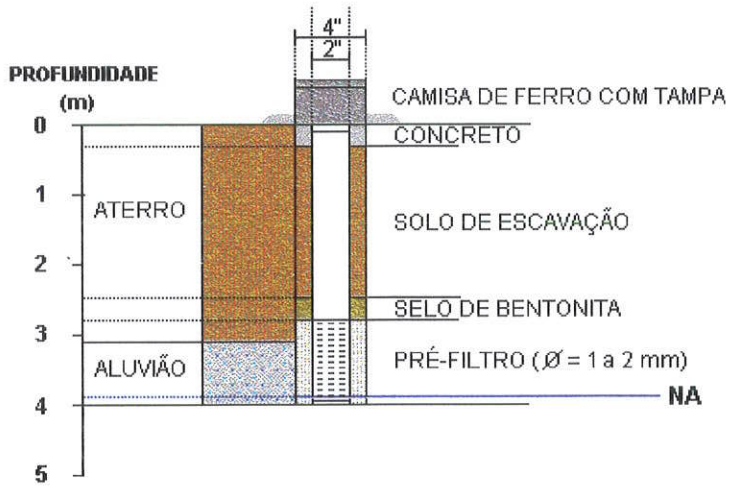
a. Trabalhos de campo

. Instalação e recuperação de poços de monitoramento

Foram instalados 6 poços de monitoramento para água subterrânea e 1 poço para chorume. Foram executadas sondagens a trado, com diâmetro 4", até o nível freático, instalando-se em seguida estruturas de PVC rígido e inerte, com 2" de diâmetro, constituídas por cap de fundo, seção filtrante, revestimento e cap de topo. O espaço anelar entre a parede dos poços e as seções filtrantes foram preenchidos por pré-filtro arenoso, classificado em diâmetro entre 1,00 e 2,00 mm. Acima do pré-filtro, foi adicionado selo de bentonita com espessura de 30 cm. O restante do espaço anelar foi preenchido com o solo das próprias escavações. Finalmente, foram instaladas proteções sanitárias e tampas metálicas para proteção das bocas dos poços. Os perfis construtivos dos poços instalados podem ser observados nas **Figuras IV-10, IV-11, IV-12, IV-13, IV-14, IV-15 e IV-16**.

Concluída a instalação dos poços de monitoramento, foi executado o seu desenvolvimento: remoção contínua de água com a utilização de "*bailers*", até que a água se apresentasse límpida. Esse procedimento foi executado também para a recuperação dos poços PM-07 e PM-08, que já estava instalados no local.

FIGURA IV-10: PERFILCONSTRUTIVO E LITOLÓGICO DO POÇO DE MONITORAMENTO PM-01



RESUMO DO POÇO

SONDAGEM:
- Diâmetro: 4"
- Profundidade:4,00m
- Método: Trado manual

COLUNA:
- Diâmetro: 2"
- Altura: 4,00m
- Material: PVC branco/rosca
- Composição:
  - Cap de fundo
  - Filtro: 2,80 a 4,00m (1,20m)
  - Tubo fechado: 0,00 a 2,80m (2,80m)
  - Cap de topo

PREENCHIMENTO:
- Pré-filtro de areia (classificada entre 1,00 e 2,00mm): 2,80 a 4,00m (1,20m)
- Bentonita: 2,50 a 2,80m (0,30m)
- Solo de escavação: 0,30 a 2,50m (2,20m)
- Concreto: 0,00 a 0,30m

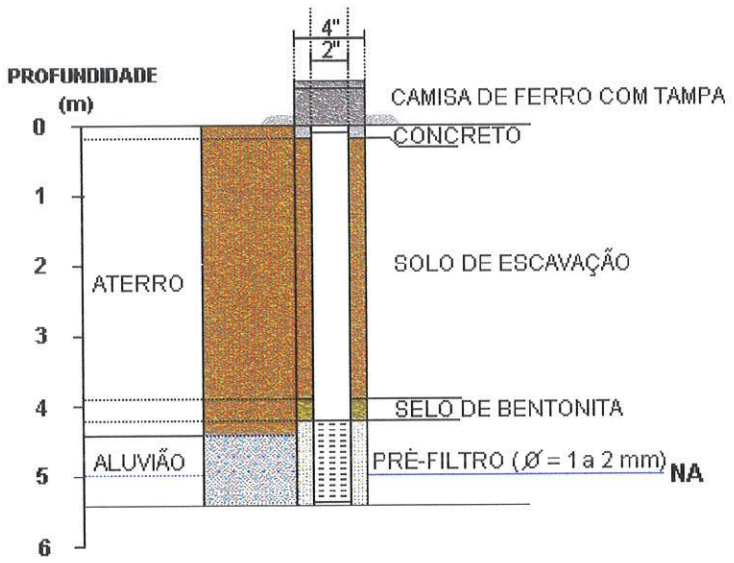
PROFUNDIDADE DO NA no momento da sondagem: 3,90m

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Aterro constituído por material síltico-argiloso, micáceo, vermelho, compacto.

Aluvião constituído por material arenoso, cinza a preto, localmente argiloso, inconsolidado.

FIGURA IV-11: PERFILCONSTRUTIVO E LITOLÓGICO DO POÇO DE MONITORAMENTO PM-02



RESUMO DO POÇO

SONDAGEM:
- Diâmetro: 4"
- Profundidade: 5,40
- Método: Trado manual

COLUNA:
- Diâmetro: 2"
- Altura: 5,40
- Material: PVC branco/rosca
- Composição:
  - Cap de fundo
  - Filtro: 4,20 a 5,40m (1,20m)
  - Tubo fechado: 0,00 a 4,20m (4,20m)
  - Cap de topo

PREENCHIMENTO:
- Pré-filtro de areia (classificada entre 1,00 e 2,00mm): 4,20 a 5,40m (1,20m)
- Bentonita: 3,90 a 4,20m (0,30m)
- Solo de escavação: 0,20 a 3,90m (3,70m)
- Concreto: 0,00 a 0,20m (0,20m)

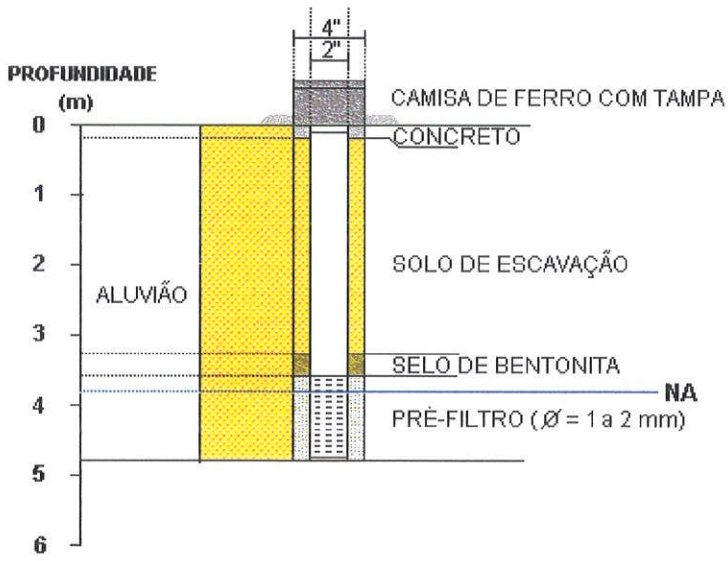
PROFUNDIDADE DO NA no momento da sondagem: 5,00m

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Aterro constituído por material areno-argiloso tendendo a síltico argiloso, cinza a vermelho, localmente micáceo, medianamente compacto.

Aluvião constituído por material arenoso fino, cinza, inconsolidado.

FIGURA IV-12: PERFILCONSTRUTIVO E LITOLÓGICO DO POÇO DE MONITORAMENTO PM-03



RESUMO DO POÇO

SONDAGEM:
- Diâmetro: 4"
- Profundidade: 4,80m
- Método: Trado manual

COLUNA:
- Diâmetro: 2"
- Altura: 4,80m
- Material: PVC branco/rosca
- Composição:
  - Cap de fundo
  - Filtro: 3,60 a 4,80m (1,20m)
  - Tubo fechado: 0,00 a 3,60m (3,60m)
  - Cap de topo

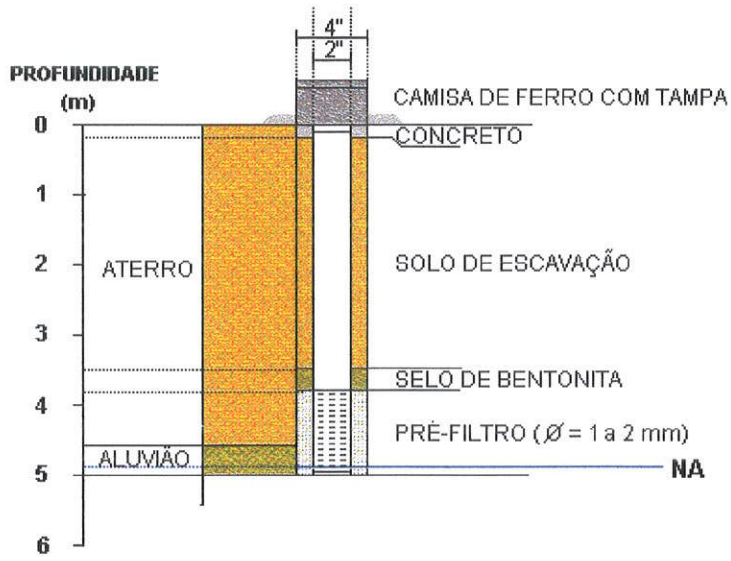
PREENCHIMENTO:
- Pré-filtro de areia (classificada entre 1,00 e 2,00mm): 3,60 a 4,80m (1,20m)
- Bentonita: 3,30 a 3,60m (0,30m)
- Solo de escavação: 0,20 a 3,30m (3,10m)
- Concreto: 0,00 a 0,20m (0,20m)

PROFUNDIDADE DO NA no momento da sondagem: 3,80m

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Aluvião constituído por material arenoso fino a grosso, amarelo alaranjado, inconsolidado.

FIGURA IV-13: PERFILCONSTRUTIVO E LITOLÓGICO DO POÇO DE MONITORAMENTO PM-04



RESUMO DO POÇO

SONDAGEM:
- Diâmetro: 4"
- Profundidade: 5,00m
- Método: Trado manual

COLUNA:
- Diâmetro: 2"
- Altura: 5,00m
- Material: PVC branco/rosca
- Composição:
  - Cap de fundo
  - Filtro: 3,80 a 5,00m (1,20m)
  - Tubo fechado: 0,00 a 3,80m (3,80m)
  - Cap de topo

PREENCHIMENTO:
- Pré-filtro de areia (classificada entre 1,00 e 2,00mm): 3,80 a 5,00m (1,20m)
- Bentonita: 3,50 a 3,80m (0,30m)
- Solo de escavação: 0,20 a 3,50m (3,30m)
- Concreto: 0,00 a 0,20m (0,20m)

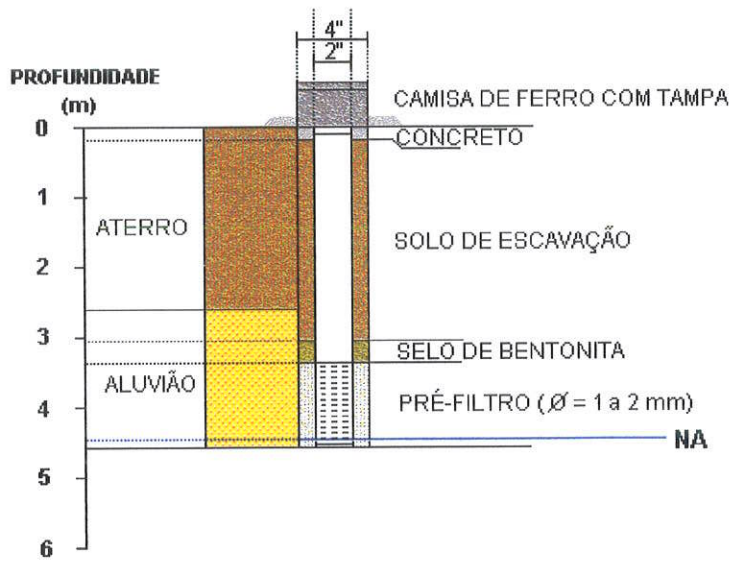
PROFUNDIDADE DO NA no momento da sondagem: 4,90m

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Aterro constituído por material areno-siltoso a síltico-argiloso, amarelo alaranjado, micáceo, localmente caolínico, compacto a medianamente compacto.

Aluvião constituído por material síltico-arenoso, castanho, inconsolidado.

FIGURA IV-14: PERFILCONSTRUTIVO E LITOLÓGICO DO POÇO DE MONITORAMENTO PM-05



RESUMO DO POÇO

SONDAGEM:
- Diâmetro: 4"
- Profundidade: 4,60m
- Método: Trado manual

COLUNA:
- Diâmetro: 2"
- Altura: 4,60m
- Material: PVC branco/rosca
- Composição:
  - Cap de fundo
  - Filtro: 3,40 a 4,60m (1,20m)
  - Tubo fechado: 0,00 a 3,40m (3,40m)
  - Cap de topo

PREENCHIMENTO:
- Pré-filtro de areia (classificada entre 1,00 e 2,00mm): 3,40 a 4,60m (1,20m)
- Bentonita: 3,10 a 3,40m (0,30m)
- Solo de escavação: 0,20 a 3,10m (2,90m)
- Concreto: 0,00 a 0,20m (0,20m)

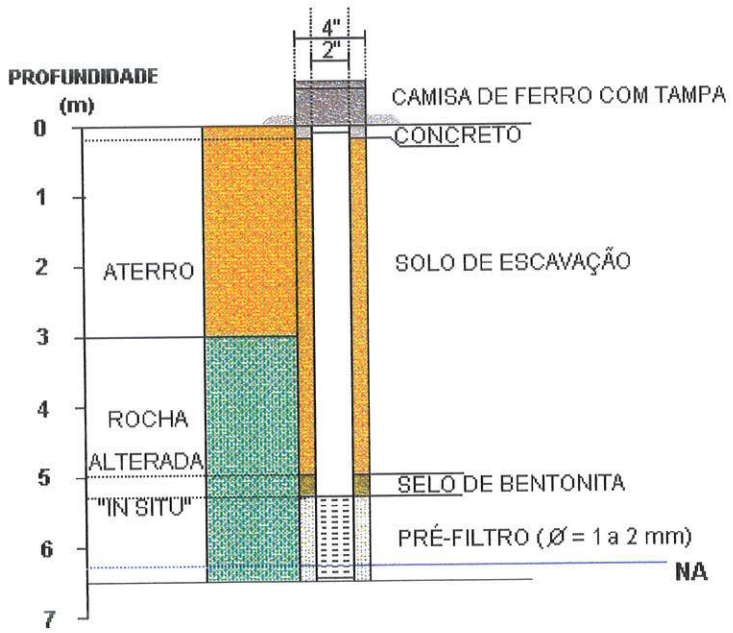
PROFUNDIDADE DO NA no momento da sondagem: 4,50m

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Aterro constituído por material areno-siltoso a síltico-argiloso, castanho-avermelhado , micáceo, compacto a medianamente compacto.

Aluvião constituído por material arenoso fino a médio, amarelo alaranjado, inconsolidado.

FIGURA IV-15: PERFILCONSTRUTIVO E LITOLÓGICO DO POÇO DE MONITORAMENTO PM-06



RESUMO DO POÇO

SONDAGEM:
- Diâmetro: 4"
- Profundidade: 6,50m
- Método: Trado manual

COLUNA:
- Diâmetro: 2"
- Altura: 6,50m
- Material: PVC branco/rosca
- Composição:
  - Cap de fundo
  - Filtro: 5,30 a 6,50m (1,20m)
  - Tubo fechado: 0,00 a 5,30m (5,30m)
  - Cap de topo

PREENCHIMENTO:
- Pré-filtro de areia (classificada entre 1,00 e 2,00mm): 5,30 a 6,50m (1,20m)
- Bentonita: 5,00 a 5,30m (0,30m)
- Solo de escavação: 0,20 a 5,00m (4,80m)
- Concreto: 0,00 a 0,20m (0,20m)

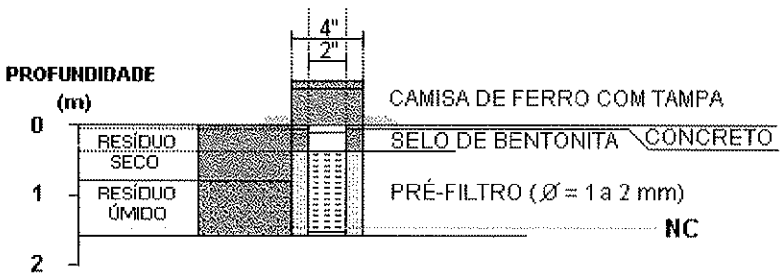
PROFUNDIDADE DO NA no momento da sondagem: 6,20m

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Aterro constituído por material areno-siltoso a síltico-argiloso, castanho avermelhado, micáceo, compacto a medianamente compacto.

Solo de alteração "in situ" arenoso, muito micáceo, cinza esverdeado, com estruturas da rocha original preservadas (orientação paralela dos minerais).

FIGURA IV-16: PERFILCONSTRUTIVO DO POÇO DE MONITORAMENTO CHORUME PM-09



RESUMO DO POÇO

SONDAGEM:
- Diâmetro: 4"
- Profundidade:1,60m
- Método: Trado manual com revestimento provisório de PVC

COLUNA:
- Diâmetro: 2"
- Altura:1,60m
- Material: PVC branco/rosca
- Composição:
  - Cap de fundo
  - Filtro:0,40 a 1,60 (1,20m)
  - Tubo fechado:0,00 a 0,40m (0,40m)
  - Cap de topo

PREENCHIMENTO:
- Pré-filtro de areia (classificada entre 1,00 e 2,00mm):0,40 a 1,60m (1,20m)
- Bentonita: 0,10 a,40m (0,30m)
- Concreto: 0,00 a 0,10m (0,10m)

PROFUNDIDADE DO NC no momento da sondagem: 1,40m

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Resíduo seco, arenoso, friável, castanho escuro, pouco compacto.

Resíduo úmido, argiloso, pastoso, preto acastanhado.

. Amostragem

Após a instalação e desenvolvimento dos poços, seguiu-se a amostragem da água subterrânea e do chorume. Essa amostragem foi executada em 5 datas diferentes, distribuídas durante praticamente 1 ano hidrológico completo: setembro de 1998, novembro de 1998, janeiro de 1999, abril de 1999 e julho de 1999.

No instante da amostragem foram determinados o pH, o Eh e a temperatura das amostras. Maiores detalhes desses procedimentos serão fornecidos no item "análises". Na amostragem de água e chorume foram utilizados "*bailers*" descartáveis.

Antes do início da coleta das amostras, foi medida a profundidade do nível freático utilizando-se medidor de nível d'água marca *Solinst*. A partir dessa medida, da profundidade total e do diâmetro de cada poço, foi calculado o volume de água neles contida. Foi então extraído de cada um deles um volume equivalente a 3 vezes o volume de água contido. Esse procedimento objetivou a circulação e renovação da água do interior dos poços antes da amostragem.

Na **Tabela IV-3** são apresentados em detalhe os principais procedimentos executados na coleta e preparação de amostras de água e chorumes.

. Análises executadas no campo

Em cada uma das amostragens, foi coletada primeiramente uma sub-amostra "A" com volume de 125 ml. Nessa sub-amostra, foram imediatamente determinados os parâmetros: pH, Eh e Temperatura, com utilização de multi-medidor Orion, modelo 250A.

b. Trabalhos de laboratório

As sub-amostras "B" e "C" coletadas em cada amostragem passaram pelos seguintes procedimentos de preparação e análise:

TABELA IV-3: Memória dos procedimentos adotados para coleta, preparação e análise das amostras de água subterrânea e chorume

ETAPA		ÁGUA SUBTERRÂNEA			CHORUME		
PRÉ AMOSTRAGEM	ESGOTAMENTO PREVIO	Extração de 3 vezes o volume de cada poço, antes da amostragem			Não executado		
	EQUIPAMENTO UTILIZADO	Bayfers descartável.					
	MEDIDA DA PROFUNDIDADE DO NA	Executada no início de cada amostragem.			Executada no início da amostragem.		
	EQUIPAMENTO UTILIZADO	Medidor da posição do nível dágua marca Solinst			Medidor da posição do nível dágua marca Solinst		
	COLETA DAS AMOSTRAS	Executada em todos os poços no mesmo dia.			Executada no mesmo dia em que a amostragem de água		
	EQUIPAMENTO UTILIZADO	Bayfers descartável.			Bayler descartável.		
	INFORMAÇÕES ADICIONAIS	Dia e hora da amostragem, condições do terreno, chuvas nas últimas 24h			As mesmas		
AMOSTRAGEM	SUB-AMOSTRA	A	B	C	A	B	C
	VOLUME COLETADO (ml)	125	125	1000	125	125	125
	TIPO DE FRASCO UTILIZADO	Polietileno de baixa densidade	Polietileno de baixa densidade	Polietileno de baixa densidade	Polietileno de baixa densidade	Polietileno de baixa densidade	Polietileno de baixa densidade
	MÉTODO DE PRESERVAÇÃO	Nenhum	Imediato acondicionamento em cooler a 4 °C	Adição de 1,5 ml de HNO3 e imediato acondicionamento em cooler a 4 °C	Nenhum	Imediato acondicionamento em cooler a 4 °C	Adição de 1,5 ml de HNO3 e imediato acondicionamento em cooler a 4 °C
PREPARAÇÃO	FILTRAÇÃO	Não	A vácuo, em membrana de de nitrato de celulose com poros de 20 milimicras	A vácuo, em membrana de de nitrato de celulose com poros de 20 milimicras	Não	A vácuo, em membrana de de nitrato de celulose com poros de 20 milimicras	A vácuo, em membrana de de nitrato de celulose com poros de 20 milimicras
	EVAPORAÇÃO	Não	Não	Em chapa quente a 70 °C	Não	Não	Não
	VOLUME FINAL (ml)	Igual ao inicial	Igual ao inicial	50 ml (5% do volume inicial)	Igual ao inicial	Igual ao inicial	Igual ao inicial
ANÁLISE	MÉTODO ANALITICO	Determinação direta	Cromatografia	Absorção Atômica	Determinação direta	Cromatografia	Absorção Atômica
	LABORATÓRIO	Determinação no campo	CEPAS	CEPAS	Determinação no campo	CEPAS	CEPAS
	MOMENTO DA ANÁLISE	Imediatamente após a coleta	24 horas após a coleta	24 horas após a coleta	Imediatamente após a coleta	24 horas após a coleta	24 horas após a coleta
	PARÂMETROS ANALISADOS	pH, Eh e Temperatura	Teor de ânions: cloretos, sulfatos, nitratos, nitritos, fluoretos e fosfatos.	Teor de cátions: Ag, Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe total, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn.	pH, Eh e Temperatura	Teor de ânions: cloretos, sulfatos, nitratos, nitritos, fluoretos e fosfatos.	Teor de cátions: Ag, Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe total, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn.
	AJUSTES DOS RESULTADOS	Para Eh: conversão para escala de Eh referida ao eletrodo normal de hidrogênio	Nenhum	Divisão dos resultados pelo Fator de conversão de volumes F= Volume inicial/volume final	Para Eh: conversão para escala de Eh referida ao eletrodo normal de hidrogênio	Nenhum	Nenhum

.Preparação das amostras

As sub-amostras de água "B" e "C" coletadas respectivamente para determinações dos teores de ânions e cátions, foram filtradas no campo logo após a sua coleta, com utilização de bomba de vácuo Nalgene e membrana de nitrato de celulose com poros de 0,2 μm. As sub-amostras "C" receberam a adição de HNO_3 para sua conservação. As sub-amostras "B" não receberam conservantes. As sub-amostras "B" e "C" foram então acondicionadas em *"cooler"*, com temperatura próxima a 4 °C, e enviadas ao laboratório.

As sub-amostras "C" de água passaram no laboratório por um processo de concentração previa, através do seguinte procedimento:

. Concentração por evaporação controlada em chapa quente a 70 °C, para redução do volume de água das amostras a 5% do volume inicial. Esse procedimento foi adotado com o objetivo de aumentar a concentração relativa dos cátions nas soluções enviadas para análise, aumentando, na prática, o limite de detecção do procedimento analítico utilizado.

As sub-amostras de chorume passaram pelos mesmos procedimentos de filtração e preservação. Foram então acondicionadas em *"cooler"*, com temperatura mantida em 4 °C, e enviadas para análise sem a concentração prévia por evaporação.

. Análises químicas

As amostras de água subterrânea e chorumes, depois de preparadas, foram enviadas ao laboratório do CEPAS (Centro de Pesquisa em Águas Subterrâneas - IGUSP) para determinação de cátions maiores (Al^{3+}, Ca^{2+}, Fe^{total}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Na^{+} e K^{+}) e menores (Ag^{+}, Cd^{2+}, Cr^{total}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, Pb^{2+} e Zn^{2+}), por Espectrometria de Absorção Atômica, e para determinação de ânions (Cl^{-}, F^{-}, Br^{-}, NO_3^{-}, NO_2^{-}, SO_4^{2-} e PO_4^{2}) por Cromatografia.

V . RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados todos os resultados obtidos. Para maior clareza, ao final de cada item são tecidas considerações preliminares sobre cada conjunto de resultados. A síntese dessas considerações será feita no capítulo VI: Discussão e Conclusões Finais.

A. CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS CORPOS DE RESÍDUOS

1. Caracterização macroscópica dos corpos de resíduo disposto

a. Descrição dos corpos

Os corpos de resíduos Sul, Leste e Oeste apresentavam na época da amostragem algumas características morfológicas que são exibidas na Tabela V-1. Essa tabela inclui características do corpo Norte, investigado por ASSUNÇÃO (1996).

TABELA V-1: Principais características dos corpos de Resíduos Dispostos em Barueri

CARACTERÍSTICA	CORPO DE RESÍDUO			
	NORTE	SUL	LESTE	OESTE
ÁREA CUPADA(m2)	16.500	11.200	16.800	31.500
VOLUME (m3)	36.300	31.700	42.400	112.300
PESO ESTIMADO (ton)	54.500	47.600	63.600	168.500
ESPESSURA MÉDIA (m)	2,20	2,83	1,50	3,57

De forma geral, os resíduos dispostos nos corpos Oeste e Sul exibem boa continuidade lateral, constituindo pacotes grosseiramente tabulares. Já o corpo Leste, apresenta freqüentes descontinuidades laterais e muitos sinais de movimentação pós-disposição, verificadas principalmente nos perfis Leste A e Leste B. Em todos os perfis amostrados, o resíduo apresenta uma zona superficial mais seca, de coloração castanho-acinzentada e textura friável, com espessura variando entre 0,60 e 0,90m. Abaixo desse nível, o resíduo torna-se paulatinamente mais úmido, argiloso ao tato e escuro, ficando pastoso por volta de 1,20m, quando assume coloração negro-acastanhada e textura plástica.

b. Localização dos corpos e dos pontos amostrados

O corpo Leste encontra-se ao lado dos digestores anaeróbios. Nele, foram amostrados três perfis, denominados A, B e C, alinhados segundo a direção norte-sul, próximos à borda oeste do corpo. Um quarto perfil (D) foi perfurado próximo ao corpo, porém fora da área recoberta por resíduos, para amostragem do solo.

O corpo Sul encontra-se depositado na margem direita de um pequeno córrego. Nesse corpo, foram amostrados três perfis, denominados A, B e C, situados próximos à zona central do corpo. O perfil B encontra-se a cerca de 3m de distância horizontal do perfil A, numa cota aproximadamente 1,10 abaixo deste. O perfil C, por sua vez, encontra-se a 5 m de distância horizontal do perfil B e em cota 0,50m inferior. Portanto, os perfis A, B e C alinham-se segundo uma pequena toposseqüência, com um desnível de 1,60m numa distância horizontal de 8m.

O corpo Oeste é o maior dos três corpos, estendendo-se por toda porção oeste e sudoeste da área da ETE. Nesse corpo, foi amostrado um único perfil, denominado perfil A, em local próximo ao limite sudoeste da área. A localização de todos os pontos amostrados pode ser visualizada na Figura IV-1.

2. Caracterização geral dos locais de disposição dos corpos

a. Declividade

As superfícies sobre a quais foram depositados os corpos Leste e Oeste são praticamente planas, apresentando coeficientes de declividade inferiores a 1%, respectivamente 0,04% e 0,88%. Já o corpo Sul foi depositado sobre superfície inclinada, com coeficiente de declividade próximo a 20%.

b. Litologias que ocorrem nas áreas de disposição dos corpos

A descrição dos materiais coletados, tanto nas amostragens de resíduos e solos como na instalação dos poços de monitoramento de água subterrânea, indicam que os corpos amostrados estão dispostos diretamente sobre aterros areno-argilosos, medianamente micáceos, de coloração avermelhada e cinza. Esses aterros, muito

provavelmente, são constituídos por solos de alteração das suítes granitóides que ocorrem na região.

3. Características dos resíduos frescos que originaram os corpos

a. Época de geração dos resíduos

De acordo com os levantamentos efetuados por ASSUNÇÃO (1996), os resíduos amostrados no corpo Oeste foram gerados entre janeiro e junho de 1991. Os resíduos amostrados no corpo Sul têm época de geração estimada entre julho de 1991 e fevereiro de 1992. Finalmente, o corpo Leste, no local amostrado é constituído por resíduos gerados no segundo semestre de 1993.

b. Teores de metais nos resíduos antes da sua disposição no local

A partir das datas de geração dos resíduos dispostos nos três corpos, considera-se que os teores médios iniciais dos metais nos resíduos amostrados nos corpos Sul e Oeste são os teores médios determinados em 1991. Os teores médios iniciais dos metais contidos nos resíduos amostrados no corpo Leste são os teores determinados em 1993. Esses valores são apresentados na **Tabela V-2**. A média geral dos teores determinados entre 1991 e 1994 também é apresentada para comparações.

TABELA V-2: Teores médios anuais de metais determinados nos resíduo frescos

ANO	Teores médios no Resíduo Fresco(mg/kg) – Limite de confiança de 90%						
	Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1991	63,20 ± 32,98	20,67 ± 7,29	1898,17 ± 403,10	1488,50 ± 601,46	749,83 ± 347,39	506,67 ± 199,38	4042,50 ± 872,80
1992	83,00 ± 386,44	97,00 ± 0,00	1789,40 ± 270,19	2515,80 ± 946,03	2148,20 ±634,78	576,00 ± 204,04	4384,00 ± 615,49
1993	50,00 ± 16,11	25,67 ± 13,19	805,45 ± 195,44	738,82 ± 216,77	478,00 ± 111,04	302,44 ± 103,08	1474,90 ± 282,29
1994	108,47 ± 24,85	21,67 ± 7,01	916,80 ± 166,64	869,93 ± 148,91	492,7 1 ± 83,27	327,41 ± 92,36	2744,67 ± 535,27
MÉDIA	76,16 ± 19,94	23,33 ± 7,18	1352,46 ± 201,16	1403,26 ± 263,70	967,19 ± 233,34	437,29 ± 78,24	3141,52 ± 607,92

Fonte: ASSUNÇÃO (1996)

c. Outras características importantes dos resíduos originais

De acordo com os monitoramentos executados pela SABESP entre 1988 e 1994, os resíduos frescos que originaram os corpos Oeste, Leste e Sul possuíam pH's médios respectivamente de 12,2 ; 11,6 e 11,7. O teor médio de sólidos totais, nos três casos, era próximo a 38% e o teor médio de umidade, próximo a 62%.

B. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DISPOSTOS

1. Caracterização química

A caracterização química dos resíduos dispostos foi realizada através da determinação do seu pH de abrasão e da quantificação do seu conteúdo em metais pesados obtida a partir de duas aberturas: por ácidos fortes a quente e por água deionizada a frio. Os resultados dessa caracterização são apresentados a seguir.

a. pH

a1. Determinação dos valores do pH de abrasão

- Corpo Oeste: perfil A

No corpo Oeste foram coletadas 5 amostras de resíduo para determinação do pH de abrasão. Os resultados estão na **Tabela V-3**.

TABELA V-3: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil A do corpo Oeste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	PH
CWA-08	0,10 a 0,20	0,15	7,32
CWA-07	0,80 a 1,00	0,90	7,40
CWA-06	1,80 a 2,10	1,95	7,43
CWA-05	2,20 a 2,40	2,30	7,51
CWA-04	2,60 a 2,80	2,70	7,55
Média	7,44		
Desvio Padrão	0,09		
Erro da média	0.04		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)	**7.44 ± 0.09**		

O resíduo disposto no perfil A do corpo Oeste apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 7,44 ± 0.09.

- Corpo Sul: perfil A

No perfil A do corpo Sul foram coletadas 7 amostras de resíduo para determinação do pH de abrasão. Os resultados são apresentados na **Tabela V-4**.

TABELA V-4: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil A do corpo Sul

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
CSA-08	0,10 a 0,20	0,15	7,52
CSA-07	0,40 a 0,60	0,50	7,55
CSA-06	0,90 a 1,00	0,95	7,56
CSA-05	1,40 a 1,50	1,45	7,58
CSA-04	1,80 a 2,00	1,90	7,60
CSA-03	2,40 a 2,60	2,50	7,62
CSA-02	3,00 a 3,10	3,05	7,75
Média	**7,60**		
Desvio Padrão	**0,07**		
Erro da média	**0.03**		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)			**7.60 ± 0.05**

O resíduo disposto no perfil A do corpo Sul apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 7,60 ± 0,05.

- Corpo Sul: perfil B

No perfil B do corpo Sul foram coletadas 6 amostras de resíduo disposto para determinação do pH de abrasão. Os resultados são apresentados na **Tabela V-5**.

TABELA V-5: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil B do corpo Sul

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	PH
CSB-07	0,40 a 0,60	0,50	7,08
CSB-06	0,90 a 1,00	0,95	7,23
CSB-05	1,30 a 1,40	1,35	7,51
CSB-04	1,90 a 2,00	1,95	7,55
CSB-03	2,20 a 2,30	2,25	7,60
CSB-02	2,60 a 2,70	2,65	7,99
Média	**7,49**		
Desvio Padrão	**0,32**		
Erro da média	**0,15**		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)			**7,49 ± 0,20**

O resíduo disposto no perfil B do corpo Sul apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 7,49 ± 0,20.

- Corpo Sul: perfil C

No perfil C do corpo Sul foram coletadas 4 amostras de resíduo para determinação do pH de abrasão. Os resultados são apresentados na **Tabela V-6**.

TABELA V-6: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil C do corpo Sul

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	PH
CSC-05	0,10 a 0,20	0,15	7,60
CSC-04	0,70 a 0,80	0,75	7,65
CSC-03	1,00 a 1,10	1,05	7,79
CSC-02	1,50 a 1,60	1,55	7,82
Média	**7,72**		
Desvio Padrão	**0,11**		
Erro da média	**0,06**		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)			**7,72 ± 0,09**

O resíduo disposto no perfil C do corpo Sul apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 7,72 ± 0,09.

- Corpo Leste: perfil A

No perfil A do corpo Leste foram coletadas 5 amostras de resíduo para determinação do pH de abrasão. Os resultados são apresentados na **Tabela V-7**.

TABELA V-7: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil A do corpo Leste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	PH
TEA-01	0,00 a 0,20	0,10	7,52
TEA-02	0,20 a 0,40	0,30	7,62
TEA-03	0,40 a 0,60	0,50	7,63
TEA-04	0,60 a 0,80	0,70	7,77
TEA-05	0,80 a 1,00	0,90	8,21
Média	**7,75**		
Desvio Padrão	**0,11**		
Erro da média	**0,06**		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)			**7,75 ± 0,08**

O resíduo disposto no perfil A do corpo Leste apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 7,75 ± 0,08.

- *Corpo Leste: perfil B*

No perfil B do corpo Leste foram coletadas 7 amostras de resíduo para determinação do pH de abrasão. Os resultados são apresentados na **Tabela V-8**.

TABELA V-8: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil B do corpo Leste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	PH
TSB-01	0,00 a 0,20	0,10	7,53
TEB-02	0,20 a 0,40	0,30	7,56
TEB-03	0,40 a 0,60	0,50	7,66
TEB-04	0,60 a 0,80	0,70	7,78
TEB-05	0,80 a 1,00	0,90	8,02
TEB-06	1,00 a 1,20	1,10	8,11
TEB-07	1,20 a 1,40	1,30	8,11
Média	**7,79**		
Desvio Padrão	**0,26**		
Erro da média	**0,09**		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)			**7,79 ± 0,13**

O resíduo disposto no perfil B do corpo Sul apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 7,79 ± 0,13.

- *Corpo Leste: perfil C*

No perfil C do corpo Leste foram coletadas 4 amostras de resíduo para determinação do pH de abrasão. Os resultados são apresentados na **Tabela V-9**.

TABELA V-9: Valores de pH's no resíduo medidos no perfil C do corpo Leste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	PH
TEC-05	0,00 a 0,20	0,10	7,57
TEC-04	0,20 a 0,40	0,30	7,67
TEC-03	0,40 a 0,60	0,50	7,70
TEC-02	0,60 a 0,80	0,70	7,82
Média	**7,34**		
Desvio Padrão	**0,23**		
Erro da média	**0,12**		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)			**7,34 ± 0,19**

O resíduo disposto no perfil C do corpo Leste apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 7,34 ± 0,19.

.Considerações preliminares: 1) Comparação entre os valores obtidos para os pH's dos resíduos dispostos e os pH's dos resíduos frescos:

A comparação entre os pH's medidos nos resíduos dispostos e os respectivos pH's dos resíduos frescos originais leva às seguintes constatações:

. Ocorreu uma diminuição de **39,02%** no valor do pH do Corpo Oeste após sua exposição às condições ambientais.

. Houve diminuição de 35,04% no seu valor no perfil Sul A; 35,98% no perfil Sul B e 32,87% no perfil Sul C. Portanto, a redução média nos três perfis foi de **34,63%** após a disposição do corpo Sul às condições ambientais.

. Ocorreu uma diminuição 33,18% no seu valor no perfil Leste A; 32,85% no perfil Leste B e 36,72% no perfil Leste C. A média de diminuição do pH original nos três perfis foi de **34,25%** depois da exposição do corpo Leste às condições ambientais.

Conclui-se que ocorreu diminuição generalizada dos valores de pH nos corpos de resíduos. Essa diminuição pode ser creditada a um mecanismo de natureza endógena aos próprios resíduos: a continuidade do processo de oxidação da matéria orgânica residual por bactérias anaeróbias, após a disposição dos lodos ao ar livre.

Nesse caso, pode ter ocorrido de forma expontânea a continuidade do processo descrito por LESTER *et al.*, (1983), para a digestão anaeróbia de lodos ativados: hidrólise de gorduras, proteínas e polissacarídeos remanescentes, originando ácidos graxos de cadeia longa, glicerol, peptídeos de cadeia curta, aminoácidos, monossacarídeos e dissacarídeos, que por sua vez passariam a originar hidrogênio, ácidos fórmico e acético, ácidos graxos, cetonas e álcoois. Verifica-se que a degradação de todas essas substâncias tende a originar ácidos orgânicos que provocariam a diminuição do pH dos resíduos.

É importante ressaltar que, para que ocorra esse processo, é indispensável a persistência de cepas de bactérias anaeróbias nos resíduos, mesmo após o processo de condicionamento químico ter ocorrido, bem como a existência de matéria orgânica remanescente, passível de oxidação por essas bactérias. Essa última condição pode ter ocorrido, graças ao reconhecido baixo rendimento da digestão anaeróbia, que pode deixar até 40% dos sólidos voláteis originais intocados (LESTER *et al.*, 1983). Portanto a forte diminuição do pH dos lodos dispostos em Barueri pode ser creditada à formação endógena de ácidos orgânicos nos corpos de resíduos pela persistência da digestão anaeróbia.

Comparando-se a média de diminuição do pH em cada corpo de resíduos observa-se que a ordem decrescente de valores é:

Redução Oeste (39,02%) > Redução Sul (34,63%) > Redução Leste (34,25%)

Coincidentemente, essa ordem decrescente é a mesma encontrada para a idade de cada um dos três corpos. A diminuição do pH dos corpos de resíduos foi maior nos corpos mais antigos. Portanto, esse fenômeno parece estar diretamente relacionado à idade de cada resíduos e ao tempo de permanência de cada corpo ao ar livre.

Essa constatação vem ao encontro da hipótese de que a continuidade do processo de digestão anaeróbia é a responsável pela diminuição nos valores do pH: os corpos mais antigos sofreriam esse processo por mais tempo e assim teriam maior diminuição no valor do seu pH.

a2. Variação vertical dos valores do pH em cada ponto amostrado

Além da comparação dos pH's dos resíduos dispostos com os pH's dos resíduos frescos originais, é importante analisar também o comportamento da distribuição vertical dos valores dos pH's em cada corpo de resíduo disposto. Essas variações são apresentadas na **Figura V-1**, que exibe os gráficos das distribuições

verticais dos pH's dos resíduos em cada ponto amostrado e as respectivas linhas de tendência.

.Considerações preliminares: 2) As variações dos pH's dos resíduos dispostos em função da profundidade:

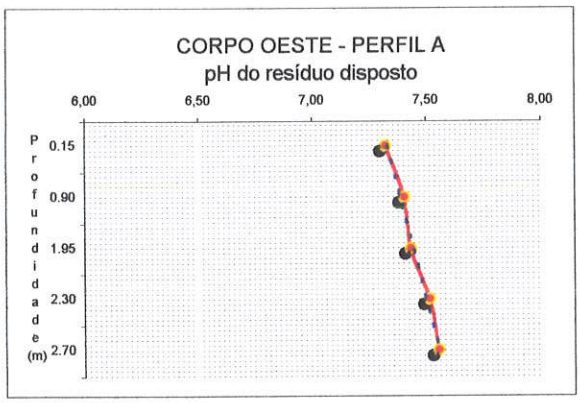
Observando-se os gráficos da Figura V-1 percebe-se claramente que todos perfis de resíduos exibem tendência de aumento do pH com o aumento da profundidade. Essa distribuição final dos pH's nos resíduos, com valores mais baixos ocorrendo nas zonas mais próximas ao topo do pacote, sugere a ocorrência de um segundo processo de diminuição do pH, processo este de natureza exógena aos resíduos e que se sobreporia ao processo endógeno de digestão anaeróbia, citado na discussão do sub-item anterior. Essa tese surge da observação de que a ocorrência de pH's mais baixos nas zonas mais superficiais do corpo de resíduos - que são também as zonas mais aeradas - não pode ser creditada exclusivamente ao processo endógeno, pois este ocorreria preferencialmente em zonas anaeróbias, que devem estar predominantemente na porção basal do pacote. De acordo com esse raciocínio, se a digestão anaeróbia fosse o único mecanismo de redução do pH, seria de se esperar que os pH's mais baixos ocorressem na base dos pacotes e não no topo, como foi verificado. A ocorrência de uma zona mais seca e porosa, com cerca de 90cm de espessura no topo dos pacotes de resíduos, que paulatinamente grada para uma zona mais úmida e pastosa com o aumento da profundidade, reforça essa hipótese. Essa constituição tende a favorecer a ação de fatores ambientais externos sobre as zonas superficiais dos corpo. Assim fatores, como água e ar, atuariam nessas zonas contribuindo para a diminuição do seu pH.

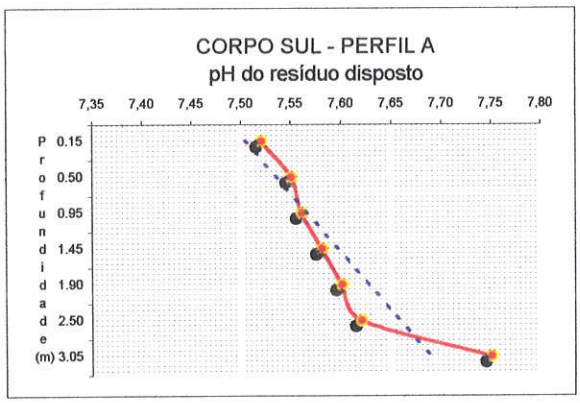
Pode-se afirmar portanto, que devem existir no mínimo dois fatores que poderiam ser responsabilizados pela diminuição do pH dos resíduos:

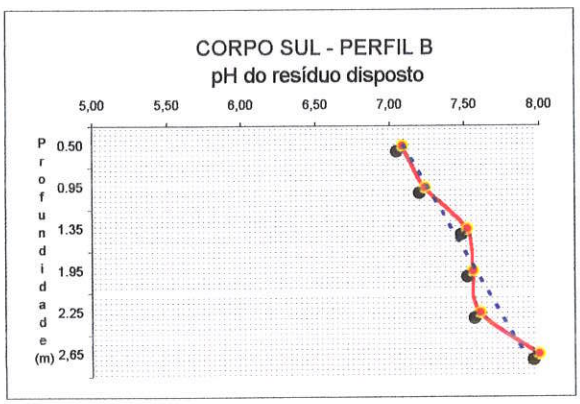
. um fator endógeno, ligado à continuidade da digestão anaeróbia no interior dos corpos de resíduos;

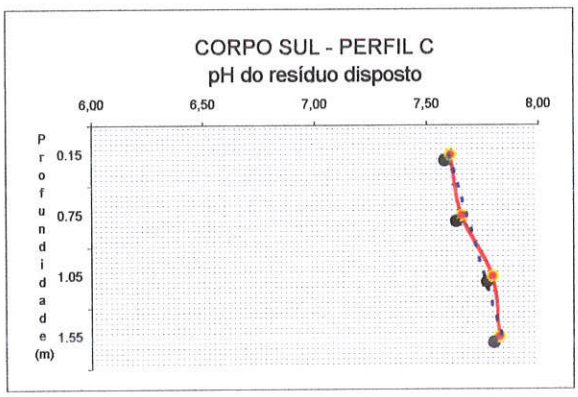
. um fator exógeno, ligado à ação do ar e da água nos níveis mais superficiais dos corpos de resíduos.

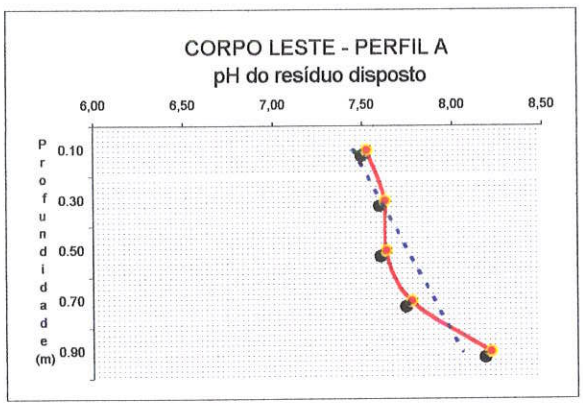
FIGURA V-1: Variação do pH dos resíduos e tendência de acordo com a profundidade

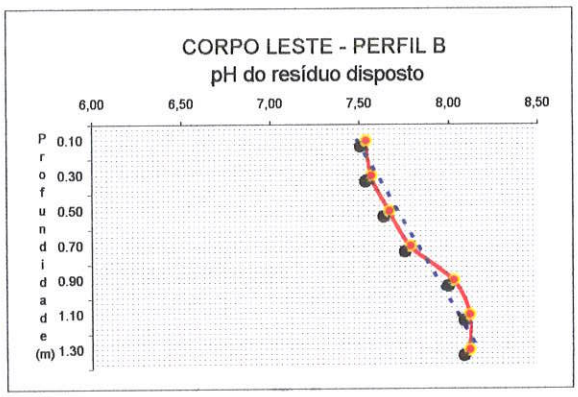


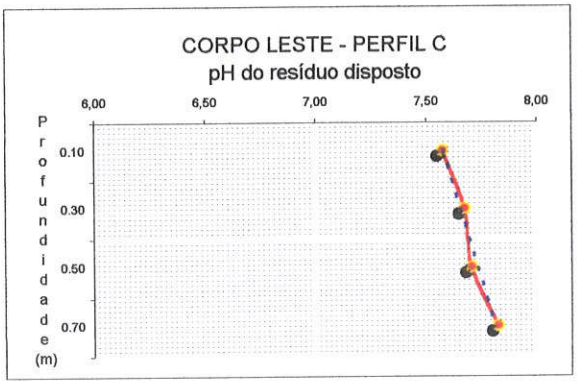












b. Dosagem de metais com abertura por ácidos fortes a quente

As amostras coletadas no três corpos de resíduo foram submetidas primeiramente à dosagem de metais pesados com a utilização da abertura por ácidos fortes a quente. Os resultados são exibidos nas **Tabelas V-10** a **V-16**.

TABELA V-10: Teores dos metais no resíduo disposto (T_d) Corpo Oeste – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO OESTE – PERFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CWA-08	0,10 a 0,20	0.15	11,80	7,10	650,00	560,00	201,00	153,00	1210,00	34500,00	440,00
CWA-07	0,80 a 1,00	0.90	17,90	10,90	1170,00	770,00	322,00	234,00	1720,00	41700,00	500,00
CWA-06	1,80 a 2,10	1.95	34,10	14,40	1580,00	1140,00	520,00	283,00	2580,00	44000,00	590,00
CWA-05	2,20 a 2,40	2.30	34,80	14,00	1760,00	1040,00	620,00	280,00	2180,00	56000,00	560,00
CWA-04	2,60 a 2,80	2.70	3,91	15,00	1670,00	1240,00	570,00	315,00	2720,00	54000,00	540,00
Média			20,50	12,28	1366,00	950,00	446,60	253,00	2083,00	46040,00	526,00
Desvio Padrão			13,67	3,30	459,49	279,64	177,85	62,92	623,81	8926,53	58,14
Erro da média			6,11	1,47	205,49	125,06	79,54	28,13	278,98	3992,07	26,00
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**20,50 ± 9,37**	**12,28± 2,25**	**1366,00± 315,01**	**950,00 ± 191,72**	**446,60 ± 121,94**	**263,00 ± 43,12**	**2083,00± 427,68**	**46040,00 ± 6119,84**	**526,00 ± 39,85**

TABELA V-11: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO LESTE – PEFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEA-01	0,00 A 0,20	0.10	27,80	12,30	990,00	850,00	385,00	185,00	1340,00	40600,00	600,00
TEA-02	0,20 A 0,40	0.30	26,50	11,60	920,00	720,00	370,00	176,00	1440,00	40300,00	610,00
TEA-03	0,40 A 0,60	0.50	27,50	12,50	940,00	800,00	378,00	182,00	1880,00	37900,00	600,00
TEA-04	0,60 A 0,80	0.70	5,70	2,70	252,00	387,00	97,00	60,00	570,00	34200,00	390,00
TEA-05	0,80 A 1,00	0.90	25,90	11,40	1110,00	800,00	367,00	170,00	2300,00	42000,00	450,00
Média			22,98	10,10	842,40	711,40	319,40	154,60	1506,00	39000,00	530,00
Desvio Padrão			9,52	4,16	338,20	187,23	124,52	53,20	647,75	3061,86	102,71
Erro da média			4,26	1,86	151,25	83,73	55,69	23,79	289,68	1369,31	45,93
Valor mais provável (limite de confiança. De 90 %) (Student)			**22,98 ± 6,53**	**10,10 ± 2,86**	**842,40 ± 231,86**	**711,40 ± 128,35**	**319,40 ± 86,37**	**154,60 ± 36,47**	**1506,00± 444,07**	**39000,00 ± 2099,13**	**530,00 ± 70,41**

TABELA V-12: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO LESTE – PERFIL B								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEB-01	0,00 a 0,20	0.10	33,40	13,30	710,00	900,00	420,00	210,00	2500,00	46000,00	700,00
TEB-02	0,20 a 0,40	0.30	29,80	10,20	1060,00	840,00	400,00	190,00	2540,00	40200,00	620,00
TEB-03	0,40 a 0,60	0.50	23,50	9,80	780,00	720,00	340,00	155,00	1880,00	38800,00	630,00
TEB-04	0,60 a 0,80	0.70	31,70	12,60	840,00	850,00	410,00	200,00	2200,00	43800,00	480,00
TEB-05	0,80 a 1,00	0.90	0,70	Nd	1800,00	189,00	35,00	40,00	130,00	35700,00	450,00
TEB-06	1,00 a 1,20	1.10	32,50	19,40	940,00	890,00	420,00	210,00	2470,00	48900,00	470,00
TEB-07	1,20 a 1,40	1.30	29,30	17,20	1090,00	770,00	378,00	184,00	2320,00	49000,00	440,00
Média			25,84	11,79	1031,43	737,00	343,29	169,86	2005,71	43200,00	541,43
Desvio Padrão			11,55	6,27	366,63	250,01	138,86	60,31	857,90	5146,84	105,42
Erro da média			4,37	2,37	138,57	94,50	52,48	22,79	324,26	1945,32	39,85
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**25,84 ± 6,29**	**11,79 ± 3,41**	**1031,43± 199,54**	**737,00 ± 136,08**	**343,29 ± 75,57**	**169,86 ± 32,81**	**2005,71± 466,93**	**43200,00 ± 2801,26**	**541,43 ± 57,38**

TABELA V-13: Teores dos metais no resíduo disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO LESTE – PERFIL C								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEC-01	0,00 a 0,20	0.10	3,10	2,20	165,00	244,00	53,00	65,00	394,00	25800,00	400,00
TEC-02	0,20 a 0,40	0.30	9,60	6,10	510,00	560,00	110,00	135,00	920,00	30100,00	350,00
TEC-03	0,40 a 0,60	0.50	32,30	19,40	1750,00	1220,00	394,00	420,00	3850,00	48900,00	600,00
TEC-04	0,60 a 0,80	0.70	30,50	17,20	1590,00	1060,00	380,00	420,00	3000,00	49000,00	580,00
Média			18,88	11,23	1003,75	771,00	234,25	260,00	2041,00	38450,00	482,50
Desvio Padrão			14,72	8,37	784,83	449,95	178;00	186,95	1649,38	12250,85	126,06
Erro da média			3,00	2,15	200,00	169,00	48,00	45,00	300,00	9700,00	20,00
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**18,88 ± 4,91**	**11,23± 3,52**	**1003,75± 327,60**	**771,00 ± 276,92**	**234,25 ± 78,62**	**260,00 ± 73,71**	**2041,00± 491,4**	**38450,00 ± 15888,60**	**482,50 ± 32,76**

TABELA V-14: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO SUL – PERFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSA-08	0,10 a 0,20	0.15	15,40	7,80	500,00	610,00	304,00	150,00	1160,00	36100,00	340,00
CSA-07	0,40 a 0,60	0.50	24,20	11,20	800,00	790,00	420,00	200,00	1870,00	45500,00	440,00
CSA-06	0,90 a 1,00	0.95	11,60	6,50	590,00	680,00	460,00	165,00	1840,00	29900,00	370,00
CSA-05	1,40 a 1,50	1.45	15,20	8,60	1010,00	1000,00	850,00	270,00	3420,00	35000,00	390,00
CSA-04	1,80 a 2,00	1.90	12,70	7,40	890,00	980,00	660,00	228,00	2580,00	28900,00	240,00
CSA-03	2,40 a 2,60	2.50	57,00	16,20	1840,00	1540,00	520,00	500,00	3400,00	53000,00	600,00
CSA-02	2,90 a 3,00	2.95	36,60	15,00	1760,00	1400,00	560,00	450,00	3800,00	49300,00	560,00
Média			24,67	10,39	1055,71	1000,00	539,14	280,43	2581,43	39671,43	420,00
Desvio Padrão			16,72	3,87	537,24	353,69	176,91	139,42	994,53	9577,88	125,57
Erro da média			6,32	1,46	203,06	133,68	66,87	52,70	375,90	3620,10	47,46
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**24,67 ± 9,10**	**10,39 ± 2,07**	**1055,71± 292,40**	**1000,00± 192,49**	**539,14± 96,94**	**280,43 ± 75,89**	**2581,43± 541,30**	**39671,43 ± 5212,94**	**420,00 ± 68,34**

TABELA V-15: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO SUL – PERFIL B								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSB-07	0,40 a 0,60	0.50	13,10	7,10	730,00	770,00	460,00	181,00	2710,00	35100,00	500,00
CSB-06	0,90 a 1,00	0.95	2,60	1,40	680,00	203,00	76,00	65,00	250,00	43400,00	790,00
CSB-05	1,30 a 1,40	1.35	21,40	10,00	860,00	800,00	460,00	210,00	1740,00	41800,00	400,00
CSB-04	1,90 a 2,00	1.95	11,70	8,30	1030,00	1090,00	980,00	260,00	4080,00	24500,00	200,00
CSB-03	2,20 a 2,30	2.25	8,80	9,80	860,00	1140,00	1180,00	215,00	6800,00	22800,00	150,00
CSB-02	2,60 a 2,70	2.65	29,20	14,40	900,00	1180,00	1250,00	250,00	6920,00	45800,00	470,00
Média			14,47	8,50	843,33	863,83	734,33	196,83	3750,00	35566,67	418,33
Desvio Padrão			9,46	4,27	125,01	367,96	470,91	70,64	2714,11	9905,69	231,29
Erro da média			3,86	1,74	51,03	150,22	192,25	28,84	1108,03	4043,98	94,43
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**14,47 ± 5,69**	**8,50 ± 2,57**	**843,33± 75,32**	**863,83± 221,72**	**734,33± 283,76**	**196,83 ± 42,56**	**3750,00± 1635,45**	**35566,67 ± 5968,91**	**418,33 ± 139,38**

TABELA V-16: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO SUL – PERFIL C								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSC-05	0,10 a 0,20	0.15	44,00	19,30	2160,00	1590,00	580,00	590,00	3140,00	51700,00	530,00
CSC-04	0,70 a 0,80	0.75	41,50	16,70	220,00	1520,00	570,00	530,00	2660,00	48500,00	520,00
CSC-03	1,00 a 1,10	1.05	20,60	9,60	890,00	780,00	304,00	253,00	1870,00	37700,00	420,00
CSC-02	1,50 a 1,60	1.55	37,70	16,20	1930,00	1430,00	570,00	520,00	4000,00	47900,00	500,00
Média			35,95	15,45	1300,00	1330,00	506,00	473,25	2917,50	46450,00	492,50
Desvio Padrão			10,56	4,13	907,56	372,47	134,75	150,05	891,60	6067,12	49,92
Erro da média			5,28	2,06	453,78	186,23	67,37	75,03	445,80	3033,56	24,96
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**35,95 ± 8,65**	**15,45 ± 3,37**	**1300,00± 743,29**	**1330,00± 305,04**	**506,00± 110,35**	**473,25 ± 122,90**	**2917,50± 730,22**	**46450,00 ± 4968,97**	**492,50 ± 40,88**

b1. Verificação da ocorrência de remoção dos metais dos resíduos

Com o objetivo de estimar a ocorrência de perda de metais pelos resíduos depois da sua disposição ao ar livre, fez-se a comparação direta entre os teores dos resíduos frescos originais e os teores medidos nas amostras de resíduos dispostos no campo. ASSUNÇÃO (1996) denominou a diferença entre esses teores de Parcela Removida.

- Comparação entre os teores dos resíduos disposto e fresco: cálculo da Parcela Removida

Os teores T_d, determinados nas amostras coletadas nos resíduos dispostos, foram subtraídos dos teores T_f, atribuídos aos resíduos frescos que originaram cada corpo, apresentados na **Tabela V-17**.

TABELA V-17: Teores médios de metais dos resíduos que originaram os corpos

ANO DA GERAÇÃO	CORPO	T_f Teores médios no resíduo fresco original (mg/kg) – Limite de confiança de 90%						
		Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1991	Oeste e Sul	63,20 ± 32,98	20,67 ± 7,29	1898,17 ± 403,10	1488,50 ± 601,46	749,83 ± 347,39	506,67 ± 199,38	4042,50 ± 872,80
1993	Leste	50,00 ± 16,11	25,67 ± 13,19	805,45 ± 195,44	738,82 ± 216,77	478,00 ± 111,04	302,44 ± 103,08	1474,90 ± 282,29

Fonte: ASSUNÇÃO (1996)

A quantidade de metais perdida pelos resíduos durante a sua exposição ao ar livre, ou Parcela Removida, foi então definida como sendo a diferença **($\Delta T \pm t$)** entre o teor ($T_f \pm t$) de cada metal no resíduo fresco (Tabela V-17) e o seu respectivo teor

(T_d), medido em cada corpo (Tabelas V-10 a V-16). Os valores das Parcelas Removidas são apresentados nas **Tabela V-18 a V-24**.

TABELA V-18: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Oeste – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PARCELA REMOVIDA: CORPO OESTE – PERFIL A (ΔT ± t) (mg/kg) (ΔT ± t)= [(T f ± t) – t d						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CWA-08	0,10 a 0,20	0.15	51,40± 32,98	13,57± 7,29	1248,17± 403,10	928,50± 601.46	548,83± 347,39	353,67± 199,38	2832,50± 872,80
CWA-07	0,80 a 1,00	0.90	45,30± 32,98	9,77± 7,29	728,17± 403,10	718,50± 601.46	427,83± 347,39	272,67± 199,38	2322,50± 872,80
CWA-06	1,80 a 2,10	1.95	29,10± 32,98	6,27± 7,29	318,17± 403,10	348,50± 601.46	229,83± 347,39	223,67± 199,38	1462,50± 872,80
CWA-05	2,20 a 2,40	2.30	28,40± 32,98	6,67± 7,29	138,17± 403,10	448,50± 601.46	129,83± 347,39	226,67± 199,38	1862,50± 872,80
CWA-04	2,60 a 2,80	2.70	59,29± 32,98	5,67± 7,29	228,17± 403,10	248,50± 601.46	179,83± 347,39	191,67± 199,38	1322,50± 872,80
(Δ T) médio			42,69± 32,98	8,39± 7,29	532,17± 403,10	538,50± 601,46	303,23± 347,39	253,67± 199,38	1899,10± 872,80

TABELA V-19: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Leste – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PARCELA REMOVIDA: CORPO LESTE PERFIL A (ΔT ± t) (mg/kg) (ΔT ± t)= [(T f ± t) – t d						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEA-01	0,00 A 0,20	0.10	22,20± 16,11	13,37± 13,19	-184,55± 195,44	-111,18± 216,77	93,00± 111,04	117,44± 103,08	134,90± 282,29
TEA-02	0,20 A 0,40	0.30	23,50± 16,11	14,07± 13,19	-114,55± 195,44	18,82± 216,77	108,00± 111,04	126,44± 103,08	34,90± 282,29
TEA-03	0,40 A 0,60	0.50	22,50± 16,11	13,17± 13,19	-134,55± 195,44	-61,18± 216,77	100,00± 111,04	120,44± 103,08	-405,10± 282,29
TEA-04	0,60 A 0,80	0.70	44,30± 16,11	22,97± 13,19	553,45± 195,44	351,82± 216,77	381,00± 111,04	242,44± 103,08	904,90± 282,29
TEA-05	0,80 A 1,00	0.90	24,10± 16,11	14,27± 13,19	-304,55± 195,44	-61,18± 216,77	111,00± 111,04	132,44± 103,08	-825,10± 282,29
(Δ T) médio			27,02± 16,11	15,57± 13,19	-36,95± 195,44	27,42± 216,77	158,60± 111,04	147,84± 103,08	-31,11± 282,29

TABELA V-20: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Leste – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PARCELA REMOVIDA: CORPO LESTE PERFIL B (ΔT ± t) (mg/kg) (ΔT ± t)= [(T f ± t) – t d						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEB-01	0,00 a 0,20	0.10	16,60± 16,11	12,37± 13,19	95,47± 195,44	-161,18± 216,77	58,00± 111,04	92,44± 103,08	-1025,10± 282,29
TEB-02	0,20 a 0,40	0.30	20,20± 16,11	15,47± 13,19	-254,55± 195,44	-101,18± 216,77	78,00± 111,04	112,44± 103,08	-1065,10± 282,29
TEB-03	0,40 a 0,60	0.50	26,50± 16,11	15,87± 13,19	25,45± 195,44	18,82± 216,77	138,00± 111,04	147,44± 103,08	-405,10± 282,29
TEB-04	0,60 a 0,80	0.70	18,30± 16,11	13,07± 13,19	-34,55± 195,44	-111,18± 216,77	68,00± 111,04	102,44± 103,08	-725,10± 282,29
TEB-05	0,80 a 1,00	0.90	49,30± 16,11	25,67± 13,19	-994,55± 195,44	549,82± 216,77	443,00± 111,04	262,44± 103,08	1344,90± 282,29
TEB-06	1,00 a 1,20	1.10	17,50± 16,11	6,27± 13,19	-134,55± 195,44	-151,18± 216,77	58,00± 111,04	92,44± 103,08	-995,10± 282,29
TEB-07	1,20 a 1,40	1.30	20,70± 16,11	8,47± 13,19	-284,55± 195,44	-31,18± 216,77	100,00± 111,04	118,44± 103,08	-845,10± 282,29
(Δ T) médio			24,16± 16,11	13,88± 13,19	-225,98± 195,44	1,82 ± 216,77	134,71± 111,04	132,58± 103,08	-530,81± 282,29

TABELA V-21: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Leste – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PARCELA REMOVIDA: CORPO LESTE PERFIL C (ΔT ± t) (mg/kg) (ΔT ± t)= [(T f ± t) – t d						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEC-01	0,00 a 0,20	0.10	46,90± 16,11	23,47± 13,19	640,45± 195,44	494,82± 216,77	425,00± 111,04	237,44± 103,08	1080,90± 282,29
TEC-02	0,20 a 0,40	0.30	40,40± 16,11	19,57± 13,19	295,45± 195,44	178,82± 216,77	368,00± 111,04	167,44± 103,08	554,90± 282,29
TEC-03	0,40 a 0,60	0.50	17,70± 16,11	6,27± 13,19	-944,55± 195,44	-481,18± 216,77	84,00± 111,04	-117,56± 103,08	-2375,10± 282,29
TEC-04	0,60 a 0,80	0.70	19,50± 16,11	8,47± 13,19	-784,55± 195,44	-321,18± 216,77	98,00± 111,04	-117,56± 103,08	-1525,10± 282,29
(Δ T) médio			31,12± 16,11	14,44± 13,19	-198,30± 195,44	-32,18± 216,77	243,75± 111,04	42,44± 103,08	-566,10± 282,29

TABELA V-22: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Sul – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PARCELA REMOVIDA: CORPO SUL – PERFIL A (ΔT ± t) (mg/kg) (ΔT ± t)= [(T f ± t) – t d						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSA-08	0,10 a 0,20	0.15	47,80± 32,98	12,87± 7,29	1398,17± 403,10	878,50± 601.46	445,83± 347,39	356,67± 199,38	2882,50± 872,80
CSA-07	0,40 a 0,60	0.50	39,00± 32,98	9,47± 7,29	1098,17± 403,10	698,50± 601.46	329,83± 347,39	306,67± 199,38	2172,50± 872,80
CSA-06	0,90 a 1,00	0.95	51,60± 32,98	14,17± 7,29	1308,17± 403,10	808,50± 601.46	289,83± 347,39	341,67± 199,38	2202,50± 872,80
CSA-05	1,40 a 1,50	1.45	48,00± 32,98	12,07± 7,29	888,17± 403,10	488,50± 601.46	-100,17± 347,39	236,67± 199,38	622,50± 872,80
CSA-04	1,80 a 2,00	1.90	50,50± 32,98	13,27± 7,29	1008,17± 403,10	508,50± 601.46	89,83± 347,39	278,67± 199,38	1462,50± 872,80
CSA-03	2,40 a 2,60	2.50	6,20± 32,98	4,47± 7,29	58,17± 403,10	-51,50± 601.46	229,83± 347,39	6,67± 199,38	642,50± 872,80
CSA-02	2,90 a 3,00	2.95	26,60± 32,98	5,67± 7,29	138,17± 403,10	88,50± 601.46	189,83± 347,39	56,67± 199,38	242,50± 872,80
(Δ T) médio			38,53± 32,98	10,28± 7,29	842,46± 403,10	488,50± 601,46	210,68± 347,39	226,24± 199,38	1461,07± 872,80

TABELA V-23: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Sul – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PARCELA REMOVIDA: CORPO SUL – PERFIL B (ΔT ± t) (mg/kg) (ΔT ± t)= [(T f ± t) – t d						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSB-07	0,40 a 0,60	0.50	50,10± 32,98	13,57± 7,29	1168,17± 403,10	718,50± 601.46	289,83± 347,39	325,67± 199,38	1332,50± 872,80
CSB-06	0,90 a 1,00	0.95	60,60± 32,98	19,27± 7,29	1218,17± 403,10	1285,50± 601.46	673,83± 347,39	441,67± 199,38	3792,50± 872,80
CSB-05	1,30 a 1,40	1.35	41,80± 32,98	10,67± 7,29	1038,17± 403,10	688,50± 601.46	289,83± 347,39	296,67± 199,38	2302,50± 872,80
CSB-04	1,90 a 2,00	1.95	51,50± 32,98	12,37± 7,29	868,17± 403,10	398,50± 601.46	-230,17± 347,39	246,67± 199,38	-37,50± 872,80
CSB-03	2,20 a 2,30	2.25	54,40± 32,98	10,87± 7,29	1038,17± 403,10	348,50± 601.46	-430,17± 347,39	291,67± 199,38	-2757,50± 872,80
CSB-02	2,60 a 2,70	2.65	34,00± 32,98	6,27± 7,29	998,17± 403,10	308,50± 601.46	-500,17± 347,39	256,67± 199,38	-2877,50± 872,80
(Δ T) médio			48,23± 32,98	12,07± 7,29	1054,83± 403,10	624,67± 601,46	15,50± 347,39	309,83± 199,38	292,50± 872,80

TABELA V-24: Parcela removida (Δ T) dos metais do Corpo Sul – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PARCELA REMOVIDA: CORPO SUL – PERFIL C (ΔT ± t) (mg/kg) (ΔT ± t)= [(T f ± t) – t d						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSC-05	0,10 a 0,20	0.15	19,20± 32,98	1,37± 7,29	-261,83± 403,10	-101,50± 601.46	169,83± 347,39	-83,33± 199,38	902,50± 872,80
CSC-04	0,70 a 0,80	0.75	21,70± 32,98	3,97± 7,29	1678,17± 403,10	-31,50± 601.46	179,83± 347,39	-23,33± 199,38	1382,50± 872,80
CSC-03	1,00 a 1,10	1.05	42,60± 32,98	11,07± 7,29	1008,17± 403,10	708,50± 601.46	445,83± 347,39	253,67± 199,38	2172,50± 872,80
CSC-02	1,50 a 1,60	1.55	25,50± 32,98	4,47± 7,29	-31,83± 403,10	58,50± 601.46	179,83± 347,39	-13,33± 199,38	42,50± 872,80
(Δ T) médio			27,25± 32,98	5,22± 7,29	598,17± 403,10	158,50± 601,46	243,83± 347,39	33,42± 199,38	1125,00± 872,80

Os valores da parcela removida refletem os valores a partir dos quais eles foram calculados, que são ($T_f \pm t$), na realidade um intervalo de valores prováveis, e (T_d), um valor efetivamente medido. Em função disso, a parcela removida **(ΔT± t)** também constitui-se num intervalo de valores prováveis, no qual só têm significado físico, ou seja, representam efetivamente quantidades possíveis de metal removido, os valores **positivos**. Assim, a ocorrência ou não de remoção de metais em cada ponto amostrado nos resíduos está associada à probabilidade da ocorrência de valores positivos nos intervalos que representam cada parcela removida. Cabe ressaltar que tais valores refletem apenas a probabilidade da ocorrência ou não de remoção, e não têm qualquer relação com a sua intensidade. As probabilidades de (ΔT± t) >0 em cada amostra são apresentadas nas **Tabelas V-25** a **V-31**, associadas a um sistema de cores para melhor visualização.

COR		PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE REMOÇÃO DE METAIS
Incolor		Muito alta (>90%)
Azul		Alta (70 a 90%)
Verde		Moderada a alta (50 a 70%)
Amarela		Moderada a baixa (30 a 50%)
Cinza		Baixa: (10 a 30%)
Vermelha		Muito baixa: (<10%)

TABELA V-25: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Oeste Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PROBABILIDADE (%) DE ($\Delta T \pm t$) >0 : CORPO OESTE – PERFIL A						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CWA-08	0,10 a 0,20	0.15	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
CWA-07	0,80 a 1,00	0.90	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
CWA-06	1,80 a 2,10	1.95	94,11	93,00	89,47	78,97	83,08	100,00	100,00
CWA-05	2,20 a 2,40	2.30	93,06	95,75	67,14	87,28	68,69	100,00	100,00
CWA-04	2,60 a 2,80	2.70	100,00	88,89	78,30	70,65	75,88	98,07	100,00

TABELA V-26: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Leste Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PROBABILIDADE (%) DE ($\Delta T \pm t$) >0: CORPO LESTE PERFIL A						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEA-01	0,00 A 0,20	0.10	100,00	100,00	2,78	24,36	91,88	100,00	73,89
TEA-02	0,20 A 0,40	0.30	100,00	100,00	20,69	54,34	98,63	100,00	65,39
TEA-03	0,40 A 0,60	0.50	100,00	99,99	15,39	35,89	95,02	100,00	0,00
TEA-04	0,60 A 0,80	0.70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
TEA-05	0,80 A 1,00	0.90	100,00	100,00	0,00	35,89	99,99	100,00	0,00

TABELA V-27: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Leste Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PROBABILIDADE (%) DE ($\Delta T \pm t$) >0: CORPO LESTE PERFIL B						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEB-01	0,00 a 0,20	0.10	100,00	96,89	74,42	12,82	76,12	94,83	0,00
TEB-02	0,20 a 0,40	0.30	100,00	100,00	0,00	26,66	85,12	100,00	0,00
TEB-03	0,40 a 0,60	0.50	100,00	100,00	56,61	64,34	100,00	100,00	0,00
TEB-04	0,60 a 0,80	0.70	100,00	99,55	41,16	24,36	80,62	99,69	0,00
TEB-05	0,80 a 1,00	0.90	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00
TEB-06	1,00 a 1,20	1.10	100,00	73,77	15,57	16,13	76,11	94,84	0,00
TEB-07	1,20 a 1,40	1.30	100,00	82,10	0,00	42,81	95,02	100,00	0,00

TABELA V-28: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Leste – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PROBABILIDADE (%) DE ($\Delta T \pm t$) >0: CORPO LESTE PERFIL C						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEC-01	0,00 a 0,20	0.10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
TEC-02	0,20 a 0,40	0.30	100,00	100,00	100,00	91,24	100,00	100,00	100,00
TEC-03	0,40 a 0,60	0.50	100,00	73,76	0,00	0,00	87,82	0,00	0,00
TEC-04	0,60 a 0,80	0.70	100,00	82,10	0,00	0,00	94,13	0,00	0,00

TABELA V-29: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Sul – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PROBABILIDADE (%) DE ($\Delta T \pm t$) >0: CORPO SUL – PERFIL A						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSA-08	0,10 a 0,20	0.15	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
CSA-07	0,40 a 0,60	0.50	100,00	100,00	100,00	100,00	94,47	100,00	100,00
CSA-06	0,90 a 1,00	0.95	100,00	100,00	100,00	100,00	91,71	100,00	100,00
CSA-05	1,40 a 1,50	1.45	100,00	100,00	100,00	90,61	35,58	100,00	85,65
CSA-04	1,80 a 2,00	1.90	100,00	100,00	100,00	92,27	62,93	100,00	100,00
CSA-03	2,40 a 2,60	2.50	69,40	80,66	67,22	45,74	83,08	61,67	86,81
CSA-02	2,90 a 3,00	2.95	90,32	88,89	67,14	57,36	77,32	64,21	63,89

TABELA V-30: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Sul – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PROBABILIDADE (%) DE ($\Delta T \pm t$) >0: CORPO SUL – PERFIL B						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSB-07	0,40 a 0,60	0.50	100,00	100,00	100,00	100,00	91,71	100,00	100,00
CSB-06	0,90 a 1,00	0.95	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
CSB-05	1,30 a 1,40	1.35	100,00	100,00	100,00	100,00	91,71	100,00	100,00
CSB-04	1,90 a 2,00	1.95	100,00	100,00	100,00	83,12	16,87	100,00	47,85
CSB-03	2,20 a 2,30	2.25	100,00	100,00	100,00	78,97	0,00	100,00	0,00
CSB-02	2,60 a 2,70	2.65	100,00	93,00	100,00	75,64	0,00	100,00	0,00

TABELA V-31: Probabilidade (%) de ocorrer $\Delta T \pm t > 0$ - Corpo Sul – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	PROBABILIDADE (%) DE ($\Delta T \pm t$) >0: CORPO SUL – PERFIL C						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSC-05	0,10 a 0,20	0.15	79,10	59,40	17,52	41,56	74,44	29,10	100,00
CSC-04	0,70 a 0,80	0.75	82,90	77,23	100,00	47,38	75,88	44,15	100,00
CSC-03	1,00 a 1,10	1.05	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
CSC-02	1,50 a 1,60	1.55	88,66	80,66	46,05	54,86	75,88	46,66	64,43

A partir das probabilidades individuais de ocorrência de remoção, foi calculado o percentual de amostras enquadradas em cada um dos 6 níveis de probabilidade obtidos. Esses percentuais são exibidos na **Tabela V-32**.

TABELA V-32: Percentuais de amostras sujeitas a cada nível de probabilidade de ocorrência de remoção de metais nos resíduos

CORPO	PROBABILIDADE OCORRÊNCIA DE REMOÇÃO	PERCENTUAL DAS AMOSTRAS SUJEITAS À REMOÇÃO DE CADA METAL (%)						
		Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
OESTE	MUITO ALTA	100	80	40	40	40	100	100
	ALTA	0	20	40	60	40	0	0
	MODERADA A ALTA	0	0	20	0	20	0	0
	MODERADA A BAIXA	0	0	0	0	0	0	0
	BAIXA	0	0	0	0	0	0	0
	MUITO BAIXA	0	0	0	0	0	0	0
LESTE	MUITO ALTA	100	75	19	25	63	87	25
	ALTA	0	25	6	0	37	0	6
	MODERADA A ALTA	0	0	6	13	0	0	6
	MODERADA A BAIXA	0	0	6	19	0	0	0
	BAIXA	0	0	19	30	0	0	0
	MUITO BAIXA	0	0	44	13	0	13	63
SUL	MUITO ALTA	76	71	76	52	41	70	58
	ALTA	18	23	0	18	29	0	12
	MODERADA A ALTA	6	6	12	12	6	12	12
	MODERADA A BAIXA	0	0	6	18	6	12	6
	BAIXA	0	0	6	0	6	6	0
	MUITO BAIXA	0	0	0	0	12	0	12
GERAL	MUITO ALTA	90	74	47	39	50	79	50
	ALTA	8	24	8	16	32	0	8
	MODERADA A ALTA	2	2	10	11	6	6	8
	MODERADA A BAIXA	0	0	6	16	3	6	3
	BAIXA	0	0	12	13	3	3	0
	MUITO BAIXA	0	0	17	5	6	6	31

A **Tabela V-33** resume as probabilidades da ocorrência de remoção de cada metal em cada corpo de resíduos isoladamente e no conjunto dos três corpos:

TABELA V-33: Maior probabilidade de remoção associada a cada metal em cada corpo de resíduos e no geral, a partir dos valores da parcela removida

METAL	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE REMOÇÃO			
	CORPO OESTE	CORPO SUL	CORPO LESTE	GERAL
Ag	Muito alta	Alta a muito alta	Muito alta	Muito alta
Cd	Muito alta	Alta a muito alta	Alta a muito alta	Alta a muito alta
Cr	Alta a muito alta	Alta a muito alta	Baixa a muito baixa	Moderadamente alta a muito alta
Cu	Alta a muito alta	Alta a muito alta	Moderadamente baixa a muito baixa	Moderadamente alta a muito alta
Ni	Alta a muito alta	Alta a muito alta	Alta a muito alta	Alta a muito alta
Pb	Muito alta	Alta a muito alta	Muito alta	Muito alta
Zn	Muito alta	Alta a muito alta	Baixa a muito baixa	Moderadamente alta a muito alta

. Considerações preliminares: 3) A probabilidade da ocorrência ou não da remoção de metais dos resíduos

A partir dos valores calculados para a parcela removida pode-se afirmar que os corpos Oeste e Sul associam-se a probabilidades alta a muito alta de ocorrência de remoção de todos os metais estudados. Já o corpo Leste comporta-se dessa forma apenas para os metais Ag, Cd, Ni e Pb, enquanto os metais Cr, Cu e Zn associam-se a baixas probabilidades de remoção nesse corpo. Aparentemente, tal comportamento pode estar ligado a características próprias do corpo Leste e não a propriedades dos metais propriamente ditos. O corpo Leste é o único que evidenciou claros sinais de movimentação pós-disposição, com revolvimento e mistura de solos e outros materiais aos resíduos, fenômeno observado principalmente nos perfis Leste A e Leste B. Tais perturbações podem ter modificado a distribuição original dos teores dos metais no pacote de resíduos, bem como o seu próprio conteúdo em metais, graças à incorporação de outros materiais.

Para o conjunto geral dos três corpos, o cálculo da parcela removida indicou probabilidade alta a muito alta de remoção dos metais Ag, Cd, Ni e Pb e probabilidades um pouco menores mas ainda altas, de remoção de Cr, Cu e Zn.

b2. Verificação da intensidade de remoção dos metais

A intensidade da remoção dos metais dos resíduos foi quantificada através da **Taxa de Remoção (R)**, que é a relação percentual entre valores médios de "ΔT" de cada metal em cada profundidade e os respectivos valores médios do seu teor "T_f" no resíduo fresco (Tabela V-17). Os valores de médios de "ΔT" foram calculados para intervalos de valores positivos da parcela removida pois, conforme exposto anteriormente, apenas esse intervalo está associado a probabilidades efetivas de remoção. As Taxas de Remoção de cada ponto amostrado foram calculadas através da expressão: $R(\%) = [(\Delta T / t_f) \cdot 100]$ e são apresentadas nas **Tabelas V-34** a **V-40**.

TABELA V-34: Taxa de Remoção (R): Corpo Oeste - Perfil A

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	TAXA DE REMOÇÃO (R) CORPO OESTE – PERFIL A R (%)= [(ΔT/ t_f) . 100]						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CWA-08	0,10 a 0,20	0.15	81,33	65,65	65,76	62,38	73,28	69,80	70,07
CWA-07	0,80 a 1,00	0.90	71,68	47,27	38,36	48,27	57,13	53,82	57,45
CWA-06	1,80 a 2,10	1.95	46,04	32,80	19,00	31,91	38,53	44,15	36,18
CWA-05	2,20 a 2,40	2.30	44,94	33,77	14,26	35,27	31,87	44,73	46,07
CWA-04	2,60 a 2,80	2.70	93,81	31,35	16,62	28,55	35,19	38,59	32,96
R Médio			**67,56**	**42,17**	**30,80**	**41,28**	**47,20**	**50,21**	**48,55**

TABELA V-35: Taxa de Remoção (R): Corpo Leste - Perfil A

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	TAXA DE REMOÇÃO (R) CORPO LESTE – PERFIL A R (%)= [(ΔT/ t_f) . 100]						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEA-01	0,00 A 0,20	0.10	44,40	52,08	0,67	7,15	21,34	38,83	14,14
TEA-02	0,20 A 0,40	0.30	47,00	54,69	5,02	15,94	22,91	41,81	10,75
TEA-03	0,40 A 0,60	0.50	45,00	51,34	3,78	10,53	22,07	39,82	0,00
TEA-04	0,60 A 0,80	0.70	88,60	89,48	68,71	47,62	79,71	80,16	61,35
TEA-05	0,80 A 1,00	0.90	48,20	55,59	0,00	10,53	23,23	43,79	0,00
R Médio			**54,64**	**60,64**	**15,63**	**18,37**	**33,86**	**48,88**	**17,25**

Obs.: Valor R = 0,00: Não ocorreu redução do teor em relação ao teor original do Resíduo Fresco

TABELA V-36: Taxa de Remoção (R): Corpo Leste - Perfil B

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	TAXA DE REMOÇÃO (R) CORPO LESTE – PERFIL B R (%)= [(ΔT/ t_f) . 100]						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEB-01	0,00 a 0,20	0.10	33,20	49,79	18,06	3,76	17,68	32,32	0,00
TEB-02	0,20 a 0,40	0.30	40,40	60,26	0,00	7,82	19,77	37,18	0,00
TEB-03	0,40 a 0,60	0.50	53,00	61,82	13,71	15,94	28,87	48,75	0,00
TEB-04	0,60 a 0,80	0.70	36,60	51,15	9,98	7,15	18,72	33,98	0,00
TEB-05	0,80 a 1,00	0.90	98,60	100,00	0,00	74,42	92,68	86,77	91,18
TEB-06	1,00 a 1,20	1.10	35,00	37,90	3,77	4,43	17,68	32,32	0,00
TEB-07	1,20 a 1,40	1.30	41,40	55,59	0,00	13,23	22,07	39,16	0,00
R Médio			**48,31**	**59,50**	**6,50**	**18,10**	**31,07**	**44,35**	**13,03**

Obs.: Valor R = 0,00: Não ocorreu redução do teor em relação ao teor original do Resíduo Fresco

TABELA V-37: Taxa de Remoção (R): Corpo Leste - Perfil C

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	TAXA DE REMOÇÃO (R) CORPO LESTE – PERFIL C R (%)= [(ΔT/ t_f) . 100]						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TEC-01	0,00 a 0,20	0.10	93,80	91,43	79,51	66,97	88,91	78,51	73,28
TEC-02	0,20 a 0,40	0.30	80,80	76,24	36,68	26,77	76,99	55,36	37,62
TEC-03	0,40 a 0,60	0.50	35,40	37,90	0,00	0,00	20,40	0,00	0,00
TEC-04	0,60 a 0,80	0.70	39,00	42,19	0,00	0,00	21,87	0,00	0,00
R Médio			**62,25**	**61,94**	**29,04**	**23,44**	**52,04**	**33,46**	**27,73**

Obs.: Valor R = 0,00: Não ocorreu redução do teor em relação ao teor original do Resíduo Fresco

TABELA V-38: Taxa de Remoção (R): Corpo Sul - Perfil A

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	TAXA DE REMOÇÃO (R) CORPO SUL – PERFIL A R (%)= [(ΔT/ t_f) . 100]						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSA-08	0,10 a 0,20	0.15	75,63	62,26	73,66	59,02	59,46	70,39	71,30
CSA-07	0,40 a 0,60	0.50	61,71	45,82	57,85	46,93	43,99	60,53	53,74
CSA-06	0,90 a 1,00	0.95	81,65	68,55	68,91	54,31	38,65	67,43	54,48
CSA-05	1,40 a 1,50	1.45	75,95	58,39	46,79	32,82	33,42	46,72	15,40
CSA-04	1,80 a 2,00	1.90	79,91	64,20	53,11	34,16	29,15	55,00	36,18
CSA-03	2,40 a 2,60	2.50	9,81	21,63	3,06	18,40	28,49	20,33	15,89
CSA-02	2,90 a 3,00	2.95	42,09	27,43	7,27	5,95	35,83	25,27	13,79
R Médio			**60,96**	**49,75**	**44,37**	**35,95**	**38,42**	**49,38**	**37,25**

Obs.: Valor R = 0,00: Não ocorreu redução do teor em relação ao teor original do Resíduo Fresco

TABELA V-39: Taxa de Remoção (R): Corpo Sul - Perfil B

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	TAXA DE REMOÇÃO (R) CORPO SUL – PERFIL B R (%)= [(ΔT/ t_f) . 100]						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSB-07	0,40 a 0,60	0.50	79,27	65,65	61,54	48,28	42,49	64,28	32,96
CSB-06	0,90 a 1,00	0.95	95,89	93,23	64,18	86,36	89,86	87,17	93,82
CSB-05	1,30 a 1,40	1.35	66,14	51,62	54,69	46,25	42,49	58,55	56,96
CSB-04	1,90 a 2,00	1.95	81,49	59,85	45,74	33,58	7,82	48,68	10,33
CSB-03	2,20 a 2,30	2.25	86,08	52,59	54,69	31,91	0,00	57,57	0,00
CSB-02	2,60 a 2,70	2.65	53,80	30,33	52,59	30,57	0,00	50,66	0,00
R Médio			**77,11**	**58,88**	**55,57**	**46,21**	**29,94**	**61,15**	**32,35**

Obs.: Valor R = 0,00: Não ocorreu redução do teor em relação ao teor original do Resíduo Fresco

TABELA V-40: Taxa de Remoção (R): Corpo Sul - Perfil C

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	TAXA DE REMOÇÃO (R) CORPO SUL – PERFIL C R (%)= [(ΔT/ t_f) .						
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CSC-05	0,10 a 0,20	0.15	30,38	6,63	3,72	16,79	34,49	11,45	22,33
CSC-04	0,70 a 0,80	0.75	34,33	19,21	88,41	19,14	35,15	17,37	34,20
CSC-03	1,00 a 1,10	1.05	67,41	53,56	53,11	47,60	59,46	50,07	53,74
CSC-02	1,50 a 1,60	1.55	40,35	21,63	9,78	22,17	35,15	18,36	11,32
R Médio			**43,12**	**25,26**	**38,76**	**26,42**	**41,06**	**24,31**	**30,40**

Obs.: Valor R = 0,00: Não ocorreu redução do teor em relação ao teor original do Resíduo Fresco

O conjunto dos valores de R de todos os perfis é apresentada na **Tabela V-41**. Para melhor visualização, as intensidades de remoção estão associadas à escala de cores exibida a seguir:

COR		INTENSIDADE DA REMOÇÃO OCORRIDA
Vermelha		Muito alta (>90%)
Verde		Alta (70 a 90%)
Amarela		Moderada a alta (50 a 70%)
Azul		Moderada a baixa (30 a 50%)
Cinza		Baixa: (10 a 30%)
Incolor		Muito baixa: (<10%)

TABELA V-41: Resumo das Taxas de Remoção Médias (R) nos corpos de resíduo

PONTO AMOSTRADO	TAXA DE REMOÇÃO MÉDIA (%)						
	Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CORPO OSTE PERFIL A	67,56	42,17	30,80	41,26	47,20	50,21	48,55
CORPO LESTE PERFIL A	54,64	60,64	15,63	18,37	33,86	48,86	17,25
CORPO LESTE PERFIL B	48,31	59,50	6,50	18,10	31,07	44,35	13,03
CORPO LESTE PERFIL C	62,25	61,94	29,04	23,44	52,04	33,46	27,73
MÉDIA CORPO LESTE	56,07	60,59	17,06	19,97	38,99	42,23	19,10
CORPO SUL PERFIL A	60,96	49,75	44,37	35,95	38,42	49,38	37,25
CORPO SUL PERFIL B	77,11	58,88	55,57	46,21	29,94	61,15	32,35
CORPO SUL PERFIL C	43,12	25,26	38,76	25,42	41,06	24,31	30,40
MÉDIA CORPO SUL	60,40	44,63	46,23	35,86	36,47	47,63	33,33
MÉDIA GERAL	61,34	50,68	31,36	32,37	40,92	44,41	33,66

A **Tabela V-42** apresenta a classificação dos corpos de resíduos de acordo com a escala de intensidade de remoção de cada metal.

TABELA V-42: Taxa de remoção associada a cada metal em cada corpo de resíduos e no geral, a partir dos valores da parcela removida

METAL	TAXA DE REMOÇÃO			
	CORPO OESTE	CORPO SUL	CORPO LESTE	GERAL
Ag	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada a alta
Cd	Moderada a baixa	Moderada a baixa	Moderada a alta	Moderada a alta
Cr	Moderada a baixa	Moderada a baixa	Baixa	Moderada a baixa
Cu	Moderada a baixa	Moderada a baixa	Baixa	Moderada a baixa
Ni	Moderada a baixa	Moderada a baixa	Moderada a baixa	Moderada a baixa
Pb	Moderada a alta	Moderada a baixa	Moderada a baixa	Moderada a baixa
Zn	Moderada a baixa	Moderada a baixa	Baixa	Moderada a baixa

. Considerações preliminares: 4) Avaliação quantitativa da remoção de metais dos resíduos

A partir da classificação exibida na Tabela V-42, podem ser feitas as seguintes observações:

. O corpo Oeste é o que sofreu a maior remoção relativa de metais. Duas espécies metálicas (Ag e Pb) sofreram remoção moderada a alta e outras cinco (Cd, Cr, Cu, Ni e Zn) sofreram remoção moderada a baixa.

. O corpo Sul vem a seguir. Apenas o metal Ag sofreu remoção moderada a alta. Os metais Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn sofreram remoção moderada a baixa.

. O corpo Leste é o que apresenta as menores taxas de remoção. Os metais Ag e Cd sofreram remoção moderada a alta. As espécies Ni e Pb sofreram remoção moderada a baixa. Já as espécies Cr, Cu e Zn sofreram baixa remoção.

Tais comportamentos são coerentes com as idades de cada um dos corpos: os mais antigos (Oeste e Sul) evidenciam remoção mais acentuada de metais. Da Tabela V-41 foi extraída a ordem de remoção relativa dos metais no conjunto geral dos resíduos: Ag > Cd > Pb > Ni > Zn > Cu > Cr. Com base na classificação da Tabela V-42 e na ordem de remoção citada, os metais podem ser agrupados em 4 conjuntos com taxas de remoção similares:

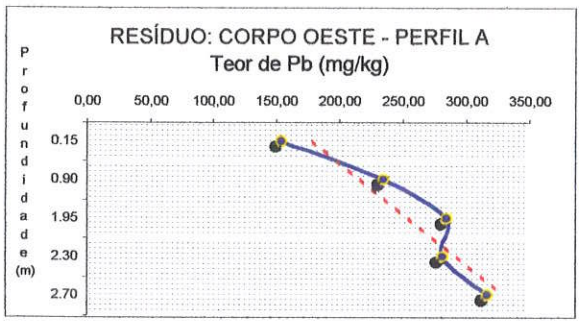
- Ag: metal mais removido, com taxa de remoção próxima a 60%
- Cd: segundo metal na escala de remoção, com taxa próxima a 50%
- Pb e Ni: vêm a seguir na ordem de remoção, com taxas próximas a 40%
- Zn, Cu e Cr: metais menos removidos, com taxas próximas a 30%

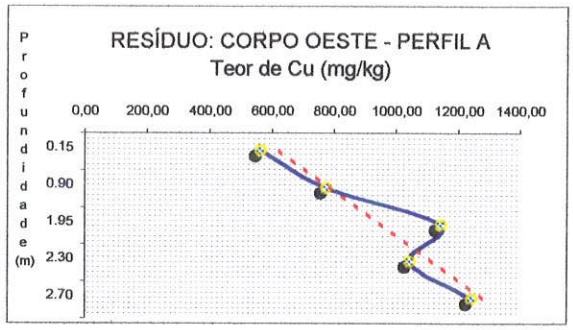
Verifica-se que, independentemente da ordem de intensidade de remoção, todos os metais sofreram remoção considerável, praticamente com a mesma ordem de grandeza, numa faixa que vai de 30 a 60% do seu conteúdo inicial.

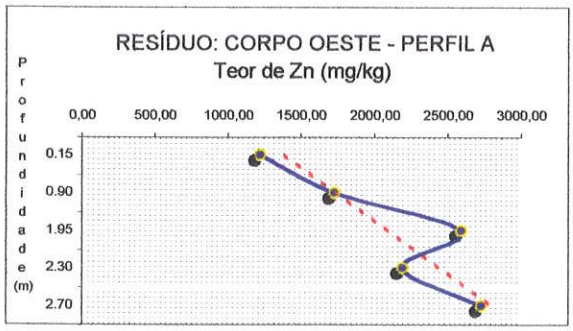
b3. Avaliação qualitativa da distribuição vertical dos teores dos metais

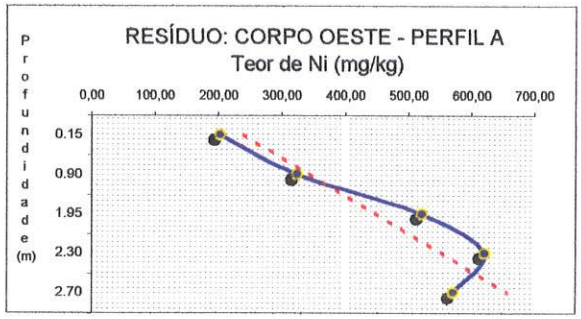
Uma vez detectada a ocorrência da remoção de metais e estimada a sua intensidade, foi analisada a distribuição vertical dos teores dos metais nos corpos de resíduo. Para isso, foram elaborados os gráficos exibidos nas **Figuras V-2 a V-8**.

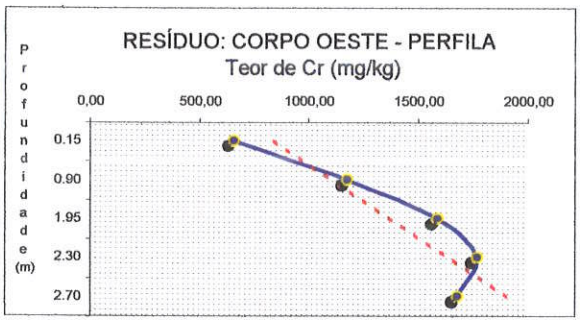
FIGURA V-2: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Oeste-Perfil A

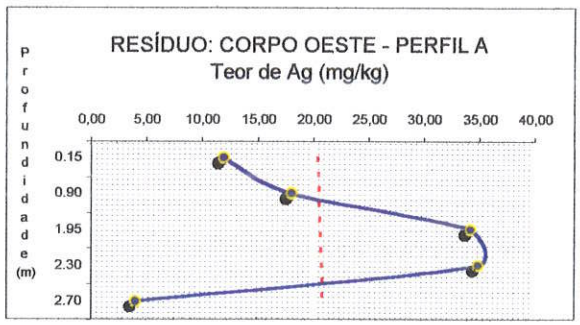


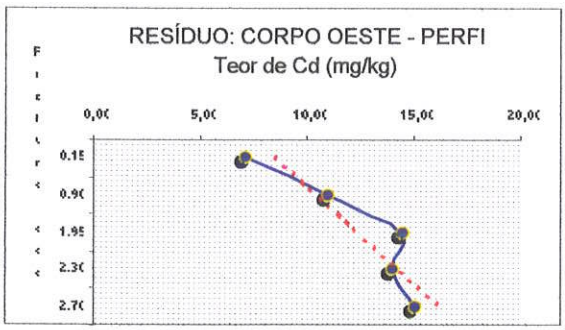


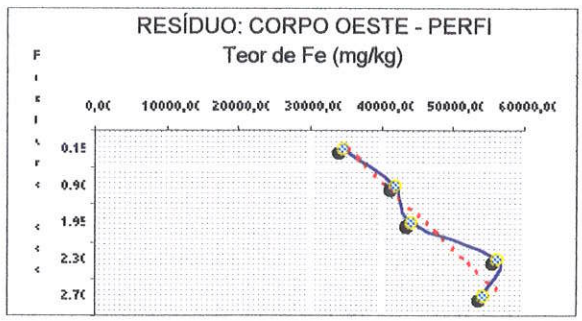












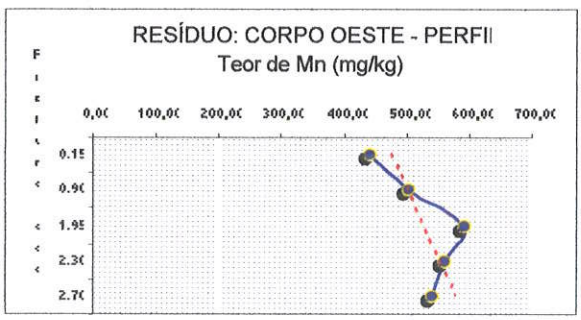
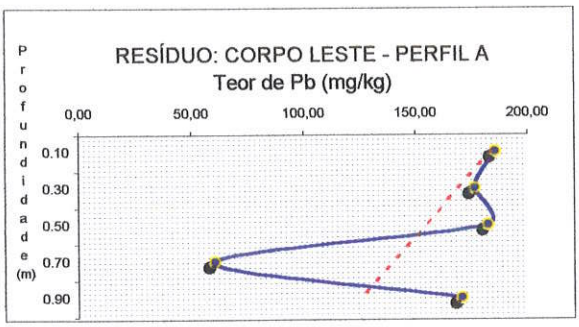
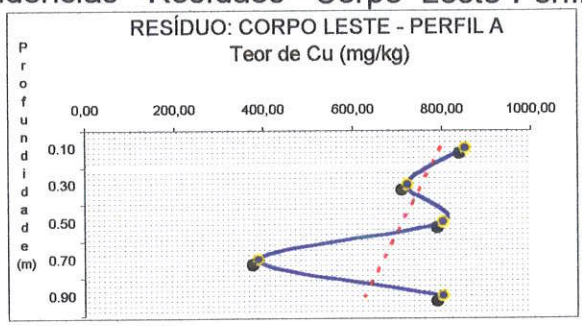
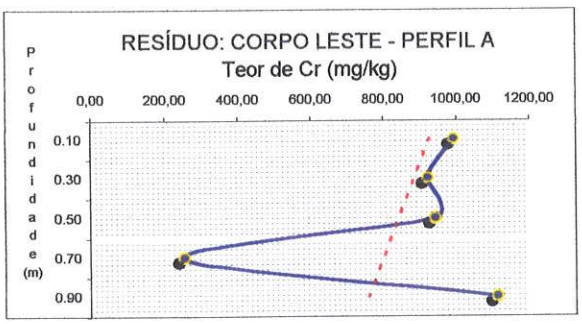
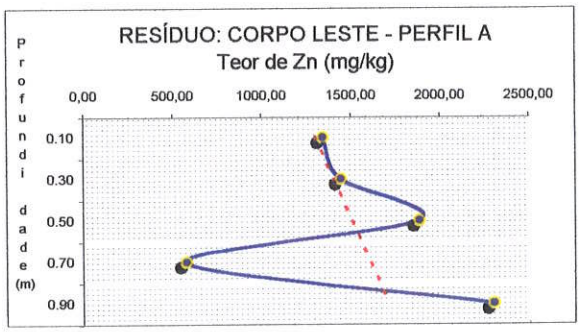


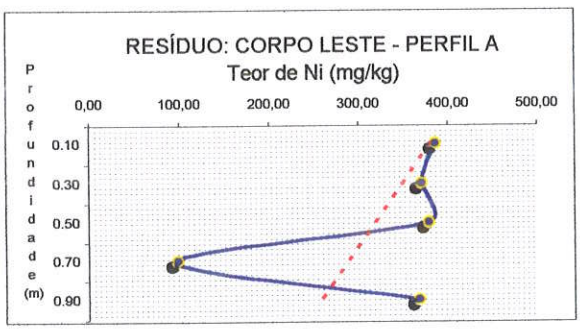
FIGURA V-3: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Leste-Perfil A

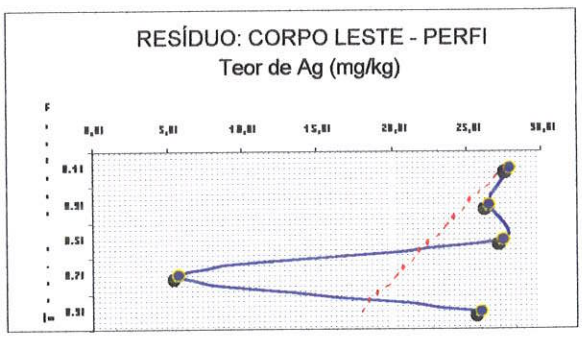


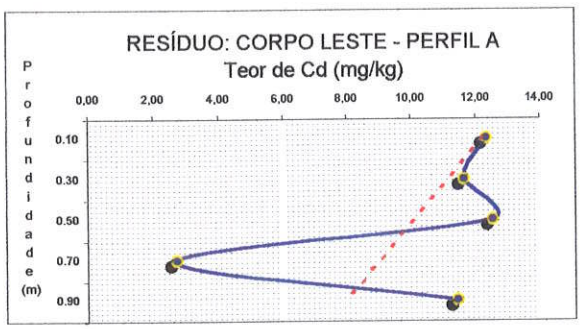


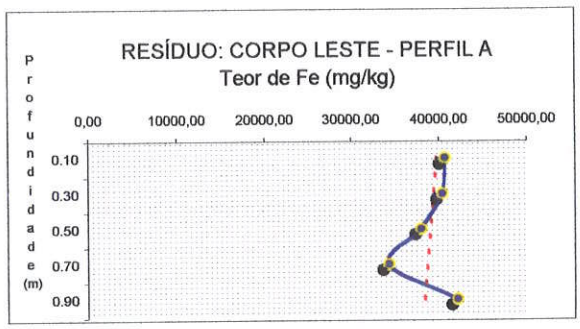












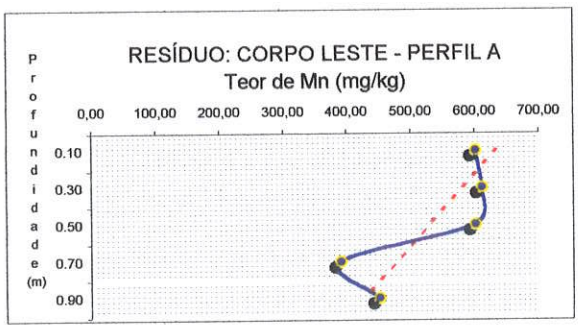
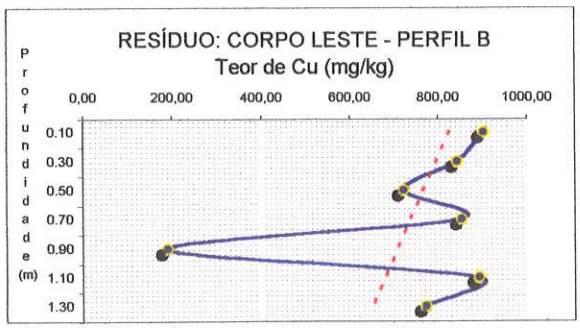
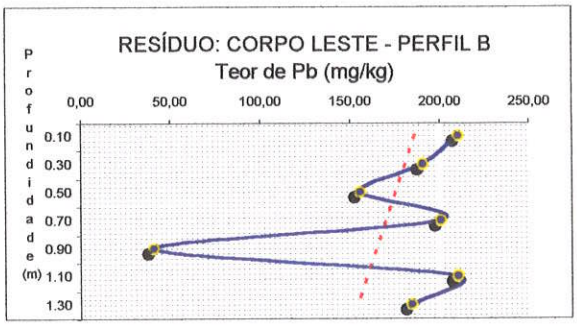
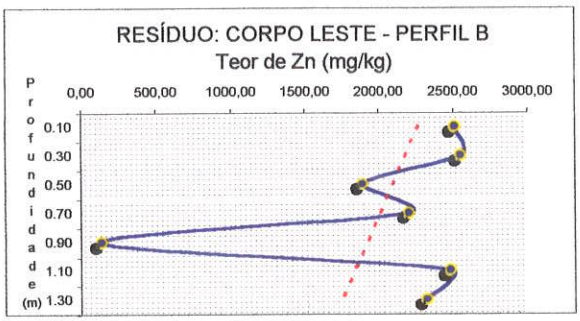
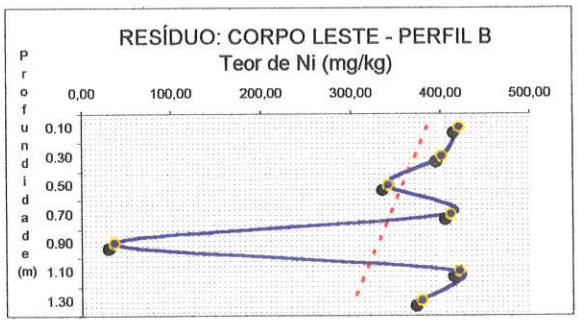


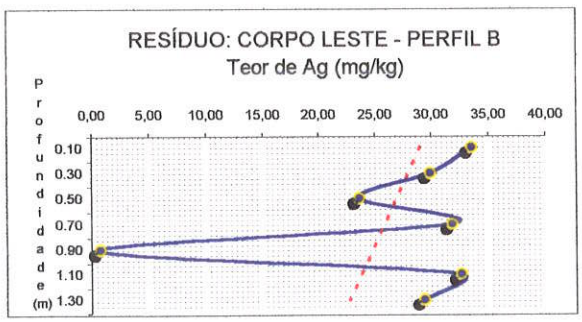
FIGURA V-4: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Leste - Perfil B

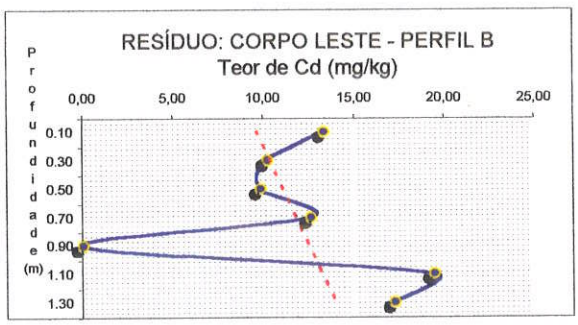


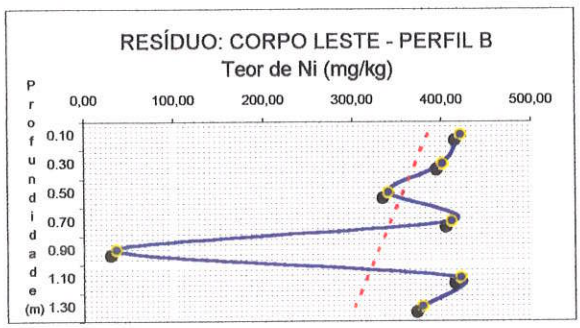


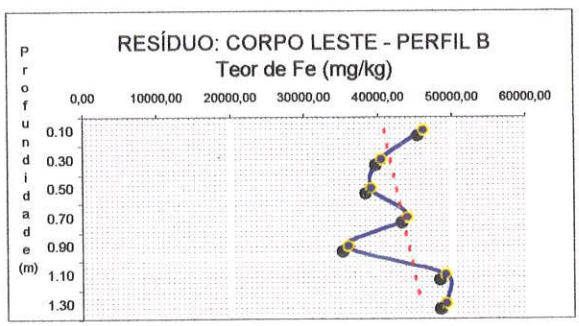












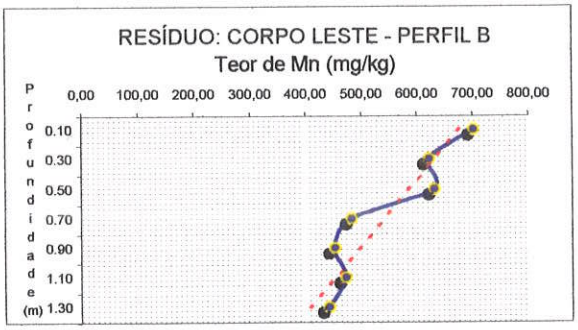
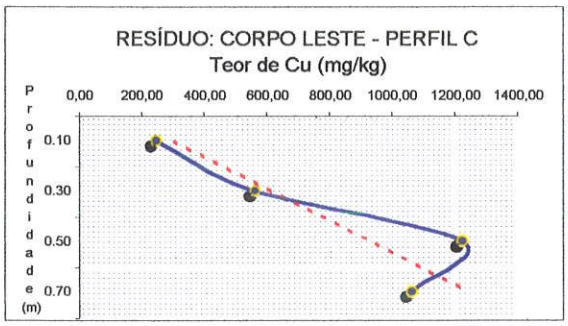
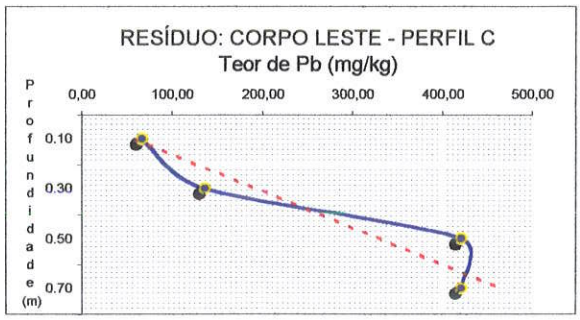
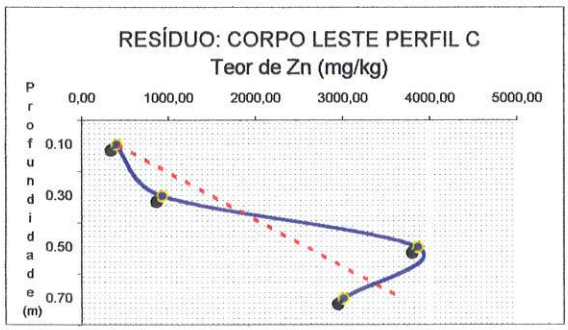
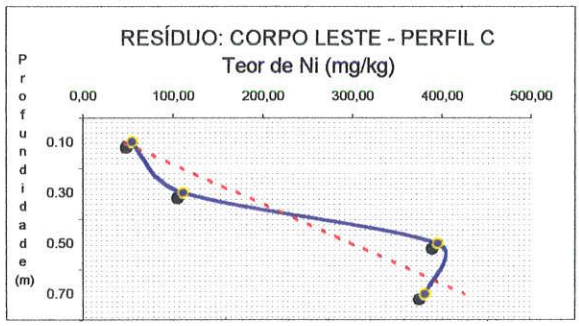


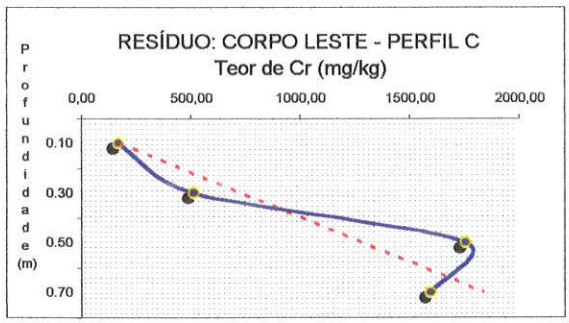
FIGURA V-5: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Leste - Perfil C

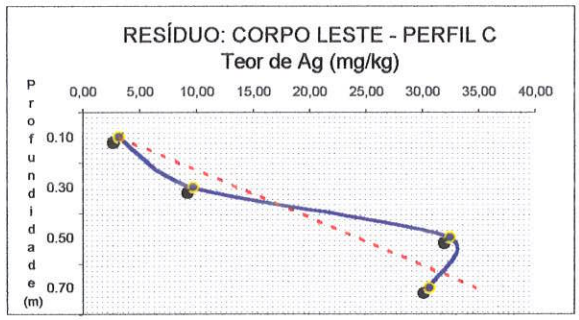


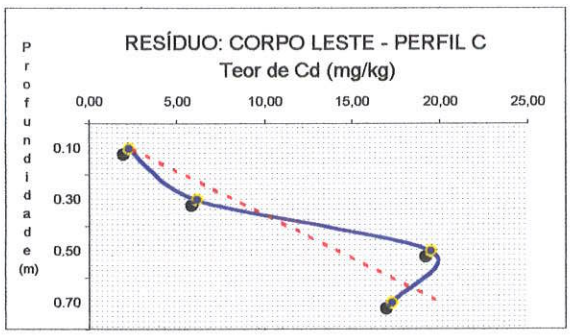


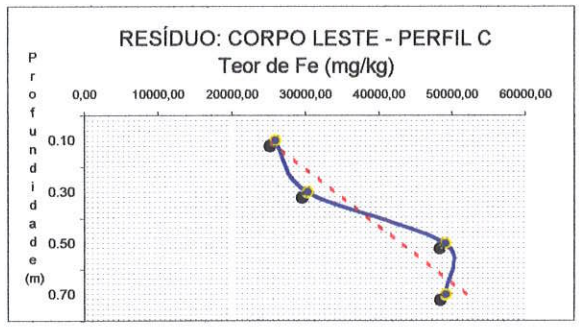


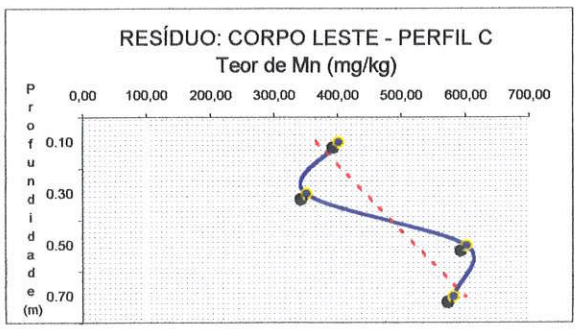






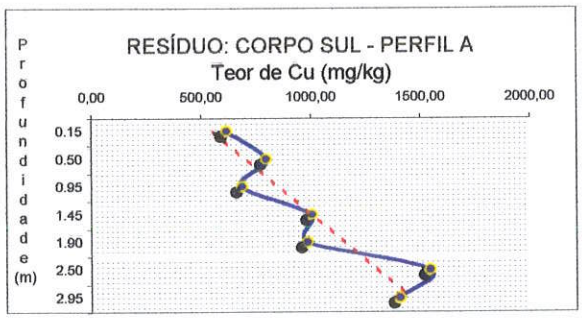


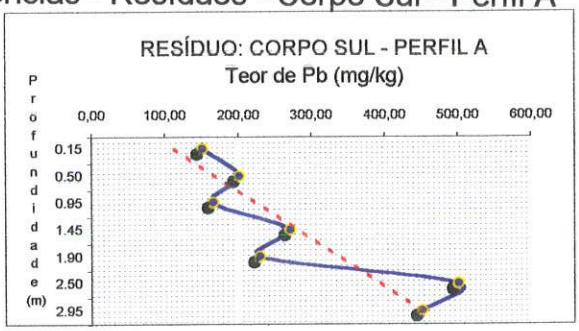


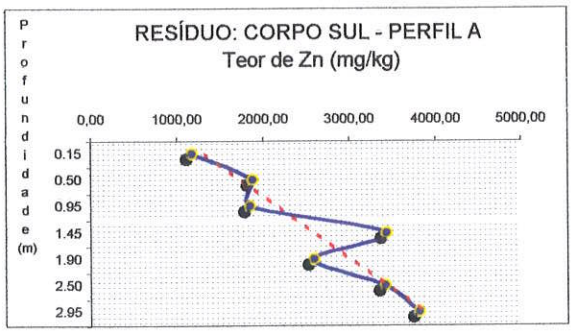


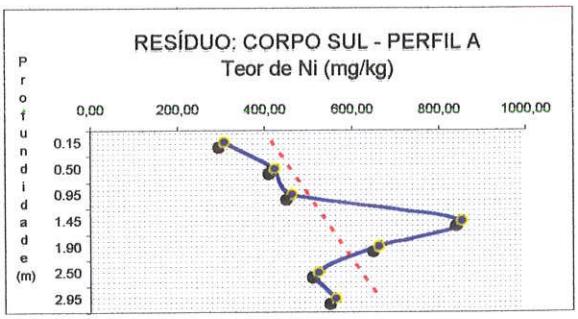
T3526
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
— BIBLIOTECA —

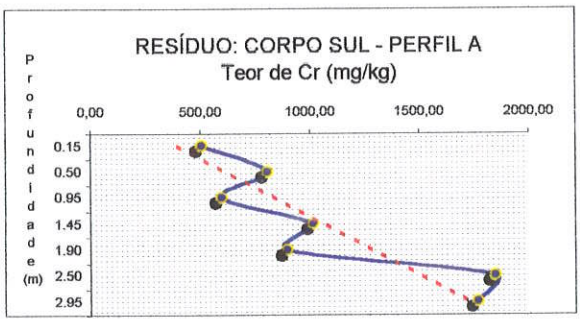
FIGURA V-6: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Sul - Perfil A

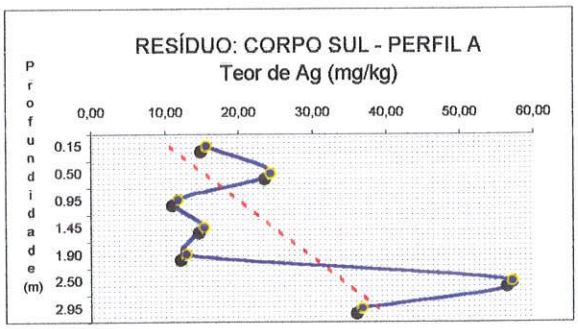


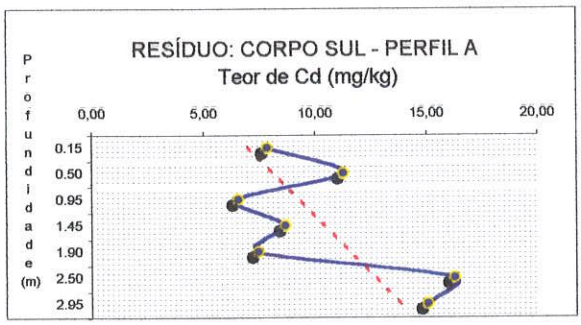


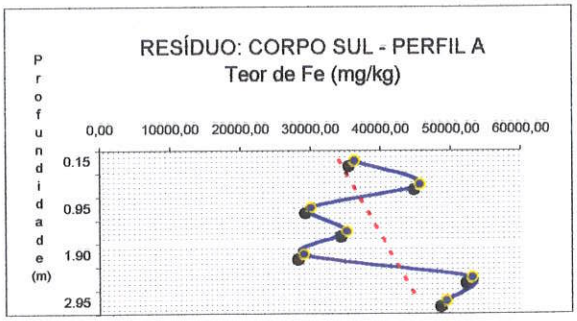












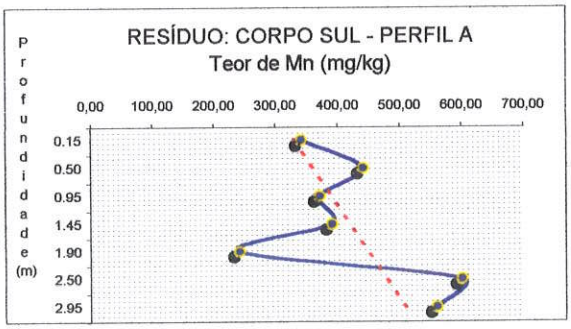
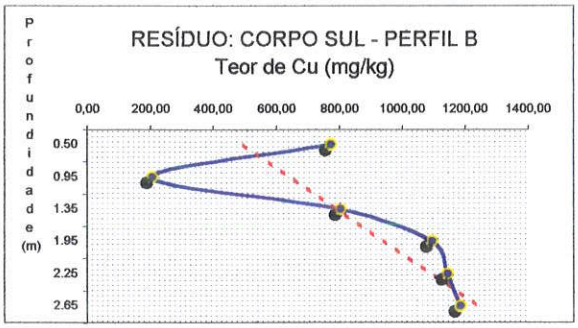
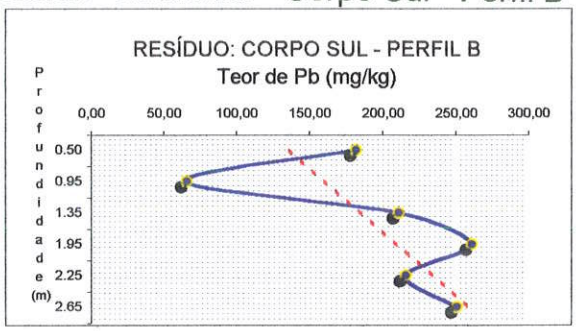
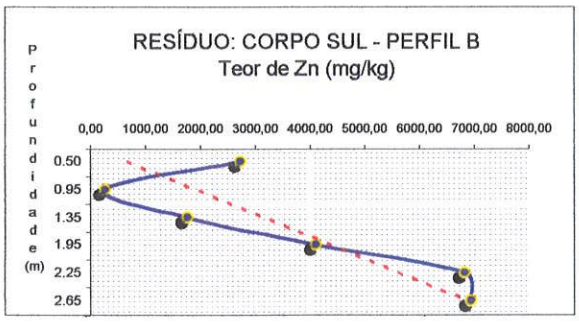
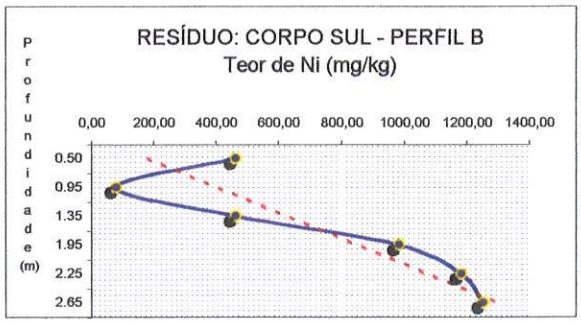


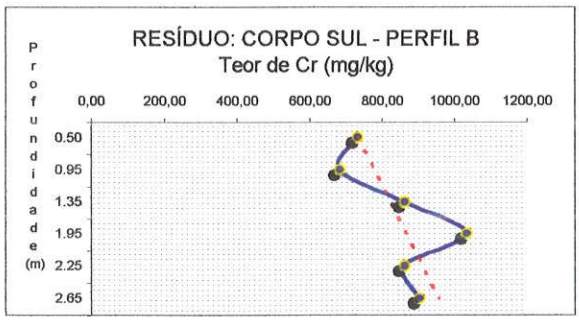
FIGURA V-7: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Sul - Perfil B

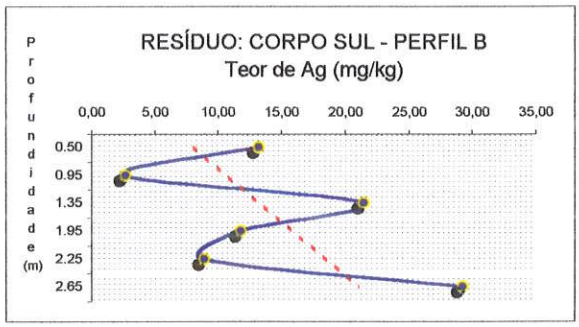


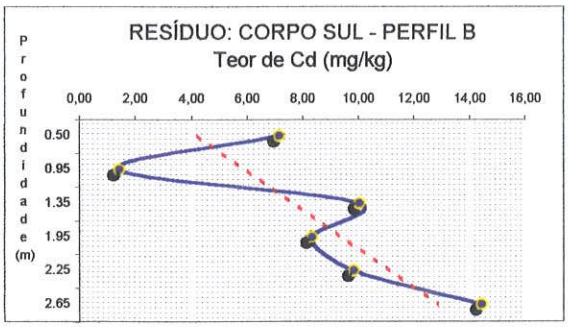


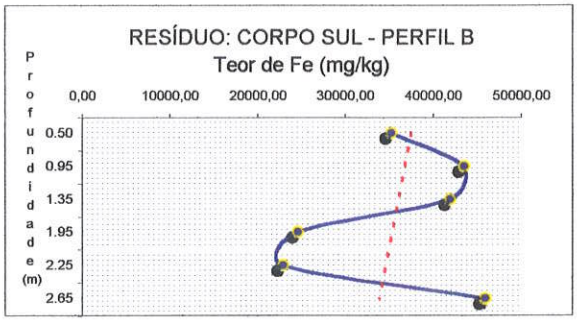












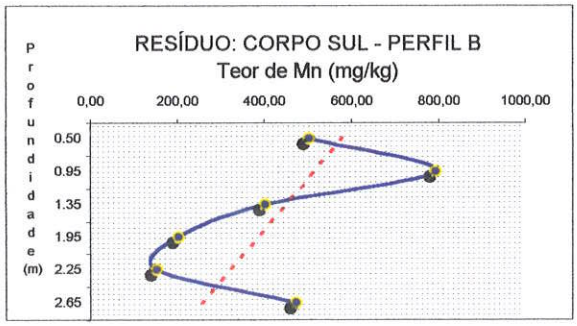
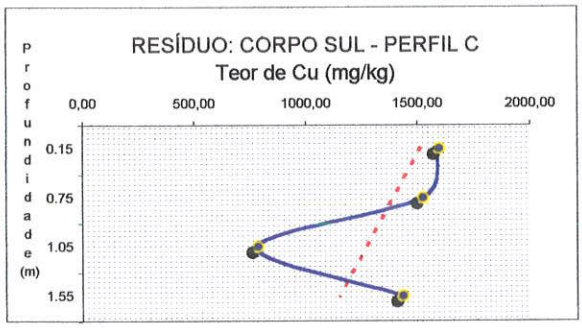
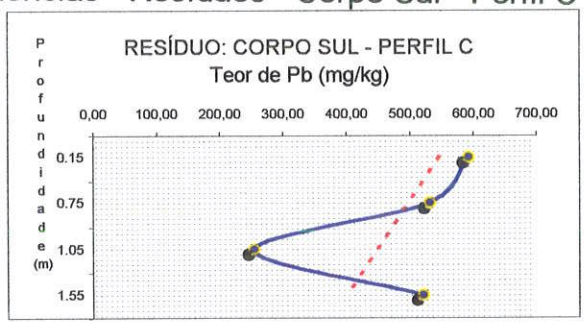
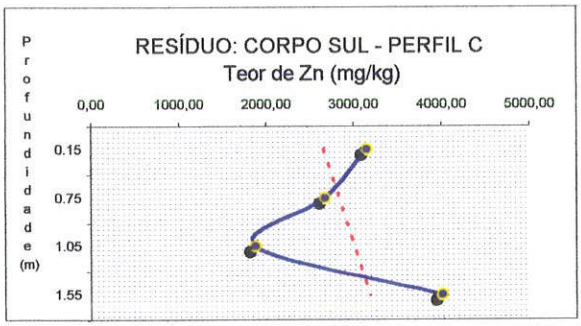
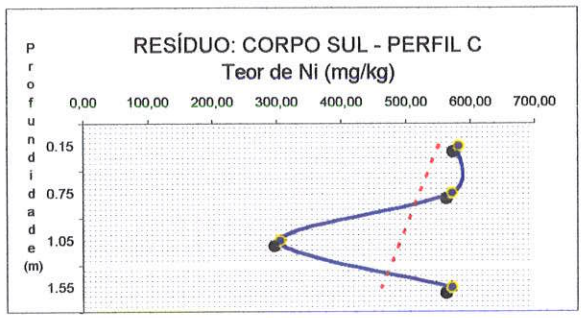


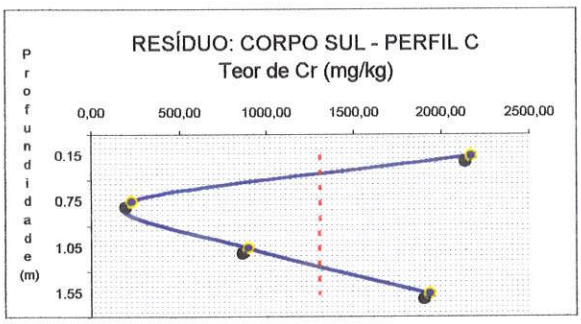
FIGURA V-8: Teores dos metais e linhas tendências - Resíduos - Corpo Sul - Perfil C

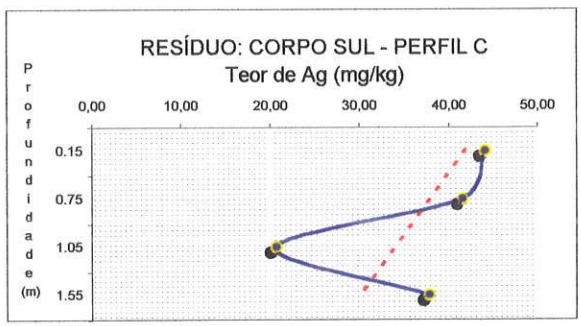


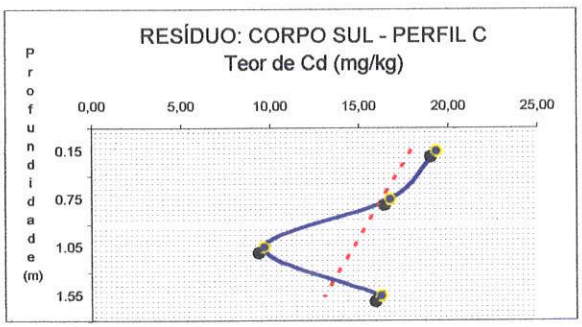


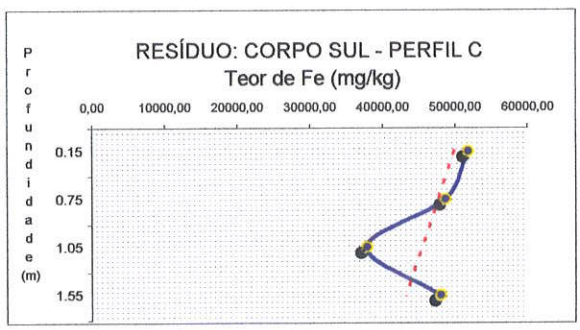


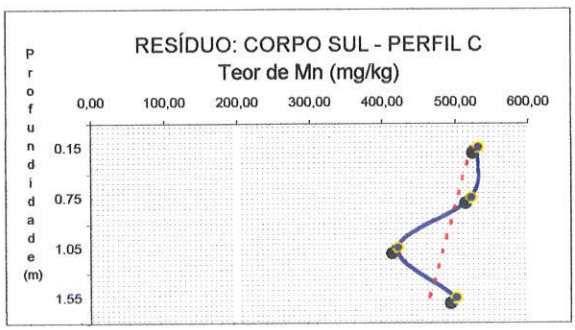












.Considerações preliminares: 5) O comportamento vertical dos teores dos metais nos resíduos

A observação dos gráficos de distribuição dos metais e das respectivas linhas de tendência (Figuras V-2 a V-8) indica que existem dois grupos de perfis com tendências distintas no que se refere à distribuição vertical dos teores:

- Grupo 1, constituído pelos perfis Oeste A, Leste C, Sul A e Sul B. Nesse grupo há uma clara tendência de aumento dos teores de todos os metais conforme se aproxima a base do perfil. O perfil estudado no corpo Norte (ASSUNÇÃO, 1996) também enquadra-se nesse grupo.

- Grupo 2, constituído pelos perfis Leste A, Leste B e Sul C. Nesse grupo, os gráficos evidenciam um comportamento inverso ao observado para o grupo 1: os teores dos metais tendem a diminuir com o aumento da profundidade. A explicação para esse comportamento pode estar relacionada aos seguintes fatores:

. Perfis Leste A e Leste B: A inversão das tendências pode estar relacionada à movimentação mecânica dos resíduos, já citada como ocorrida principalmente nos locais onde foram amostrados esses dois perfis.

. Perfil Sul C: Nesse caso, a inversão da tendência pode estar relacionada ao fato desse perfil estar situado em posição topograficamente inferior à dos Perfis Sul A e Sul B. Tal fato pode sujeitar os resíduos do ponto Sul C a aportes laterais de soluções originadas dos resíduos a montante.

b4. Detalhamento da variação vertical dos teores de metais

Uma vez detectada a tendência de aumento dos teores de metais em direção à base, considerou-se pertinente estimar a diferença entre os valores dos teores da base e do topo de cada perfil (**Diferença Base-Topo,** ou $\mathbf{D_{BT}}$) de acordo com procedimento utilizado por ASSUNÇÃO (1996), para quantificar essa variação.

A relação percentual entre a diferença $\mathbf{D_{BT}}$ e os teores do topo, denominada **Fator de Concentração na Base (F_{CB})** também foi calculada para cada metal. Ambos os parâmetros são apresentados na **Tabela V-43**.

TABELA V-43: Diferenças (D_{BT}) entre os teores dos metais na base (T_B) e no topo (T_T) de cada perfil e respectivos Fatores de Concentração na Base (F_{CB})

METAL	VALORES DE D_{BT} E F_{CB} EM CADA PERFIL ESTUDADO													
	OESTE A		LESTE A		LESTE B		LESTE C		SUL A		SUL B		SUL C	
	D_{BT} (mg/kg)	F_{CB}	D_{BT} (mg/kg)	F_{CB}	D_{BT} (mg/kg)	F_{CB}	D_{BT} (mg/kg)	F_{CB}	D_{BT} (mg/kg)	F_{CB}	D_{BT} (mg/kg)	F_{CB}	D_{BT} (mg/kg)	F_{CB}
Ag	-7,89	0,33	-1,90	0,93	-4,10	0,88	27,40	9,83	21,20	2,38	16,10	2,23	-6,3	0,86
Cd	7,90	2,11	-0,90	0,93	3,90	1,29	15,00	7,81	7,30	2,03	7,30	2,03	-3,1	0,84
Cr	1020	2,57	210	1,21	380	1,54	1425	9,64	1260	3,52	170	1,23	-230	0,89
Cu	680	2,05	-50	0,94	-130	0,86	816	4,34	790	2,30	410	1,53	-160	0,90
Ni	369	2,84	-18	0,95	-42	0,90	327	7,20	256	1,84	790	2,72	-10	0,98
Pb	162	2,06	-15	0,92	-26	0,88	355	6,46	300	3,00	69	1,38	-70	0,88
Zn	1510	2,25	960	1,72	-180	0,93	2606	7,61	2640	3,28	4210	2,55	860	1,27
Mn	100	1,23	-150	0,75	-260	0,63	180	1,45	220	1,65	-30	0,94	-3800	0,93
Fe	19500	1,56	1400	1,03	3000	1,06	23200	1,90	13200	1,37	10700	1,30	-30	0,94
MEDIA		**1,89**		**1,04**		**1,00**		**6,25**		**2,37**		**1,60**		**0,94**

Os valores de D_{BT} negativos, anotados em vermelho, indicam que o teor da base do perfil é menor que o teor do topo. Nesses casos, os respectivos valores dos F_{CB} são números positivos menores do que 1. Os valores médios calculados para o Fator de Concentração na Base (F_{CB}) para cada metal são exibidos na **Tabela V-44**.

TABELA V-44: Valores médios de F_{CB} para cada metal nos perfis analisados

GRUPO	Valores médios do Fator de Concentração na Base								
	Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe
1	2,49	2,43	2,94	1,85	2,49	2,23	2,80	1,08	1,31

Considerações preliminares: 6) Estimativa da variação vertical dos teores dos metais

A partir dos valores da Tabela V-43, verifica-se que os teores da base dos perfis são, em média, de **1,08 a 2,94** vezes superiores aos teores do topo. Verificou-se também que os metais traço concentram-se na base dos perfis na seguinte ordem: Cr > Zn > Ag = Ni = Cd > Pb > Cu > Fe > Mn.

Os valores médios do Fator de Concentração na Base (F_{CB}) para o conjunto de metais em cada perfil (última linha da Tabela V-43) indicam que alguns perfis sofreram maior concentração na base do que outros. A ordem decrescente da incidência de concentração na base é: Leste C > Sul A > Oeste A > Sul B. Coincidentemente, esses são os perfis do Grupo 1. Já os perfis Leste A, Leste B e Sul C, pertencentes ao grupo 2, apresentam valores médios de F_{CB} muito próximos a 1 ou até mesmo negativos. Os valores indicam a não ocorrência de concentração dos metais na base desses perfis.

c. Dosagem de metais com abertura por água deionizada a frio

Foi executada também a dosagem dos metais com abertura por água deionizada a frio, de acordo com procedimento de CAMPANELLA *et al.* (1985). O objetivo foi quantificar a parcela mais solúvel dos metais contida nos resíduos. Os teores obtidos são apresentados nas **Tabelas V-45** a **V-51**.

TABELA V-45: Teores dos metais no resíduo disposto (T_d) Corpo Oeste – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁGUA DEIONIZADA A FRIO CORPO OESTE – PERFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CWA-08	0,10 a 0,20	0.15	0,00	0,00	0,00	5,00	2,00	0,00	2,00	0,00	0,00
CWA-07	0,80 a 1,00	0.90	0,00	0,00	0,00	6,00	7,00	0,00	12,00	0,00	0,00
CWA-06	1,80 a 2,10	1.95	0,00	0,10	0,00	14,00	12,00	0,00	15,00	0,00	0,00
CWA-05	2,20 a 2,40	2.30	0,00	0,30	3,00	16,00	16,00	0,00	16,00	0,00	0,00
CWA-04	2,60 a 2,80	2.70	0,00	0,50	4,00	22,00	19,00	0,00	20,00	0,00	0,00
Média			0,00	0,18	1,40	12,60	11,20	0,00	13,00	0,00	0,00
Desvio Padrão			0,00	0,22	1,95	7,13	6,83	0,00	6,78	0,00	0,00
Erro da média			0,00	0,10	0,09	3,18	3,05	0,00	3,03	0,00	0,00
Valor mais provável (limite de confiança. De 90 %) (Student)			**0,00 ± 0,00**	**0,18± 0,15**	**1,40± 0,14**	**12,60 ± 4,89**	**11,20 ± 4,46**	**0,00± 0,00**	**13,00± 4,66**	**0,00 ± 0,00**	**0,00 ± 0,00**

TABELA V-46: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁGUA DEIONIZADA A FRIO CORPO LESTE – PEFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEA-01	0,00 A 0,20	0.10	0,00	0,00	1,00	17,00	16,00	0,00	9,00	0,00	0,00
TEA-02	0,20 A 0,40	0.30	0,00	0,00	3,00	32,00	25,00	0,00	10,00	0,00	0,00
TEA-03	0,40 A 0,60	0.50	0,00	0,20	1,00	23,00	24,00	0,00	8,00	0,00	0,00
TEA-04	0,60 A 0,80	0.70	0,00	0,20	1,00	32,00	12,00	0,00	5,00	0,00	0,00
TEA-05	0,80 A 1,00	0.90	0,00	0,20	2,00	15,00	25,00	0,00	11,00	0,00	0,00
Média			0,00	0,12	1,60	23,80	20,40	0,00	8,60	0,00	0,00
Desvio Padrão			0,00	0,11	0,89	8,04	6,02	0,00	2,30	0,00	0,00
Erro da média			0,00	0,05	0,40	3,60	2,69	0,00	1,02	0,00	0,00
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**0,00 ± 0,00**	**0,12± 0,08**	**1,60 ± 0,62**	**23,80 ± 5,53**	**20,40 ± 4,13**	**0,00 ± 0,00**	**8,60 ± 1,60**	**0,00 ± 0,00**	**0,00 ± 0,00**

TABELA V-47: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁGUA DEIONIZADA A FRIO CORPO LESTE – PERFIL B								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEB-01	0,00 a 0,20	0.10	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00	0,00	7,00	0,00	0,00
TEB-02	0,20 a 0,40	0.30	0,00	0,00	1,00	22,00	23,00	0,00	10,00	0,00	0,00
TEB-03	0,40 a 0,60	0.50	0,00	0,10	1,00	30,00	26,00	0,00	10,00	0,00	0,00
TEB-04	0,60 a 0,80	0.70	0,00	0,10	1,00	14,00	19,00	0,00	8,00	0,00	0,00
TEB-05	0,80 a 1,00	0.90	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
TEB-06	1,00 a 1,20	1.10	0,00	0,10	2,00	39,00	49,00	0,00	13,00	0,00	0,00
TEB-07	1,20 a 1,40	1.30	0,00	0,10	1,00	24,00	55,00	0,00	16,00	0,00	0,00
Média			0,00	0,06	1,00	23,00	23,40	0,00	8,80	0,00	0,00
Desvio Padrão			0,00	0,05	0,75	10,62	16,61	0,00	3,39	0,00	0,00
Erro da média			0,00	0,04	0,28	4,01	6,27	0,00	1,28	0,00	0,00
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**0,00 ± 0,00**	**0,06 ± 0,06**	**1,00± 0,40**	**23,00 ± 5,78**	**23,40 ± 9,04**	**0,00± 0,00**	**8,80± 1,86**	**0,00 ± 0,00**	**0,00 ± 0,00**

TABELA V-48: Teores dos metais no resíduo disposto (T_d) Corpo Leste – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁGUA DEIONIZADA A FRIO CORPO LESTE – PERFIL C								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEC-01	0,00 a 0,20	0.10	0,00	0,10	0,00	7,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
TEC-02	0,20 a 0,40	0.30	0,00	0,20	0,00	21,00	1,00	0,00	7,00	0,00	0,00
TEC-03	0,40 a 0,60	0.50	0,00	0,40	1,00	32,00	6,00	0,00	12,00	0,00	0,00
TEC-04	0,60 a 0,80	0.70	0,00	0,50	2,00	40,00	8,00	0,00	15,00	0,00	0,00
Média			0,00	0,30	0,75	25,00	3,75	0,00	8,75	0,00	0,00
Desvio Padrão			0,00	0,18	0,96	14,31	3,86	0,00	6,13	0,00	0,00
Erro da média			0,00	0,09	0,48	7,16	1,93	0,00	3,06	0,00	0,00
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**0,00 ± 0,00**	**0,30± 0,15**	**0,75± 0,75**	**25,00 ± 11,71**	**3,75 ± 3,16**	**0,00 ± 0,00**	**8,75± 5,00**	**0,00 ± 0,00**	**0,00 ± 0,00**

TABELA V-49: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁGUA DEIONIZADA A FRIO CORPO SUL – PERFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSA-08	0,10 a 0,20	0.15	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CSA-07	0,40 a 0,60	0.50	0,00	0,00	0,00	6,00	4,00	0,00	9,00	0,00	0,00
CSA-06	0,90 a 1,00	0.95	0,00	0,10	0,00	7,00	5,00	0,00	12,00	0,00	0,00
CSA-05	1,40 a 1,50	1.45	0,00	0,30	0,00	9,00	9,00	0,00	25,00	0,00	0,00
CSA-04	1,80 a 2,00	1.90	0,00	0,50	1,00	12,00	11,00	0,00	30,00	0,00	0,00
CSA-03	2,40 a 2,60	2.50	0,00	0,60	2,00	23,00	13,00	0,00	32,00	0,00	0,00
CSA-02	2,90 a 3,00	2.95	0,00	0,70	2,00	28,00	17,00	0,00	39,00	0,00	0,00
Média			0,00	0,31	0,71	12,71	8,43	0,00	21,00	0,00	0,00
Desvio Padrão			0,00	0,29	0,95	9,20	5,83	0,00	14,19	0,00	0,00
Erro da média			0,00	0,11	0,35	3,47	2,20	0,00	5,36	0,00	0,00
Valor mais provável (limite de confiança. De 90 %) (Student)			**0,00 ± 0,00**	**0,31 ± 0,16**	**0,71± 0,50**	**12,71± 5,00**	**8,43± 3,17**	**0,00 ± 0,00**	**21,00± 7,72**	**0,00 ± 0,00**	**0,00 ± 0,00**

TABELA V-50: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁGUA DEIONIZADA A FRIO CORPO SUL – PERFIL B								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSB-07	0,40 a 0,60	0.50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
CSB-06	0,90 a 1,00	0.95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,00	0,00
CSB-05	1,30 a 1,40	1.35	0,00	0,00	0,00	2,00	6,00	0,00	10,00	0,00	0,00
CSB-04	1,90 a 2,00	1.95	0,00	0,60	0,00	3,00	25,00	0,00	60,00	0,00	0,00
CSB-03	2,20 a 2,30	2.25	0,00	1,20	0,90	5,00	32,00	0,00	120,00	0,00	0,00
CSB-02	2,60 a 2,70	2.65	0,00	1,50	1,00	8,00	43,00	0,00	150,00	0,00	0,00
Média			0,00	0,55	0,32	3,00	17,67	0,00	58,00	0,00	0,00
Desvio Padrão			0,00	0,61	0,47	2,74	16,11	0,00	57,75	0,00	0,00
Erro da média			0,00	0,25	0,19	1,12	6,57	0,00	23,58	0,00	0,00
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**0,00 ± 0,00**	**0,55 ± 0,37**	**0,32± 0,28**	**3,00± 1,65**	**17,67± 9,68**	**0,00 ± 0,00**	**58,00± 25,05**	**0,00 ± 0,00**	**0,00 ± 0,00**

TABELA V-51: Teores dos metais no resíduo Disposto (T_d) Corpo Sul – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR T_d NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁGUA DEIONIZADA A FRIO CORPO SUL – PERFIL C								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSC-05	0,10 a 0,20	0.15	0,00	0,30	1,00	22,00	5,00	0,00	10,00	0,00	0,00
CSC-04	0,70 a 0,80	0.75	0,00	0,40	1,00	8,00	7,00	0,00	12,00	0,00	0,00
CSC-03	1,00 a 1,10	1.05	0,00	0,20	0,00	3,00	4,00	0,00	8,00	0,00	0,00
CSC-02	1,50 a 1,60	1.55	0,00	0,20	0,00	5,00	5,00	0,00	11,00	0,00	0,00
Média			0,00	0,28	0,50	9,50	5,25	0,00	10,25	0,00	0,00
Desvio Padrão			0,00	0,10	0,58	8,58	1,26	0,00	1,71	0,00	0,00
Erro da média			0,00	0,05	0,29	4,29	0,63	0,00	0,86	0,00	0,00
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**0,00 ± 0,00**	**0,28 ± 0,08**	**0,50± 0,48**	**9,50± 7,02**	**5,25± 1,03**	**0,00 ± 0,00**	**10,25± 1,41**	**0,00 ± 0,00**	**0,00 ± 0,00**

A dimensão da parcela mais solúvel dentro do teor total de cada metal foi denominada por ASSUNÇÃO (1996) de Parcela Solúvel (P_s). Esse parâmetro foi obtido através do cálculo da relação percentual entre os teores médios determinados com a abertura por água deionizada a frio (T_{H2O}) e os respectivos teores médios obtidos com a abertura por ácidos fortes a quente (T_{acid}). O cálculo é representado pela expressão: $PS = (T_{H2O})/ (T_{acid}).100$. Os resultados obtidos são apresentados na **Tabela V-52**.

TABELA V-52: Valores médios das parcelas solúveis de cada metal em cada perfil

MÉDIA POR PERFIL	PARCELA SOLÚVEL PERFIS DE RESÍDUOS: $R_p = (T_{d H2O} / T_{d Acid}) . 100$ (%)								
	Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CORPO OSTE PERFIL A	0,00	1,46	0,11	1,32	2,51	0,00	0,62	0,00	0,00
CORPO SUL PERFIL A	0,00	2,98	0,07	1,27	1,56	0,00	0,81	0,00	0,00
CORPO SUL PERFIL B	0,00	6,47	0,04	0,34	2,40	0,00	1,81	0,00	0,00
CORPO SUL PERFIL C	0,00	1,81	0,06	2,55	1,03	0,00	0,35	0,00	0,00
MÉDIA DO CORPO SUL	0,00	3,75	0,06	1,37	1,67	0,00	0,99	0,00	0,00
CORPO LESTE PERFIL A	0,00	1,19	0,19	3,34	6,38	0,00	0,57	0,00	0,00
CORPO LESTE PERFIL B	0,00	0,51	0,10	3,12	6,82	0,00	0,44	0,00	0,00
CORPO LESTE PERFILC	0,00	2,67	0,08	3,24	1,60	0,00	0,43	0,00	0,00
MÉDIA DO CORPO LESTE	0,00	1,46	0,12	3,23	4,93	0,00	0,48	0,00	0,00
MÉDIA GERAL	**0,00**	**2,22**	**0,10**	**1,97**	**3,03**	**0,00**	**0,70**	**0,00**	**0,00**

A partir da Tabela V-52 foi definida a ordem de incidência da parcela solúvel dos diversos metais em cada perfil e em cada grupo, exibida na Tabela V-53.

TABELA V-53: Ordem decrescente das Parcelas Solúveis dos metais nos perfis

PONTO AMOSTRADO	METAIS POR ORDEM DECRESCENTE DAS PARCELAS SOLUVEIS MÉDIAS
CORPO OESTE PERFIL A *	Ni > Cd > Cr >Cr > Zn > Mn = Ag =Pb = Fe = 0
CORPO SUL PERFIL A	Cd > Ni > Cu > Zn > Cr > Mn = Ag = Pb = Fe = 0
CORPO SUL PERFIL B	Cd > Ni > Zn > Cu > Cr > Mn = Ag = Pb = Fe = 0
CORPO SUL PERFIL C	Cu > Cd > Ni > Zn > Cr > Mn = Ag = Pb = Fe = 0
MÉDIA DO CORPO SUL	**Cd > Ni > Cu > Zn > Cr >** Mn = Ag = Pb = Fe = 0
CORPO LESTE PERFIL A	Ni > Cu > Cd > Zn > Cr > Mn = Ag = Pb = Fe = 0
CORPO LESTE PERFIL B	Ni > Cu > Cd > Zn > Cr > Mn = Ag = Pb = Fe = 0
CORPO LESTE PERFIL C	Cu > Cd > Ni > Zn > Cr > **Mn = Ag = Pb = Fe = 0**
MÉDIA DO CORPO LESTE	Ni > Cu > Cd > Zn > Cr > Mn = Ag = Pb = Fe = 0
MÉDIA GERAL	**Ni > Cd > Cu > Zn > Cr >** Mn = Ag = Pb = Fe = 0

. Considerações preliminares: 7) A ocorrência de metais sob formas solúveis em água:

As análises realizadas através da abertura com água deionizada a frio não detectaram a presença de Ag, Pb, Mn e Fe. No entanto, foram obtidos resultados em todos os perfis para os metais Cd, Cr, Cu, Ni e Zn. Esse fato evidencia a existência nos resíduos de uma parcela desses metais que é efetivamente mais solúvel.

Além disso, mesmo sem a elaboração de gráficos com a distribuição vertical dos teores em cada perfil, é evidente que há clara tendência de aumento dos teores de metais do topo para a base dos perfis, principalmente naqueles pertencentes ao Grupo 1 (Oeste A, Leste C, Sul A e Sul B). Verifica-se que as formas mais solúveis dos metais também são mais incidentes na base dos perfis do que no topo.

A explicação para esse fato pode estar relacionada à muito provável eliminação das formas mais solúveis que existiam nas regiões mais próximas ao topo dos pacotes, que são as mais expostas à ação das condições ambientais.

Os percentuais dos teores totais de cada metal que ocorrem sob formas mais solúveis existem mas são relativamente baixos. Eles atingem um valor máximo próximo a 3%. Os metais Ni, Cd e Cu têm comportamentos semelhantes entre si e são os metais que apresentam as maiores parcelas sob formas solúveis, cerca 2 a 3 % do seu conteúdo total. Os metais Zn e Cr vêm em seguida, com parcelas solúveis inferiores a 1%. Já os metais Ag, Fe, Mn e Pb não foram detectados por essa abertura e assim têm parcela solúvel nula.

2. Caracterização física

A caracterização física dos resíduos limitou-se à definição da composição granulométrica dos constituintes inorgânicos. Os resultados são apresentados a seguir.

a. Caracterização da distribuição granulométrica

Os resultados das análises granulométricas estão nas **Tabelas V-54** a **V60**.

TABELA V-54: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Oeste Perfil A

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS - RESÍDUO CORPO OESTE PERFIL A						
		DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% em peso)				
	PROFUNDIDADE (m)	0,15	0,90	1,95	2,30	2,70
	ARGILA	18,06	23,00	22,65	19,51	21,62
F	SILTE FINO	35,22	31,51	14,71	23,58	21,97
R	SILTE GROSSO	12,00	14,23	11,87	11,77	14,11
A	AREIA FINA	17,27	18,20	23,41	22,81	23,96
Ç	AREIA GROSSA	17,45	13,06	27,36	22,33	18,34
Õ	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
E	RESUMO					
S	ARGILA	18,06	23,00	23,65	19,51	21,62
	SILTE	47,22	45,78	26,58	35,35	36,08
	AREIA	34,72	31,26	50,77	45,14	42,30

TABELA V-55: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil A

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS - RESÍDUO CORPO LESTE PERFIL A						
		DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% em peso)				
	PROFUNDIDADE (m)	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90
	ARGILA	5,20	10,46	12,07	13,33	15,02
F	SILTE FINO	52,77	51,92	45,08	47,50	45,42
R	SILTE GROSSO	8,25	10,08	13,37	14,05	15,01
A	AREIA FINA	22,41	19,58	26,32	23,01	22,70
Ç	AREIA GROSSA	11,37	7,96	3,16	2,11	1,85
Õ	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
E	RESUMO					
S	ARGILA	5,20	10,46	12,07	13,33	15,02
	SILTE	61,02	62,00	58,45	61,55	60,43
	AREIA	33,78	27,54	29,48	25,12	24,55

TABELA V-56: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil B

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS - RESÍDUO CORPO LESTE PERFIL B								
		DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% em peso)						
	PROFUNDIDADE (m)	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30
	ARGILA	11,39	13,19	15,14	24,82	20,09	22,85	16,04
F	SILTE FINO	33,27	44,52	48,21	38,25	27,28	46,32	48,71
R	SILTE GROSSO	14,50	10,03	16,15	10,61	6,14	9,67	9,30
A	AREIA FINA	27,64	19,25	9,28	18,76	20,01	19,21	24,23
Ç	AREIA GROSSA	13,20	13,01	11,22	7,46	23,48	1,95	1,72
Õ	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
E	RESUMO							
S	ARGILA	11,39	13,19	15,14	24,82	20,09	19,21	24,23
	SILTE	47,77	54,55	64,36	48,86	33,42	55,59	58,01
	AREIA	40,84	32,26	20,50	26,22	43,49	21,16	25,92

TABELA V-57: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil C

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS - RESÍDUO CORPO LESTE PERFIL C					
		DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% em peso)			
	PROFUNDIDADE (m)	0,10	0,30	0,50	0,70
	ARGILA	22,45	21,40	16,77	14,87
F	SILTE FINO	18,82	30,54	33,51	35,57
R	SILTE GROSSO	9,63	9,02	9,83	10,05
A	AREIA FINA	24,45	20,90	20,01	18,73
Ç	AREIA GROSSA	24,65	18,14	19,88	20,78
Õ	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
E	RESUMO				
S	ARGILA	22,45	21,40	16,77	14,87
	SILTE	28,45	39,56	43,34	45,62
	AREIA	49,10	39,04	39,89	39,51

TABELA V-58: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil A

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS - RESÍDUO CORPO SUL PERFIL A								
		DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% em peso)						
	PROFUNDIDADE (m)	0,15	0,50	0,95	1,45	1,90	2,50	2,95
	ARGILA	17,34	14,30	15,35	14,22	13,82	10,09	15,34
F	SILTE FINO	30,74	41,09	15,25	7,61	8,41	43,41	46,36
R	SILTE GROSSO	7,99	6,32	5,99	4,46	5,00	15,47	12,68
A	AREIA FINA	25,51	24,40	40,99	56,74	48,99	18,00	14,14
Ç	AREIA GROSSA	18,42	13,89	22,42	16,97	23,78	13,03	11,48
Õ	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
E	RESUMO							
S	ARGILA	17,14	14,30	15,35	14,22	13,82	10,09	15,34
	SILTE	38,73	47,41	21,24	12,07	13,41	58,88	59,04
	AREIA	43,93	38,29	63,41	73,71	72,77	31,03	25,62

TABELA V-59: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil B

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS - RESÍDUO CORPO SUL PERFIL B							
		DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% em peso)					
	PROFUNDIDADE (m)	0,50	0,95	1,35	1,95	2,25	2,65
	ARGILA	17,76	21,68	19,62	1,41	2,34	13,24
F	SILTE FINO	16,37	23,15	22,07	13,63	2,34	41,51
R	SILTE GROSSO	6,51	5,96	7,98	2,64	2,98	13,49
A	AREIA FINA	43,48	18,77	34,69	64,04	77,78	18,70
Ç	AREIA GROSSA	15,88	30,44	15,64	18,28	14,56	13,06
Õ	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
E	RESUMO						
S	ARGILA	17,76	21,68	19,62	1,41	2,34	13,24
	SILTE	22,88	29,11	30,05	16,27	5,32	55,00
	AREIA	59,36	49,21	50,33	83,32	92,34	31,76

TABELA V-60: Distribuição granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil C

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS - RESÍDUO CORPO SUL PERFIL C					
		DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% em peso)			
	PROFUNDIDADE (m)	0,15	0,75	1,05	1,55
	ARGILA	14,32	13,20	12,20	4,60
F	SILTE FINO	30,22	35,15	38,98	61,09
R	SILTE GROSSO	8,99	9,02	10,42	13,27
A	AREIA FINA	28,32	24,64	21,00	15,95
Ç	AREIA GROSSA	18,15	17,99	17,40	5,09
Õ	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
E	RESUMO				
S	ARGILA	14,32	13,20	12,20	4,60
	SILTE	39,21	44,17	49,40	74,36
	AREIA	46,47	42,63	38,40	21,04

Os teores obtidos para argilas, siltes e areias foram lançados em diagramas triangulares (SHEPPARD, 1954, in PETTIJOHN, 1976), exibidos nas **Figuras V-9** a **V-15**.

FIGURA V-9: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Oeste Perfil A

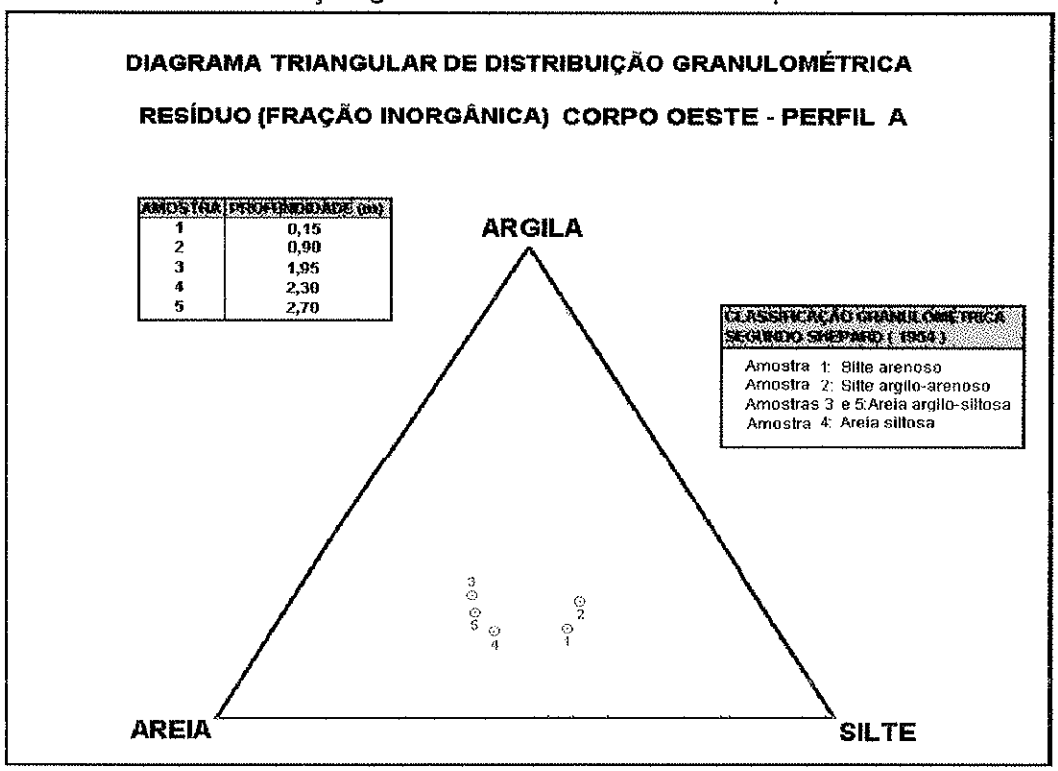


FIGURA V-10: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil A

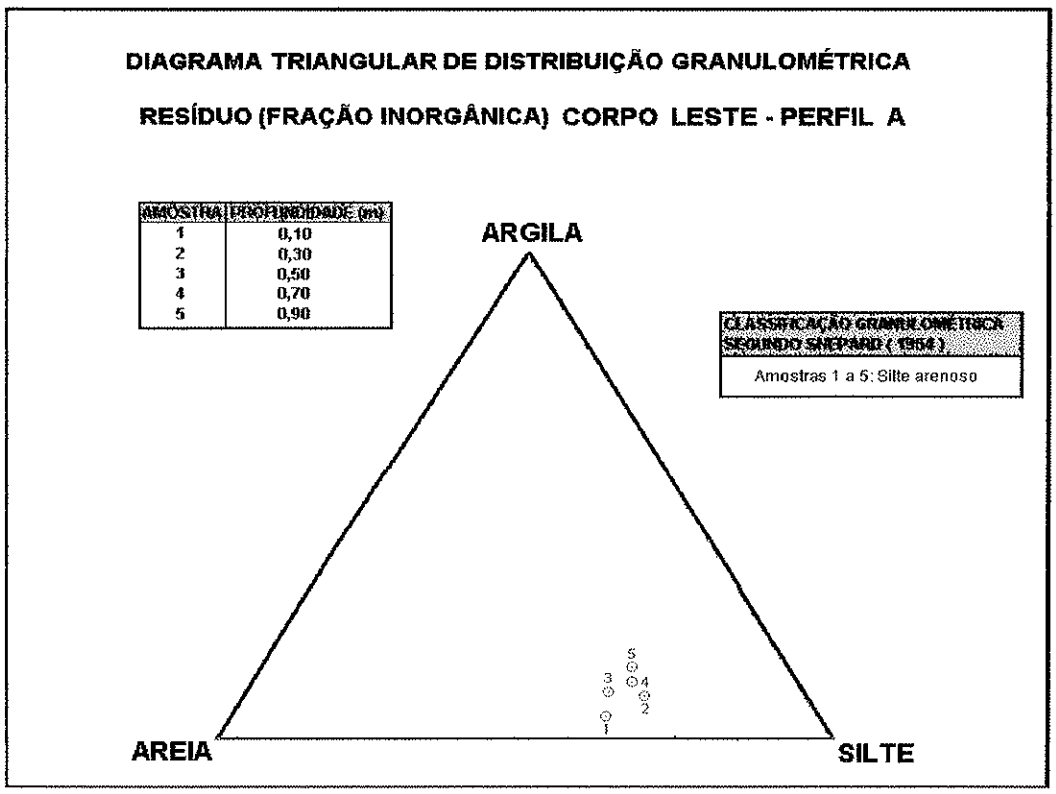


FIGURA V-11: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil B

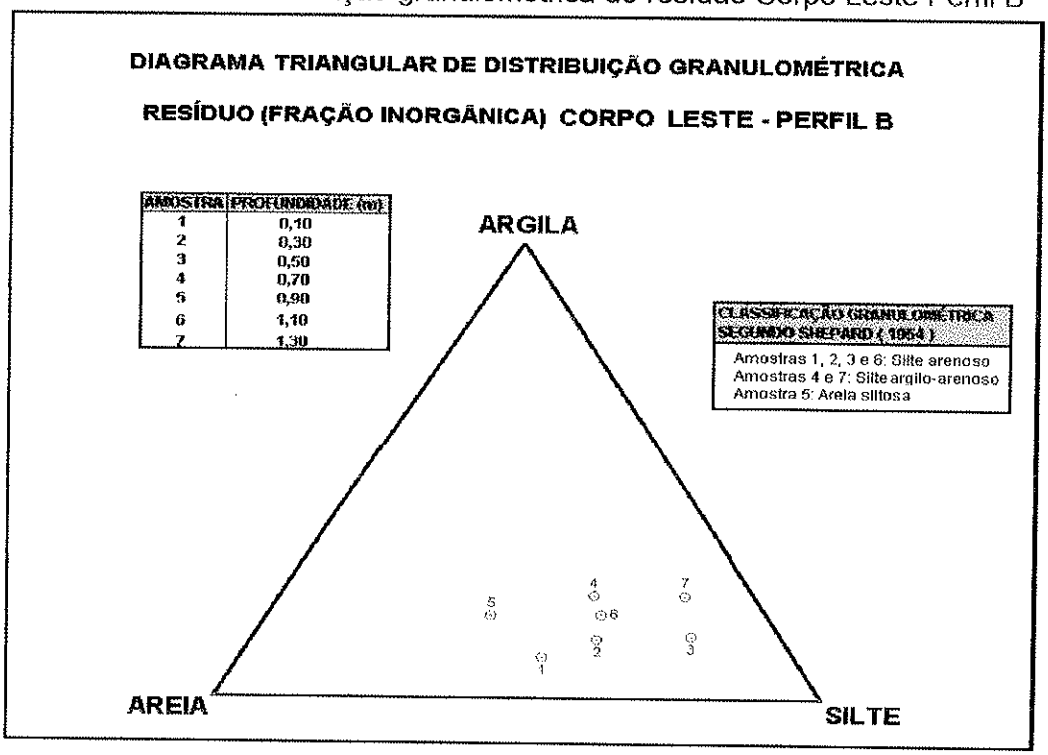


FIGURA V-12: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Leste Perfil C

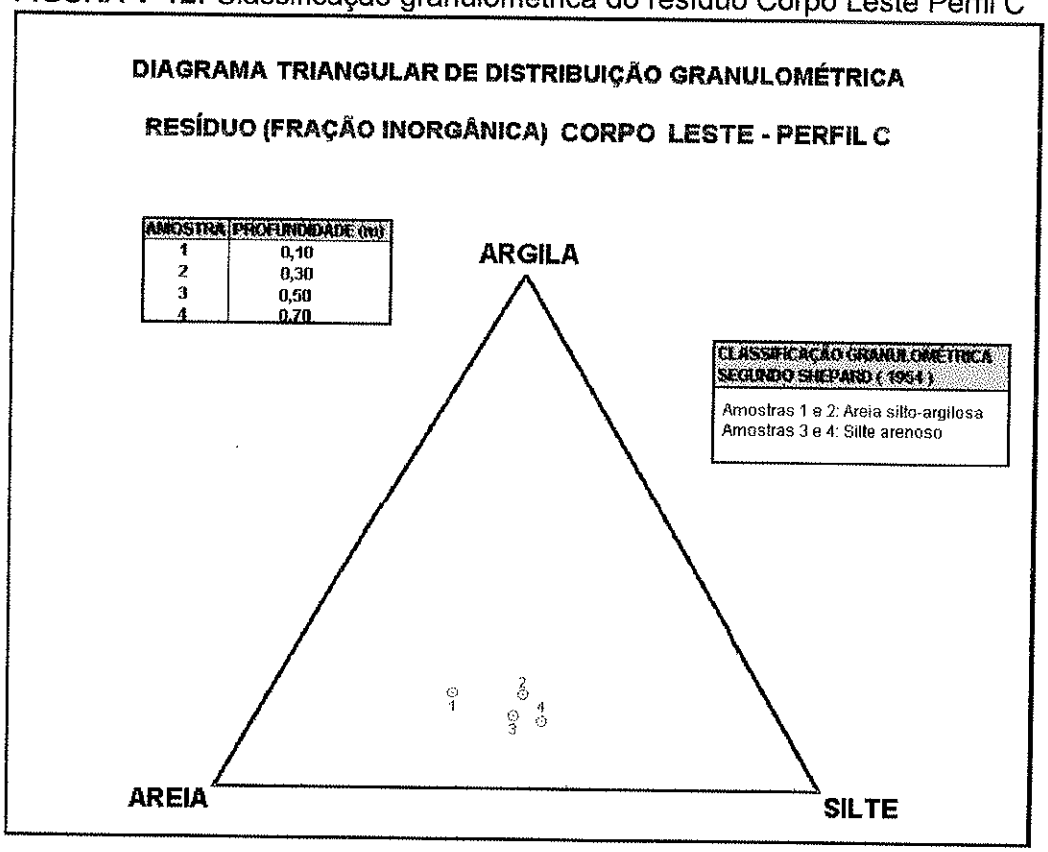


FIGURA V-13: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil A

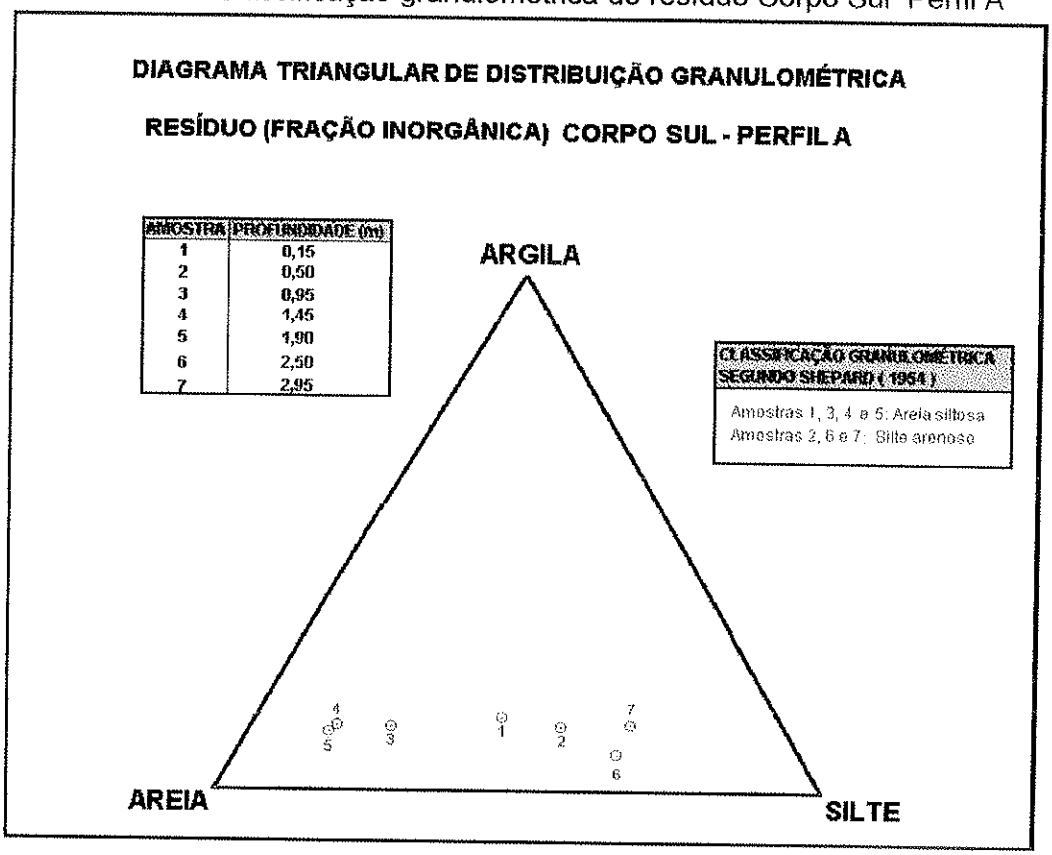


FIGURA V-14: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil B

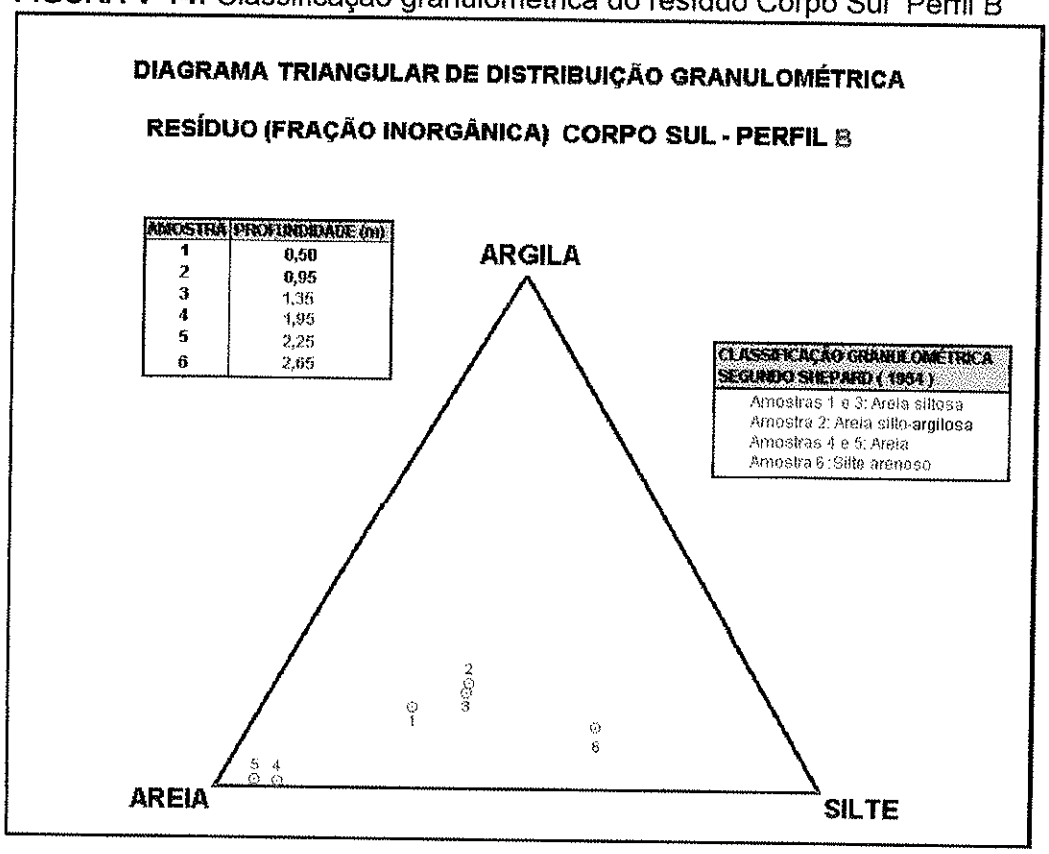
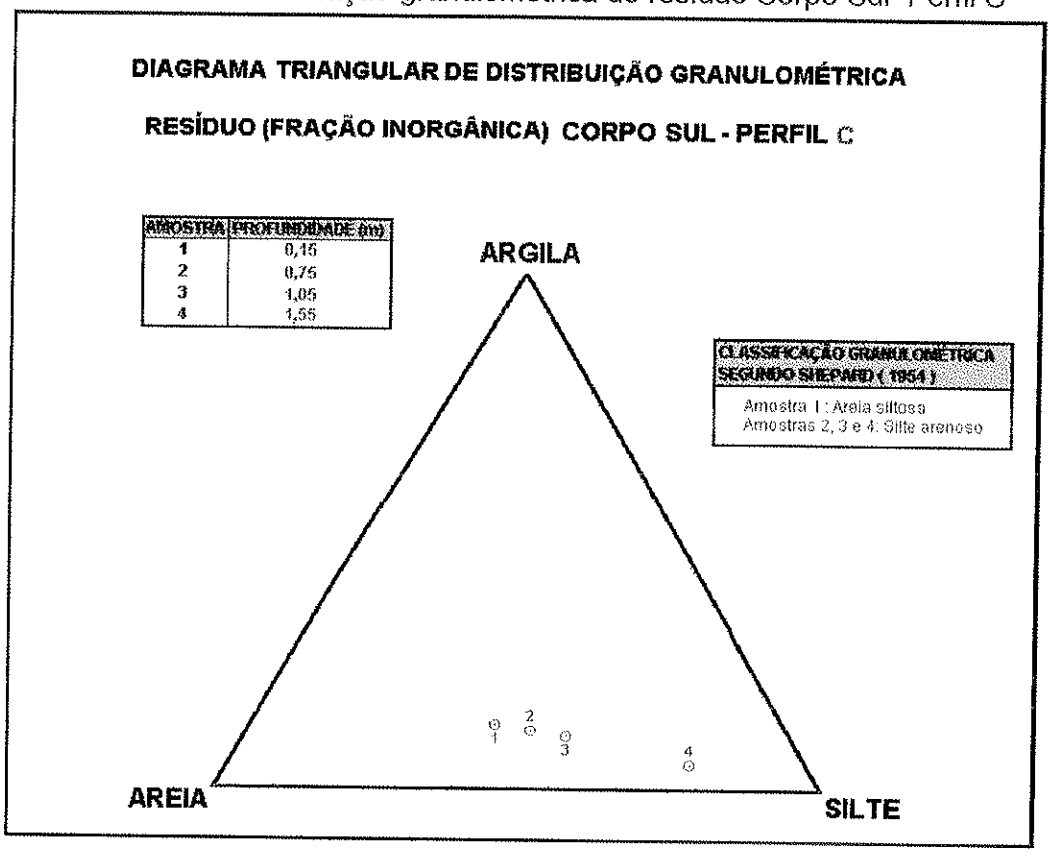


FIGURA V-15: Classificação granulométrica do resíduo Corpo Sul Perfil C



A **Tabela V-61** exibe um resumo das classificações granulométricas obtidas nas amostras dos três corpos de resíduos.

TABELA V-61: Resumo das ocorrências das classificações granulométricas

CLASSIFICAÇÃO DE SHEPPARD	NÚMERO DE AMOSTRAS	PERFIS ONDE OCORRERAM
AREIA	2	Sul B
AREIA SILTOSA	10	Oeste A, Leste B, Sul A, B e C
AREIA SILTO-ARGILOSA	3	Leste C e Sul B
AREIA ARGILO-SILTOSA	2	Oeste A
SILTE ARENOSO	19	Oeste A, Leste A, B e C, Sul A, B e C
SILTE ARGILO ARENOSO	2	Oeste A e Leste B

Verifica-se que 17 amostras de resíduos classificam-se na categoria "areias" com teores variáveis de siltes e argilas, 19 na categoria "siltes arenosos" e 2 na de siltes argilo-arenosos.

As composições granulométricas médias de cada corpo de resíduos são exibidas na **Tabela V-62**.

TABELA V-62: Composição granulométrica média de perfis, corpos e resíduos

PERFIL	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA POR FAIXA (%)		
	ARGILA	SILTE	AREIA
OESTE A	**21,17**	**38,20**	**40,63**
LESTE A	11,22	60,69	28,09
LESTEB	18,30	51,80	39,24
LESTE C	28,09	29,90	41,89
LESTE	**16,13**	**50,58**	**33,29**
SUL A	14,32	35,82	49,86
SUL B	12,68	26,43	60,89
SUL C	11,08	51,79	37,13
SUL	**12,69**	**38,01**	**49,30**
GERAL	**16,66**	**42,26**	**31,08**

. Considerações preliminares: 8) A composição granulométrica dos resíduos:

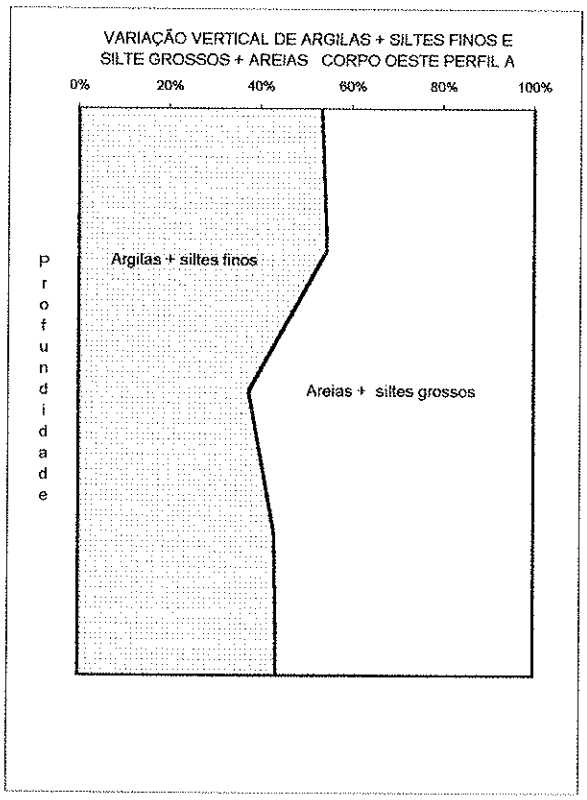
A tendência geral da composição granulométrica dos resíduos, observável da Tabela V-61, é predominantemente arenosa a silto-arenosa. Nos corpos Oeste e Sul predomina a fração areia, com respectivamente 40% e 49% da composição global. Já no corpo Leste predomina a fração silte com 50% do total. Na média geral dos resíduos, o predomínio é da fração silte com cerca de 42% da massa inorgânica total. A soma dos teores de areias e siltes, materiais decantados durante o tratamento primário, correspondem a 79%, 84% e 87% da massa inorgânica total dos corpos Oeste, Leste e Sul, respectivamente.

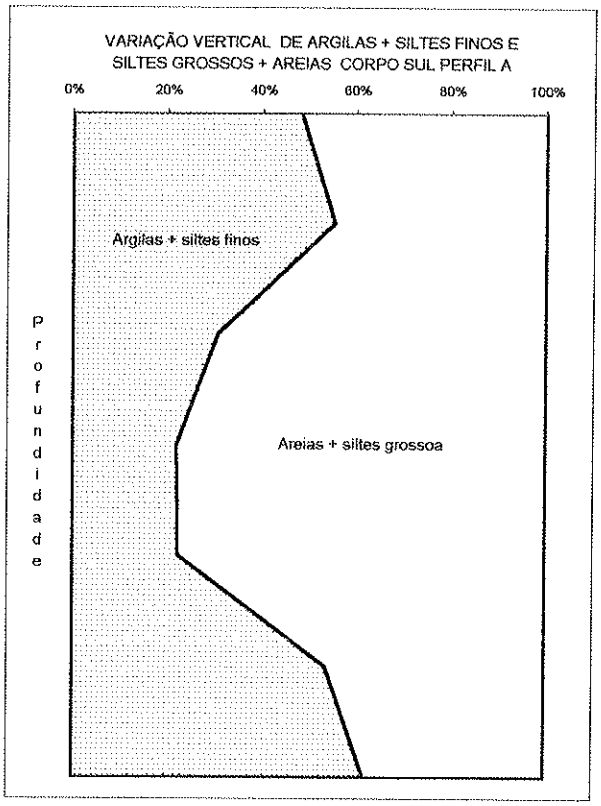
Tal composição evidencia a importância do lodo primário na composição final do lodo condicionado. O lodo primário, obtido a partir da sedimentação e decantação de partículas sólidas contidas nos esgotos afluentes, é constituído principalmente por areias e siltes. Esse lodo é adicionado ao lodo ativado, rico em matéria orgânica e em partículas finas, durante o tratamento terciário, que originará o resíduo final. Portanto, a composição areno-siltosa da fração inorgânica dos resíduos dispostos se deve principalmente ao lodo primário.

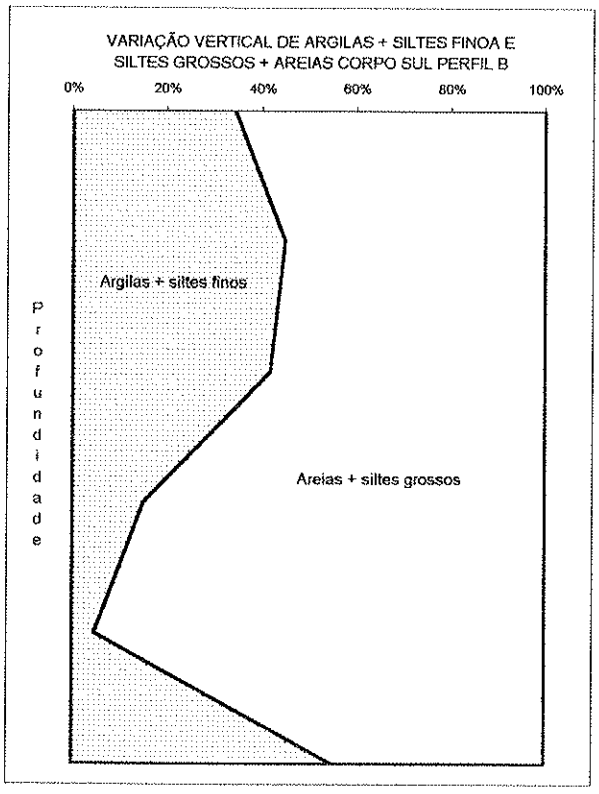
b. Variação vertical da composição granulométrica

ASSUNÇÃO, (1996) verificou a ocorrência do aumento da soma dos teores das frações argilas + siltes finos, em direção à base do perfil Norte A. Para avaliar a ocorrência desse fenômeno, foram elaborados os gráficos da **Figuras V-16** e **V-17**.

FIGURA V-16: Variação vertical Argilas+Siltes Finos-Siltes Grossos+Areias Corpos Oeste e Sul







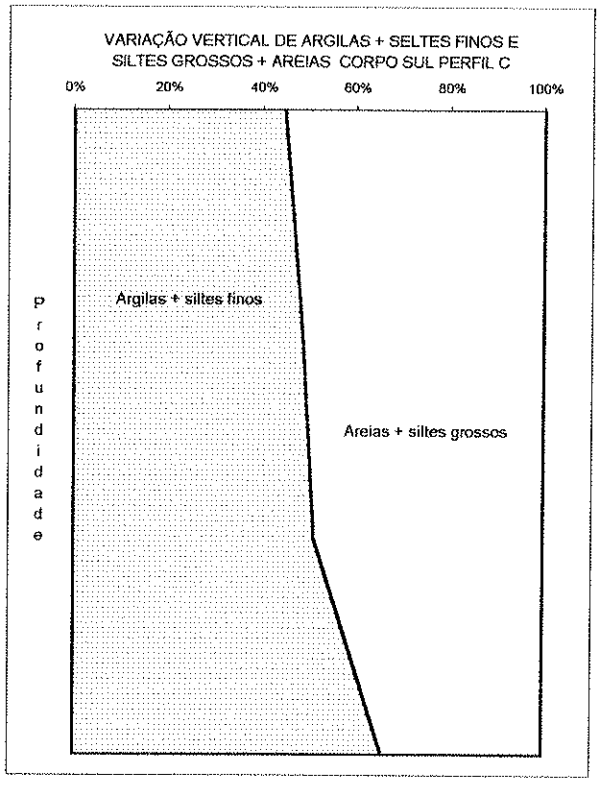
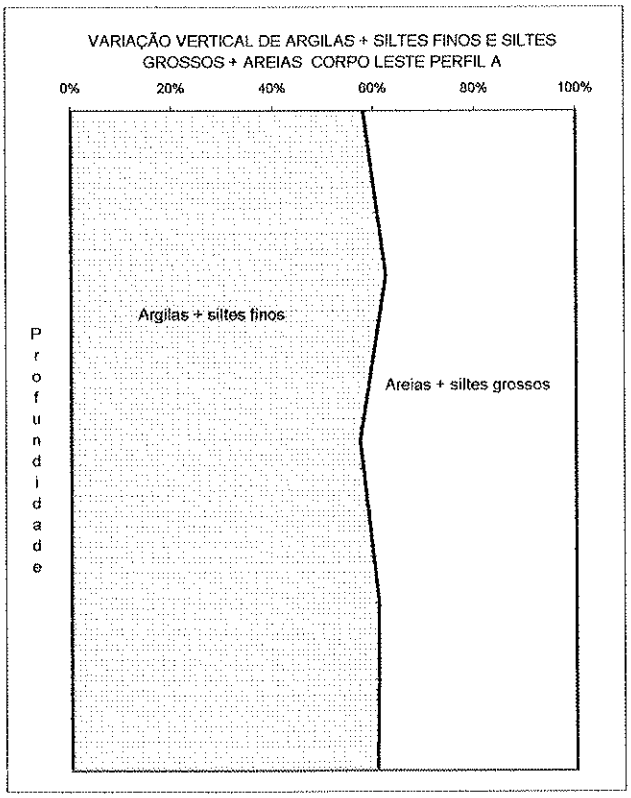
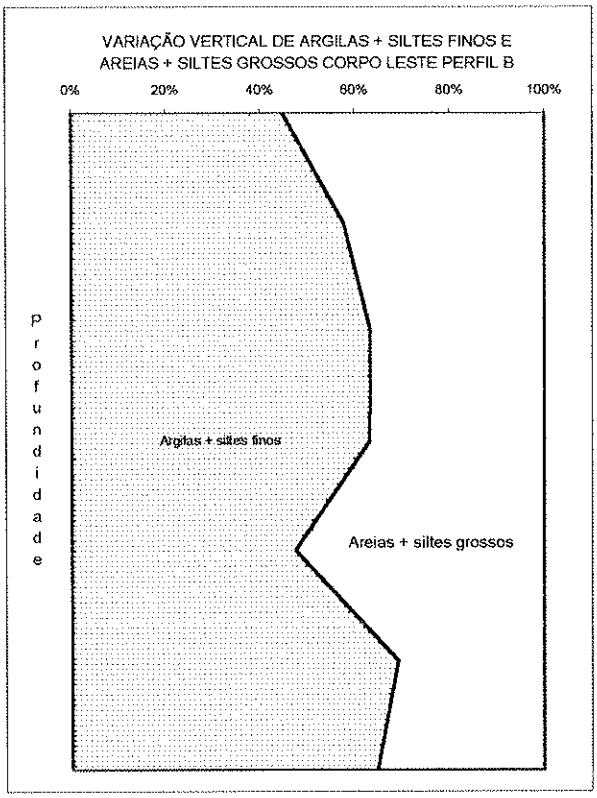
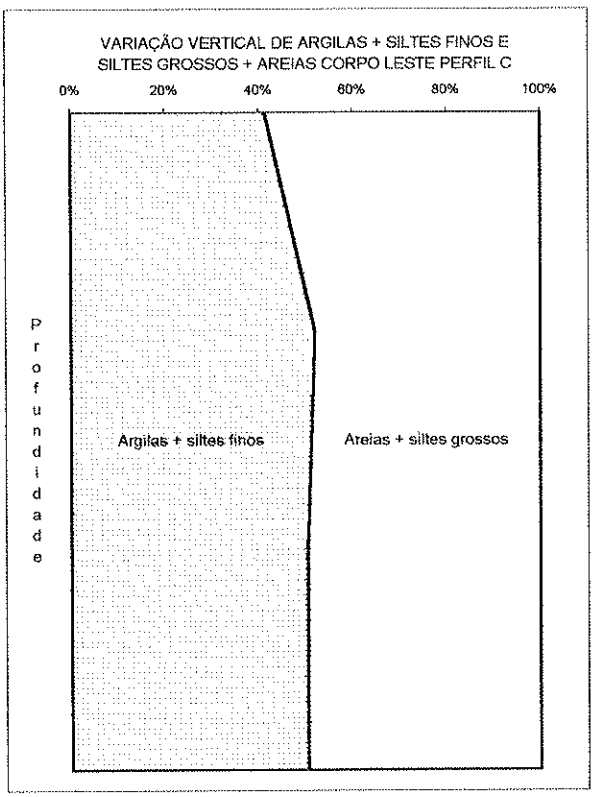


FIGURA V-17: Variação vertical Argilas+Siltes Finos - Siltes Grossos+Areias Corpo Leste







Considerações preliminares: 9) A variação vertical da composição granulométrica:

A partir das figuras V-16 e V-17, verifica-se uma discreta tendência de aumento do teor das frações granulométricas mais finas (Argilas + Siltes Finos) do topo para a base dos perfis Leste A e Leste C; uma tendência um pouco mais acentuada nos perfis Leste B e Sul C e uma tendência geral de diminuição dessa frações com o aumento da profundidade dos perfis Oeste A, Sul A e Sul B. Fica evidente que a tendência observada por ASSUNÇÃO (1996), de acúmulo das frações argila + silte fino na base do perfil Norte A, não ocorre de forma clara e generalizada nos demais perfis. Dessa forma, a sugestão feita por aquele autor, quanto à ocorrência de lecivagem como mecanismo de migração de partículas mais finas para a base dos perfis de resíduos, não foi constatada.

3. Caracterização Mineralógica

A caracterização mineralógica dos resíduos foi executada através de 2 procedimentos distintos: análise mineralógica qualitativa da fração argila e análise mineralógica qualitativa da frações silte e areia. Ambos os procedimentos tiveram por objetivo definir qualitativamente a natureza mineralógica dos constituintes principais dos resíduos e, quando possível, também a dos seus constituintes acessórios.

a. Análise mineralógica da fração argila

Após a execução das análises granulométricas, foram separadas as frações mais finas (< 2μm) das amostras de resíduos para a determinação da sua composição mineralógica por Difratometria de Raios X. Foram selecionadas 3 ou 4 amostras de cada perfil para essa determinação. Os resultados obtidos evidenciam uma composição mineralógica bastante simples e uniforme em todas as amostras. Essa composição é exibida na **Tabela V-63**.

TABELA V-63: Composição mineralógica da fração < 2μm dos resíduos de Barueri

PERFIL	NÚMERO DE AMOSTRAS ANALISADAS	MINERAIS DETECTADOS NAS AMOSTRAS		
		MINERAIS DOMINANTES		MINERAL ACESSÓRIO
		MINERAL DO GRUPO DA CAOLINITA	MINERAL DO GRUPO DAS MICAS	CALCITA E/OU DOLOMITA
OESTE A	3	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ACESSÓRIO
SUL A	4	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ACESSÓRIO
SUL B	3	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ACESSÓRIO
SUL C	3	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ACESSÓRIO
LESTE A	2	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ACESSÓRIO
LESTE B	2	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ACESSÓRIO
LESTE C	3	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ACESSÓRIO
TOTAL	18	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ACESSÓRIO

SEMI-QUANTIFICAÇÃO POR ESTIMATIVA: ESSENCIAL: Acima de 5% ACESSÓRIO: Entre 1 e 5%

b. Análise mineralógica das frações silte e areia

As frações silte e areia dos resíduos também foram separadas durante a análise granulométrica para serem submetidas à caracterização mineralógica de seus constituintes principais. Todas as amostras passaram por separação em meio denso e separação magnética. Os produtos desses processos foram analisados em estereomicroscópio, onde grãos das espécies individualizadas foram separados para análise mais detalhada ao microscópio petrográfico. Muitos constituintes, principalmente os de origem detrítica, foram facilmente identificados dessa forma. Outros não puderam ser determinados, seja pela complexidade de sua constituição, seja pelo pequeno número de grãos disponíveis, insuficientes para uma eventual determinação por difratometria de raios X. Nesses casos, os grãos foram separados para serem analisados no microscópio eletrônico de varredura. Os resultados das determinações são apresentados nas **Tabelas V-64** a **V-80**.

TABELA V-64: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Oeste A

ANÁLISE MINERALÓGICA QUALITATIVA DE GRÃOS - PERFIL OESTE A							
AMOSTRA	**COMPOSIÇÃO OBSERVADA**						
CW-08	AGLE	QTZ	FNAC				
CW-07	AGLE	QTZ	FNAC	CMCH			
CW-06	AGLE	QTZ	FNAC	CMCH			
CW-05	AGLE	QTZ	FNAC	CMCH			
CW-04	AGLE	QTZ	FNAC	CMCH			

CONVENÇÕES

QTZ: Quartzo incolor e branco, angular, localmente corroído, com brilho vítreo, detrítico.
AGLE: Agregados leitosos, microcristalinos, freqüentemente botrioidais, neoformados.
FNAC: Fragmentos negros aciculares, semelhantes a carvão, magnéticos
CMCH: Carapaças microcristalinas hialinas, depositadas sobre grãos de outros minerais, neoformadas.

TABELA V-65: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Leste A

ANÁLISE MINERALÓGICA QUALITATIVA DE GRÃOS - PERFIL LESTE A										
AMOSTRA	**COMPOSIÇÃO OBSERVADA**									
TEA-01	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM				
TEA-02	AGLE	FESF	MUS	FNAC	MUS	ILM	ANEG			
TEA-03	AGLE	FESF	MUS	FNAC	MUS	ILM	ANEG	AVER		
TEA-04	AGLE	MUS	QTZ	FESF	FNAC	ILM	AVER			
TEA-05	AGLE	MUS	QTZ	FESF	TUR	ILM	AVER			

CONVENÇÕES

QTZ: Quartzo incolor e branco, angular, localmente corroído, com brilho vítreo, detrítico.
MUS: Muscovita parcialmente alterada, detrítica.
AGLE: Agregados leitosos, microcristalinos, freqüentemente botrioidais, neoformados.
ANEG: Agregados negros anhedrais, com brilho submetálico a vítreo
AVER: Agregados verdes, angulares, foscos, com tendência tabular, neoformados.
FESF: Fragmentos esféricos, negro acastanhados, levemente magnéticos, neoformados.
FNAC: Fragmentos negros aciculares, semelhantes a carvão, magnéticos
TUR: Turmalina negra, angular, com brilho vítreo, detrítica.
ILM: Ilmenita negra a cinza acastanhada, levemente magnética, subangular, localmente corroída, detrítica.

TABELA V-66: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Leste B

ANÁLISE MINERALÓGICA QUALITATIVA DE GRÃOS - PERFIL LESTE B										
AMOSTRA	**COMPOSIÇÃO OBSERVADA**									
TEB-01	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM				
TEB-02	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM	ANEG			
TEB-03	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM	LEIC	ANEG		
TEB-04	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM	ANEG			
TEB-05	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM	ANEG	AVER		
TEB-06	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM	AVER			
TEB-07	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM	AVER			

CONVENÇÕES

QTZ: Quartzo incolor e branco, angular, localmente corroído, com brilho vítreo, detrítico.
MUS: Muscovita parcialmente alterada, detrítica.
AGLE: Agregados leitosos, microcristalinos, freqüentemente botrioidais, neoformados.
FESF: Fragmentos esféricos, negro acastanhados, levemente magnéticos, neoformados.
AVER: Agregados verdes, angulares, foscos, com tendência tabular, neoformados.
ANEG: Agregados negros anhedrais, com brilho submetálico a vítreo
FNAC: Fragmentos negros aciculares, semelhantes a carvão, magnéticos
ILM: Ilmenita negra a cinza acastanhada, levemente magnética, subangular, localmente corroída, detrítica.
LEIC: Grãos leitosos homogêneos, colunares, com brilho sedoso.

TABELA V-67: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Leste C

ANÁLISE MINERALÓGICA QUALITATIVA DE GRÃOS - PERFIL LESTE C										
AMOSTRA	**COMPOSIÇÃO OBSERVADA**									
TEC-05	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM				
TEC-04	MUS	QTZ	AGLE	FESF	FNAC	ILM	AVER			
TEC-03	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM	AVER			
TEC-02	AGLE	FESF	MUS	QTZ	FNAC	ILM	AVER			

CONVENÇÕES

QTZ: Quartzo incolor e branco, angular, localmente corroído, com brilho vítreo, detrítico.
MUS: Muscovita parcialmente alterada, detrítica.
AGLE: Agregados leitosos, microcristalinos, freqüentemente botrioidais, neoformados.
AVER: Agregados verdes, angulares, foscos, com tendência tabular, neoformados.
FESF: Fragmentos esféricos, negro acastanhados, levemente magnéticos, neoformados.
FNAC: Fragmentos negros aciculares, semelhantes a carvão, magnéticos
ILM: Ilmenita negra a cinza acastanhada, levemente magnética, subangular, localmente corroída, detrítica.

TABELA V-68: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Sul A

ANÁLISE MINERALÓGICA QUALITATIVA DE GRÃOS - PERFIL SUL A										
AMOSTRA	COMPOSIÇÃO OBSERVADA									
CSA-08	QTZ	AGLE	MUS	AVER	TUR	ILM	LEI	AGEC		
CSA-07	QTZ	AGLE	MUS	ILM	LEI	AGEC				
CSA-06	QTZ	AGLE	AGEC	AVER	TUR	MUS	ZIR	LEI		
CSA-05	QTZ	AGLE	AGEC	AVER	TUR	MUS	ZIR	LEIC		
CSA-04	QTZ	TUR	AGEC	AGLE	FESF	AVER	ILM			
CSA-03	AGLE	FESF	QTZ	MUS	TUR	AGF	ILM	AVER		
CSA-02	AGLE	FESF	MUS	TUR	AVER	ILM	AGF			

CONVENÇÕES

QTZ: Quartzo incolor e branco, angular, localmente corroído, com brilho vítreo, detrítico.
TUR: Turmalina negra, angular, com brilho vítreo, detrítica.
MUS: Muscovita parcialmente alterada, detrítica.
ILM: Ilmenita negra a cinza acastanhada, levemente magnética, subangular, localmente corroída, detrítica.
AGLE: Agregados leitosos, microcristalinos, freqüentemente botrioidais, neoformados.
ZIR: Zircão incolor a rosado, angular, prismático, detrítico.
FESF: Fragmentos esféricos, negro acastanhados, levemente magnéticos, neoformados.
AVER: Agregados verdes, angulares, foscos, com tendência tabular, neoformados.
AGEC: Agregados esponjosos cinza, leitosos, com brilho sedoso, neoformados.
LEIC: Grãos leitosos homogêneos, colunares, com brilho sedoso.

TABELA V-69: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Sul B

ANÁLISE MINERALÓGICA QUALITATIVA DE GRÃOS - PERFIL SUL B										
AMOSTRA	COMPOSIÇÃO OBSERVADA									
CSB-07	QTZ	MUS	AGLE	TUR	AVER	ILM	ZIR	LEI	AGEC	
CSB-06	QTZ	MUS	AGLE	TUR	AVER	ILM	ZIR	LEI	AGEC	
CSB-05	QTZ	MUS	AGLE	TUR	AVER	ILM	ZIR	LEI		
CSB-04	QTZ	MUS	AGLE	FESF	TUR	AVER	ILM	ZIR	ANEG	LEI
CSB-03	QTZ	MUS	AGLE	FESF	TUR	AVER	ILM	ZIR	ANEG	LEI
CSB-02	MUS	QTZ	FESF	AGLE	TUR	ANEG	LEI			

CONVENÇÕES

QTZ: Quartzo incolor e branco, angular, localmente corroído, com brilho vítreo, detrítico.
TUR: Turmalina negra, angular, com brilho vítreo, detrítica.
MUS: Muscovita parcialmente alterada, detrítica.
ILM: Ilmenita negra a cinza acastanhada, levemente magnética, subangular, localmente corroída, detrítica.
AGLE: Agregados leitosos, microcristalinos, freqüentemente botrioidais, neoformados.
AGEC: Agregados esponjosos cinza, leitosos, com brilho sedoso, neoformados.
ANEG: Agregados negros anhedrais, com brilho submetálico a vítreo
ZIR: Zircão incolor a rosado, angular, prismático, detrítico.
FESF: Fragmentos esféricos, negro acastanhados, levemente magnéticos, neoformados.
AVER: Agregados verdes, angulares, foscos, com tendência tabular, neoformados.
LEIC: Grãos leitosos homogêneos, colunares, com brilho sedoso.

TABELA V-70: Composição mineralógica da fração silte e areia - Perfil Sul C

ANÁLISE MINERALÓGICA QUALITATIVA DE GRÃOS - PERFIL SUL C										
AMOSTRA	**COMPOSIÇÃO OBSERVADA**									
CSC-05	MUS	QTZ	AGLE	ILM	AVER	TUR	ZIR	AGEC		
CSC-04	MUS	QTZ	AGLE	ILM	AVER	TUR	ZIR	AGEC		
CSC-03	MUS	QTZ	AGLE	ILM	AVER	TUR	ZIR	FESF	MAG	
CSC-02	MUS	QTZ	AGLE	ILM	AVER	TUR	ZIR	FESF	MAG	

CONVENÇÕES

QTZ: Quartzo incolor e branco, angular, localmente corroído, com brilho vítreo, detrítico.
TUR: Turmalina negra, angular, com brilho vítreo, detrítica.
MUS: Muscovita parcialmente alterada, detrítica.
ILM: Ilmenita negra a cinza acastanhada, levemente magnética, subangular, localmente corroída, detrítica.
AGLE: Agregados leitosos, microcristalinos, freqüentemente botrioidais, neoformados.
AGEC: Agregados esponjosos cinza, leitosos, com brilho sedoso, neoformados.
MAG: Magnetita cinza metálica, angular.
ZIR: Zircão incolor a rosado, angular, prismático, detrítico.
FESF: Fragmentos esféricos, negro acastanhados, levemente magnéticos, neoformados.
AVER: Agregados verdes, angulares, foscos, com tendência tabular, neoformados.

A análise mineralógica das frações silte e areia ao estereomicroscópio detectou a presença de 6 espécies de minerais de origem detrítica:

QTZ - Quartzo: Mineral essencial em todas as amostras. Ocorre sob a forma de fragmentos angulares, incolores e esbranquiçados, localmente corroídos. Ao lado da Muscovita, é o mineral mais abundante nos resíduos.

MUS - Muscovita: Mineral essencial em todas as amostras. Ocorre sob a forma de agregados tabulares, incolores a amarelados, parcialmente alterados. É o mineral mais abundante nos resíduos logo depois do quartzo.

ILM - Ilmenita: Mineral acessório. Ocorre sob a forma de fragmentos anhedrais, negros, sub-angulares a sub-arredondados, de brilho sub-metálico, levemente alterados.

MAG - Magnetita: Mineral acessório. Ocorre sob a forma de fragmentos angulares, freqüentemente bipiramidais, de brilho metálico.

TUR - Turmalina: Mineral acessório. Ocorre sob a forma de fragmentos anhedrais, sub-angulares, de coloração negra e brilho vítreo. Também ocorrem indivíduos prismáticos, de coloração âmbar e brilho vítreo.

ZIR - Zircão: Mineral acessório. Ocorre principalmente nas frações granulométricas mais finas sob a forma de fragmentos sub-arredondados alongados, de coloração rosada a incolor e brilho vítreo intenso.

A análise mineralógica ao estereomicroscópio detectou também a presença de 6 tipos de fragmentos com características que sugerem origem por neoformação.

AGLE: Agregados Leitosos: Fragmentos de cor branco-amarelada, brilho leitoso, aspecto botrioidal, friáveis, evidenciando constituição microcristalina. Esse material ocorre em todos os perfis e é o material neoformado mais abundante.

AVER: Agregados Verdes: Fragmentos de cor esverdeada, angulares, com tendência tabular. Esses fragmentos ocorrem exclusivamente nas amostras do corpo Sul e Leste, não sendo identificados no corpo Oeste.

CMCH: Carapaças Microcristalinas Hialinas: Essa carapaças foram identificadas apenas no Corpo Oeste. Constituem-se em crostas microcristalinas hialinas, de brilho intenso, sobre grãos de quartzo e outros minerais.

FESF: Fragmentos Esféricos: Fragmentos de cor negro-acastanhada, levemente magnéticos, esféricos. Ocorrem por toda extensão vertical dos perfis do corpo Leste e apenas na base dos perfis do Corpo Sul. Não ocorrem no Corpo Oeste.

FNAC: Fragmentos Negros Aciculares: Fragmentos de cor negra, aciculares, semelhantes a carvão. Ocorrem nos perfis dos corpos Oeste e Leste. Não ocorrem nos perfis do Corpo Sul.

LEIC: Fragmentos Leitosos Colunares: Fragmentos de cor esbranquiçada, de aspecto colunar, textura fibrosa e brilho leitoso. Ocorrem apenas nos perfis Leste B, Sul A e Sul B.

. Considerações preliminares: 10) Composição mineralógica das frações argila, silte e areia:

Os resultados das análises mineralógicas das frações argila evidenciaram a mesma composição mineralógica detectada por ASSUNÇÃO (1996) para o corpo Norte. Os únicos minerais essenciais determinados foram argilas do grupo da Caolinita e minerais do grupo das Micas, muito provavelmente Muscovita. O único mineral acessório identificado pertence à categoria dos carbonatos, provavelmente Calcita. A origem desse composto deve estar associada à etapa de condicionamento químico dos lodos, quando houve a adição de hidróxido de cálcio e cloreto de ferro aos lodos. Os carbonatos identificados apresentam má definição de picos nos difratogramas, evidenciando sua má cristalização. Outro composto neoformado cuja ocorrência seria

esperada nos resíduos em função do condicionamento químico dos lodos por Cloreto de Ferro, é o hidróxido de ferro. No entanto, a difratometria de raios X não detectou a sua presença em nenhumas das amostras, apesar dos consideráveis teores de ferro determinados. Portanto os hidróxidos de Fe devem ocorrer, porém sob formas mal cristalizadas ou amorfas. Conclui-se que os minerais detríticos da fração argila identificados são muito comuns e foram incorporados aos resíduos a partir dos esgotos afluentes à ETE. Eventualmente, parte deles pode ser proveniente da mistura dos solos "*ex situ*" sotopostos aos resíduos, durante a sua disposição no local.

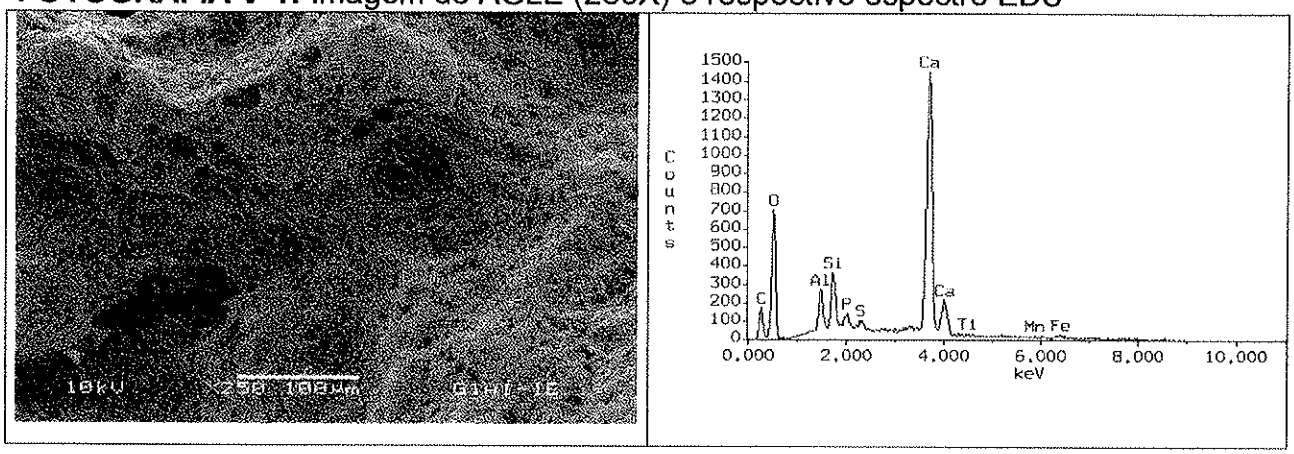
Os minerais detríticos identificados nas frações silte e areia também são muito comuns e devem ter sido incorporados aos resíduos a partir do lodo primário. Muito importante foi a identificação de 6 espécies de materiais aparentemente neoformados. O detalhamento das suas propriedades foi feito através da análise ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

4. Caracterização de grãos ao Microscópio Eletrônico de Varredura

Os fragmentos individualizados na análise mineralógica das frações silte e areia foram submetidos ao MEV e ao EDS. Uma parcela dos resultados está sob a forma de espectros de EDS e outra como relatórios analíticos.

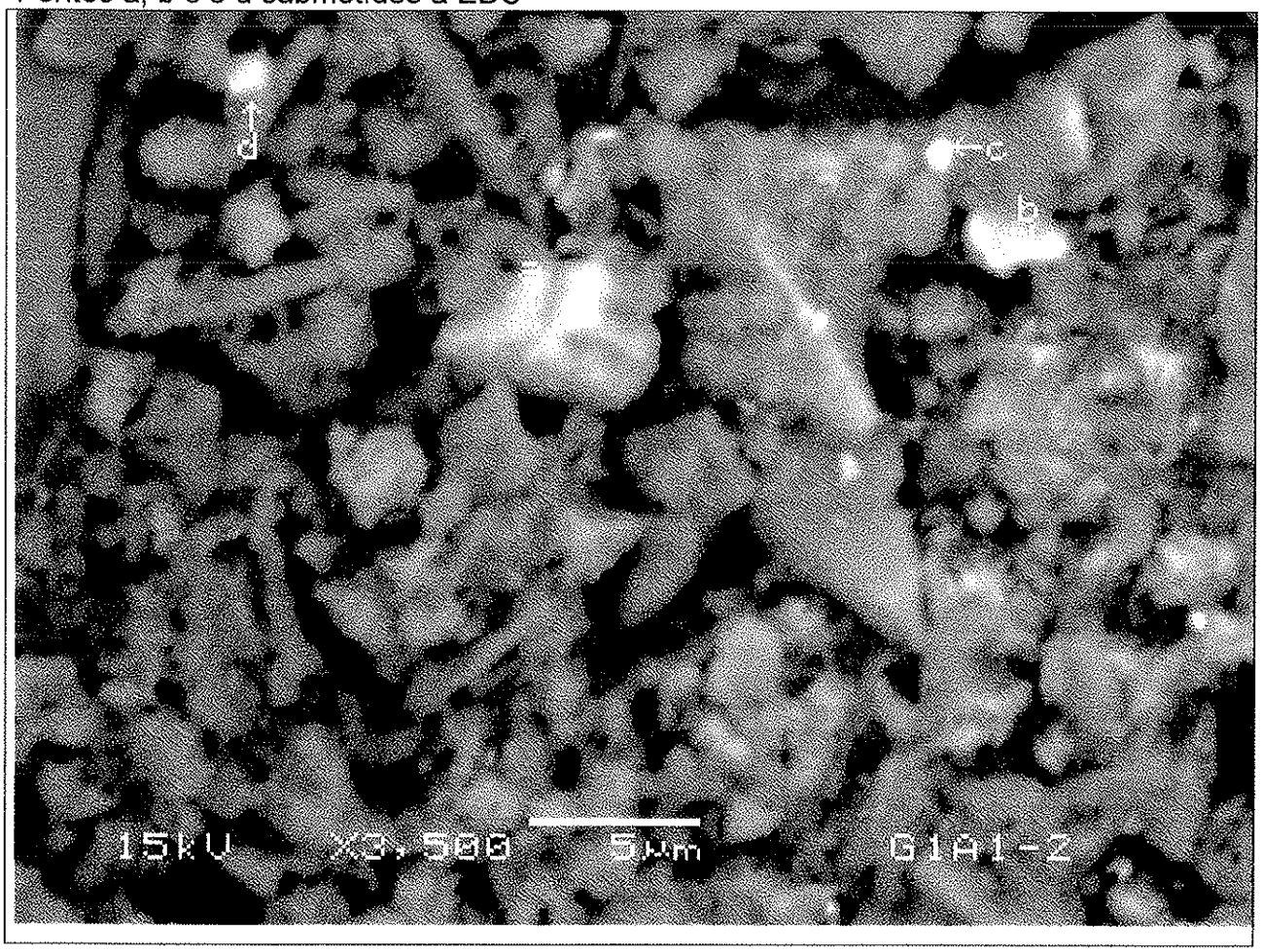
- **AGLE** - Agregados Leitosos: A análise ao MEV dos grãos AGLE indicou tratar-se de carbonato de cálcio neoformado. A **Foto V-01** exibe imagem do AGLE com aumento de 250X. O espectro EDS indica o Ca como cátion dominante.

FOTOGRAFIA V-1: Imagem de AGLE (250X) e respectivo espectro EDS



A **Fotografia V-2** exibe imagem de detalhe em grão AGLE com aumento de 3500X. Foram executadas 4 análises puntuais de EDS, respectivamente a, b, c e d.

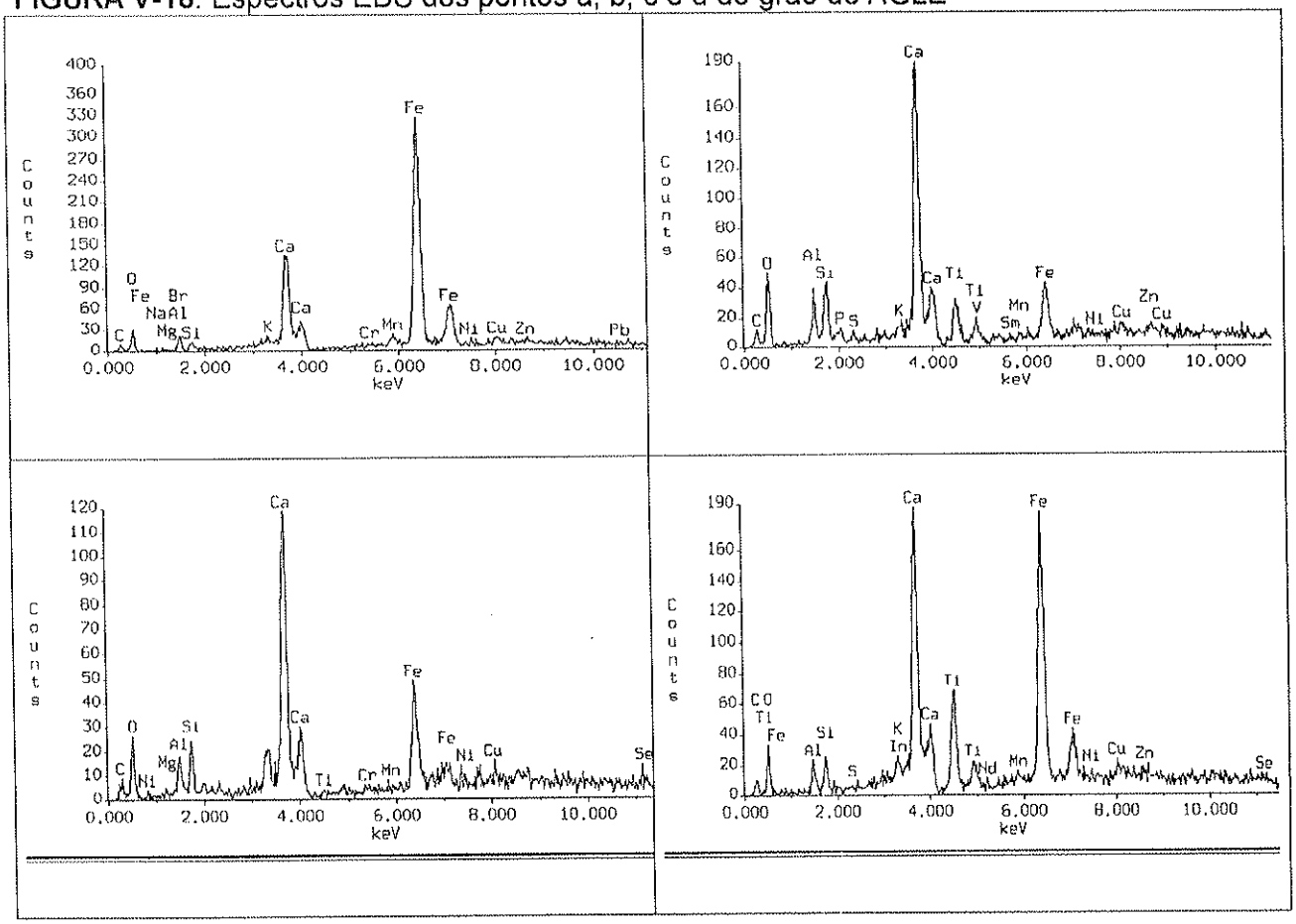
FOTOGRAFIA V-2: Imagem de detalhe do grão AGLE - Elétron retro-difuso - 3500X Pontos a, b c e d submetidos a EDS



Conforme pode ser observado na **Figura V-18** os espectros de EDS dos pontos a, b, c e d evidenciaram em análise química qualitativa o predomínio de Ca e ocorrência importante de Fe. Foi identificada a presença de Cu, Zn e Ni em todos os pontos analisados e de Cr nos pontos a e c. Além desses metais, foram identificados também os terras raras Sm, In e Nd.

Assim, os agregados leitosos AGLE presentes em todos os perfis amostrados nos resíduos são compostos predominantemente por carbonatos de cálcio neoformados, mal cristalizados, aos quais estão associados Zn, Cu e Ni, além de Cr. A eles também associam-se os terras raras Nd, Sm e In.

FIGURA V-18: Espectros EDS dos pontos a, b, c e d do grão de AGLE



- **AVER** - Agregados Verdes: A análise ao MEV dos grãos AVER indicou que a eles são compostos por 2 constituintes morfologicamente distintos, conforme pode ser observado na **Fotografia V-3**:

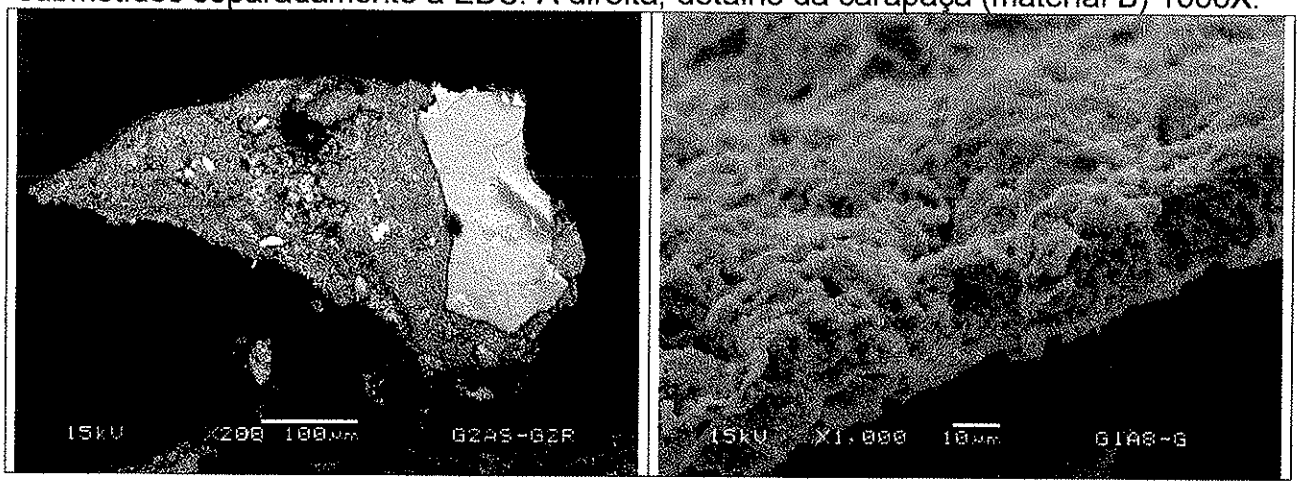
. Ponto A: Núcleo composto por aproximadamente 40% de Si, 20% de Al, 10% de Fe, 9% de P, 6% de Ca, 5% de Ti e 2 % de K. Também foram identificados Cu, Zn e Cd em percentuais da ordem de 1% e Cr e Cl em percentuais da ordem de 0,5%. A composição pode ser observada na análise quimica semi-quantitativa de EDS do **Quadro V-1**.

. Ponto B: Carapaça composta por aproximadamente 21% de Si, 16% de Al, 15% de K, 13% de Fe, 10% de Cu, 6% de Zn, 6% de Ti, 2% de P e 2 % de Ca. A composição exata pode ser observada na análise quimica semi-quantitativa de EDS do **Quadro V-2**. Um detalhe da carapaça pode ser visualizado na **Fotografia V-4**.

Chama a atenção os elevados teores de Cu e Zn na carapaça externa. A cor verde dessa carapaça sugere que esses dois metais devem estar sob a forma de

carbonatos, provavelmente precipitados durante o condicionamento químico dos lodos. Por outro lado, a ausência de grãos AVER no corpo Oeste, mais antigo, sugere que eles podem ter sido dissolvidos durante a exposição às condições ambientais. Nesse caso, liberariam os metais contidos.

FOTOGRAFIAS V-3 e V-4: À esquerda, imagem do grão AVER - Elétron retro-difuso - 200X - indicando a presença de 2 materiais distintos: A (núcleo) e B (carapaça), submetidos separadamente a EDS. À direita, detalhe da carapaça (material B) 1000X.



QUADROS V-1 e V-2: À esquerda, análise quimica semi-quantitativa de EDS da determinação realizada no material A (núcleo). À direita, análise quimica semi-quantitativa de EDS da determinação realizada no material B (carapaça).

G1A8-G1
Wed Dec 13 14:55:06 2000

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 7

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.1171	1.741	24.66	20.39	+/- 0.38
Si-K	0.1946	2.044	46.21	39.78	+/- 0.59
P -K	0.0299	2.961	9.32	8.85	+/- 0.32
S -K	0.0000	2.274	0.00	0.00	+/- 0.00
Cl-K	0.0030	2.091	0.58	0.63	+/- 0.18
N -K	0.0000	8.329	0.00	0.00	+/- 0.00
F -K	0.0000	5.150	0.00	0.00	+/- 0.00
Na-K	0.0010	3.240	0.45	0.32	+/- 0.16
Mg-K	0.0023	2.224	0.68	0.51	+/- 0.13
K -K	0.0128	1.512	1.62	1.94	+/- 0.16
Ca-K	0.0439	1.359	4.85	5.96	+/- 0.20
Ti-K	0.0395	1.331	3.58	5.26	+/- 0.39
V -K	0.0007	1.285	0.06	0.09	+/- 0.18
Cr-K	0.0027	1.233	0.21	0.33	+/- 0.16
Mn-K	0.0000	1.220	0.00	0.00	+/- 0.00
Fe-K	0.0882	1.178	6.07	10.39	+/- 0.61
Ni-K	0.0000	1.156	0.00	0.00	+/- 0.00
Cu-K	0.0089	1.198	0.55	1.06	+/- 0.34
Zn-K	0.0084	1.185	0.50	0.99	+/- 0.38
Se-K	0.0000	1.267	0.00	0.00	+/- 0.00
Br-K	0.0000	1.252	0.00	0.00	+/- 0.00
Cd-L	0.0054	1.575	0.25	0.84	+/- 0.45
In-L	0.0000	1.445	0.00	0.00	+/- 0.00
Hg-L	0.0026	1.510	0.06	0.39	+/- 2.03
Pb-L	0.0146	1.544	0.36	2.26	+/- 1.85
Pr-L	0.0000	1.326	0.00	0.00	+/- 0.00
Nd-L	0.0000	1.318	0.00	0.00	+/- 0.00
N -M	0.0000	1.667	0.00	0.00	+/- 0.00
Total			100.00	100.00	

G2A8-G2b

Wed Dec 13 15:23:23 2000

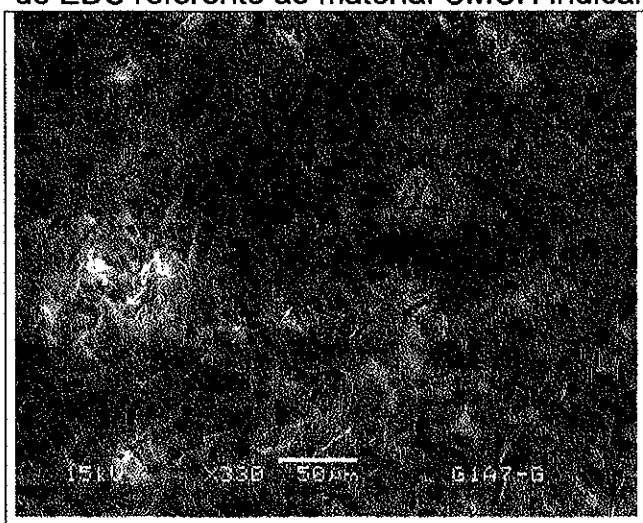
PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0602	2.702	23.08	16.28	+/- 0.98
Si-K	0.0852	2.545	29.54	21.68	+/- 0.84
P -K	0.0083	2.723	2.80	2.27	+/- 0.45
S -K	0.0000	1.922	0.00	0.00	+/- 0.00
Cl-K	0.0020	1.776	0.39	0.36	+/- 0.26
N -K	0.0000	7.871	0.00	0.00	+/- 0.00
F -K	0.0000	5.029	0.00	0.00	+/- 0.00
Na-K	0.0012	5.129	1.02	0.61	+/- 0.49
Mg-K	0.0022	3.687	1.28	0.82	+/- 0.39
K -K	0.1139	1.339	14.93	15.26	+/- 0.69
Ca-K	0.0139	1.345	1.78	1.87	+/- 0.44
Ti-K	0.0469	1.280	4.80	6.01	+/- 0.58
V -K	0.0000	1.202	0.00	0.00	+/- 0.00
Cr-K	0.0000	1.156	0.00	0.00	+/- 0.00
Mn-K	0.0000	1.156	0.00	0.00	+/- 0.00
Fe-K	0.1192	1.128	9.22	13.46	+/- 2.21
Ni-K	0.0000	1.110	0.00	0.00	+/- 0.00
Cu-K	0.0885	1.168	6.22	10.34	+/- 1.87
Zn-K	0.0530	1.153	3.58	6.12	+/- 2.23
Se-K	0.0000	1.224	0.00	0.00	+/- 0.00
Br-K	0.0000	1.204	0.00	0.00	+/- 0.00
Cd-L	0.0000	1.295	0.00	0.00	+/- 0.00
In-L	0.0113	1.330	0.50	1.50	+/- 2.17
Hg-L	0.0000	1.459	0.00	0.00	+/- 0.00
Pb-L	0.0000	1.482	0.00	0.00	+/- 0.00
Pr-L	0.0137	1.290	0.48	1.77	+/- 1.99
Nd-L	0.0048	1.282	0.16	0.62	+/- 2.08
N -M	0.0056	1.918	0.22	1.07	+/- 1.90
Total			100.00	100.00	

Aparentemente, núcleo e carapaça mantêm uma relação entre suas composições. Observa-se um enriquecimento relativo em K, Cu e Zn, a manutenção dos teores de Fe e Ti e uma redução relativa de Si, Al, P e Ca na carapaça.

- **CMCH** - Carapaças Microcristalinas Hialinas: A análise ao MEV do material CMCH indicou tratar-se de fosfatos de cálcio microcristalinos, neoformados, precipitados sobre grãos de outros minerais. Esse material pode ser observado na **Fotografia V-5**. Foi detectada também a presença de Zn e Pb associados a esse material, conforme pode ser observado no **Quadro V-3**. O material CMCH ocorre apenas no corpo Oeste, mais antigo. Esse fato traz a hipótese do CMCH ser resultado de re-precipitação "*in situ*" de fosfatos de cálcio originalmente precipitados durante o condicionamento químico dos lodos e que foram dissolvidos durante a exposição ao meio ambiente.

FOTOGRAFIA V-5 e QUADRO V-3: À esquerda imagem do material CMCH - 330X - exibindo micro cristais de fosfato de cálcio. À direita, análise química semi-quantitativa de EDS referente ao material CMCH indicando a presença de Zn e Pb



G1A7-G
Wed Dec 13 15:47:28 2000

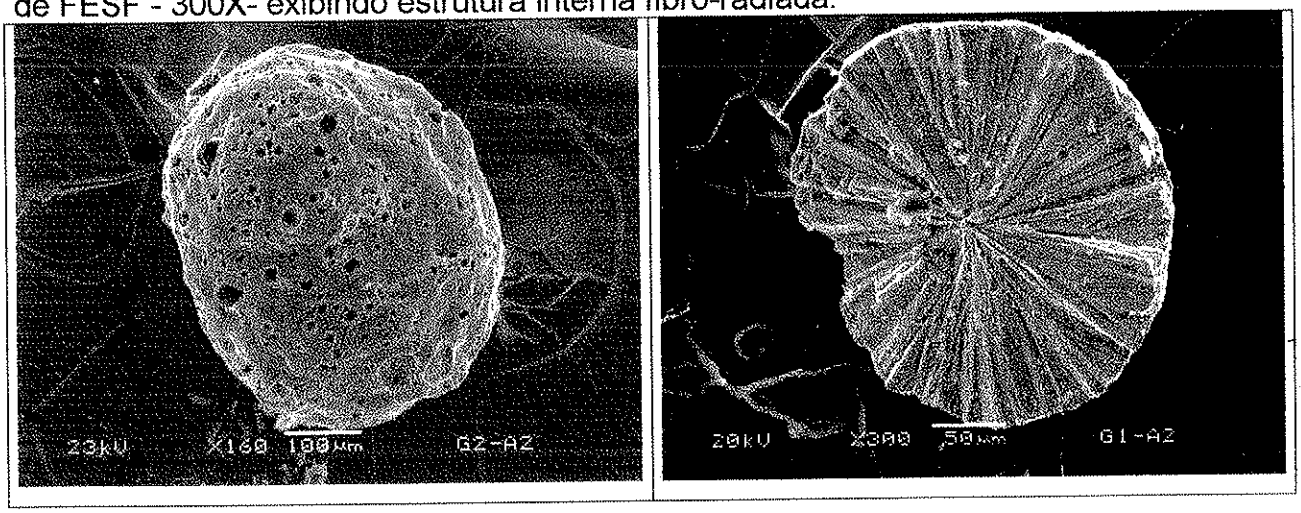
Refit _Al-K" _Al-K" _Si-K" _Si-K" _S -K" _S -K" _Cl-K" _(
Refit _S -K _N -K _F -K _Ca-K" _Ni-K _Se-K _Ag-L _I
Refit _Na-K
Filter Fit Method
Chi-sqd = 1.01 Livetime = 94.5 Sec.
Standardless Analysis
1.00000 1.00000 1.00000

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0043	2.004	1.25	0.87	+/- 0.19
Si-K	0.0115	1.580	2.51	1.82	+/- 0.24
P -K	0.2530	1.425	45.02	36.05	+/- 0.83
S -K	0.0000	1.922	0.00	0.00	+/- 0.00
Cl-K	0.0002	1.808	0.03	0.03	+/- 0.24
N -K	0.0000	13.758	0.00	0.00	+/- 0.01
F -K	0.0000	8.628	0.00	0.00	+/- 0.01
Na-K	0.0000	4.094	0.00	0.00	+/- 0.00
Mg-K	0.0000	2.711	0.00	0.00	+/- 0.00
K -K	0.0003	1.344	0.03	0.03	+/- 0.32
Ca-K	0.3821	1.251	46.15	47.82	+/- 1.21
Ti-K	0.0016	1.575	0.20	0.25	+/- 0.31
V -K	0.0047	1.474	0.52	0.69	+/- 0.34
Cr-K	0.0016	1.351	0.16	0.21	+/- 0.33
Mn-K	0.0022	1.310	0.20	0.28	+/- 0.35
Fe-K	0.0077	1.239	0.66	0.96	+/- 0.43
Ni-K	0.0000	1.159	0.00	0.00	+/- 0.00
Cu-K	0.0037	1.190	0.27	0.44	+/- 0.54
Zn-K	0.0088	1.170	0.61	1.03	+/- 0.64
Se-K	0.0000	1.251	0.00	0.00	+/- 0.00
Br-K	0.0077	1.233	0.46	0.95	+/- 2.08
Cd-L	0.0021	1.407	0.10	0.30	+/- 0.77
In-L	0.0050	1.386	0.24	0.70	+/- 1.30
Hg-L	0.0120	1.477	0.34	1.77	+/- 3.21
Pb-L	0.0251	1.507	0.71	3.78	+/- 2.94
Pr-L	0.0000	1.493	0.00	0.00	+/- 0.00
Nd-L	0.0138	1.463	0.54	2.01	+/- 1.04
W -M	0.0000	1.218	0.00	0.00	+/- 0.00
Total			100.00	100.00	

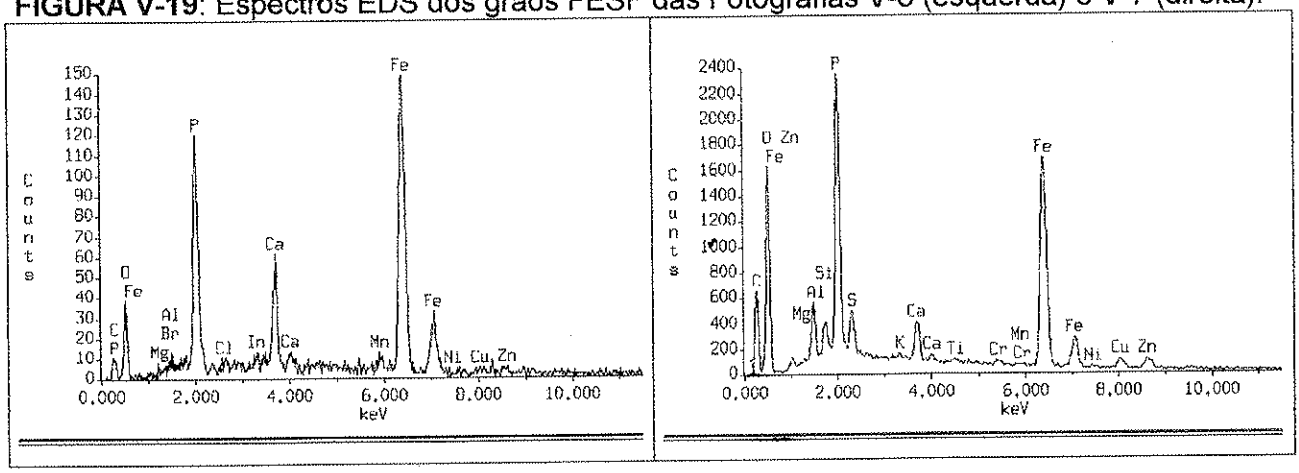
- **FESF** - Fragmentos Esféricos: Os fragmentos FESF têm forma esferoidal e superfície pontilhada por cavidades irregularmente distribuídas. Essas feições podem ser observadas na **Fotografia V-6**. A observação em MEV de um grão FESF fraturado indicou que ele possui estrutura interna fibro-radiada, conforme pode ser observado na **Fotografia V-7**.

FOTOGRAFIAS V-6 e V-7: À esquerda imagem do material FESF - 160X - exibindo morfologia esferoidal com cavidades na superfície. À direita, imagem de grão fraturado de FESF - 300X- exibindo estrutura interna fibro-radiada.



A análise química qualitativa ao EDS dos grãos das Fotografias V-6 e V-7 resultou nos espectros de EDS exibidos na **Figura V-19**.

FIGURA V-19: Espectros EDS dos grãos FESF das Fotografias V-6 (esquerda) e V-7 (direita).



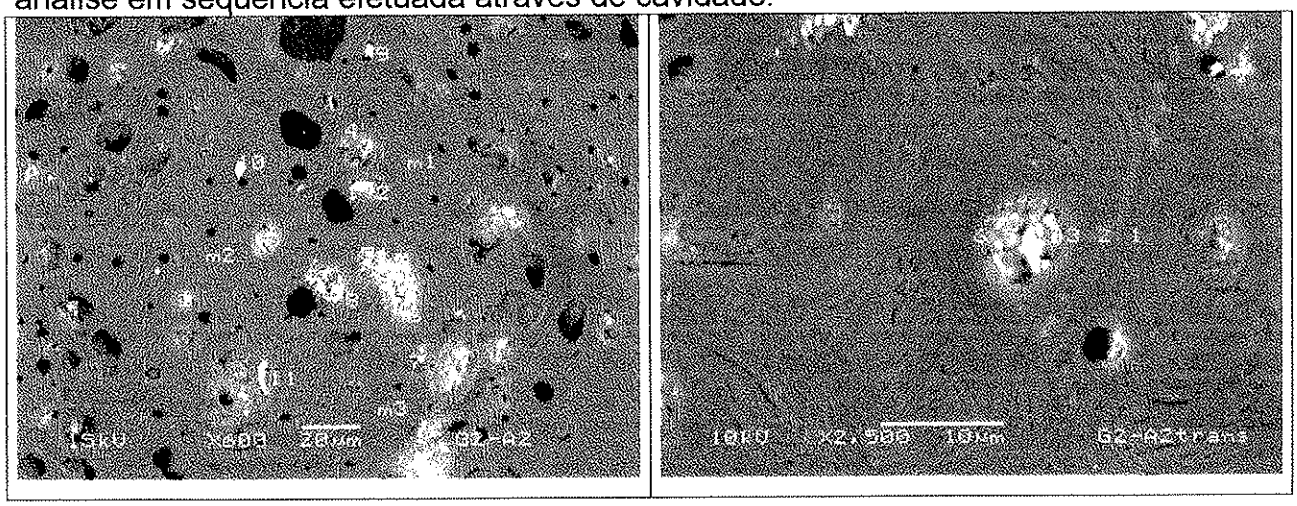
A análise química de grãos FESF ao EDS indica uma composição onde predominam Fe, P e Ca. Também foram identificadas quantidades significativas dos

ânions S e Cl. Os cátions metálicos Ni, Zn, Cu e Cr foram identificados em teores da ordem de 1%.

De forma geral pode-se afirmar que os fragmentos FESF são constituídos predominantemente por carbonatos e fosfatos de cálcio e ferro com presença importante de Ni, Zn, Cu e Cr. Cloretos e sulfatos ocorrem em quantidades menores.

Chama a atenção a presença de cavidades associadas a metais na superfície dos grãos. Imagens dessas cavidades, verdadeiras armadilhas para metais, podem ser observadas nas **Fotografias V-8** e **V-9** exibidas a seguir.

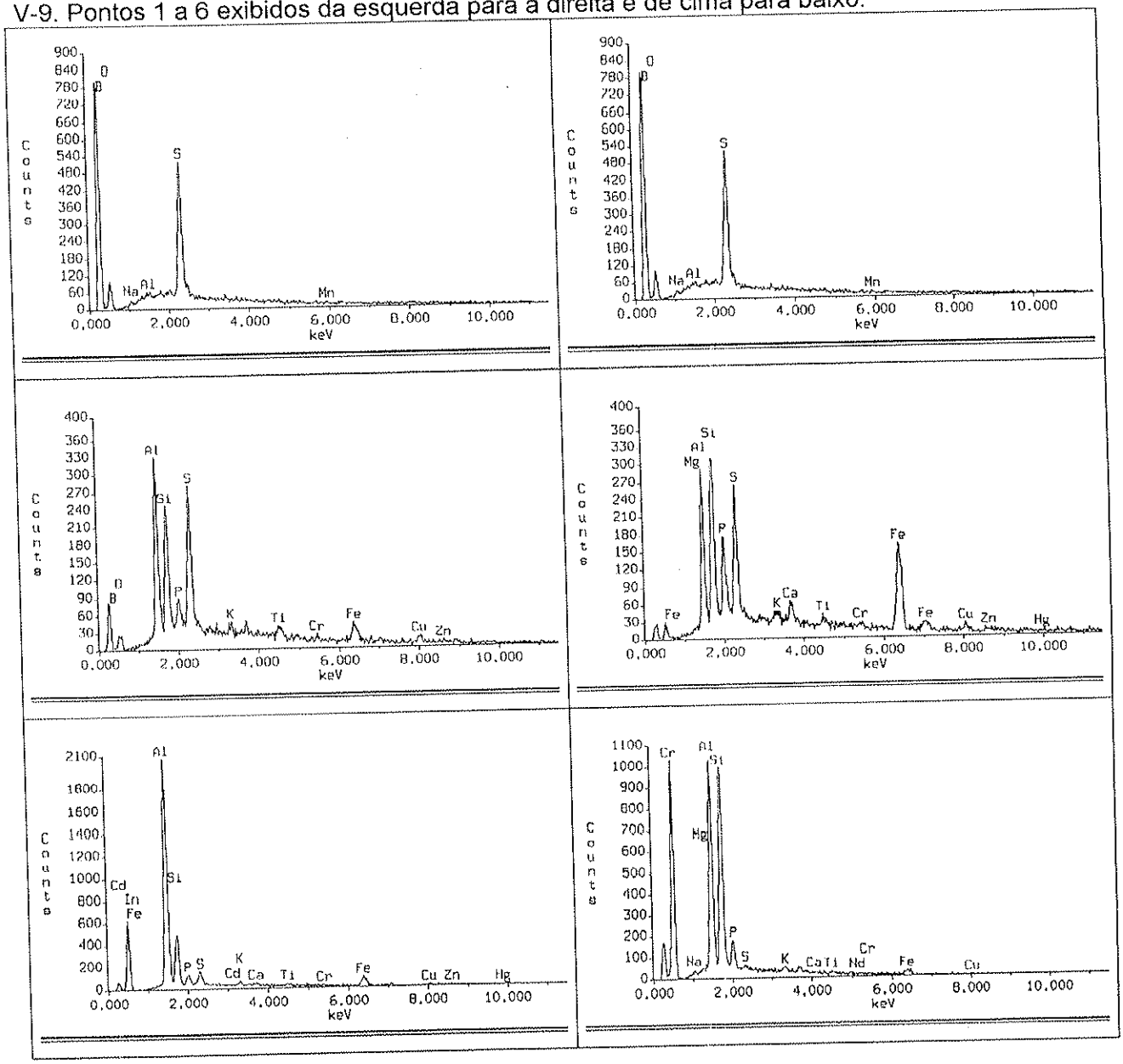
FOTOGRAFIAS V-8 e V-9: À esquerda imagem do material FESF - 600X - elétron retro-difuso - exibindo as cavidades na superfície, muitas delas com concentrações de metais. À direita, imagem de detalhe de grão FESF - 2500X- elétron retro-difuso - com análise em seqüência efetuada através de cavidade.



Uma pequena área da Fotografia V-8 foi escolhida para execução de 6 determinações químicas qualitativas seqüenciais de EDS, numa linha reta, em escala de detalhe, de forma a identificar variações na composição química em função da posição de cada ponto analisado (Fotografia V-9).

Os resultados dessas análises são exibidos na **Figura V-20** onde estão reunidos os espectros de EDS obtidos nas análises dos pontos 1 a 6 da Fotografia V-9.

FIGURA V-20: Espectros EDS integrantes do transecto efetuado no grão FESF da Fotografia V-9. Pontos 1 a 6 exibidos da esquerda para a direita e de cima para baixo.

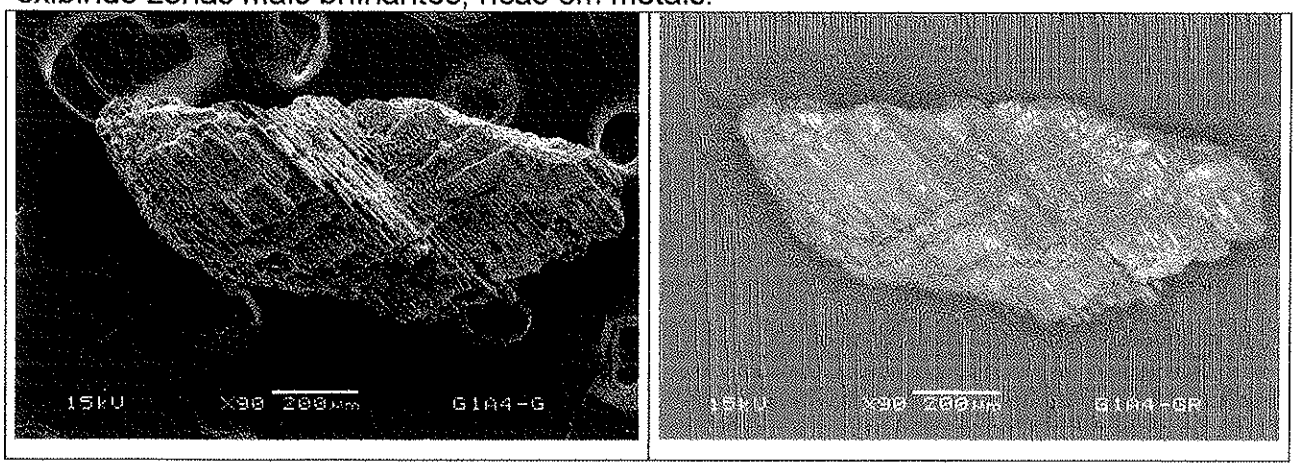


A seqüência de análises indicou que a cavidade está circundada por matriz onde predomina sulfato de boro, com pequenas quantidades de Mn, Al e Na (pontos 1 e 2). Na região intermediária, próxima à borda da cavidade (pontos 3 e 4), verifica-se uma diminuição nos teores de sulfatos e um paulatino aumento nos de fosfatos. O Boro praticamente desaparece, surgindo Al, Si, Fe e Ca. Começam a ocorrer teores significativos de Cu, Zn, Cr e Hg. Já no interior da cavidade há um predomínio de Si e Al, ocorrendo ainda fosfatos e um evidente aumento na concentração dos metais Cr, Cd, Cu, Zn e Hg.

A análise dos grãos FESF evidenciou a concentração de metais nas cavidades existentes em sua superfície. Tal constatação, associada à ocorrência do FESF apenas nos corpos Sul e Leste (não ocorrem no corpo Oeste, mais antigo), sugere que eles podem ter participação importante na captura de metais, durante o condicionamento químico dos lodos e na sua posterior liberação ao meio ambiente.

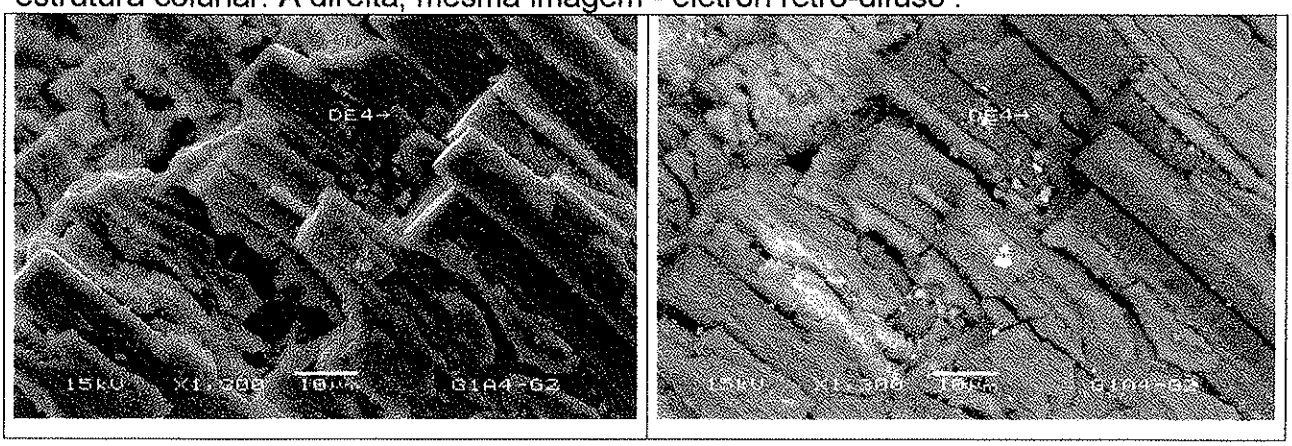
FNAC: Fragmentos Negros Aciculares: A análise de grãos FNAC ao MEV resultou nas imagens exibidas nas **Fotografias V-10** e **V-11**.

FOTOGRAFIAS V-10 e V-11: À esquerda, imagem do material FNAC - 200X - exibindo estrutura colunar, similar à do carvão. À direita, mesma imagem - elétron retro-difuso - exibindo zonas mais brilhantes, ricas em metais.



Foi executada análise química qualitativa no ponto DE-4 exibido nas Fotografias V-12 e V-13. O relatório da análise é exibidos no **Quadro V-4**.

FOTOGRAFIAS V-12 e V-13: À esquerda, imagem do material FNAC-1300X- exibindo estrutura colunar. À direita, mesma imagem - elétron retro-difuso .



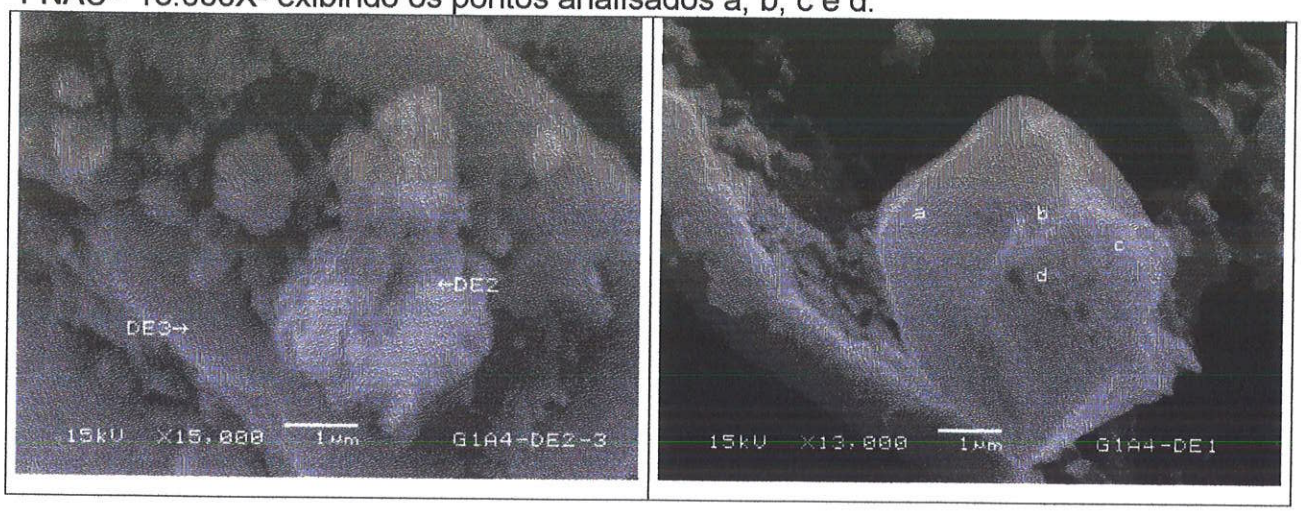
QUADRO V-4: Relatório de análise química semi-quantitativa por EDS da determinação realizada no FNAC - ponto DE-4

```
Refit _Al-K' _Al-K" _Si-K' _Si-K" _P -K' _P -K" _S -K' _S
Refit _N -K  _F -K  _Mg-K  _K -K  _Ca-K' _V -K  _Mn-K  _E
Refit _In-L
Filter Fit Method
Chi-sqd = 1.01      Livetime = 100.0 Sec.

PROZA Correction  Acc.Volt.= 20 kV  Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 5

Element   k-ratio     ZAF     Atom %   Element    Wt % Err.
          (calc.)                        Wt %     (1-Sigma)
  Al-K     0.0084    2.995     4.62     2.52      +/- 1.08
  Si-K     0.0088    2.324     3.59     2.04      +/- 0.96
  P -K     0.0819    1.923    25.14    15.74      +/- 1.31
  S -K     0.0196    1.890     5.72     3.71      +/- 1.24
  Cl-K     0.0030    1.989     0.85     0.61      +/- 1.15
  N -K     0.0000    7.704     0.00     0.00      +/- 0.01
  F -K     0.0000    7.372     0.00     0.00      +/- 0.01
  Na-K     0.0034    4.984     3.67     1.71      +/- 1.33
  Mg-K     0.0000    3.673     0.00     0.00      +/- 0.00
  K -K     0.0000    1.420     0.00     0.00      +/- 0.00
  Ca-K     0.1495    1.299    23.96    19.42      +/- 2.30
  Ti-K     0.0059    1.332     0.81     0.78      +/- 0.92
  V -K     0.0000    1.267     0.00     0.00      +/- 0.00
  Cr-K     0.1301    1.190    14.73    15.48      +/- 1.53
  Mn-K     0.0000    1.147     0.00     0.00      +/- 0.00
  Fe-K     0.0334    1.175     3.47     3.92      +/- 1.40
  Ni-K     0.0021    1.100     0.20     0.23      +/- 1.29
  Cu-K     0.0195    1.120     1.70     2.18      +/- 1.91
  Zn-K     0.0063    1.089     0.52     0.69      +/- 2.07
  Se-K     0.0583    1.150     4.20     6.70      +/- 5.03
  Br-K     0.0000    1.114     0.00     0.00      +/- 0.00
  Cd-L     0.0000    1.486     0.00     0.00      +/- 0.00
  In-L     0.0000    1.432     0.00     0.00      +/- 0.00
  Hg-L     0.0376    1.369     1.27     5.14      +/- 9.65
  Pb-L     0.0723    1.389     2.40    10.04      +/- 8.37
  Pr-L     0.0310    1.298     1.41     4.03      +/- 3.20
  Nd-L     0.0393    1.285     1.73     5.05      +/- 4.19
                             100.00   100.00
```

Essa análise identificou a presença de fosfatos de cálcio com elevados teores de Cr. Foi identificada também a presença de S e Fe, além de pequenas quantidades de Cu, Pb e dos terras raras Pr e Nd.

Outras determinações químicas pontuais foram executadas a partir das imagens exibidas nas Fotografias **V-14** e **V-15**. A partir da imagem da Fotografia V-14 foram efetuadas 2 determinações (DE2 e DE3). Já a partir da imagem da Fotografia V-15 foram executadas 4 determinações (pontos a, b, c e d). Os resultados das análises por EDS referentes a essas 6 determinações são exibidos nos **Quadros V-5** a **V-10**.

FOTOGRAFIAS V-14 e V-15: À esquerda, imagem do material FNAC - 15000X - exibindo os pontos analisados DE2 e DE3. À direita, imagem de cristal contido no FNAC - 13.000X- exibindo os pontos analisados a, b, c e d.



QUADROS V-5 e V-6: À esquerda, relatório analítico de EDS da determinação realizada no ponto DE2 da Fotografia V-14. À direita, resultado de análise química semi-quantitativa por EDS da determinação realizada no ponto DE3 da mesma fotografia.

G1A4-De2

Wed Dec 13 13:46:36 2000

Refit _N -K' _N -K" _F -K' _F -K" _Mg-K' _Mg-K" _K -K' _K
Refit _Si-K" _N -K _F -K _Cr-K' _Se-K _Br-K _Ag-L _C
Refit _Na-K"
Filter Fit Method
Chi-sqd = 5.66 Livetime = 100.0 Sec.

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0159	2.290	6.79	3.64	+/- 0.29
Si-K	0.0175	1.817	5.70	3.18	+/- 0.15
P -K	0.0557	1.593	14.43	8.88	+/- 0.53
S -K	0.0506	1.669	13.26	8.45	+/- 0.55
Cl-K	0.0164	2.088	4.87	3.43	+/- 0.41
N -K	0.0000	8.952	0.00	0.00	+/- 0.01
F -K	0.0000	7.601	0.00	0.00	+/- 0.01
Na-K	0.0009	4.395	0.85	0.39	+/- 0.21
Mg-K	0.0004	3.043	0.24	0.12	+/- 0.16
K -K	0.0031	1.640	0.66	0.51	+/- 0.14
Ca-K	0.1782	1.449	32.42	25.83	+/- 0.49
Ti-K	0.0007	1.480	0.11	0.10	+/- 0.16
V -K	0.0009	1.386	0.12	0.12	+/- 0.16
Cr-K	0.0621	1.264	7.60	7.86	+/- 0.46
Mn-K	0.0016	1.216	0.18	0.19	+/- 0.23
Fe-K	0.0177	1.167	1.87	2.07	+/- 0.22
Ni-K	0.0028	1.071	0.26	0.30	+/- 0.24
Cu-K	0.0209	1.090	1.80	2.28	+/- 0.32
Zn-K	0.0106	1.056	0.86	1.11	+/- 0.38
Se-K	0.0000	1.122	0.00	0.00	+/- 0.00
Br-K	0.0000	1.101	0.00	0.00	+/- 0.00
Cd-L	0.0000	1.668	0.00	0.00	+/- 0.00
In-L	0.0000	1.648	0.00	0.00	+/- 0.00
Hg-L	0.2275	1.351	7.71	30.73	+/- 4.38
Pb-L	0.0000	1.354	0.00	0.00	+/- 0.00
Pr-L	0.0000	1.379	0.00	0.00	+/- 0.00
Nd-L	0.0059	1.369	0.28	0.80	+/- 0.69
Total			100.00	100.00	

G1A4-De3 matriz
Wed Dec 13 13:56:58 2000

Refit _Al-K' _Al-K" _Si-K' _Si-K" _S -K' _S -K" _Cl-K' _C
Refit _P -K' _N -K _F -K _Mg-K _Ca-K' _Ca-K" _Br-K _I
Refit _K -K
Filter Fit Method
Chi-sqd = 0.75 Livetime = 100.0 Sec.

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0079	2.839	3.60	2.26	+/- 0.59
Si-K	0.0162	2.140	5.32	3.47	+/- 0.66
P -K	0.1045	1.832	26.65	19.15	+/- 1.65
S -K	0.0037	1.874	0.93	0.69	+/- 0.77
Cl-K	0.0060	1.661	1.22	1.00	+/- 0.59
N -K	0.0000	9.212	0.00	0.00	+/- 0.01
F -K	0.0000	9.108	0.00	0.00	+/- 0.01
Na-K	0.0020	5.559	2.10	1.12	+/- 0.70
Mg-K	0.0000	3.970	0.00	0.00	+/- 0.00
K -K	0.0000	1.202	0.00	0.00	+/- 0.00
Ca-K	0.2370	1.171	29.84	27.75	+/- 1.05
Ti-K	0.0018	1.324	0.21	0.23	+/- 0.70
V -K	0.0051	1.289	0.55	0.66	+/- 0.71
Cr-K	0.1654	1.207	16.56	19.97	+/- 1.37
Mn-K	0.0177	1.190	1.65	2.10	+/- 1.14
Fe-K	0.0383	1.217	3.60	4.66	+/- 1.21
Ni-K	0.0049	1.152	0.42	0.57	+/- 1.14
Cu-K	0.0290	1.181	2.32	3.43	+/- 1.43
Zn-K	0.0178	1.159	1.36	2.06	+/- 1.82
Se-K	0.0128	1.220	0.85	1.57	+/- 3.91
Br-K	0.0000	1.194	0.00	0.00	+/- 0.00
Cd-L	0.0168	1.311	0.84	2.20	+/- 1.67
In-L	0.0000	1.229	0.00	0.00	+/- 0.00
Hg-L	0.0000	1.446	0.00	0.00	+/- 0.00
Pb-L	0.0119	1.475	0.37	1.76	+/- 8.22
Pr-L	0.0000	1.309	0.00	0.00	+/- 0.00
Nd-L	0.0412	1.302	1.60	5.36	+/- 3.05
Total			100.00	100.00	

QUADROS V-7, V-8, V-9 e V-10: Da esquerda para direita e de cima para baixo - resultados de análises químicas semi-quantitativas por EDS das determinações realizadas nos pontos a, b, c e d da Fotografia V-15.

G1A4-a
Wed Dec 13 11:52:55 2000
Refit _Al-K' _Al-K" _Si-K' _Si-K" _S -K' _S -K" _Cl-K' _Cl-
Refit _S -K _N -K _F -K _V -K _Mn-K _Ni-K _Se-K _Ag-
Refit _Br-K
Filter Fit Method
Chi-sqd = 0.89 Livetime = 100.0 Sec.

Adjustment Factors	K	L	M
Z-Balance:	0.00000	0.00000	0.00000
Shell:	1.00000	1.00000	1.00000

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11 d
Number of Iterations = 6

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0219	2.945	10.22	6.45	+/- 0.74
Si-K	0.0145	2.396	5.27	3.47	+/- 0.72
P -K	0.0884	2.019	24.61	17.85	+/- 1.74
S -K	0.0000	1.836	0.00	0.00	+/- 0.00
Cl-K	0.0113	1.747	2.37	1.97	+/- 0.59
N -K	0.0000	8.418	0.00	0.00	+/- 0.01
F -K	0.0000	7.916	0.00	0.00	+/- 0.01
Na-K	0.0033	5.468	3.39	1.82	+/- 1.09
Mg-K	0.0051	3.803	3.43	1.95	+/- 0.65
K -K	0.0024	1.318	0.34	0.32	+/- 0.60
Ca-K	0.1888	1.192	23.99	22.52	+/- 1.59
Ti-K	0.0094	1.295	1.08	1.21	+/- 0.57
V -K	0.0000	1.264	0.00	0.00	+/- 0.00
Cr-K	0.1459	1.192	14.28	17.39	+/- 1.24
Mn-K	0.0000	1.162	0.00	0.00	+/- 0.00
Fe-K	0.0283	1.212	2.62	3.43	+/- 0.96
Ni-K	0.0000	1.153	0.00	0.00	+/- 0.00
Cu-K	0.0428	1.177	3.38	5.03	+/- 1.34
Zn-K	0.0065	1.153	0.49	0.75	+/- 1.39
Se-K	0.0000	1.196	0.00	0.00	+/- 0.00
Br-K	0.0000	1.174	0.00	0.00	+/- 0.00
Cd-L	0.0000	1.300	0.00	0.00	+/- 0.00
In-L	0.0018	1.333	0.09	0.24	+/- 2.08
Hg-L	0.0000	1.427	0.00	0.00	+/- 0.00
Pb-L	0.0176	1.463	0.53	2.58	+/- 5.15
Pr-L	0.0389	1.291	1.52	5.03	+/- 2.27
Nd-L	0.0622	1.283	2.36	7.98	+/- 3.09
Total			100.00	100.00	

Refit _B -K _N -K _F -K _Ca-K" _V -K _Ag-L _Cd-L _In-
Refit _Na-K"
Filter Fit Method
Chi-sqd = 8.19 Livetime = 100.0 Sec.
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11 de
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0635	2.117	20.18	13.44	+/- 0.35
Si-K	0.0825	2.059	24.51	16.99	+/- 0.42
P -K	0.0101	2.164	2.86	2.18	+/- 0.25
S -K	0.0678	1.849	15.85	12.54	+/- 0.50
Cl-K	0.0298	2.151	7.33	6.41	+/- 0.39
B -K	0.0000	7.884	0.00	0.00	+/- 0.00
N -K	0.0000	8.235	0.00	0.00	+/- 0.01
F -K	0.0000	5.953	0.00	0.00	+/- 0.00
Na-K	0.0013	3.935	0.88	0.50	+/- 0.17
Mg-K	0.0008	2.722	0.36	0.22	+/- 0.14
K -K	0.0069	1.668	1.19	1.15	+/- 0.14
Ca-K	0.0650	1.461	9.60	9.50	+/- 0.20
Ti-K	0.0061	1.389	0.72	0.85	+/- 0.14
V -K	0.0000	1.298	0.00	0.00	+/- 0.00
Cr-K	0.0333	1.224	3.18	4.08	+/- 0.18
Mn-K	0.0005	1.203	0.04	0.06	+/- 0.19
Fe-K	0.0773	1.154	6.47	8.92	+/- 0.50
Ni-K	0.0036	1.102	0.27	0.39	+/- 0.22
Cu-K	0.0196	1.132	1.41	2.21	+/- 0.30
Zn-K	0.0112	1.107	0.77	1.24	+/- 0.35
Se-K	0.0082	1.198	0.51	0.98	+/- 0.94
Br-K	0.0053	1.182	0.31	0.62	+/- 1.47
Cd-L	0.0000	1.681	0.00	0.00	+/- 0.00
In-L	0.0000	1.630	0.00	0.00	+/- 0.00
Hg-L	0.1136	1.419	3.26	16.12	+/- 2.38
Pb-L	0.0111	1.447	0.31	1.60	+/- 1.82
Pr-L	0.0000	1.317	0.00	0.00	+/- 0.00
Nd-L	0.0000	1.303	0.00	0.00	+/- 0.00
Total			100.00	100.00	

Filter Fit Method
Chi-sqd = 48.43 Livetime = 100.0 Sec.
Standardless Analysis

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11 d
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0055	2.030	2.16	1.11	+/- 0.11
Si-K	0.0137	1.621	4.14	2.23	+/- 0.11
P -K	0.0000	1.475	0.00	0.00	+/- 0.00
S -K	0.2128	1.438	49.84	30.59	+/- 0.60
Cl-K	0.0726	2.483	26.57	18.03	+/- 0.57
N -K	0.0000	8.093	0.00	0.00	+/- 0.01
F -K	0.0000	6.086	0.00	0.00	+/- 0.00
Na-K	0.0000	3.857	0.00	0.00	+/- 0.00
Mg-K	0.0000	2.771	0.00	0.00	+/- 0.00
K -K	0.0007	2.070	0.19	0.14	+/- 0.17
Ca-K	0.0054	1.739	1.22	0.94	+/- 0.18
Ti-K	0.0007	1.474	0.11	0.10	+/- 0.19
V -K	0.0000	1.356	0.00	0.00	+/- 0.00
Cr-K	0.0056	1.247	0.71	0.70	+/- 0.21
Mn-K	0.0005	1.197	0.06	0.06	+/- 0.25
Fe-K	0.0035	1.121	0.36	0.39	+/- 0.24
Ni-K	0.0002	1.007	0.02	0.02	+/- 0.28
Cu-K	0.0283	1.043	2.42	2.95	+/- 0.39
Zn-K	0.0095	1.008	0.76	0.95	+/- 0.46
Se-K	0.0000	1.077	0.00	0.00	+/- 0.00
Br-K	0.0096	1.081	0.68	1.04	+/- 2.17
Cd-L	0.0000	2.121	0.00	0.00	+/- 0.00
In-L	0.0000	2.057	0.00	0.00	+/- 0.00
Hg-L	0.3004	1.308	10.23	39.29	+/- 5.56
Pb-L	0.0000	1.299	0.00	0.00	+/- 0.00
Pr-L	0.0030	1.373	0.15	0.42	+/- 0.61
Nd-L	0.0076	1.350	0.37	1.03	+/- 0.76
Total			100.00	100.00	

G1A4-d
Wed Dec 13 12:12:50 2000

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11 d
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0019	2.167	0.85	0.42	+/- 0.17
Si-K	0.0107	1.848	3.88	1.97	+/- 0.19
P -K	0.0000	1.707	0.00	0.00	+/- 0.00
S -K	0.1763	1.545	46.92	27.25	+/- 0.93
Cl-K	0.0628	2.496	24.42	15.68	+/- 0.84
N -K	0.0000	7.720	0.00	0.00	+/- 0.01
F -K	0.0000	5.932	0.00	0.00	+/- 0.00
Na-K	0.0012	3.556	1.03	0.43	+/- 0.22
Mg-K	0.0000	2.680	0.00	0.00	+/- 0.00
K -K	0.0011	2.039	0.32	0.23	+/- 0.24
Ca-K	0.0000	1.691	0.00	0.00	+/- 0.00
Ti-K	0.0024	1.446	0.40	0.35	+/- 0.26
V -K	0.0033	1.344	0.49	0.45	+/- 0.27
Cr-K	0.0009	1.225	0.12	0.12	+/- 0.25
Mn-K	0.0001	1.176	0.72	0.71	+/- 0.32
Fe-K	0.0000	1.072	0.00	0.00	+/- 0.00
Ni-K	0.0032	1.003	0.30	0.32	+/- 0.39
Cu-K	0.0292	1.020	2.59	2.98	+/- 0.53
Zn-K	0.0120	0.985	1.00	1.18	+/- 0.61
Se-K	0.0363	1.083	2.75	3.93	+/- 1.72
Br-K	0.0482	1.064	3.54	5.13	+/- 2.82
Cd-L	0.0000	2.072	0.00	0.00	+/- 0.00
In-L	0.0000	2.007	0.00	0.00	+/- 0.00
Hg-L	0.2960	1.286	10.48	38.07	+/- 4.82
Pb-L	0.0062	1.307	0.21	0.81	+/- 3.46
Pr-L	0.0000	1.325	0.00	0.00	+/- 0.00
Nd-L	0.0000	1.302	0.00	0.00	+/- 0.00
Total			100.00	100.00	

No ponto DE2 verifica-se o predomínio de P e S, e teor considerável de Cl. O cátion predominante é o Ca. Dentre os metais traço, salienta-se a presença de Hg e Cr, bem como de Cu e Zn em menores quantidades. No ponto DE3 há um claro predomínio de P. O cátion mais importante é novamente o Ca. Salienta-se o elevado teor de Cr, bem como a presença de Cu e Zn.

As análises executadas a partir da imagem da Fotografia V-15 indicam 2 tipos de materiais:

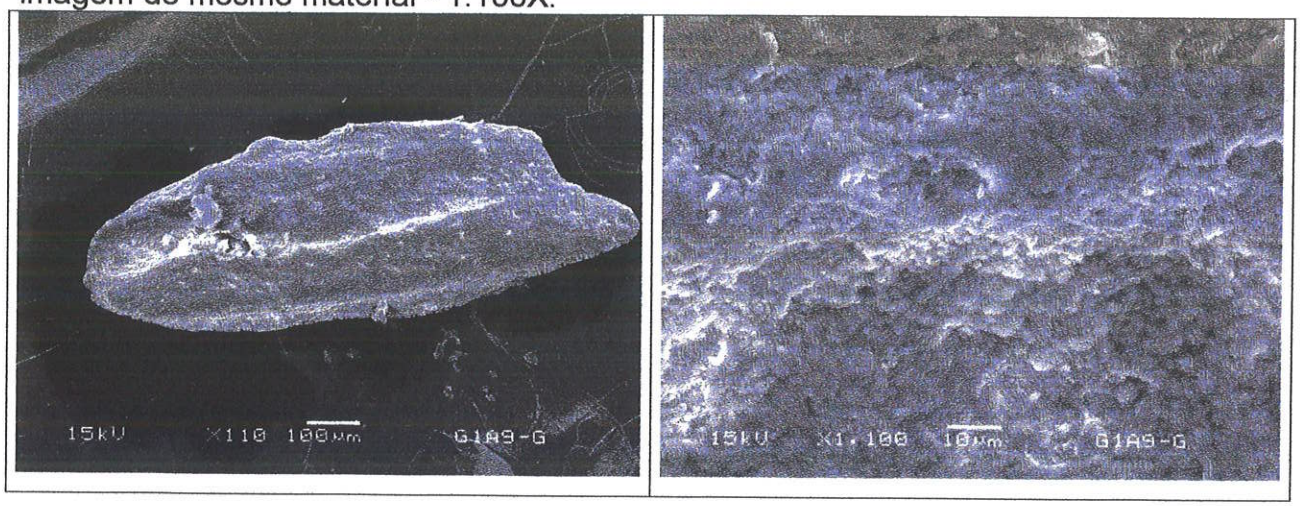
. O primeiro deles, associado ao ponto a, na região próxima à borda do cristal, apresenta composição similar à já identificada em outros pontos: fosfato de cálcio com alto teor de Cr e com menores teores de Fe e Cu.

. O segundo, associado aos pontos b, c e d, sobre o cristal, apresenta um predomínio de S e Cl, com elevados teores de Hg e teores importantes de Cr, Cu e Zn.

Ambos os materiais são neoformados, têm ligação direta com o lodo condicionado e retêm metais. Aparentemente, esses dois materiais precipitaram-se junto à estrutura interna de pequenos fragmentos de carvão vegetal existentes nos resíduos.

LEIC: Fragmentos Leitosos Colunares: A análise ao MEV dos fragmentos LEIC resultaram nas imagens exibidas nas Fotografias **V-16** e **V-17**.

FOTOGRAFIAS V-16 e V-17: À esquerda, imagem do material LEIC - 110X. À direita, imagem do mesmo material - 1.100X.



A análise química semi-quantitativa por EDS da imagem exibida na Fotografia V-16 encontra-se no **Quadro V-11**.

QUADRO V-11: Resultado de análise química semi-quantitativa por EDS de determinação realizada no material da Fotografia V-16.

G1A9-g
Wed Dec 13 17:26:11 2000

Filter Fit Method
Chi-sqd = 0.82 Livetime = 100.0 Sec.
Standardless Analysis

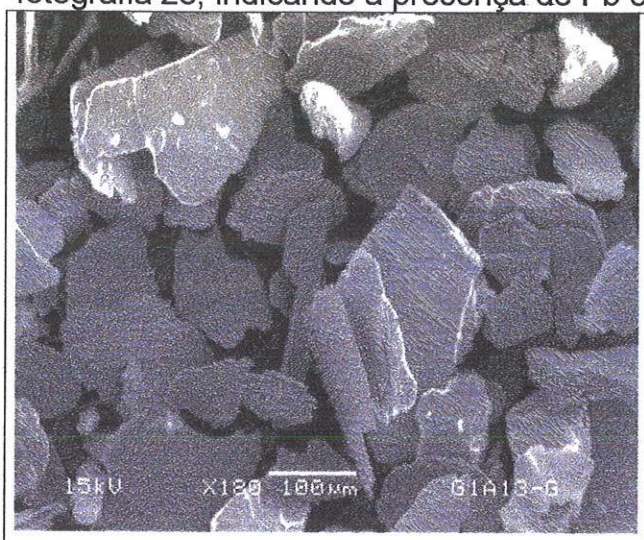
PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0178	2.183	5.60	3.88	+/- 0.25
Si-K	0.0079	1.749	1.92	1.39	+/- 0.25
P -K	0.2028	1.520	38.76	30.83	+/- 0.78
S -K	0.0000	1.850	0.00	0.00	+/- 0.00
Cl-K	0.0009	1.778	0.17	0.16	+/- 0.24
N -K	0.0000	12.744	0.00	0.00	+/- 0.01
F -K	0.0000	8.022	0.00	0.00	+/- 0.01
Na-K	0.0040	4.310	2.90	1.71	+/- 0.36
Mg-K	0.0000	3.061	0.00	0.00	+/- 0.00
K -K	0.0000	1.288	0.00	0.00	+/- 0.00
Ca-K	0.3460	1.237	41.60	42.81	+/- 1.06
Ti-K	0.0023	1.532	0.28	0.35	+/- 0.31
V -K	0.0000	1.449	0.00	0.00	+/- 0.00
Cr-K	0.0014	1.317	0.13	0.18	+/- 0.34
Mn-K	0.0000	1.293	0.00	0.00	+/- 0.00
Fe-K	0.0646	1.217	5.48	7.86	+/- 1.03
Ni-K	0.0000	1.161	0.00	0.00	+/- 0.00
Cu-K	0.0012	1.190	0.09	0.15	+/- 0.58
Zn-K	0.0130	1.169	0.91	1.52	+/- 0.74
Se-K	0.0000	1.244	0.00	0.00	+/- 0.00
Br-K	0.0000	1.228	0.00	0.00	+/- 0.00
Cd-L	0.0000	1.346	0.00	0.00	+/- 0.00
In-L	0.0144	1.372	0.67	1.97	+/- 0.75
Hg-L	0.0189	1.472	0.54	2.78	+/- 3.47
Pb-L	0.0218	1.504	0.62	3.28	+/- 2.73
Pr-L	0.0071	1.449	0.29	1.04	+/- 1.01
Nd-L	0.0008	1.428	0.03	0.11	+/- 1.18
W -M	0.0000	1.326	0.00	0.00	+/- 0.00
Total			100.00	100.00	

A análise identificou novamente presença de P, Ca e Fe. Identificou-se também a presença de Zn e Pb. Dessa forma, o material LEIC é mais uma forma do mesmo composto: fosfato de cálcio e ferro, acompanhado por metais como Zn e Pb.

MICAS: Dentre os minerais detríticos identificados nos resíduos, os únicos que resultaram em informações importantes quando analisados ao MEV foram as micas. Uma imagem de fragmentos desse mineral pode ser observada na **Fotografia V-18**, acompanhada do resultado de análise química semi-quantitativa por EDS (**Quadro V-12**).

FOTOGRAFIA V-18 e QUADRO V-12: À esquerda imagem das micas - 100X - exibindo cristais individuais. À direita, relatório analítico de EDS referente ao material da fotografia 28, indicando a presença de Pb e Cu.



G1A13-g
Wed Dec 13 18:58:01 2000
Livetime : 100.0 Sec.
Technique: Least Squares Fit

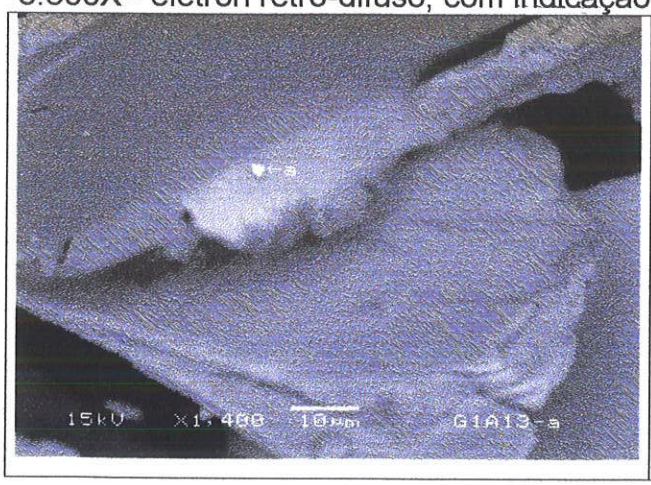
Refit _Si-K' _Si-K" _P -K' _P -K" _S -K' _S -K" _Cl-K' _
Refit _Al-K' _S -K _Cl-K _N -K _F -K _Na-K _Mg-K" _
Filter Fit Method
Chi-sqd = 0.85 Livetime = 100.0 Sec.

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 7

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0717	2.126	19.84	15.24	+/- 1.08
Si-K	0.1693	2.178	46.12	36.88	+/- 0.79
P -K	0.0007	2.948	0.23	0.20	+/- 0.48
S -K	0.0000	2.035	0.00	0.00	+/- 0.00
Cl-K	0.0000	1.863	0.00	0.00	+/- 0.00
N -K	0.0000	8.079	0.00	0.00	+/- 0.00
F -K	0.0000	4.687	0.00	0.00	+/- 0.00
Na-K	0.0000	4.758	0.00	0.00	+/- 0.00
Mg-K	0.0152	2.595	5.71	3.95	+/- 0.41
K -K	0.0906	1.460	11.88	13.22	+/- 0.66
Ca-K	0.0011	1.434	0.14	0.16	+/- 0.38
Ti-K	0.0183	1.328	1.78	2.43	+/- 0.46
V -K	0.0015	1.274	0.14	0.20	+/- 0.37
Cr-K	0.0000	1.170	0.00	0.00	+/- 0.00
Mn-K	0.0000	1.189	0.00	0.00	+/- 0.00
Fe-K	0.1560	1.155	11.34	18.03	+/- 1.59
Ni-K	0.0000	1.154	0.00	0.00	+/- 0.00
Cu-K	0.0139	1.188	0.91	1.65	+/- 0.71
Zn-K	0.0000	1.162	0.00	0.00	+/- 0.00
Se-K	0.0000	1.234	0.00	0.00	+/- 0.00
Br-K	0.0108	1.240	0.59	1.34	+/- 2.95
Cd-L	0.0047	1.515	0.22	0.72	+/- 1.64
In-L	0.0043	1.451	0.19	0.62	+/- 2.44
Hg-L	0.0000	1.463	0.00	0.00	+/- 0.00
Pb-L	0.0354	1.515	0.91	5.36	+/- 4.17
Pr-L	0.0000	1.284	0.00	0.00	+/- 0.00
Nd-L	0.0000	1.275	0.00	0.00	+/- 0.00
W -M	0.0000	1.709	0.00	0.00	+/- 0.00
Zr-L	0.0000	2.243	0.00	0.00	+/- 0.00
Total			100.00	100.00	

A análise geral indicou tratar-se de mica potássica com Fe e Mg, contaminada por Pb. Dois fragmentos foram analisados em maior detalhe para melhor definição dos metais. Esses fragmentos são exibidos nas **Fotografias V-19** e **V-20**.

FOTOGRAFIAS V-19 e V-20: À esquerda, imagem de cristal de mica - 1.400X - elétron retro-difuso, com indicação do ponto a. À direita, imagem de outro cristal de mica, 3.500X - elétron retro-difuso, com indicação do ponto b.



Os resultados das análises químicas semi-quantitativas por EDS dos pontos a e b das Fotografias V-19 e V-20 encontram-se nos **Quadros V-13** e **V-14**.

QUADROS V-13 E V14: Resultados de análises químicas semi-quantitativas por EDS das determinações realizadas nos materiais das Fotografias V-19 e V-20.

G1A13-a
Wed Dec 13 19:07:02 2000

Refit _Si-K' _Si-K" _P -K' _P -K" _S -K' _S -K" _Cl-K' _
Refit _Al-K" _N -K _F -K _Na-K _Mg-K' _Mg-K" _K -K' _
Refit _S -K
Filter Fit Method
Chi-sqd = 1.01 Livetime = 95.4 Sec.

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 5

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0180	3.449	10.39	6.21	+/- 0.16
Si-K	0.0492	2.630	20.78	12.93	+/- 0.19
P -K	0.0005	2.433	0.16	0.11	+/- 0.12
S -K	0.0000	1.743	0.00	0.00	+/- 0.00
Cl-K	0.0022	1.631	0.46	0.36	+/- 0.10
N -K	0.0000	5.028	0.00	0.00	+/- 0.00
F -K	0.0000	3.041	0.00	0.00	+/- 0.00
Na-K	0.0000	8.196	0.00	0.00	+/- 0.01
Mg-K	0.0046	4.690	3.99	2.15	+/- 0.13
K -K	0.0640	1.256	9.28	8.04	+/- 0.16
Ca-K	0.0023	1.205	0.31	0.28	+/- 0.11
Ti-K	0.0224	1.137	2.40	2.54	+/- 0.27
V -K	0.0005	1.090	0.05	0.05	+/- 0.13
Cr-K	0.0000	0.974	0.00	0.00	+/- 0.00
Mn-K	0.0056	1.108	0.51	0.62	+/- 0.18
Fe-K	0.5544	1.068	47.84	59.21	+/- 0.83
Ni-K	0.0048	1.188	0.44	0.57	+/- 0.25
Cu-K	0.0139	1.208	1.19	1.67	+/- 0.32
Zn-K	0.0088	1.177	0.72	1.04	+/- 0.38
Se-K	0.0074	1.217	0.51	0.90	+/- 0.99
Br-K	0.0005	1.197	0.04	0.07	+/- 1.27
Cd-L	0.0071	1.286	0.37	0.91	+/- 0.40
In-L	0.0000	1.187	0.00	0.00	+/- 0.00
Hg-L	0.0150	1.453	0.49	2.18	+/- 1.96
Pb-L	0.0000	1.456	0.00	0.00	+/- 0.00
Pr-L	0.0000	1.102	0.00	0.00	+/- 0.00
Nd-L	0.0000	1.094	0.00	0.00	+/- 0.00
W -M	0.0000	2.026	0.00	0.00	+/- 0.00
Zr-L	0.0007	2.026	0.07	0.14	+/- 0.24
Total			100.00	100.00	

G1A13-b

Wed Dec 13 19:15:20 2000

Refit _P -K' _P -K" _S -K' _S -K" _Cl-K' _Cl-K" _N -K' _
Refit _S -K _N -K _F -K _Mg-K' _Mg-K" _K -K' _Ti-K" _
Refit _In-L _W -M
Filter Fit Method
Chi-sqd = 0.86 Livetime = 100.0 Sec.

PROZA Correction Acc.Volt.= 20 kV Take-off Angle=19.11
Number of Iterations = 7

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)
Al-K	0.0873	2.130	22.62	18.58	+/- 0.37
Si-K	0.1711	2.267	45.37	38.80	+/- 0.44
P -K	0.0007	3.113	0.22	0.21	+/- 0.17
S -K	0.0000	2.126	0.00	0.00	+/- 0.00
Cl-K	0.0021	1.943	0.38	0.41	+/- 0.11
N -K	0.0000	8.302	0.00	0.00	+/- 0.00
F -K	0.0000	4.500	0.00	0.00	+/- 0.00
Na-K	0.0010	3.607	0.54	0.38	+/- 0.25
Mg-K	0.0213	2.461	7.09	5.25	+/- 0.15
K -K	0.0791	1.439	8.56	11.38	+/- 0.33
Ca-K	0.0013	1.396	0.15	0.18	+/- 0.11
Ti-K	0.0234	1.302	2.09	3.05	+/- 0.13
V -K	0.0013	1.258	0.11	0.16	+/- 0.11
Cr-K	0.0000	1.164	0.00	0.00	+/- 0.00
Mn-K	0.0017	1.210	0.12	0.21	+/- 0.14
Fe-K	0.1461	1.162	9.99	16.98	+/- 0.48
Ni-K	0.0015	1.184	0.10	0.17	+/- 0.17
Cu-K	0.0091	1.206	0.57	1.10	+/- 0.22
Zn-K	0.0083	1.193	0.50	0.99	+/- 0.26
Se-K	0.0052	1.284	0.28	0.67	+/- 0.67
Br-K	0.0010	1.270	0.05	0.13	+/- 0.88
Cd-L	0.0028	1.486	0.12	0.42	+/- 0.48
In-L	0.0000	1.355	0.00	0.00	+/- 0.00
Hg-L	0.0056	1.515	0.14	0.85	+/- 1.40
Pb-L	0.0000	1.528	0.00	0.00	+/- 0.00
Pr-L	0.0007	1.300	0.02	0.09	+/- 0.31
Nd-L	0.0000	1.268	0.00	0.00	+/- 0.00
W -M	0.0000	1.778	0.00	0.00	+/- 0.00
Zr-L	0.0000	2.352	0.00	0.00	+/- 0.00
Total			100.00	100.00	

A análise do ponto a indica que o fragmento de mica apresenta acumulações de Fe acompanhado por Cu, Ni, Zn e Cd. Já a análise do ponto b, em outro fragmento, evidencia associação do Fe com Zn e Cu. Assim, evidencia-se que as micas analisadas, integrantes dos resíduos, contêm acumulações localizadas de metais, principalmente Cu, Zn, Ni e Cd, metais esses que devem ter sido incorporados a elas a partir dos resíduos. Essa constatação tem especial importância pois as micas são os minerais mais abundantes nos resíduos depois do quartzo, Aparentemente elas têm a capacidade de reter alguns dos metais traço presentes nos resíduos.

C. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO SOTOPOSTO AOS RESÍDUOS

1. Caracterização química

A caracterização química dos solos sotopostos aos 3 corpos de resíduos foi realizada através da determinação do pH de abrasão e do conteúdo em metais pesados a partir de duas aberturas. Os resultados são apresentados a seguir.

a. pH

a1. Determinação dos valores do pH de abrasão

- Corpo Oeste: perfil A

No corpo Oeste foram coletadas 16 amostras do solo sotoposto para determinação do pH, em perfil vertical com 3,20 m. Os resultados estão na **Tabela V-71**.

TABELA V-71: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil A do corpo Oeste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
CWA-03	2,80 a 3,00	2,90	7,42
CWA-02	3,10 a 3,30	3,20	6,95
CWA-01	3,30 a 3,50	3,40	6,02
TWA-01	3,50 A 3,70	3,60	5,90
TWA-02	3,70 A 3,90	3,80	5,85
TWA-03	3,90 A 4,00	3,95	5,70
TWA-04	4,00 A 4,20	4,10	5,69
TWA-05	4,20 A 4,40	4,30	5,67
TWA-06	4,40 A 4,60	4,50	5,65
TWA-07	4,60 A 4,80	4,70	5,60
TWA-08	4,80 A 5,00	4,90	5,59
TWA-09	5,00 A 5,20	5,10	5,58
TWA-10	5,20 A 5,40	5,30	5,50
TWA-11	5,40 A 5,60	5,50	5,55
TWA-12	5,60 A 5,80	5,70	5,30
TWA-13	5,80 A 6,00	5,90	5,28
Média	5,83		
Desvio Padrão	0,57		
Erro da média	0,14		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)	**5,83± 0.19**		

O solo imediatamente sotoposto ao perfil A do corpo Oeste apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 5.83 ± 0.18.

- Corpo Sul: perfil A

No perfil A do corpo Sul foram coletadas 15 amostras do solo sotoposto para determinação do pH num intervalo vertical de 3,10 m. Os resultados das determinações encontram-se na **Tabela V-72**.

TABELA V-72: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil A do corpo Sul

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
CSA-01	3,10 a 3,20	3,15	7,65
TSA-01	3,20 a 3,40	3,30	7,33
TSA-02	3,40 a 3,60	3,50	7,32
TSA-03	3,60 a 3,80	3,70	7,20
TSA-04	3,80 a 4,00	3,90	7,11
TSA-05	4,00 a 4,20	4,10	6,99
TSA-06	4,20 a 4,40	4,30	6,78
TSA-07	4,40 a 4,60	4,50	6,72
TSA-08	4,60 a 4,80	4,70	6,70
TSA-09	4,80 a 5,00	4,90	6,65
TSA-10	5,00 a 5,20	5,10	6,65
TSA-11	5,20 a 5,40	5,30	6,30
TSA-12	5,40 a 5,60	5,50	5,98
TSA-13	5,60 a 5,80	5,70	5,32
TSA-14	5,80 a 6,00	5,90	5,30
Média	6,67		
Desvio Padrão	0,69		
Erro da média	0,18		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)	**6,67± 0.24**		

O solo imediatamente sotoposto ao perfil A do corpo Sul apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 6.67 ± 0.24.

- Corpo Sul: perfil B

No perfil B do corpo Sul foram coletadas 14 amostras do solo sotoposto para determinação do pH num intervalo vertical de 2,80 m. Os resultados das determinações encontram-se na **Tabela V-73.**

TABELA V-73: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil B do corpo Sul

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
CSB-01	2,90 a 3,00	2.95	7,75
TSB-01	3,00 a 3,20	3,10	7,72
TSB-02	3,20 a 3,40	3,30	7,70
TSB-03	3,40 a 3,60	3,50	7,69
TSB-04	3,60 a 3,80	3,70	7,66
TSB-05	3,80 a 4,00	3,90	6,90
TSB-06	4,00 a 4,20	4,10	5,35
TSB-07	4,20 a 4,40	4,30	5,30
TSB-08	4,40 a 4,60	4,50	5,82
TSB-09	4,60 a 4,80	4,70	5,92
TSB-10	4,80 a 5,00	4,90	5,97
TSB-11	5,00 a 5,20	5,10	6,10
TSB-12	5,20 a 5,40	5,30	6,22
Média	6,62		
Desvio Padrão	0,97		
Erro da média	0,27		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)	**6.62 ± 0.39**		

O solo imediatamente sotoposto ao perfil B do corpo Sul apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 6,62 ± 0.39.

- Corpo Sul: perfil C

No perfil C do corpo Sul foi coletada 1 amostra do solo sotoposto para determinação do pH num intervalo vertical de 0,20 m. Os resultados das determinações encontram-se na **Tabela V-74.**

TABELA V-74: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil C do corpo Sul

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
CSC-01	1,70 a 1,90	1,80	7,89
Valor mais provável	7,89		

O única amostra de solo imediatamente sotoposto ao perfil C do corpo Sul apresenta pH 7,89.

- Corpo Leste: perfil A

No perfil A do corpo Leste foram coletadas 3 amostras do solo sotoposto para determinação do pH num intervalo vertical de 0,60 m. Os resultados das determinações estão apresentados na **Tabela V-75**.

TABELA V-75: Valores de pH's no solo sotoposto ao perfil A do corpo Leste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
TEA-06	1,00 A 1,20	1,10	8,19
TEA-07	1,20 A 1,40	1,30	8,15
TEA-08	1,40 A 1,60	1,50	8,10
Média	8,15		
Desvio Padrão	0,05		
Erro da média	0,03		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)	**8.15± 0.03**		

O solo imediatamente sotoposto ao perfil A do corpo Leste apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 8,15 ± 0,03.

- Corpo Leste: perfil B

No perfil B do corpo Leste foi coletada 1 amostra do solo sotoposto para determinação do pH num intervalo vertical de 0,20 m. O resultado da determinação encontra-se na **Tabela V-76**.

TABELA V-76: Valor de pH no solo sotoposto ao perfil B do corpo Leste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
TEB-08	1,40 a 1,60	1,50	7,52
Valor mais provável	**7.52**		

O solo imediatamente sotoposto ao perfil B do corpo Sul apresenta pH 7,52.

- Corpo Leste: perfil C

No perfil C do corpo Leste foi coletada 1 amostra de solo sotoposto para determinação do pH num intervalo vertical de 0,20 m. O resultado da determinação encontra-se na **Tabela V-77**.

TABELA V-77: Valor de pH no solo sotoposto ao perfil C do corpo Leste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
TEC-05	0,80 a 0,90	0.85	7,85
Valor mais provável		**7.85**	

O solo imediatamente sotoposto ao perfil Leste C apresenta pH 7,85.

- Corpo Leste: perfil D

No perfil D do corpo Leste foram coletadas 14 amostras de solo em local situado ao lado dos resíduos, mas não recoberto diretamente por eles. A determinação do pH aplica-se a um intervalo vertical de 2,80 m. Os resultados estão na **Tabela V-78**.

TABELA V-78: Valores de pH's no solo do perfil D do corpo Leste

AMOSTRA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	PONTO MÉDIO (m)	pH
TED-01	0,00 a 0,20	0,10	4,32
TED-02	0,20 a 0,40	0,30	4,45
TED-03	0,40 a 0,60	0,50	4,90
TED-04	0,60 a 0,80	0,70	5,10
TED-05	0,80 a 1,00	0,90	5,57
TED-06	1,00 a 1,20	1,10	5,70
TED-07	1,20 a 1,40	1,30	6,10
TED-08	1,40 a 1,60	1,50	6,12
TED-09	1,60 a 1,80	1,70	6,15
TED-10	1,80 a 2,00	1,90	6,75
TED-11	2,00 a 2,20	2,10	6,72
TED-12	2,20 a 2,40	2,30	6,69
TED-13	2,40 a 2,60	2,50	6,22
TED-14	2,60 a 2,80	2,70	5,70
Média	5,75		
Desvio Padrão	0,80		
Erro da média	0,21		
Valor mais provável (Limite de confiança de 90 %)	**5,75 ± 0,29**		

O solo do perfil Leste D apresenta pH médio com 90% de probabilidade de ser 5,75 ± 0,29.

Para comparação, a **Tabela V-79** exibe os valores médios dos pH's calculados para cada perfil individual bem como aqueles calculados para cada corpo de resíduos. O perfil Leste D não foi incluído nesse cálculo, pois corresponde a solos não sotopostos a resíduos. Cabe salientar que a comparação entre valores médios de pH's pode ser feita apenas para os solos amostrados nos perfis Oeste A, Sul A e Sul B, que apresentam espessuras e profundidades equivalentes entre si.

TABELA V-79: Valores médios dos pH's de abrasão dos solos sotopostos

PERFIL / CORPO	Valor médio do pH de abrasão
PERFIL/CORPO OESTE A	**5,83 ± 0,19**
SUL A	**6,67 ± 0,24**
SUL B	**6,62 ± 0,39**
SUL C	**7,89**
CORPO SUL	**6,65 ± 0,32 (*)**
LESTE A	**8,15**
LESTE B	**7,52**
LESTE C	**7,85**
LESTE D	**5,75**
CORPO LESTE	**NC**
GERAL	**NC**

(*) : Calculado apenas a partir dos perfis A e B. NC: Não calculado

. Considerações preliminares: 11) Valores dos pH's do solo

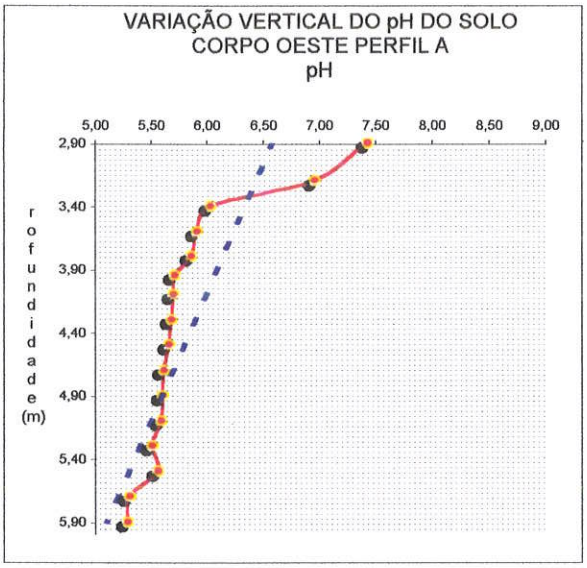
O solo sotoposto ao corpo Oeste, que é o mais antigo, apresenta pH médio próximo a 5,8. Este valor é cerca de 14% inferior ao pH médio calculado para os solos dos perfis Sul A e Sul B, amostrados sob o corpo Sul, de idade mais recente. Enquanto isso, a análise do perfil Leste D, amostrado em solos não recobertos por resíduos, resultou em um pH médio também próximo a 5,8; mesmo valor obtido para os solos sotopostos ao perfil Oeste A.

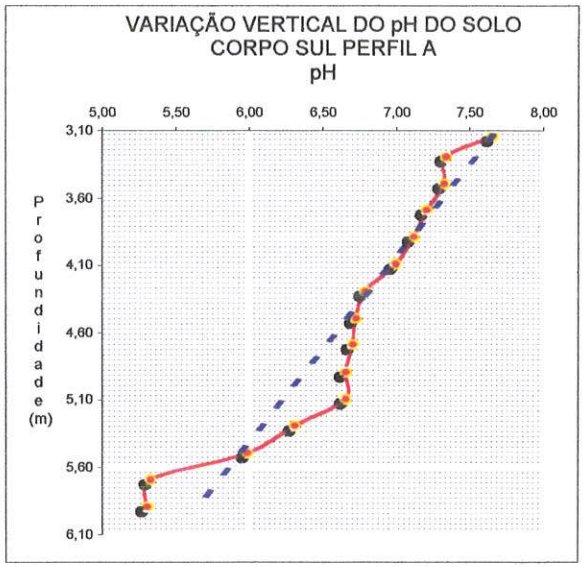
Esses resultados sugerem a ocorrência de um processo de modificação dos pH's naturais dos solos em função da presença dos resíduos: os solos sofreriam inicialmente uma elevação brusca nos valores do seu pH logo após a disposição dos resíduos, principalmente em seus níveis mais superficiais. Com o passar do tempo ocorreria uma gradual diminuição nos valores dos pH's até que fossem atingidos novamente valores médios próximos aos iniciais. Esse ciclo aparentemente ocorreu de forma completa no solo amostrado sob o corpo Oeste: seus pH's médios retornaram aos valores iniciais, muito próximos aos apresentados por solos não impactados diretamente por resíduos, como é o caso do perfil Leste D.

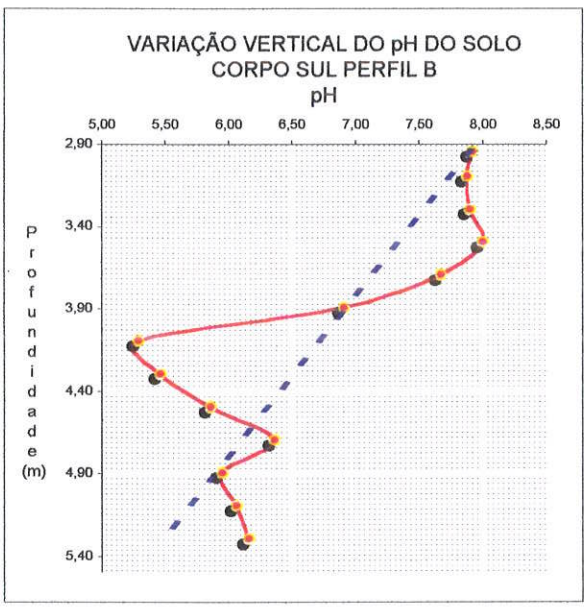
a2. Variação vertical dos valores do pH em cada ponto amostrado

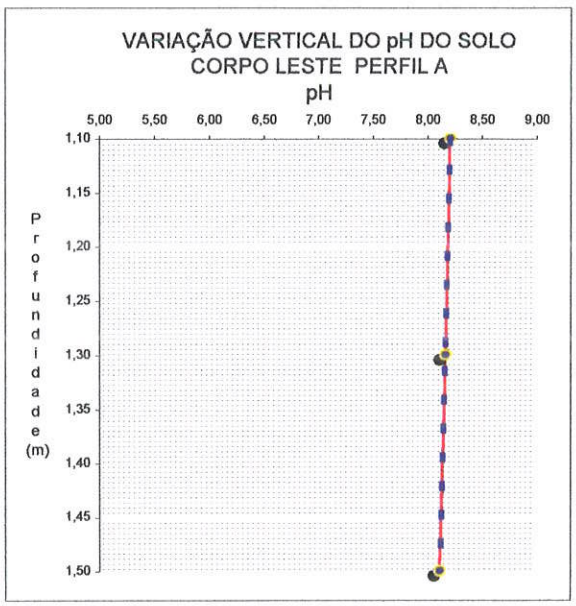
A variação vertical dos pH's dos solos sotopostos aos perfis Oeste A, Sul A, Sul e Leste A e do solo do perfil Leste D, com as respectivas linhas de tendência, são apresentadas na **Figura V-21**. Nos perfis Leste B, Leste C e Sul C não foram coletadas amostras em número suficientes para permitir esse tipo de avaliação.

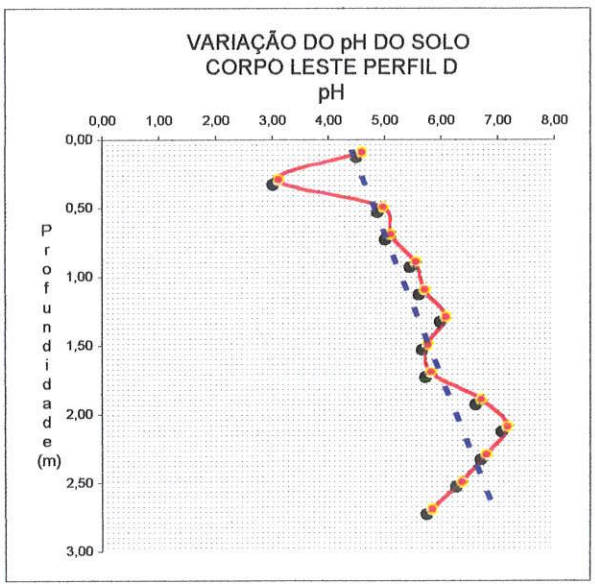
FIGURA V-21: Variação vertical dos pH's dos solos sotopostos aos resíduos











Observando-se os gráficos da **Figura V-21** percebe-se que os perfis Oeste A, Leste A, Sul A e Sul B apresentam clara tendência de diminuição do pH com o aumento da profundidade. Verifica-se também nesses perfis que a porção de solo em contato direto com os resíduos, até uma profundidade aproximada de 20 cm, apresenta pH superior a 7,4. Já o perfil Leste D, amostrado em solo que não recebeu aporte direto de resíduos, mostra tendência inversa: pH's inferiores a 4,5 na sua zona mais superficial que aumentam em função da profundidade.

. Considerações preliminares: 12) A variação vertical dos pH's do solo

A observação da variação dos valores dos pH's em função da profundidade, nos solos recobertos por lodos, evidenciam claramente o efeito dos resíduos. As zonas mais superficiais dos solos apresentam pH's invariavelmente superiores aos medidos nas zonas mais profundas. Essa influência ocorre de forma muito evidente até a profundidade de 0,90m e é especialmente intensa até a profundidade de 0,20m. Para efeito de comparação, os pH's medidos nos solos do perfil Leste D, não submetidos a contato direto com resíduos, foram tomados como valores representativos dos pH's dos solos naturais da área. A comparação leva às seguintes observações:

. Os aumentos médios de pH no intervalo 0,00m a 0,20m nos solos dos perfis Oeste A, Sul A, Sul B, Sul, C, Leste A, Leste B e Leste C são é respectivamente de 72%, 77%, 79%, 83%, 90%, 74% e 82%.

. Os aumentos médios de pH no intervalo 0,00m a 0,90m nos solos dos perfis Oeste A, Sul A, e Sul B são é respectivamente de 35%, 50% e 58%.

. Os aumentos médios de pH no intervalo 0,00m a 2,00m nos solos dos perfis Oeste A, Sul A, e Sul B são é respectivamente de 11%, 21% e 23%.

. Os aumentos médios de pH no intervalo 0,00m a 2,80m nos solos dos perfis Oeste A e Sul A são é respectivamente de 9% e 18%.

Conclui-se que o do aumento do pH dos solos ocorreu de forma intensa nas zonas mais superficiais (elevações entre 72% e 90%), decrescendo de intensidade com o aumento da profundidade. Considerando-se o intervalo 0,00 a 2,80 a elevação média do pH varia entre 9% e 18%.

b. Dosagem dos metais com abertura por ácidos fortes a quente

A análise química dos metais nos solos sotopostos aos corpos Oeste, Sul e Leste, a partir da abertura por ácidos fortes a quente, chegou aos resultados exibidos nas **Tabelas V-80 a V-87**.

b1. Avaliação do significado ambiental dos resultados obtidos

Para estimativa do grau de contaminação dos solos sotopostos, foram utilizados os conceitos de "teor de referência" e "teor de intervenção", ambos propostos em CETESB, (2000). O teor de referência para uma dada substância é aquele considerado como natural em solos não afetados por atividades antropogênicas. Esses valores foram calculados, para os solos do estado de São Paulo, de acordo com método descrito em CETESB, (2000). O teor de intervenção para uma dada substância é aquele para o qual se considera obrigatória a tomada de medidas mitigadoras dos impactos e a remediação ambiental. Ambos os teores são exibidos na **Tabela V-88**.

TABELA V-88: Teores de referência e intervenção - solos - Estado de São Paulo

METAL	TEORES DOS METAIS (mg/kg)				
	TEORES DE REFERÊNCIA	TEORES DE INTERVENÇÃO			
		Áreas de Proteção	Áreas Agrícolas	Áreas Residenciais	Áreas industriais
Ag	0,25	15	20	50	100
Cd	<0,5	2	3	9	11
Cr	40	200	250	700	2000
Cu	35	1000	1100	5000	7000
Mn	461	--	--	--	--
Ni	13	400	450	1700	2700
Pb	17	100	140	350	800
Zn	59,9	3500	4000	13000	17000

CETESB, (2000).

Nas Tabelas V-80 a V-87 as células marcadas em **cinza** apresentam teores **até 2 vezes** acima do Teor de Referência. As células em amarelo contêm de 2 a 5 vezes esse teor, enquanto as células em **vermelho** contêm **mais do que 5 vezes** esse teor. As células delimitadas por linhas duplas correspondem a teores que superam os valores definidos como teores de intervenção para Áreas de Proteção. Já as células delimitadas por linhas triplas correspondem a teores que superam os valores definidos como sendo os teores de intervenção para Áreas de Uso Agrícola. Nenhum teor superou os teores de intervenção calculados para Áreas Residenciais e Industriais.

TABELA V-80: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Oeste – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR NO SOLO SOTOPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO OESTE – PERFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CWA-03	2,80 a 3,00	2,90	0,00	0,00	25,00	74,00	17,00	25,00	45,00	26300,00	150,00
CWA-02	3,10 a 3,30	3,20	0,20	0,00	21,00	100,00	15,00	38,00	48,00	15400,00	340,00
CWA-01	3,30 a 3,50	3,40	0,00	0,00	85,00	109,00	30,00	18,00	58,00	25300,00	500,00
TWA-01	3,50 A 3,70	3,60	0,00	0,00	22,00	80,00	9,00	20,00	35,00	17300,00	150,00
TWA-02	3,70 A 3,90	3,80	0,20	0,00	22,00	92,00	10,00	26,00	52,00	18700,00	90,00
TWA-03	3,90 A 4,00	3,95	0,10	0,00	23,00	80,00	13,00	27,00	65,00	19300,00	150,00
TWA-04	4,00 A 4,20	4,10	0,10	0,00	32,00	68,00	17,00	34,00	72,00	24300,00	210,00
TWA-05	4,20 A 4,40	4,30	0,00	0,00	24,00	46,00	12,00	20,00	50,00	11300,00	70,00
TWA-06	4,40 A 4,60	4,50	0,00	0,00	21,00	47,00	13,00	17,00	50,00	10700,00	60,00
TWA-07	4,60 A 4,80	4,70	0,20	0,00	12,00	149,00	9,00	12,00	40,00	7800,00	40,00
TWA-08	4,80 A 5,00	4,90	0,00	0,00	20,00	43,00	15,00	15,00	44,00	9500,00	60,00
TWA-09	5,00 A 5,20	5,10	0,00	0,00	16,00	110,00	16,00	17,00	41,00	10000,00	70,00
TWA-10	5,20 A 5,40	5,30	0,00	0,00	12,00	107,00	10,00	14,00	37,00	9200,00	40,00
TWA-11	5,40 A 5,60	5,50	0,00	0,00	11,00	112,00	9,00	14,00	34,00	9100,00	50,00
TWA-12	5,60 A 5,80	5,70	0,00	0,00	12,00	164,00	10,00	12,00	38,00	10500,00	70,00
TWA-13	5,80 A 6,00	5,90	0,00	0,00	11,00	154,00	10,00	13,00	43,00	8600,00	50,00
Média			0,05	0,00	23,06	95,94	13,44	20,13	47,00	14581,25	131,25
Desvio Padrão			0,08	0,00	17,60	37,47	5,29	7,86	10,71	6449,93	126,43
Erro da média			0,02	0,00	4,40	9,37	1,32	1,96	2,68	1612,48	31,61
Valor mais provável (limite de confiança. De 90 %) (Student)			**0,05 ± 0,03**	**0,00± 0,00**	**23,06± 5,90**	**95,94 ± 12,57**	**13,44 ± 1,77**	**20,13 ± 2,63**	**47,00± 3,59**	**14581,25 ± 2162,33**	**131,25 ± 42,39**

TABELA V-81: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Sul – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR NO SOLO SOTOPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO SUL – PEFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSA-01	3,10 a 3,20	3,15	0,20	0,00	69,00	134,00	30,00	33,00	70,00	37600,00	360,00
TSA-01	3,20 a 3,40	3,30	3,10	2,00	136,00	291,00	86,00	71,00	378,00	52000,00	280,00
TSA-02	3,40 a 3,60	3,50	0,50	0,00	59,00	128,00	30,00	50,00	85,00	43700,00	240,00
TSA-03	3,60 a 3,80	3,70	1,60	0,60	86,00	204,00	50,00	46,00	205,00	38400,00	230,00
TSA-04	3,80 a 4,00	3,90	3,50	1,70	144,00	235,00	77,00	60,00	344,00	35100,00	270,00
TSA-05	4,00 a 4,20	4,10	1,60	0,80	78,00	232,00	46,00	45,00	184,00	33000,00	290,00
TSA-06	4,20 a 4,40	4,30	0,60	0,00	33,00	152,00	26,00	28,00	93,00	36200,00	240,00
TSA-07	4,40 a 4,60	4,50	0,03	0,00	22,00	145,00	17,00	26,00	89,00	22800,00	230,00
TSA-08	4,60 a 4,80	4,70	0,00	0,00	14,00	89,00	12,00	21,00	77,00	19600,00	190,00
TSA-09	4,80 a 5,00	4,90	0,00	0,00	13,00	96,00	12,00	20,00	73,00	18700,00	190,00
TSA-10	5,00 a 5,20	5,10	0,10	0,00	13,00	142,00	13,00	22,00	84,00	19800,00	200,00
TSA-11	5,20 a 5,40	5,30	0,10	0,00	40,00	156,00	24,00	24,00	93,00	23600,00	170,00
TSA-12	5,40 a 5,60	5,50	0,00	0,00	22,00	118,00	25,00	21,00	87,00	20800,00	160,00
TSA-13	5,60 a 5,80	5,70	0,00	0,00	24,00	166,00	26,00	20,00	93,00	21400,00	280,00
TSA-14	5,80 a 6,00	5,90	0,00	0,00	22,00	108,00	14,00	18,00	58,00	19500,00	110,00
Média			0,76	0,34	51,87	159,73	32,53	33,67	134,20	29480,00	229,33
Desvio Padrão			1,17	0,66	43,18	57,24	22,93	16,68	100,78	10592,94	62,27
Erro da média			0,30	0,17	11,15	14,78	5,92	4,31	26,02	2735,08	16,08
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**0,76 ± 0,40**	**0,34 ± 0,23**	**51,87 ± 15,00**	**159,73 ± 19,88**	**32,53 ± 7,96**	**33,67 ± 5,80**	**134,20 ± 35,00**	**29480,00 ± 3678,68**	**229,33 ± 21,63**

TABELA V-82: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Sul – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR NO SOLO SOTOPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO SUL – PERFIL B								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSB-01	2,90 a 3,00	2.95	5,80	2,70	234,00	270,00	106,00	82,00	670,00	40100,00	420,00
TSB-01	3,00 a 3,20	3,10	2,30	1,50	122,00	230,00	72,00	105,00	285,00	46400,00	960,00
TSB-02	3,20 a 3,40	3,30	2,30	1,40	111,00	260,00	70,00	70,00	278,00	39000,00	460,00
TSB-03	3,40 a 3,60	3,50	0,40	0,30	58,00	163,00	36,00	41,00	113,00	43200,00	280,00
TSB-04	3,60 a 3,80	3,70	0,20	0,20	39,00	147,00	27,00	32,00	90,00	37100,00	230,00
TSB-05	3,80 a 4,00	3,90	0,10	0,00	13,00	177,00	16,00	23,00	78,00	17200,00	90,00
TSB-06	4,00 a 4,20	4,10	0,80	0,00	31,00	195,00	27,00	27,00	120,00	31700,00	260,00
TSB-07	4,20 a 4,40	4,30	0,30	0,00	39,00	203,00	30,00	29,00	130,00	34200,00	280,00
TSB-08	4,40 a 4,60	4,50	0,10	0,00	45,00	146,00	20,00	39,00	76,00	35300,00	300,00
TSB-09	4,60 a 4,80	4,70	0,00	0,00	28,00	123,00	11,00	50,00	53,00	26500,00	400,00
TSB-10	4,80 a 5,00	4,90	0,00	0,00	38,00	165,00	14,00	42,00	60,00	30500,00	320,00
TSB-11	5,00 a 5,20	5,10	0,00	0,00	48,00	176,00	12,00	45,00	50,00	20800,00	290,00
TSB-12	5,20 a 5,40	5,30	0,00	0,00	39,00	147,00	11,00	61,00	48,00	32300,00	310,00
Média			0,95	0,47	65,00	184,77	34,77	49,69	157,77	33407,69	353,85
Desvio Padrão			1,67	0,85	59,62	45,26	29,58	23,95	172,98	8369,34	204,11
Erro da média			0,46	0,24	16,53	12,55	8,20	6,64	47,98	2321,24	56,61
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			0,95 ± 0,62	0,47 ± 0,33	65,00± 22,41	184,77 ± 17,02	34,77 ± 11,12	49,69 ± 9,00	157,77± 65,06	33407,69 ± 3147,60	353,85 ± 76,63

TABELA V-83: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Sul – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR NO SOLO SOTOPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO LESTE – PERFIL B								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CSC-01	1,70 a 1,90	1.80	4,60	2,20	295,00	293,00	121,00	87,00	650,00	39700,00	570,00
Valor mais provável			4,60	2,20	295,00	293,00	121,00	87,00	650,00	39700,00	570,00

TABELA V-84: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Leste – Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR NO SOLO SOTOPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO LESTE – PERFIL A								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEA-06	1,00 a 1,20	1.10	0,30	0,00	54,00	226,00	30,00	32,00	94,00	33700,00	370,00
TEA-07	1,20 a 1,40	1.30	0,20	0,00	45,00	220,00	30,00	38,00	100,00	35700,00	390,00
TEA-08	1,40 a 1,60	1.50	0,00	0,00	40,00	124,00	25,00	28,00	80,00	33500,00	390,00
Média			0,17	0,00	46,33	190,00	28,33	32,67	91,33	34300,00	383,33
Desvio Padrão			0,15	0,00	7,09	57,24	2,89	5,03	10,26	1216,55	11,55
Erro da média			0,09	0,00	4,10	33,05	1,67	2,91	5,93	702,38	6,67
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			0,17 ± 0,17	0,00± 0,00	46,33± 7,73	190,00 ± 62,33	28,33 ± 3,15	32,67 ± 5,49	91,33± 11,18	34300,00 ± 1324,69	383,33 ± 12,58

TABELA V-85: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Leste – Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR NO SOLO SOTOPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO LESTE – PERFIL B								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEB-08	1,40 a 1,60	1,50	1,40	4,30	73,00	161,00	50,00	42,00	190,00	19400,00	650,00
Valor mais provável			1,40	4,30	73,00	161,00	50,00	42,00	190,00	19400,00	650,00

TABELA V-86: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Leste – Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR NO SOLOS SOTOPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO LESTE – PERFIL C								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TEC-05	0,80 a 0,90	0.85	6,00	4,30	400,00	338,00	96,00	90,00	600,00	19400,00	40,00
Valor mais provável			6,00	4,30	400,00	338,00	96,00	90,00	600,00	19400,00	40,00

TABELA V-87: Teores dos metais no solo sotoposto Corpo Leste – Perfil D

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	TEOR NO SOLO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE CORPO LESTE – PERFIL D								
			Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
TED-01	0,00 a 0,20	0,10	0,70	0,00	36,00	112,00	18,00	21,00	73,00	1760,00	110,00
TED-02	0,20 a 0,40	0,30	1,50	0,30	28,00	110,00	21,00	30,00	113,00	20800,00	130,00
TED-03	0,40 a 0,60	0,50	0,00	0,00	27,00	93,00	11,00	24,00	54,00	16300,00	90,00
TED-04	0,60 a 0,80	0,70	0,00	0,00	20,00	166,00	10,00	20,00	56,00	16400,00	130,00
TED-05	0,80 a 1,00	0,90	0,10	0,00	27,00	108,00	17,00	27,00	63,00	24200,00	440,00
TED-06	1,00 a 1,20	1,10	0,10	0,00	32,00	126,00	19,00	26,00	69,00	22500,00	390,00
TED-07	1,20 a 1,40	1,30	0,20	0,00	23,00	127,00	14,00	24,00	60,00	18400,00	300,00
TED-08	1,40 a 1,60	1,50	0,10	0,00	48,00	223,00	23,00	25,00	84,00	26500,00	700,00
TED-09	1,60 a 1,80	1,70	0,20	0,00	74,00	169,00	24,00	22,00	70,00	26400,00	540,00
TED-10	1,80 a 2,00	1,90	0,10	0,00	68,00	132,00	30,00	26,00	67,00	28800,00	830,00
TED-11	2,00 a 2,20	2,10	0,00	0,00	47,00	177,00	34,00	26,00	67,00	30100,00	1510,00
TED-12	2,20 a 2,40	2,30	0,30	0,00	50,00	184,00	27,00	26,00	69,00	31600,00	1120,00
TED-13	2,40 a 2,60	2,50	0,00	0,00	53,00	124,00	28,00	25,00	80,00	30700,00	840,00
TED-14	2,60 a 2,80	2,70	0,00	0,00	56,00	185,00	25,00	26,00	74,00	32600,00	810,00
Média			0,24	0,02	42,07	145,43	21,50	24,86	71,36	23361,43	567,14
Desvio Padrão			0,41	0,08	17,03	38,15	7,12	2,57	14,58	8314,58	425,47
Erro da média			0,11	0,02	4,55	10,20	1,90	0,69	3,90	2222,16	113,71
Valor mais provável (limite de confiança. de 90 %) (Student)			**0,24 ± 0,15**	**0,02± 0,02**	**42,07± 6,14**	**145,43± 13,77**	**21,50± 2,57**	**24,88 ± 0,93**	**71,36± 5,27**	**23361,43 ± 2999,92**	**567,14 ± 153,51**

. Considerações preliminares: 13) Comparação dos teores de metais encontrados nos solos com os teores de referência e de intervenção

A comparação entre os teores encontrados nos solos e os respectivos teores de referência e intervenção conduz às seguintes observações a respeito do comportamento de cada metal:

. Prata

A prata ocorre acima do teor de referência em todos os perfis amostrados com exceção do perfil Oeste A. Os teores são especialmente elevados nos perfis Sul A, Sul B, Sul C, Leste B, Leste C e Leste D. Nos perfis do corpo Sul, a prata ocorre concentrada em uma faixa com aproximadamente 1,00m de espessura, situada logo abaixo dos resíduos, em teores até **23 vezes** acima do teor de referência. No perfil Leste C o teor do solo logo abaixo dos resíduos é cerca de **30 vezes** superior ao teor de referência. Mesmo assim, a prata não corre em teores superiores a nenhum dos teores de intervenção definidos pela CETESB para solos.

. **Cádmio**

O cádmio ocorre acima do teor de referência nos perfis Sul A, Sul B, Sul C, Leste B e Leste C, não ocorrendo nos perfis Oeste A e Leste A. Cabe salientar que, teores especialmente elevados de Cd ocorrem no solo sotoposto aos perfis Leste B e Leste B, havendo concentrações até **8 vezes** superiores ao teor de referência. O cádmio corre em valores superiores aos teores de intervenção definidos para Áreas de Proteção nos três perfis do corpo Sul e para Áreas de Uso Agrícola nos perfis Leste B e Leste C.

. **Cromo**

O Cromo ocorre em teores superiores ao teor de referência em todos os perfis estudados. O perfil Oeste A é o menos afetado, com teores superiores ao teor de referência em apenas uma amostra. Em alguns níveis dos perfis Sul A, Leste A e Leste B o teor de referência é ultrapassado em até **6 vezes**. Em níveis dos perfis Sul C e Leste C o teor de Cr ultrapassa o teor de referência em **7 vezes** e **10 vezes** respectivamente, ultrapassando também o teor de intervenção definido para Áreas de Proteção e Áreas de Uso Agrícola. É evidente que as maiores concentrações de Cr ocorrem nos níveis mais superficiais do solo em todos os perfis. A única exceção é o perfil Leste D, onde elas ocorrem em profundidades superiores a 1,60m.

. **Cobre**

O Cobre é o metal mais amplamente disseminado nos perfis de solos analisados: todas as amostras analisadas em todos os perfis resultaram em teores superiores ao teor de referência. Em alguns níveis dos perfis Sul A, Sul B, Sul C e Leste A os teores de Cu ultrapassam o teor de referência em até **6 vezes**. As contaminações mais elevadas no entanto, ocorrem no nível 0,00 a 0,20m do perfil Leste C, onde o Cu ocorre em teores próximos a **10 vezes** o teor de referência. Verifica-se em todos os perfis a tendência de ocorrer teores mais elevados de Cu nos níveis mais superficiais do solo. Novamente a exceção é o perfil Leste D, amostrado em solos não recobertos por resíduos. Nesse perfil, as maiores concentrações de Cu ocorrem a partir de 1,60m de profundidade. Apesar de amplamente disseminado, os

teores de Cu não ultrapassam, em nenhum perfil, os teores de intervenção definidos para os diversos usos do solo.

. Níquel

O Níquel também ocorre em valores superiores aos teores de referência em todos os perfis. Os seus teores são especialmente elevados em alguns níveis dos perfis Sul A, Sul B, Sul C e Leste C, onde chegam a atingir cerca de **9 vezes** o valor do teor de referência. O perfil Oeste A é o que apresenta os menores teores de Ni. Os valores obtidos para os teores deste metal não ultrapassam os teores de intervenção definidos para nenhum dos diversos usos do solo.

. Chumbo

Assim como o cobre, o chumbo é um metal amplamente disseminado em todos os perfis analisados. Assim como o Cu, ocorre em toda a dimensão vertical de todos os perfis em teores de **2 a 5 vezes** o teor de referência. A única exceção a esse comportamento é o perfil Oeste A no qual o Pb ocorre em teores anômalos apenas nas amostras mais superficiais. Em alguns níveis dos perfis Sul B, Sul C e Leste C os teores de Pb chegam a ultrapassar em até **6 vezes** o teor de referência. Nesse último perfil, o Pb ocorre em concentrações superiores ao teor de intervenção definido para Áreas de Proteção.

. Zinco

O Zn também ocorre em teores anômalos em todos os perfis. Em alguns níveis dos perfis Sul A, Sul B, Sul C e Leste C o Zn ocorre em teores cerca de **10 vezes** superiores ao teor de referência. Nos demais perfis ocorre em valores de **1 a 2 vezes** esse teor. Mesmo assim, os valores obtidos para Zn não ultrapassam os teores de intervenção definidos para nenhum dos tipos de usos do solo.

.Manganês

O manganês ocorre em teores de **1 a 2 vezes** o seu teor de referência em alguns níveis dos perfis Oeste A, Sul C e Leste B. Já nos perfis Sul B e Leste D ocorre

em valores **2 a 3 vezes** acima desse teor. Os valores obtidos para Mn não ultrapassam os teores de intervenção definidos para nenhum dos tipos de uso do solo.

A comparação entre os teores médios dos perfis Oeste A, Sul A, Sul B e Leste D, que têm profundidades equivalentes, evidencia que o solo mais contaminado é o do perfil Sul B. Esse perfil apresenta os teores médios mais elevados para todos os metais, à exceção do Mn. Já o perfil de solos menos contaminado é o perfil Oeste A. Esse perfil, apesar de recoberto por resíduos, apresenta teores médios inferiores aos apresentados pelo perfil Leste D, não recoberto por resíduos, para todos os metais.

Depois de avaliados os comportamentos dos teores dos diversos metais, preliminarmente chega-se às seguintes conclusões:

. Ocorrem teores anômalos de Ag, Cd, Cr, Cu, Pb e Zn nos solos sotopostos aos perfis A, B e C do corpo Sul, principalmente no perfil Sul B. Dentre todos os corpos, o corpo Sul parece ser o responsável pela maior contaminação do subsolo.

. Ocorrem teores anômalos de vários metais nos perfis A, B e C do corpo Leste. No entanto, esses teores se devem a amostras do solo mais superficial, em contato direto com os resíduos.

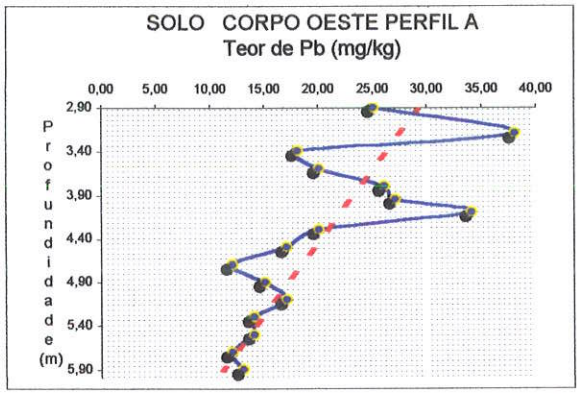
. O perfil Leste D, executado para coleta de amostras de solo não recoberto diretamente por resíduos, exibiu contaminação do solo por todos os metais estudados exceto Cd. A contaminação ocorreu apesar deste perfil não estar recoberto diretamente por resíduos. Uma explicação para esse fato, principalmente para os valores anômalos determinados nos níveis mais superficiais do perfil, seria o aporte de chorumes originados do Corpo Leste por escoamento superficial.

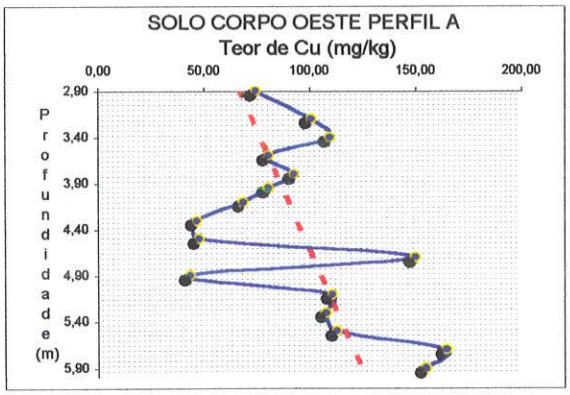
Verifica-se que as análises químicas dos solos da área pesquisada resultaram em teores superiores aos teores de referência para todos os metais estudados. Portanto, pode-se afirmar que ocorreu a contaminação dos solos por metais provenientes dos resíduos.

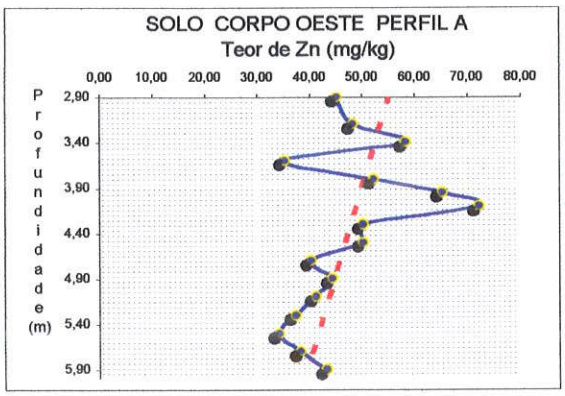
b2. A variação dos teores dos metais em função da profundidade

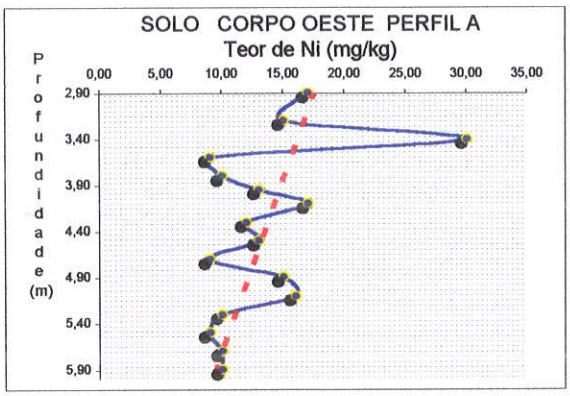
A distribuição vertical dos metais nos solos amostrados é apresentada a seguir nas **Figuras V-22 a V-25**.

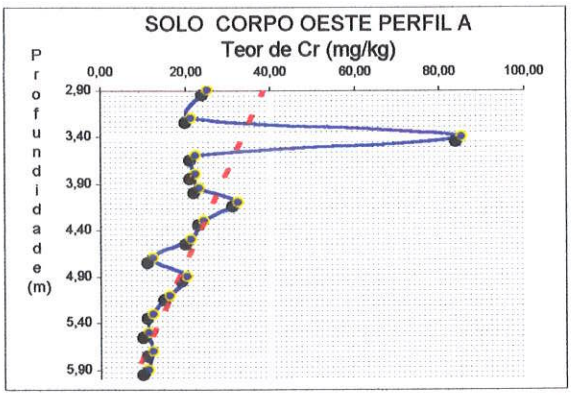
FIGURA V-22: Distribuição vertical de metais no solo Corpo Oeste Perfil A

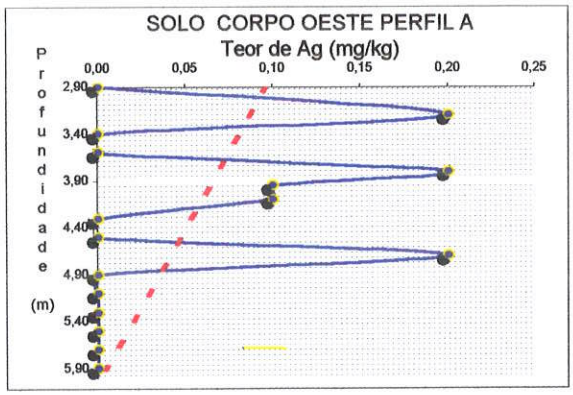


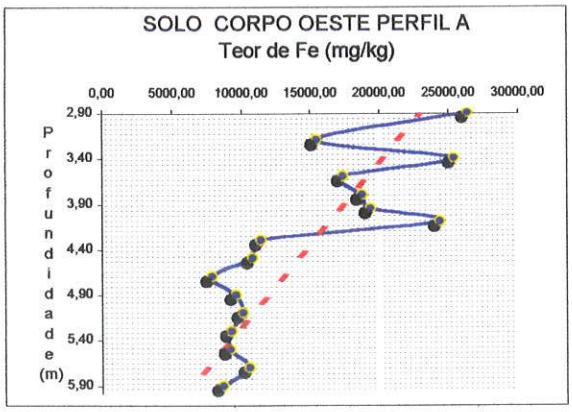












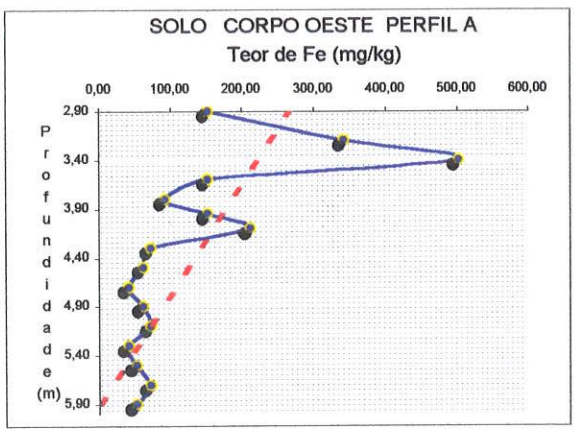
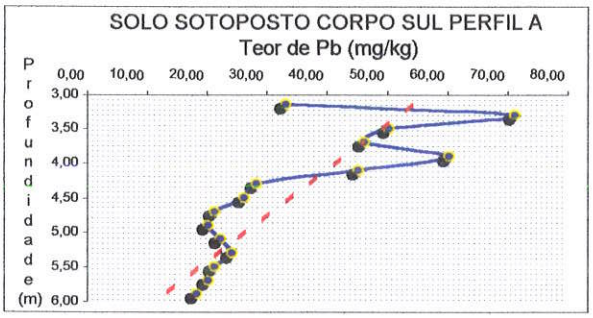
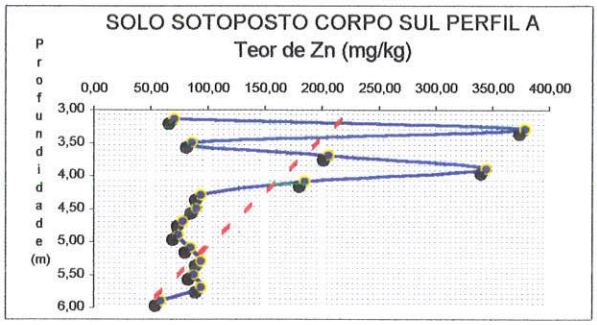
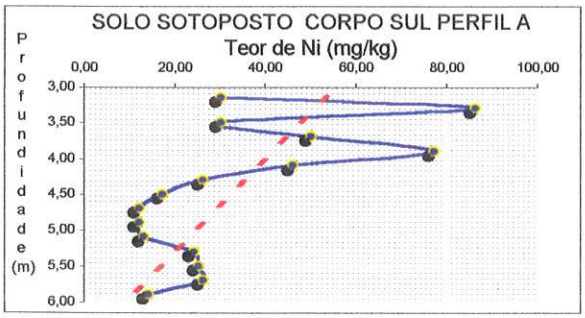
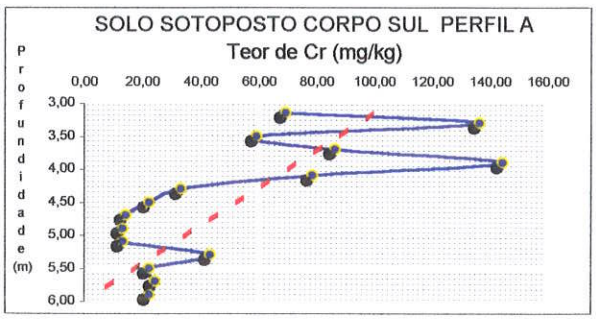


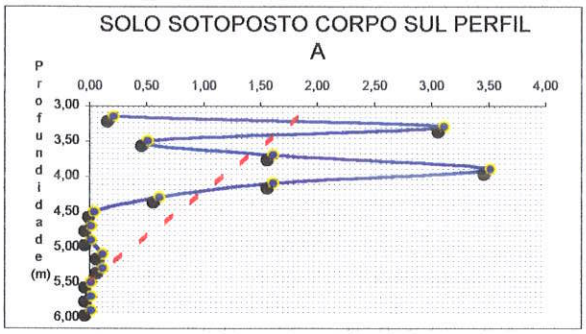
FIGURA V-23: Distribuição vertical de metais no solo Corpo Sul Perfil A

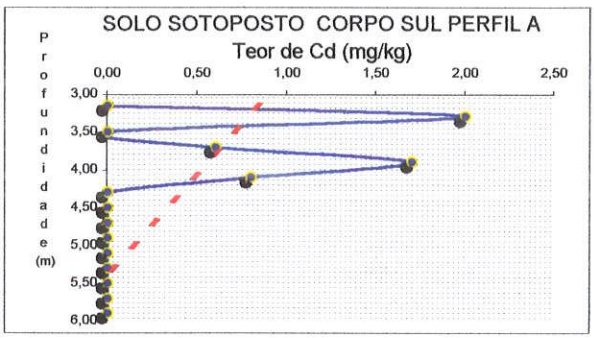


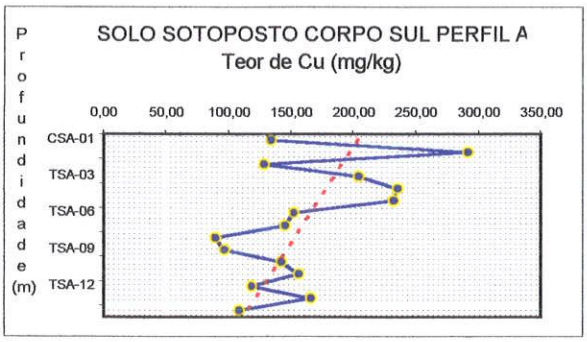


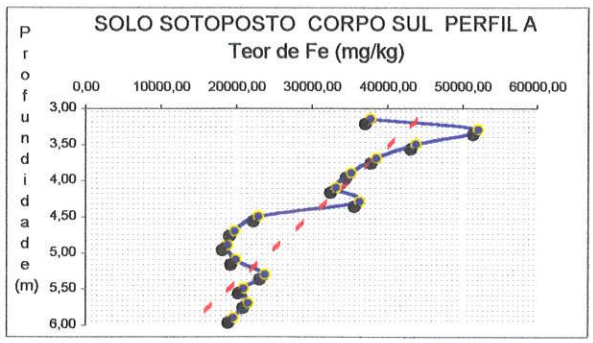












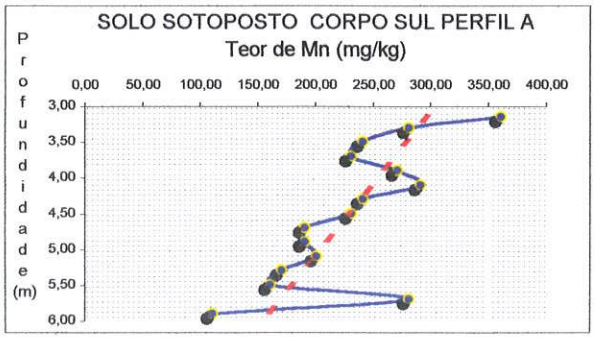
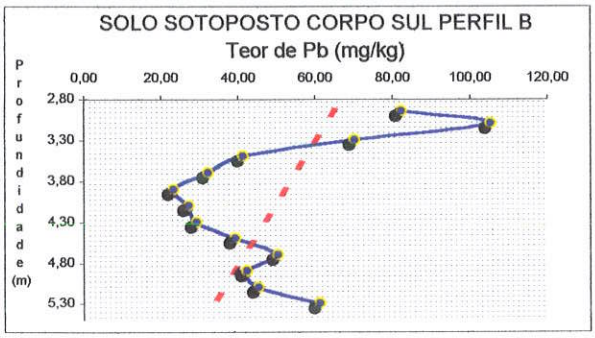
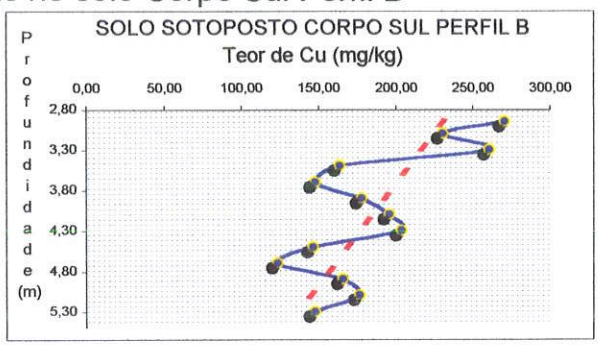
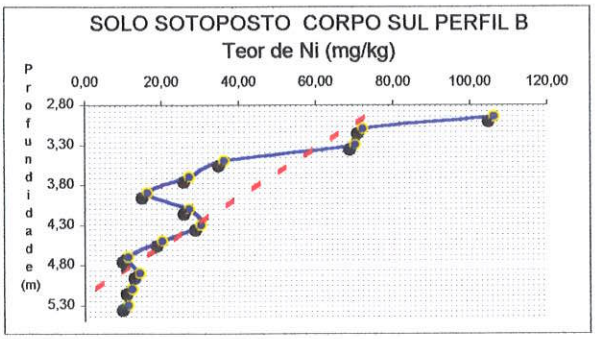
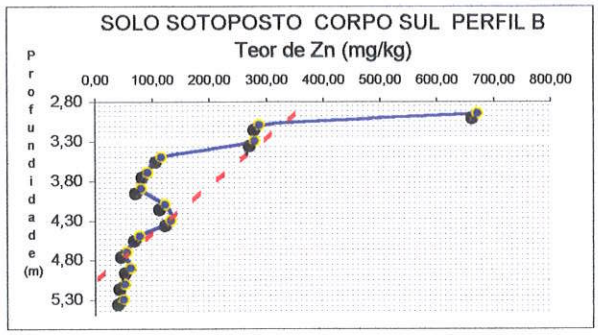


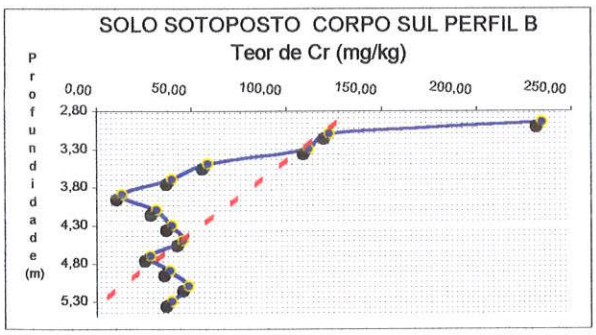
FIGURA V-24: Distribuição vertical de metais no solo Corpo Sul Perfil B

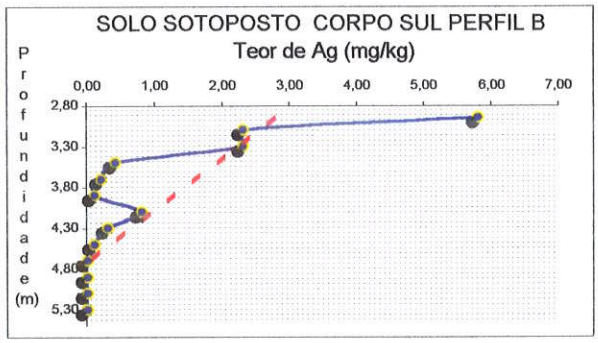


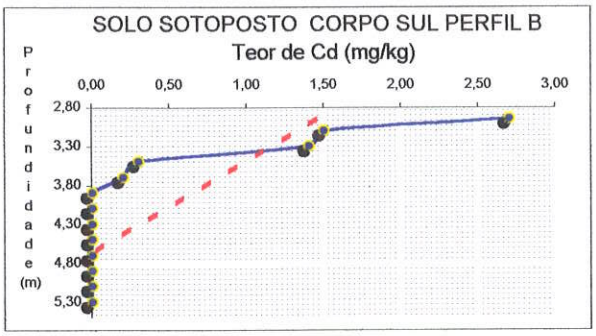


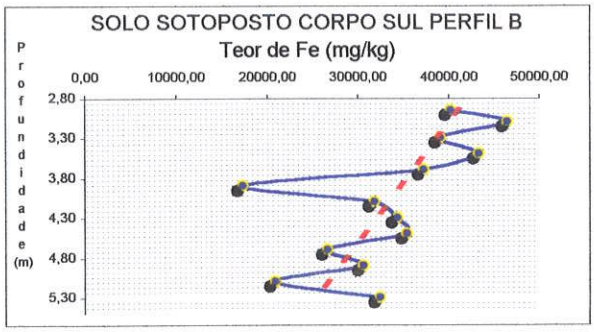












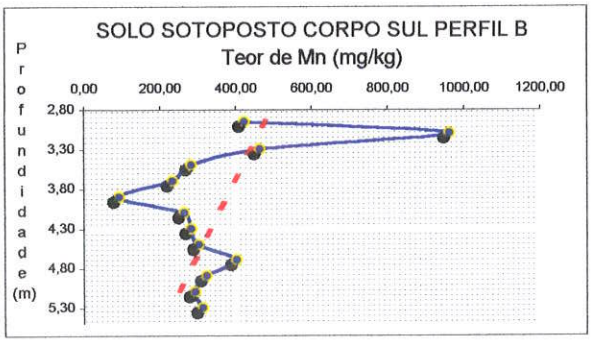
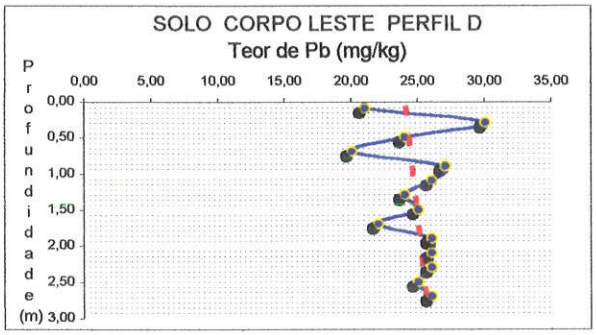
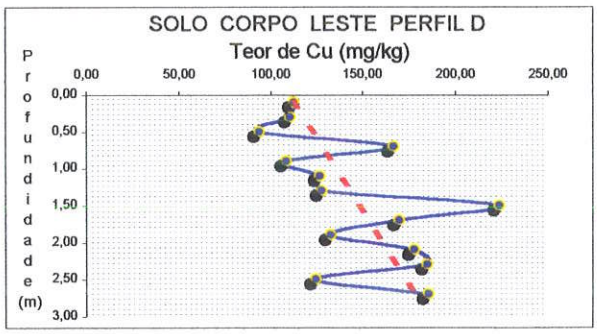
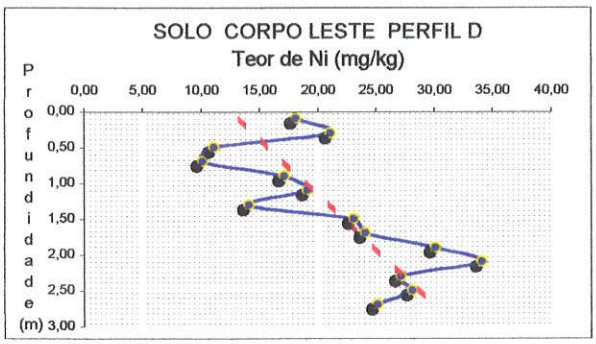
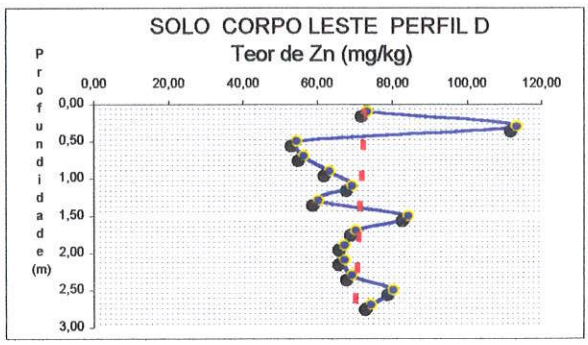


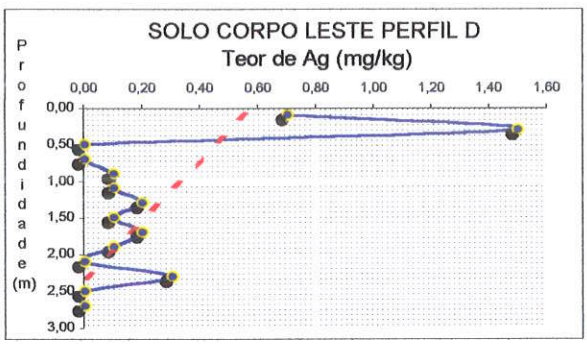
FIGURA V-25: Distribuição vertical de metais no solo Corpo Leste Perfil D

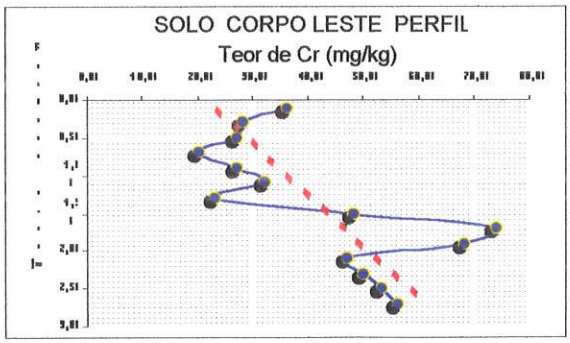


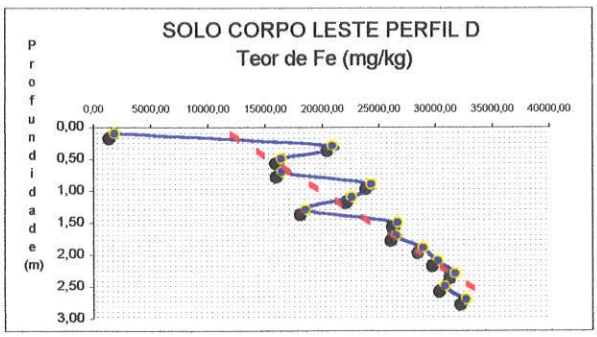


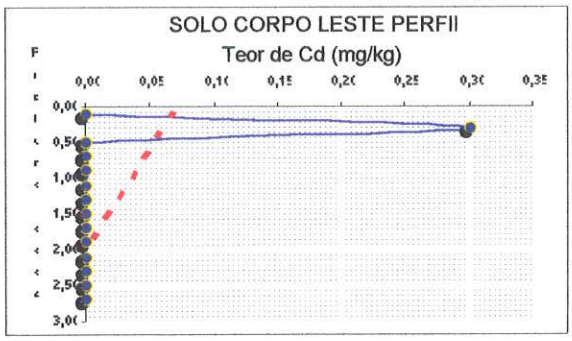


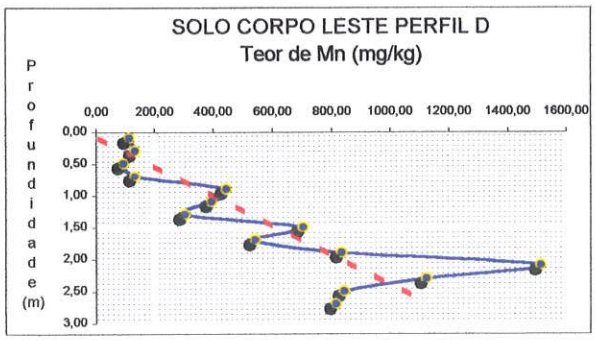












Considerações preliminares: 14) A variação dos teores em função da profundidade

Observando-se a distribuição vertical dos teores de metais nos solos evidenciam-se as seguintes tendências:

. Nos perfis Sul A e Sul B, a concentração de todos os metais diminui conforme aumenta a profundidade no solo.

. No solo do perfil Oeste A, todos os metais também apresentam tendência de decréscimo com o aumento da profundidade, com exceção do Cu, de comportamento oposto.

. No perfil Leste D, os teores dos metais Pb, Cu, Ni, Cr, Fe e Mn apresentam clara tendência de aumento com o aumento da profundidade. Já os metais Zn, Ag e Cd apresentam tendência oposta. Esse fenômeno, no entanto, ocorre exclusivamente em função dos teores mais elevados dos metais existentes nos primeiros 30 cm do solo. Caso não se considere essas amostras, a tendência dos teores a partir dos 30cm de profundidade é também o de aumentar com a profundidade. Essa constatação leva à sugestão de que a água subterrânea pode ter sido um dos responsáveis pelo aporte de metais aos níveis mais profundos do perfil de solo no ponto Leste D. Cabe lembrar que esse local não foi recoberto por resíduos.

c. Dosagem dos metais com abertura por água deionisada a frio

As amostras de solo sotoposto dos corpos Leste, Sul e Oeste também foram submetidas à dosagem de metais com a utilização da abertura por água deionizada a frio, com o objetivo de quantificar a parcela solúvel em água dos metais existentes nos solos, de acordo com metodologia de CAMPANELLA *et al.* (1985). As determinações executadas não detectaram a presença de nenhum dos metais pesquisados nos solos.

Portanto, os metais detectados nos solos a partir da abertura por ácidos a quente não apresentaram formas solubilizáveis pela aplicação de abertura por água a frio. Esse fato indica que os metais contidos no solo devem estar ligados às partículas sólidas através de ligações relativamente estáveis.

2. Caracterização física

A caracterização física dos solos sotopostos aos resíduos limitou-se à determinação da composição granulométrica de seus constituintes não orgânicos. Os resultados são apresentados a seguir.

a. Caracterização da distribuição granulométrica

Os resultados das análises granulométricas estão nas **Tabelas V-88 a V-95**.

TABELA V-88a: Distribuição granulométrica do solo Corpo Oeste Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SOLO SOTOPOSTO (%) CORPO OESTE – PERFIL A						
			ARGILAS	SILTE FINO	SILTE GROSSO	SILTES	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIAS
CWA-03	2,80 a 3,00	2,90	25,57	20,82	12,01	32,83	24,31	17,29	41,60
CWA-02	3,10 a 3,30	3,20	23,65	18,75	13,19	31,94	34,06	10,35	44,41
CWA-01	3,30 a 3,50	3,40	17,54	18,97	6,07	25,04	17,91	39,51	57,42
TWA-01	3,50 A 3,70	3,60	17,23	10,17	9,19	19,36	49,98	13,43	63,41
TWA-02	3,70 A 3,90	3,80	17,57	13,89	10,25	24,14	48,80	9,49	58,29
TWA-03	3,90 A 4,00	3,95	10,71	18,52	11,43	29,95	40,17	19,17	59,34
TWA-04	4,00 A 4,20	4,10	14,18	14,30	9,92	24,22	42,75	18,85	61,60
TWA-05	4,20 A 4,40	4,30	8,06	4,79	6,43	11,22	59,72	21,00	80,72
TWA-06	4,40 A 4,60	4,50	6,16	7,42	7,58	15,00	63,58	15,26	78,84
TWA-07	4,60 A 4,80	4,70	6,13	6,90	6,01	12,91	62,06	18,90	80,96
TWA-08	4,80 A 5,00	4,90	10,89	4,23	4,93	9,16	64,05	15,90	79,95
TWA-09	5,00 A 5,20	5,10	11,19	4,75	5,38	10,13	66,33	12,35	78,68
TWA-10	5,20 A 5,40	5,30	10,33	4,10	4,08	8,18	62,41	19,08	81,49
TWA-11	5,40 A 5,60	5,50	9,23	3,88	3,88	7,76	65,53	17,48	83,01
TWA-12	5,60 A 5,80	5,70	8,39	3,82	4,18	8,00	62,40	21,21	83,61
TWA-13	5,80 A 6,00	5,90	8,43	4,00	4,05	8,05	61,67	21,85	83,52

TABELA V-89: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Sul Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SOLO SOTOPOSTO (%) CORPO SUL – PERFIL A						
			ARGILAS	SILTE FINO	SILTE GROSSO	SILTES	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIAS
CSA-01	3,10 a 3,20	3,15	39,22	13,31	4,83	18,14	16,37	26,27	42,64
TSA-01	3,20 a 3,40	3,30	19,89	28,58	8,11	36,69	17,84	25,58	43,42
TSA-02	3,40 a 3,60	3,50	18,74	28,74	8,68	37,42	16,46	27,38	43,84
TSA-03	3,60 a 3,80	3,70	17,62	26,11	8,72	34,83	18,89	28,66	47,55
TSA-04	3,80 a 4,00	3,90	17,35	24,16	9,68	33,84	23,07	25,74	48,81
TSA-05	4,00 a 4,20	4,10	14,52	30,68	8,36	39,04	18,13	28,31	46,44
TSA-06	4,20 a 4,40	4,30	13,49	31,95	10,93	42,88	21,76	21,87	43,63
TSA-07	4,40 a 4,60	4,50	8,91	29,08	13,62	42,70	24,30	24,09	48,39
TSA-08	4,60 a 4,80	4,70	4,22	30,05	18,64	48,69	24,29	22,80	47,09
TSA-09	4,80 a 5,00	4,90	8,20	25,35	17,05	42,40	25,20	24,20	49,40
TSA-10	5,00 a 5,20	5,10	9,70	26,17	17,52	43,69	24,25	22,36	46,61
TSA-11	5,20 a 5,40	5,30	9,92	29,35	12,03	41,38	20,99	27,71	48,70
TSA-12	5,40 a 5,60	5,50	10,00	28,47	12,55	41,02	22,39	26,59	48,98
TSA-13	5,60 a 5,80	5,70	6,50	32,28	8,71	40,99	18,37	34,14	52,51
TSA-14	5,80 a 6,00	5,90	17,82	15,62	9,83	25,45	30,31	26,42	56,73

TABELA V-90: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Sul Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SOLO SOTOPOSTO (%) CORPO SUL – PERFIL B						
			ARGILAS	SILTE FINO	SILTE GROSSO	SILTES	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIAS
CSB-01	2,90 a 3,00	2.95	7,23	36,94	7,83	44,77	20,33	27,67	47,90
TSB-01	3,00 a 3,20	3,10	15,47	31,15	5,52	36,67	15,99	31,87	47,86
TSB-02	3,20 a 3,40	3,30	14,70	31,17	7,79	38,96	17,05	29,29	46,34
TSB-03	3,40 a 3,60	3,50	25,33	22,95	6,62	29,57	15,48	29,62	45,10
TSB-04	3,60 a 3,80	3,70	20,26	26,04	7,80	33,84	16,10	29,80	45,90
TSB-05	3,80 a 4,00	3,90	10,22	29,81	11,63	41,44	21,91	26,43	48,34
TSB-06	4,00 a 4,20	4,10	11,40	29,23	8,62	37,85	19,33	31,42	50,75
TSB-07	4,20 a 4,40	4,30	12,88	27,68	9,46	37,14	16,86	33,12	49,98
TSB-08	4,40 a 4,60	4,50	26,00	27,23	7,32	34,55	22,76	16,69	39,45
TSB-09	4,60 a 4,80	4,70	18,77	28,82	11,01	39,83	19,84	21,56	41,40
TSB-10	4,80 a 5,00	4,90	10,40	35,76	11,60	47,36	21,24	21,00	42,24
TSB-11	5,00 a 5,20	5,10	19,29	32,72	10,09	42,81	19,26	18,64	37,90
TSB-12	5,20 a 5,40	5,30	18,80	35,95	10,69	46,64	18,59	15,97	34,56

TABELA V-91: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Sul Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SOLO SOTOPOSTO (%) CORPO SUL – PERFIL C						
			ARGILAS	SILTE FINO	SILTE GROSSO	SILTES	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIAS
CSC-01	1,70 a 1,90	1.80	7,23	36,94	7,83	44,77	17,54	28,75	46,29

TABELA V-92: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Leste Perfil A

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SOLO SOTOPOSTO (%) CORPO LESTE – PERFIL A						
			ARGILAS	SILTE FINO	SILTE GROSSO	SILTES	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIAS
TEA-06	1,00 a 1,20	1.10	18,77	27,53	8,17	35,70	18,87	26,66	45,53
TEA-07	1,20 a 1,40	1.30	20,03	25,63	9,83	35,46	20,16	24,35	44,51
TEA-08	1,40 a 1,60	1.50	19,11	25,31	8,12	33,43	19,60	27,86	47,46

TABELA V-93: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Leste Perfil B

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SOLO SOTOPOSTO (%) CORPO LESTE – PERFIL B						
			ARGILAS	SILTE FINO	SILTE GROSSO	SILTES	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIAS
TEB-08	1,40 a 1,60	1,50	15,93	33,54	8,17	41,71	21,04	21,32	42,36

TABELA V-94: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Leste Perfil C

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SOLO SOTOPOSTO (%) CORPO LESTE – PERFIL C						
			ARGILAS	SILTE FINO	SILTE GROSSO	SILTES	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIAS
TEC-05	0,80 a 0,90	0.85	12,96	21,02	11,45	32,47	28,51	26,06	54,57

TABELA V-95: Distribuição granulométrica do Solo Corpo Leste Perfil D

Amostra	INTERVALO (m)	PONTO MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SOLO SOTOPOSTO (%) CORPO LESTE – PERFIL D						
			ARGILAS	SILTE FINO	SILTE GROSSO	SILTES	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIAS
TED-01	0,00 a 0,20	0,10	22,66	11,85	8,34	20,19	38,91	18,24	
TED-02	0,20 a 0,40	0,30	27,74	21,90	11,42	33,32	29,14	9,80	38,94
TED-03	0,40 a 0,60	0,50	26,07	10,48	9,00	19,48	42,73	11,72	54,45
TED-04	0,60 a 0,80	0,70	28,29	11,68	13,39	25,07	35,33	11,31	46,64
TED-05	0,80 a 1,00	0,90	25,83	14,37	9,51	23,88	31,74	18,55	50,29
TED-06	1,00 a 1,20	1,10	19,70	20,11	10,26	30,37	27,94	21,99	49,93
TED-07	1,20 a 1,40	1,30	20,36	19,03	9,94	28,97	28,68	21,99	50,67
TED-08	1,40 a 1,60	1,50	9,98	25,74	9,66	35,40	32,48	22,14	54,62
TED-09	1,60 a 1,80	1,70	12,17	26,81	6,37	33,18	30,21	24,44	54,65
TED-10	1,80 a 2,00	1,90	20,74	20,54	7,68	28,22	24,68	26,36	51,04
TED-11	2,00 a 2,20	2,10	16,97	21,81	6,55	28,36	22,49	32,18	54,67
TED-12	2,20 a 2,40	2,30	17,55	21,61	6,65	28,26	24,60	29,59	54,19
TED-13	2,40 a 2,60	2,50	23,40	17,56	7,23	24,79	26,23	25,58	51,81
TED-14	2,60 a 2,80	2,70	20,41	17,66	5,86	23,52	26,10	29,97	56,07

Os teores obtidos para argilas, siltes e areias foram lançados em diagramas triangulares, utilizando-se a classificação de SHEPPARD, 1954. O lançamento das porcentagens nesse diagrama, resultou nos gráficos referentes as **Figuras V-26 a V-30**, esta última englobando as amostras dos perfis Leste A, B e C e Sul C.

FIGURA V-26: Classificação granulométrica do solo Corpo Oeste Perfil A

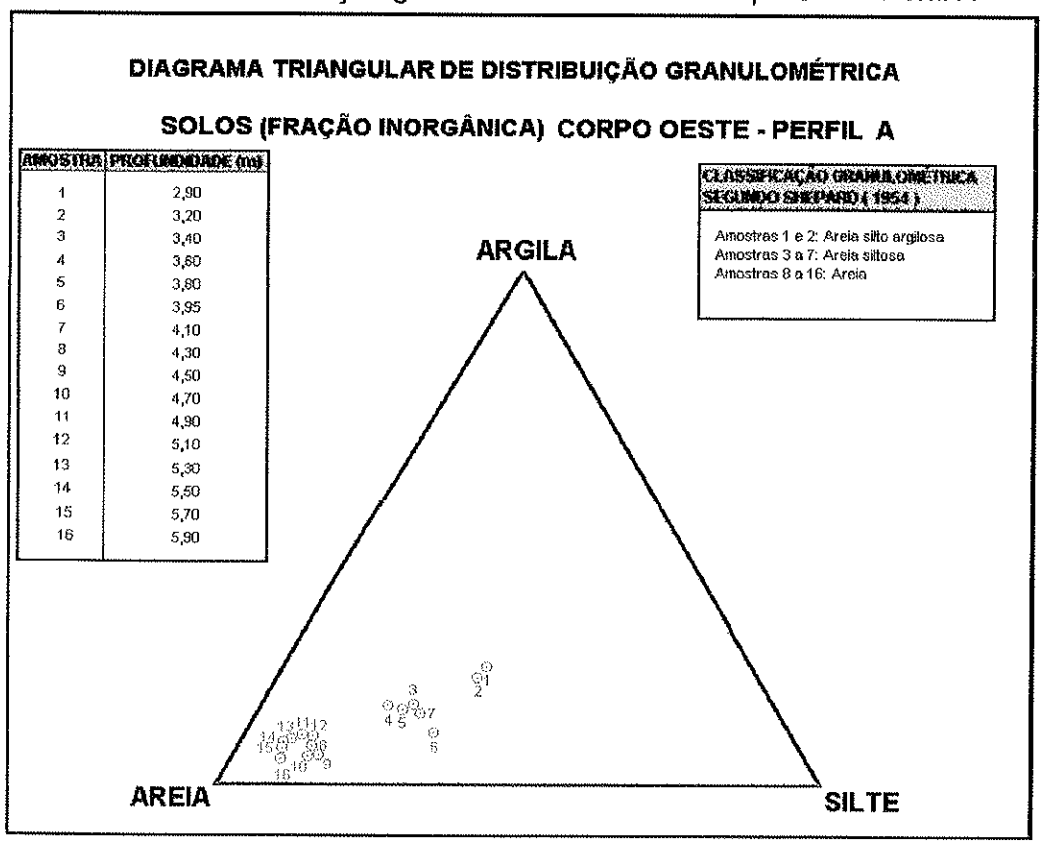


FIGURA V-27: Classificação granulométrica do solo Corpo Sul Perfil A

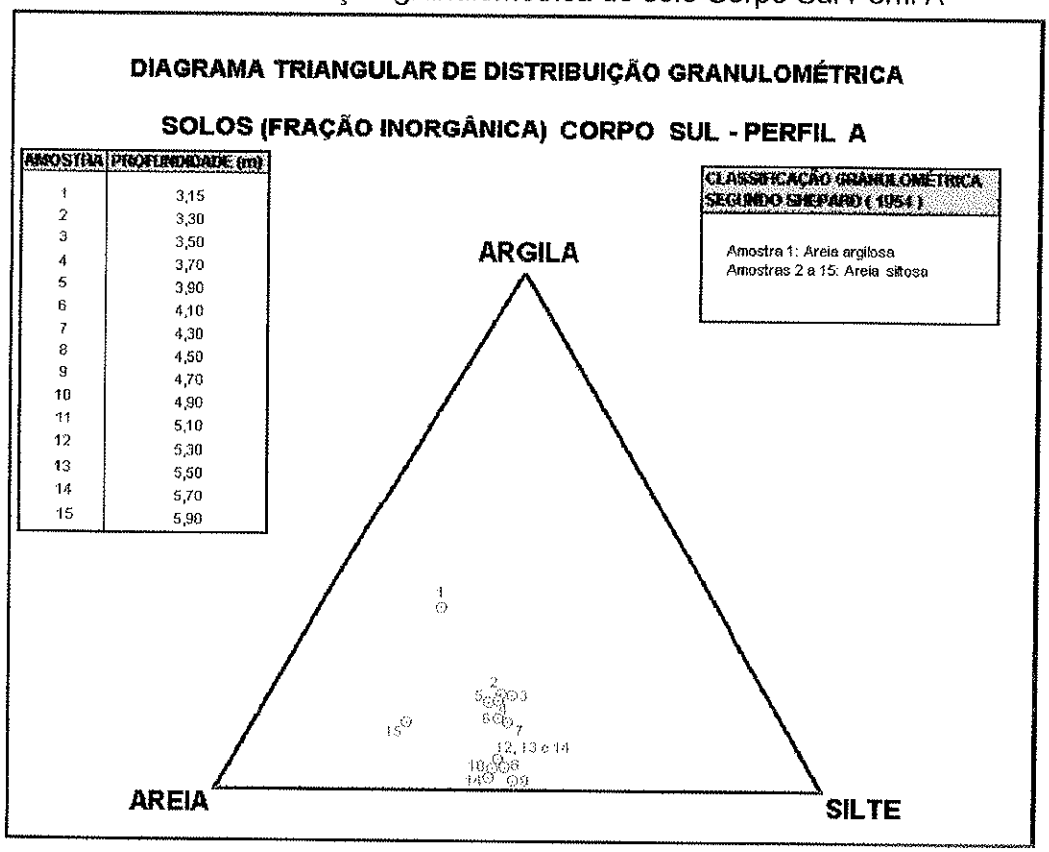


FIGURA V-28: Classificação granulométrica do solo Corpo Sul Perfil B

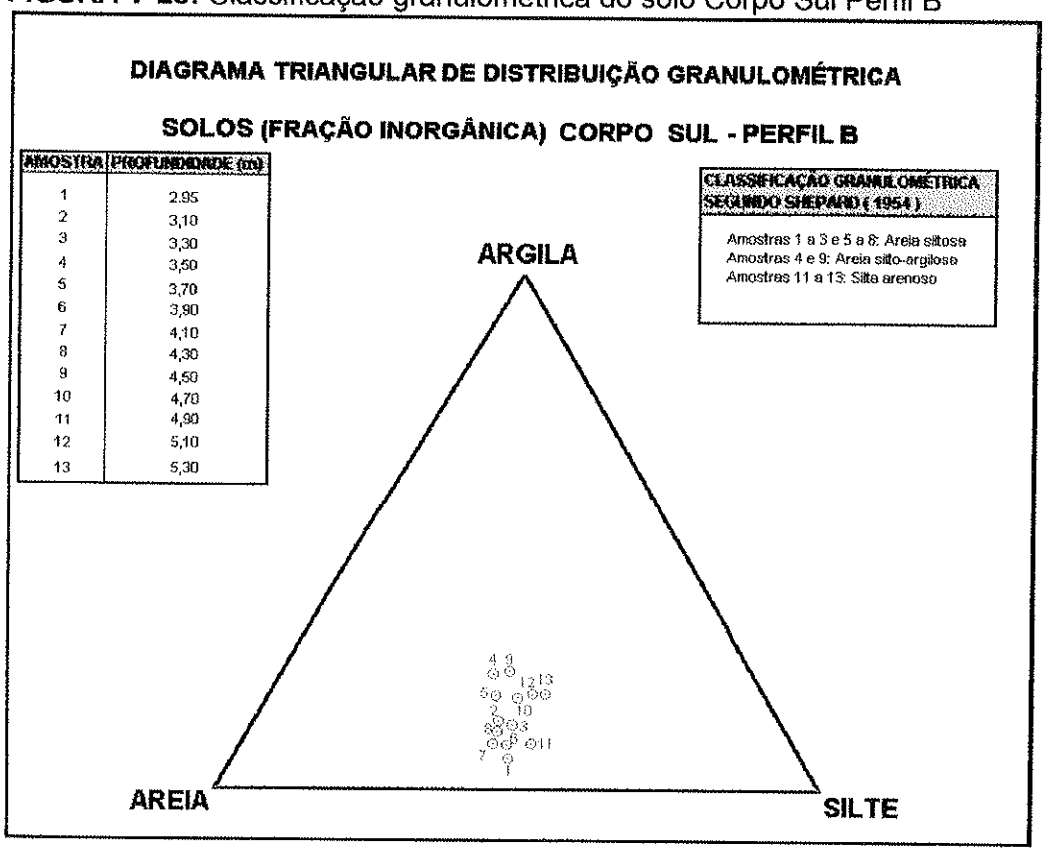


FIGURA V-29: Classificação granulométrica do solo Corpo Leste Perfil D

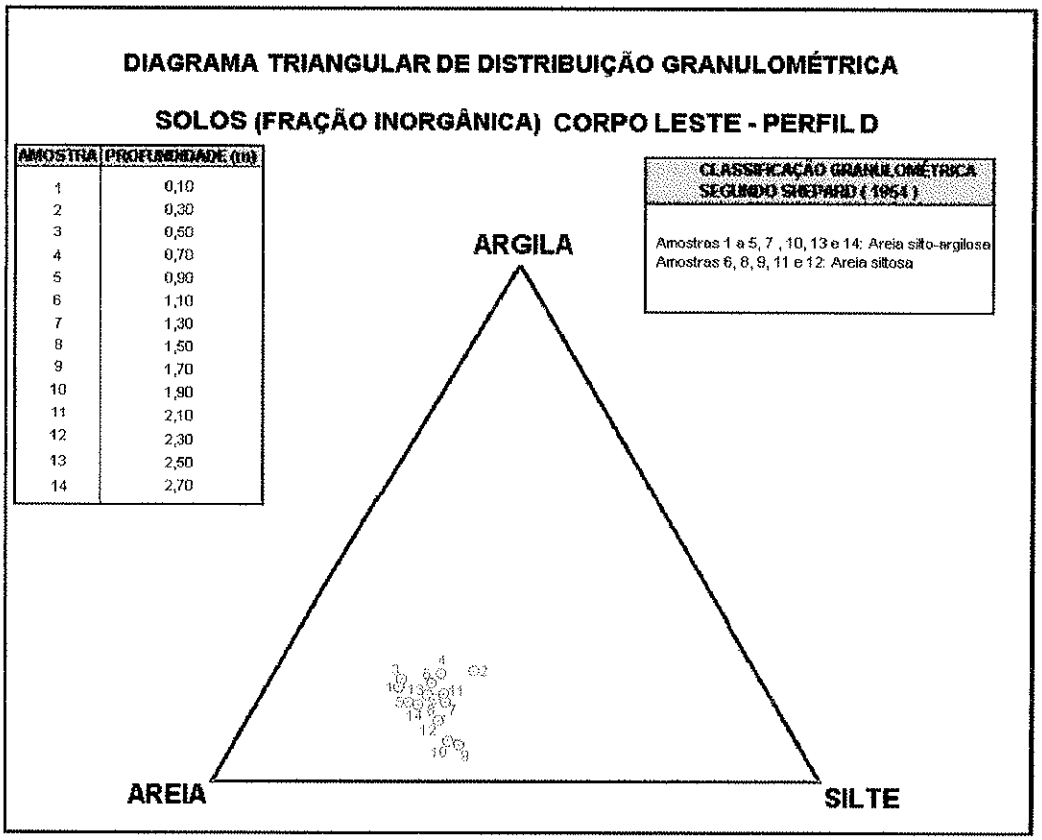
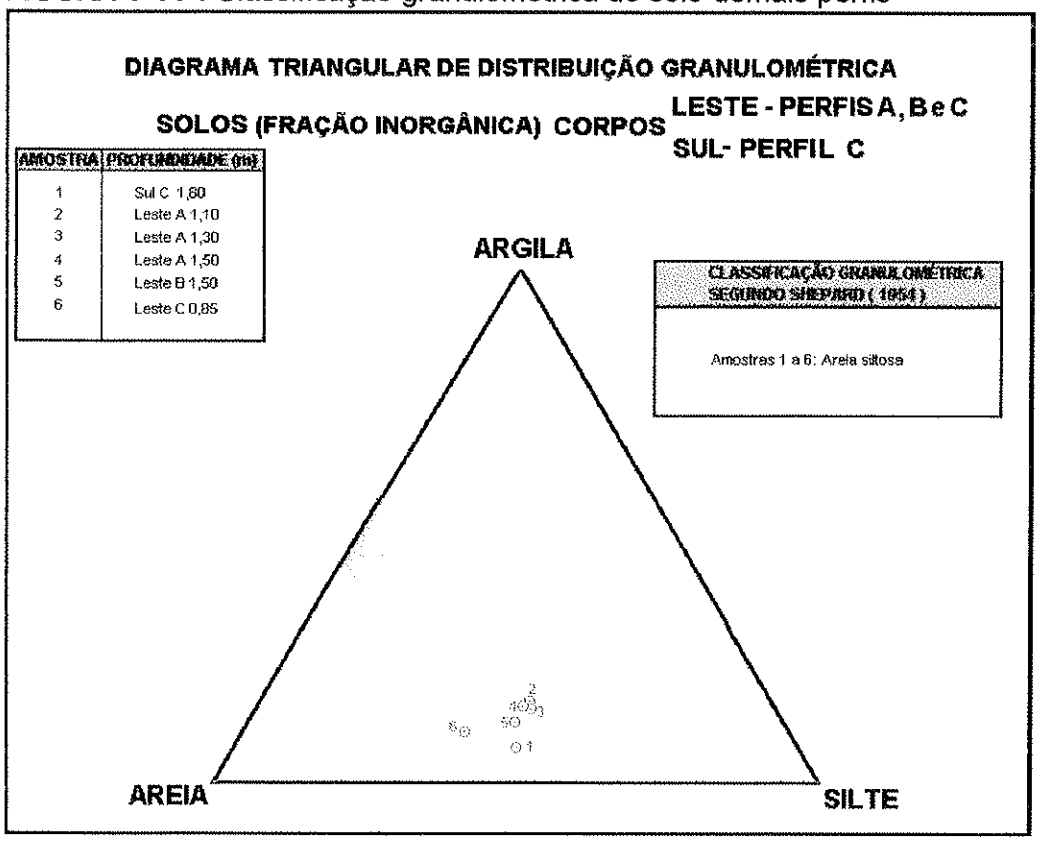


FIGURA V-30-: Classificação granulométrica do solo demais perfis



A partir das Figura V-26 a V-30 foi elaborada a **Tabela V-96** com um resumo das classificações granulométricas obtidas nos diagramas triangulares.

TABELA V-96: Resumo das ocorrências das classificações granulométricas dos solos

CLASSIFICAÇÃO DE SHEPPARD	NÚMERO DE AMOSTRAS	PERFIS ONDE OCORRERAM
AREIA	9	Oeste A
AREIA SILTOSA	37	Oeste A, Leste A, B,C e D Sul A, B e C
AREIA SILTO-ARGILOSA	14	Oeste A, Leste D e Sul B
AREIA ARGILO-SILTOSA	2	Oeste A
AREIA ARGILOSA	1	Sul A,
SILTE ARENOSO	3	Sul B

Observando-se a Tabela V-96 verifica-se que 95% das amostras de solos classificam-se na categoria "areias", a grande maioria delas siltosa ou silto-argilosa. Apenas 5% das amostras entram na categoria "siltes arenosos". Portanto, a tendência geral dos perfis de resíduos é de constituição francamente arenosa a areno-siltosa.

- Correlação entre os teores da fração argila e os teores de metais

Para verificar a existência de relação entre os teores em argila e os respectivos teores dos metais nos solos, foi calculado o Coeficiente de Correlação entre essas variáveis para cada corpo. Os resultados estão na **Tabela V-97**.

TABELA V-97: Coeficientes de Correlação entre os teores dos metais e os teores de argila nos solos sotopostos a cada perfil.

METAL	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO NO SOLO SOTOPOSTO A CADA CORPO			
	OESTE	SUL A	SUL B	LESTE D
Cu	-0,186518	0,233810	-0,593892	**-0,721010**
Pb	**0,677019**	0,430838	-0,131128	0,068160
Zn	0,163525	0,195668	-0,490884	-0,027029
Ni	0,419886	0,365390	-0,383616	-0,508595
Cr	0,364806	0,507291	-0,358324	**-0,640941**
Ag	0,364806	0,279733	-0,491280	0,278750
Cd	0	0,217129	-0,401390	0,364107
Fe	**0,741777**	**0,616830**	0,179507	-0,403435
Mn	**0,619000**	0,575926	-0,043741	-0,531368

Considerações preliminares: 15) Correlação entre os teores de argilas e os de metais

Na Tabela V-97 os coeficientes marcados em preto são positivos e indicam relação direta entre os parâmetros. Já os coeficientes em vermelho são negativos e indicam relação inversa. Foram encontrados coeficientes positivos e significativos entre argilas e os metais Fe, Pb e Mn para os solos sotopostos aos perfis Oeste A e argilas e Fe para o perfil Sul A. Para os solos sotopostos ao perfil Leste D foram encontrados coeficientes negativos e significativos para argilas e os metais Cu e Cr. Mesmo assim, considera-se que há correlação segura entre duas variáveis, seja direta ou inversa, quando o valor absoluto do coeficiente de correlação calculado entre elas for superior a 0,8. Levando-se isso em consideração, pode-se afirmar que não existe correlação entre os teores de argila e os teores dos metais nos solos sotopostos aos resíduos.

3. Caracterização Mineralógica

a. Análise mineralógica da fração argila

Da mesma forma que nas amostras de resíduos, foram separadas alíquotas das frações mais finas (< 2μm) das amostras do solos sotoposto para a determinação da sua composição mineralógica por Difratometria de Raios X. Foram selecionadas 2 amostras de cada perfil de solo para essa determinação: a primeira no topo e segunda na base de cada perfil. Os resultados obtidos evidenciam uma composição mineralógica simples e homogênea. Essa composição é exibida na **Tabela V-98**.

TABELA V-98: Composição mineralógica da fração < 2μm dos solos sotopostos

PERFIL	NÚMERO DE AMOSTRAS ANALISADAS	MINERAIS DETECTADOS NAS AMOSTRAS			
		DOMINANTES		ACESSÓRIOS A TRAÇO	
		MINERAL DO GRUPO DA CAOLINITA	MINERAL DO GRUPO DAS MICAS	MINERAL DO GRUPO DAS ESMECTITAS	GOETHITA
OESTE A	2	ESSENCIAL	ESSENCIAL	TRAÇO	ACESSÓRIO
SUL A	2	ESSENCIAL	ESSENCIAL	TRAÇO	ACESSÓRIO
SUL B	2	ESSENCIAL	ESSENCIAL	TRAÇO	ACESSÓRIO
LESTE D	2	ESSENCIAL	ESSENCIAL	TRAÇO	ACESSÓRIO
TOTAL	2	ESSENCIAL	ESSENCIAL	TRAÇO	ACESSÓRIO

SEMI-QUANTIFICAÇÃO POR ESTIMATIVA: ESSENCIAL: > 5% ACESSÓRIO: Entre 1 e 5% Traço <1%

Os resultados das análises mineralógicas evidenciaram a mesma composição mineralógica detectada por ASSUNÇÃO (1996) para solos sotopostos ao corpo Norte. Os minerais essenciais identificados são argilominerais do grupo da Caolinita e minerais do grupo das Micas, muito provavelmente Muscovita. Além desses minerais, foi identificada a presença de Goethita como mineral acessório, bem como a presença de traços de argilominerais do grupo das esmectitas. Todos esses minerais são provenientes dos solos de alteração das rochas granitóides que ocorrem na região e que foram empregados na construção de aterros na área da ETE de Barueri.

Cabe ressaltar que não foram identificados compostos neoformados que possam ser associados geneticamente aos resíduos.

b. Análise mineralógica das frações silte e areia

As frações silte e areia dos solos também foram separadas durante a análise granulométrica para serem submetidas a caracterização mineralógica de seus constituintes principais, com utilização do mesmo procedimento adotado para os resíduos.

Determinou-se uma assembléia mineralógica de composição extremamente simples e muito homogênea. Todas as amostras apresentaram composição mineralógica idêntica, cujo resumo, por corpo, é apresentado na **Tabela V-99**.

TABELA V-99: Composição mineralógica da fração silte e areia - conjunto dos perfis

ANÁLISE MINERALÓGICA QUALITATIVA DE GRÃOS - CONJUNTO DOS PERFIS							
PERFIL	NÚMERO DE AMOSTRAS	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA OBSERVADA					
OESTE A	16	QTZ	TUR	ILM	ZIR	AGF	MIC
SUL A	15	QTZ	TUR	ILM	ZIR	AGF	MIC
SUL B	13	QTZ	TUR	ILM	ZIR	AGF	MIC
LESTE D	14	QTZ	TUR	ILM	ZIR	AGF	MIC
GERAL	58	QTZ	TUR	ILM	ZIR	AGF	MIC

CONVENÇÕES

QTZ: Quartzo incolor e branco, angular, localmente corroído, com brilho vítreo, detrítico.
TUR: Turmalina negra, angular.
ILM: Ilmenita, grãos negros acastanhados, parcialmente alterados, magnéticos, brilho submetálico.
ZIR: Zircão incolor a rosado, grãos prismáticos angulares.
AGF: Agregados ferruginosos, anhedrais, cinza avermelhados.
MIC: Fragmentos micáceos, incolores, discretamente esverdeados, parcialmente alterados.

A análise mineralógica ao estereomicroscópio detectou a presença de 6 espécies de minerais de origem detrítica:

QTZ - Quartzo: Mineral essencial em todas as amostras. Ocorre sob a forma de fragmentos angulares, incolores e esbranquiçados, localmente corroídos. Ao lado da Mica, é o mineral mais abundante nos solos.

MIC - Mica: Mineral essencial em todas as amostras. Ocorre sob a forma de fragmentos tabulares, incolores a esverdeados, parcialmente alterados. É o mineral mais abundante nos solos logo depois do quartzo.

ILM - Ilmenita: Mineral acessório. Ocorre sob a forma de fragmentos anhedrais, negros, sub-angulares a sub-arredondados, de brilho sub-metálico, parcialmente alterados.

TUR - Turmalina: Mineral acessório. Ocorre sob a forma de fragmentos prismáticos, sub-angulares, de coloração negra e brilho vítreo.

ZIR - Zircão: Mineral acessório. Ocorre principalmente nas frações granulométricas mais finas, sob a forma de fragmentos prismáticos alongados, de coloração rosada a incolor e brilho vítreo intenso.

AGF - Agregados ferruginosos: Ocorre sob a forma de fragmentos anhedrais, magnéticos, de coloração cinza avermelhada. Sua composição mais provável é hematítica/goethítica

A análise mineralógica das frações silte e areia não detectou nos solos a presença de espécies cujas características morfológicas ou mineralógica sugiram origem que possa ser associada à presença dos resíduos.

4. Observação de morfologias

Foram isolados 5 grãos de cada uma das espécies de minerais determinados na análise mineralógica para observação das suas morfologias e determinação de suas características químicas ao MEV. Esse trabalho foi executado com o objetivo de verificar a existência de feições que pudessem ser associadas a fenômenos de dissolução e/ou precipitação de compostos originados a partir dos

resíduos. Não foram detectadas morfologias relacionáveis a neoformações e nem a presença de metais traço associados aos 18 grãos analisados.

Deve-se considerar no entanto que, mesmo com a escolha dos grãos com feições morfológicas mais favoráveis (com sinais de corrosão por exemplo), na prática, acabaram sendo analisados poucos grãos das amostras de solos. Por isso, a não identificação de materiais neoformados ou da existência de associações de metais com os constituintes mineralógicos principais não exclui a possibilidade da sua ocorrência nos solos.

Como as análises químicas identificaram a presença de metais, seria recomendável um trabalho mais detalhado e intensivo, com observação de um maior número de grãos ao MEV, para identificar as eventuais relações desses metais com os grãos dos minerais constituintes dos solos.

D. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E CHORUMES

1. Caracterização química

Com o objetivo de detectar a presença de metais na água subterrânea da área estudada, foram coletadas amostras de água em 5 campanhas de amostragem. Aproveitou-se a oportunidade para determinar também alguns parâmetros adicionais, que eventualmente pudessem ser úteis à interpretação do comportamento dos metais. Assim, as amostras coletadas foram submetidas à determinação de alguns ânions, do pH, do Eh e da temperatura. Também foram coletadas amostras do chorume originado dos resíduos do corpo Norte. Essa coleta foi efetuada nas mesmas datas de coleta das amostras de água e visou determinar os mesmos parâmetros.

a. Resultados obtidos nas análises de águas e chorumes

Os resultados das análises realizadas nas águas e chorumes estão contidos nas **Tabelas V-100** a **V-108**. Nelas, são apresentados os resultados individuais de cada uma das cinco campanhas de amostragem, bem como a média geral dos resultados obtidos em cada poço. Para facilitar a comparação entre os resultados obtidos nos diversos poços, foi elaborada a **Tabela V-109**, que apresenta um resumo geral dos resultados, incluindo aqueles obtidos para os chorumes.

. Considerações preliminares: 16) Os resultados obtidos na caracterização dos chorumes

O chorume coletado no interior do corpo de resíduos apresentou temperatura média de 29,8 °C, cerca de 20% acima da temperatura média da água subterrânea, que foi de 24,8° C. Temperaturas dessa ordem podem ter origem na persistência da atividade biológica no interior dos resíduos em função da continuidade da digestão anaeróbia, conforme foi descrito por LESTER *et al.*, (1983).

TABELA V-100: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-01

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO PM-01

PROJETO: Resíduos de Barueri | **LOCAL:** Barueri - ETE da SABESP | **PERÍODO:** 09/1998 a 07/1999 | **LABORATÓRIO:** CEPAS/DGE/IGUSP

FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica
Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica

INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																							PROF.
MÊS DA COLETA	Parâmetro	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
	Lim de detecção								0,03	0,55	0,02	0,009	0,02	0,025	0,05		0,003	0,02		0,04	0,05	0,008				
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,25	1,90	25,63	0,1	0,05	46,05	0,02	<0,03	<0,55	25,1	<0,009	<0,02	<0,025	117,26	7,6	6,35	6,75	18,5	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,577	28,177	0,001	0,004	0,003	112,376		9,282	8,133		0,023	0,031	0,023	6,27	120,5	27,6	2,22
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,25	1,90	25,63	0,1	0,05	46,05	0,02	<0,03	0,577	26,63	0,001	0,004	0,003	114,82	7,6	7,82	7,44	18,5	0,023	0,031	0,023	6,27	120,5	27,6	2,22
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,24	1,86	25,07	1,7	<0,02	26,56	0,24	<0,03	<0,55	18,80	<0,009	<0,02	<0,025	85,20	6,3	4,95	3,52	19,0	0,08	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,331	22,40	0,001	0,002	0,004	15,833		7,146	4,401	x	0,047	0,024	0,011	6,22	175,4	22,4	1,85
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,24	1,86	25,07	1,7	<0,02	26,56	0,24	<0,03	0,331	30,00	0,001	0,002	0,004	93,11	6,3	6,05	3,96	19,0	0,06	0,024	0,011	6,22	175,4	22,4	1,85
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,44	1,88	26,51	0,5	0,08	48,31	0,05	<0,03	<0,55	18,40	<0,009	<0,02	<0,025	87,36	5,8	5,40	3,36	18,5	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								0,002	0,172	30,313	0,003	0,002	0,006	168,099		18,125	2,813		0,039	0,049	0,016	6,21	159,4	26,2	1,59
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,44	1,88	26,51	0,5	0,08	48,31	0,05	0,002	0,172	24,36	0,003	0,002	0,006	127,73	5,8	11,77	4,77	18,5	0,039	0,049	0,016	6,21	159,4	26,2	1,59
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	0,23	1,98	27,65	0,3	<0,02	169,62	0,06	<0,03	<0,55	27,40	<0,009	0,02	<0,025	131,10	7,0	7,50	11,83	19,5	0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,469	39,293	0,002	0,004	0,009	207,071		8,434	20,556	x	0,061	0,038	0,020	6,24	154,8	24,5	2,02
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,23	1,98	27,65	0,3	<0,02	169,62	0,06	<0,03	0,469	33,32	0,002	0,004	0,009	169,08	7,00	7,96	22,10	19,5	0,05	0,038	0,020	6,24	154,8	24,5	2,02
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,15	1,38	22,33	0,5	<0,02	22,29	0,16	<0,03	<0,55	21,70	<0,009	<0,02	<0,025	0,62	6,5	6,10	6,32	15,8	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								0,001	7,363	26,632	0,004	0,015	0,036	129,500		7,474	9,368		0,099	0,174	0,103	6,24	136,8	24,5	2,57
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,15	1,38	22,33	0,5	<0,02	22,29	0,16	0,001	7,363	24,16	0,004	0,015	0,036	129,50	6,5	6,79	7,84	15,8	0,099	0,174	0,103	6,24	136,8	24,2	2,57
MÉDIA DO PM-01 EM 10 MESES	ALÍQUOTA B	0,26	1,80	25,44	0,6	0,03	62,57	0,11	<0,03	<0,55	22,28	<0,009	<0,02	<0,025	84,31	6,64	6,06	6,36	18,3	0,06	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								0,001	1,782	29,362	0,002	0,005	0,012	126,576		10,092	9,054		0,054	0,063	0,035	6,24	149,4	25,0	2,05
	VALOR MAIS PROVÁVEL	F	Br	Cl	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh	T	PROF NA
	PROVÁVEL	0,26	1,80	25,44	0,6	0,03	62,57	0,11	0,002	1,782	27,69	0,002	0,005	0,014	126,85	6,64	8,08	9,22	18,3	0,054	0,063	0,035	6,24	149,4	25,0	2,05

TABELA V-101: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-02

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO PM-02

PROJETO: Resíduos de Barueri | **LOCAL:** Barueri - ETE da SABESP | **PERÍODO:** 09/1998 a 07/1999 | **LABORATÓRIO:** CEPAS/DGE/IGUSP

FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica
Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica

INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																							PROF.
MÊS DA COLETA	Parâmetro	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
	Lim de detecção								0,03	0,55	0,02	0,009	0,02	0,025	0,05		0,003	0,02		0,04	0,05	0,008				
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,43	2,37	51,72	1,3	0,05	4,43	0,05	<0,03	<0,55	27,80	<0,009	<0,02	<0,025	26,79	31,0	12,30	0,49	24,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	1,286	34,415	0,001	0,006	0,003	19,723		14,491	1,298		0,041	0,047	0,081	6,43	141,3	26,9	4,23
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,43	2,37	51,72	1,3	0,05	4,43	0,05	<0,001	1,286	31,11	0,001	0,006	0,003	23,26	31,0	13,40	0,89	24,0	0,041	0,047	0,081	6,43	141,3	26,9	4,23
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,46	2,18	54,14	0,1	<0,02	0,82	0,15	<0,03	<0,55	21,95	<0,009	<0,02	<0,025	26,49	31,0	11,85	1,23	27,0	0,07	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,303	27,76	0,001	0,002	0,003	4,804		8,660	1,101		0,034	0,048	0,014	6,35	113,7	24,4	3,67
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,43	2,37	54,14	0,1	<0,02	0,82	0,15	<0,001	0,303	24,86	0,001	0,002	0,003	15,65	31,0	10,26	1,17	27,0	0,05	0,048	0,014	6,35	113,7	24,4	3,67
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,56	2,52	64,43	0,6	0,13	3,36	nd	<0,03	<0,55	20,60	<0,009	<0,02	<0,025	28,53	23,0	12,40	2,16	32,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,168	32,316	0,003	0,002	0,004	50,211		18,316	2,842		0,072	0,051	0,014	6,42	173,5	25,4	2,57
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,56	2,52	64,43	0,6	0,13	3,36	nd	<0,001	0,168	26,46	0,003	0,002	0,004	39,37	23,0	15,36	2,50	32,0	0,072	0,051	0,014	6,42	173,5	25,4	2,57
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	0,26	2,79	55,38	0,6	<0,02	2,59	0,03	<0,03	<0,55	18,20	<0,009	<0,02	<0,025	18,29	23,5	11,80	2,58	23,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,347	22,194	0,002	0,002	0,005	49,446		13,878	2,908		0,046	0,057	0,015	6,48	155,4	26,2	3,46
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,26	2,79	55,38	0,6	<0,02	2,59	0,03	<0,001	0,347	20,19	0,002	0,002	0,005	33,87	23,5	12,84	2,74	23,0	0,046	0,057	0,015	6,48	155,4	26,2	3,46
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,27	2,57	51,02	0,6	nd	2,82	0,16	<0,03	<0,55	16,10	<0,009	<0,02	<0,025	0,09	27,0	8,20	0,33	24,5	<0,04	<0,05	<0,05				
	ALÍQUOTA C								0,004	78,683	75,833	0,010	0,313	0,062	836,000		33,167	26,263		0,312	1,247	1,267	6,42	113,6	24,7	4,52
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,27	2,57	51,02	0,6	<0,02	2,82	0,16	0,004	78,683	45,96	0,010	0,313	0,062	836,000	27,0	20,68	13,29	24,5	0,312	1,247	1,267	6,42	113,6	24,7	4,52
MÉDIA DO PM-02 EM 10 MESES	ALÍQUOTA B	0,40	2,49	55,34	0,6	0,04	2,80	0,10	<0,03	<0,55	20,93	<0,009	<0,02	<0,025	20,04	27,10	11,31	1,36	26,1	0,02	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	16,157	38,503	0,003	0,065	0,015	192,037		17,702	6,882		0,101	0,290	0,278	6,42	139,5	25,5	3,69
	VALOR MAIS PROVÁVEL	F	Br	Cl	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh	T	PROF NA
	PROVÁVEL	0,39	2,52	55,34	0,6	0,04	2,80	0,10	<0,001	16,157	29,72	0,003	0,065	0,015	189,63	27,10	14,91	4,12	26,1	0,104	0,290	0,278	6,42	139,5	25,5	3,69

TABELA V-102: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-03

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO PM-03

PROJETO: Resíduos de Barueri | **LOCAL:** Barueri - ETE da SABESP | **PERÍODO:** 09/1998 a 07/1999 | **LABORATÓRIO:** CEPAS/DGE/IGUSP

FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica
Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica

INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																						PROF.
MÊS DA COLETA	Parâmetro	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
	Lim de detecção								0,03	0,55	0,02	0,009	0,02	0,025	0,05		0,003	0,02		0,04	0,05	0,008				
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,39	3,87	37,40	0,1	0,05	1,21	0,03	<0,03	<0,55	17,3	<0,009	<0,02	<0,025	108,96	2,4	11,8	6,3	21,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,175	43,198	0,002	0,003	0,004	236,364		16,780	8,609		0,025	0,062	0,021	6,35	105,6	25,3	3,04
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,39	3,87	37,40	0,1	0,05	1,21	0,03	<0,001	0,175	43,20	0,002	0,003	0,004	172,66	2,4	14,29	7,46	21,0	0,025	0,062	0,021	6,35	105,6	25,3	3,04
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,42	3,28	40,60	0,2	<0,02	0,55	0,15	<0,03	<0,55	15,05	<0,009	<0,02	<0,025	13,35	2,5	11,45	5,13	23,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,320	25,850	0,002	0,002	0,005	2,140		10,200	6,100		0,040	0,033	0,016	6,31	114,8	24,1	3,15
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,42	3,28	40,60	0,2	<0,02	0,55	0,15	<0,001	0,320	20,45	0,002	0,002	0,005	7,74	2,5	10,82	5,62	23,0	0,040	0,033	0,016	6,31	114,8	24,1	3,15
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,22	2,98	48,82	0,3	0,17	19,35	0,04	<0,03	<0,55	20,20	<0,009	<0,02	<0,025	124,60	2,7	10,80	3,86	44,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								0,002	0,114	36,667	0,003	0,003	0,005	185,511		1,395	5,511		0,041	0,047	0,013	6,32	143,9	24,8	2,67
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,22	2,98	48,82	0,3	0,17	19,35	0,04	0,002	0,114	28,43	0,003	0,003	0,005	155,06	2,7	6,10	4,69	44,0	0,041	0,047	0,013	6,32	143,9	24,8	2,67
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	0,32	2,84	40,51	4,9	<0,02	0,81	0,02	<0,03	<0,55	15,20	<0,009	<0,02	<0,025	107,12	2,5	11,00	4,29	21,5	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,153	21,282	0,002	0,003	0,005	198,026		13,897	5,256		0,025	0,037	0,013	6,33	125,0	23,9	2,45
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,32	2,84	40,51	4,9	<0,02	0,81	0,02	<0,001	0,153	18,24	0,002	0,003	0,005	152,57	2,5	12,44	4,77	21,5	0,025	0,037	0,013	6,33	125,0	23,9	2,45
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,08	3,80	40,11	0,3	<0,02	0,70	0,02	<0,03	<0,55	16,60	<0,009	0,02	<0,025	16,31	2,5	10,70	6,09	19,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								0,001	3,996	20,256	0,003	0,005	0,020	206,974		12,730	7,558		0,054	0,128	0,036	6,41	131,2	22,9	3,30
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,08	3,80	40,11	0,3	<0,02	0,70	0,02	0,001	3,996	18,43	0,003	0,005	0,020	111,64	2,5	11,71	6,82	19,0	0,054	0,128	0,036	6,41	131,2	22,9	3,30
MÉDIA DO PM-03 EM 10 MESES	ALÍQUOTA B	0,29	3,35	41,49	1,1	0,04	4,52	0,05	<0,03	<0,55	16,87	<0,009	<0,02	<0,025	74,07	2,5	11,15	5,13	25,7	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								0,001	0,952	29,451	0,002	0,003	0,008	165,803		11,000	6,607		0,037	0,061	0,020	6,34	124,10	24,2	2,92
	VALOR MAIS PROVÁVEL	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh	T	PROF NA
	PROVÁVEL	0,29	3,35	41,49	1,2	0,04	4,52	0,05	0,002	0,952	25,75	0,002	0,003	0,008	119,93	2,5	11,07	5,87	25,7	0,037	0,061	0,020	6,34	124,1	24,2	2,92

TABELA V-103: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-04

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO PM-04

PROJETO: Resíduos de Barueri | **LOCAL:** Barueri - ETE da SABESP | **PERÍODO:** 09/1998 a 07/1999 | **LABORATÓRIO:** CEPAS/DGE/IGUSP

FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica
Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica

INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																							PROF.
MÊS DA COLETA	Parâmetro / Lim de detecção	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+ 0,03	Al^{3+} 0,55	Ca^{2+} 0,02	Cd^{2+} 0,009	Cr^{total} 0,02	Cu^{2+} 0,025	Fe^{total} 0,05	K^+	Mg^{2+} 0,003	Mn^{2+} 0,02	Na^+	Ni^{2+} 0,04	Pb^{2+} 0,05	Zn^{2+} 0,008	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,24	0,23	5,38	0,1	0,02	0,80	0,04	<0,03	<0,55	0,65	<0,009	<0,02	<0,02	0,09	1,1	0,70	1,25	3,9	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,044	0,983	<0,0001	<0,0001	0,002	0,111		0,538	1,106		0,013	0,030	0,012	5,01	366,8	24,6	2,44
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,24	0,23	5,38	0,1	0,02	0,80	0,04	<0,001	0,044	0,82	<0,0001	<0,0001	0,002	0,10	1,1	0,62	1,18	3,9	0,013	0,030	0,012	5,01	366,8	24,6	2,44
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,17	0,26	6,47	0,2	<0,02	0,99	0,37	<0,03	<0,55	0,60	<0,009	<0,02	<0,025	0,20	1,3	0,95	1,23	5,5	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,149	0,445	0,001	<0,0001	0,004	0,265		0,760	0,973		0,010	0,057	0,017	5,01	332,9	22,2	2,12
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,17	0,26	6,47	0,2	<0,02	0,99	0,37	<0,001	0,149	0,52	0,001	<0,0001	0,004	0,23	1,3	0,86	1,10	5,5	0,010	0,057	0,017	5,01	332,9	22,2	2,12
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,21	0,75	5,81	0,4	0,04	0,96	0,13	<0,03	<0,55	3,50	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	1,3	0,70	1,24	3,9	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,089	1,141	0,001	<0,0001	0,003	0,056		0,652	3,081		0,025	0,045	0,020	5,12	507,4	26,2	1,90
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,21	0,75	5,81	0,4	0,04	0,96	0,13	<0,001	0,089	2,32	0,001	<0,0001	0,003	0,056	1,3	0,68	2,16	3,9	0,025	0,045	0,020	5,12	507,4	26,2	1,90
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	0,07	0,52	5,42	0,5	<0,02	0,71	0,03	<0,03	<0,55	0,54	<0,009	<0,02	<0,025	0,07	1,1	0,45	1,15	3,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,071	0,546	0,001	<0,0001	0,003	0,089		0,510	0,857		0,022	0,031	0,015	4,98	435,7	26,3	2,02
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,07	0,52	5,42	0,5	<0,02	0,71	0,03	<0,001	0,071	0,54	0,001	<0,0001	0,003	0,089	1,1	0,48	1,00	3,0	0,022	0,031	0,015	4,98	435,7	26,3	2,02
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,13	0,31	14,06	16,0	<0,02	4,54	0,41	<0,03	<0,55	2,50	<0,009	<0,02	<0,025	0,03	2,7	0,81	1,38	13,0	<0,04	<0,05	0,04				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,283	3,854	<0,0001	<0,0001	0,011	0,255		13,800	1,890		0,090	0,035	0,086	5,17	342,7	22,7	2,76
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,13	0,31	14,06	16,0	<0,02	4,54	0,41	<0,001	0,283	3,18	<0,0001	<0,0001	0,011	0,14	2,7	7,31	1,64	13,0	0,090	0,035	0,086	5,17	342,7	22,7	2,76
MÉDIA DO PM-04	ALÍQUOTA B	0,16	0,41	7,43	3,4	0,01	1,60	0,20	<0,03	<0,55	1,56	<0,009	<0,02	<0,025	0,10	1,5	0,72	1,25	5,9	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,127	1,394	0,001	<0,0001	0,005	0,155		3,252	1,581		0,032	0,039	0,030	5,06	397,10	24,4	2,25
EM 10 MESES	VALOR MAIS PROVÁVEL	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh	T	PROF NA
	PROVÁVEL	0,16	0,41	7,43	3,4	0,01	1,60	0,20	<0,001	0,127	1,48	0,001	<0,0001	0,005	0,12	1,5	1,99	1,42	5,9	0,032	0,040	0,030	5,06	397,1	24,4	2,25

TABELA V-104: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-05

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO PM-05																										
PROJETO: Resíduos de Barueri					LOCAL: Barueri - ETE da SABESP						PERÍODO: 09/1998 a 07/1999						LABORATÓRIO: CEPAS/DGE/IGUSP										
FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica																										
INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																								PROF.
MÊS DA COLETA	Parâmetro Lim de detecção	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+ 0,03	Al^{3+} 0,55	Ca^{2+} 0,02	Cd^{2+} 0,009	Cr^{total} 0,02	Cu^{2+} 0,025	Fe^{total} 0,05	K^+	Mg^{2+} 0,003	Mn^{2+} 0,02	Na^+	Ni^{2+} 0,04	Pb^{2+} 0,05	Zn^{2+} 0,008	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,45	0,54	62,73	0,4	0,17	2,24	0,04	<0,03	<0,55	106,40	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	8,2	30,10	6,76	16,5	<0,04	<0,05	0,03				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,040	12,171	0,001	<0,001	0,003	0,089		21,604	8,348		0,024	0,011	0,036	5,83	359,8	23,8	1,92
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,45	0,54	62,73	0,4	0,17	2,24	0,04	<0,001	0,040	59,29	0,001	<0,001	0,003	0,089	8,2	25,85	7,55	16,5	0,024	0,011	0,036	5,83	359,8	23,8	1,92
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,27	0,44	67,73	0,5	<0,02	1,92	0,21	<0,03	<0,55	6,10	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	7,8	48,20	8,13	20,0	0,05	<0,05	0,02				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,103	16,500	0,001	0,001	0,003	0,676		23,800	9,345		0,027	0,017	0,040	5,47	310,4	23,1	1,32
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,27	0,44	67,73	0,5	nd	1,92	0,21	<0,001	0,16	11,30	0,001	0,001	0,003	0,676	7,8	36,00	8,74	20,0	0,04	0,017	0,03	5,47	310,4	23,1	1,32
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,59	0,19	100,85	0,6	0,33	29,06	0,06	<0,03	<0,55	43,90	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	7,6	32,30	5,35	13,6	<0,04	<0,05	0,01				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,131	128,667	0,003	0,002	0,006	0,122		59,467	18,200		0,062	0,061	0,049	6,11	423,6	25,6	0,86
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,59	0,19	100,85	0,6	0,33	29,06	0,06	<0,001	0,11	86,28	0,003	0,002	0,006	0,122	7,6	45,88	11,78	13,6	0,062	0,061	0,049	6,11	423,6	25,6	0,86
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	0,38	0,68	75,55	0,7	<0,02	2,65	0,03	<0,03	<0,55	10,10	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	8,6	20,60	7,13	15,8	0,05	<0,05	0,03				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,108	12,895	<0,001	<0,001	0,005	0,163		28,105	8,026		0,058	0,036	0,057	5,64	430,9	24,0	1,57
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,38	0,68	75,55	0,7	<0,02	2,65	0,03	<0,001	0,130	11,50	<0,001	<0,001	0,005	0,163	8,6	24,35	7,58	15,8	0,05	0,036	0,057	5,64	430,9	24,0	1,57
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,35	0,68	87,42	0,5	<0,02	4,34	0,08	<0,03	<0,55	6,20	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	7,1	19,30	5,14	14,6	0,05	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,249	13,212	0,001	<0,001	0,004	0,545		27,313	8,997		0,055	0,027	0,030	5,92	350,7	23,5	2,35
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,35	0,68	87,42	0,5	<0,02	4,34	0,08	<0,001	0,249	9,70	0,001	<0,001	0,004	0,545	7,1	23,31	7,07	14,6	0,055	0,027	0,030	5,92	350,7	23,5	2,35
MÉDIA DO PM-05 EM 10 MESES	ALÍQUOTA B	0,41	0,51	78,86	0,5	0,10	8,04	0,08	<0,03	<0,55	34,54	nd	<0,02	<0,025	<0,05	7,9	30,10	6,50	16,1	0,05	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,0001	0,13	36,69	0,001	0,002	0,00	0,32		32,06	10,58		0,05	0,03	0,04	5,79	375,1	24,0	1,60
	VALOR MAIS PROVÁVEL	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh	T	PROF NA
	PROVÁVEL	0,41	0,51	78,86	0,5	0,10	8,04	0,08	<0,001	0,138	35,61	0,002	0,001	0,004	0,32	7,9	31,08	8,54	16,1	0,046	0,030	0,040	5,79	375,1	24,0	1,60

TABELA V-105: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-06

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO PM-06																										
PROJETO: Resíduos de Barueri				LOCAL: Barueri - ETE da SABESP				PERÍODO: 09/1998 a 07/1999							LABORATÓRIO: CEPAS/DGE/IGUSP										
FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica																										
INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																								PROF.
MÊS DA COLETA	Parâmetro Lim de detecção	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Ag^+ 0,03	Al^{3+} 0,55	Ca^{2+} 0,02	Cd^{2+} 0,009	Cr^{total} 0,02	Cu^{2+} 0,025	Fe^{total} 0,05	K^+	Mg^{2+} 0,003	Mn^{2+} 0,02	Na^+	Ni^{2+} 0,04	Pb^{2+} 0,05	Zn^{2+} 0,008	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,18	0,54	8,27	0,1	0,03	2,75	0,02	<0,03	<0,55	0,85	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	3,0	1,55	0,31	9,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,167	1,261	<0,001	0,001	0,006	1,137		1,759	0,343		0,014	0,109	0,021	5,41	552,1	26,3	4,43
	VALOR MAIS																									
	PROVÁVEL	0,18	0,54	8,27	0,1	0,03	2,75	0,02	<0,001	0,167	1,06	<0,001	0,001	0,006	1,127	3,0	1,66	0,33	9,0	0,014	0,109	0,021	5,41	552,1	26,3	4,43
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,17	0,37	7,79	4,7	<0,02	3,00	0,20	<0,03	<0,55	0,90	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	2,7	2,20	0,40	9,4	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,383	2,111	0,001	<0,001	0,006	0,478		2,589	0,420		0,021	0,088	0,024	5,31	354,4	23,8	4,15
	VALOR MAIS																									
	PROVÁVEL	0,17	0,37	7,79	4,7	<0,02	3,00	0,20	<0,001	0,383	1,51	0,001	0,001	0,006	0,478	2,7	2,40	0,41	9,4	0,021	0,088	0,024	5,31	354,4	23,8	4,15
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,36	0,46	22,44	0,8	0,07	39,93	0,04	<0,03	<0,55	8,10	<0,009	<0,02	<0,025	0,26	6,7	6,70	1,91	19,0	<0,04	<0,05	0,02				
	ALÍQUOTA C								0,001	0,218	7,632	0,002	<0,001	0,003	0,427		7,316	4,737		0,081	0,027	0,039	5,35	421,1	24,8	4,00
	VALOR MAIS																									
	PROVÁVEL	0,36	0,46	22,44	0,8	0,07	39,93	0,04	0,001	0,218	7,87	0,002	<0,001	0,003	0,34	6,7	7,01	3,32	19,0	0,081	0,027	0,039	5,35	421,1	24,8	4,00
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	0,18	0,48	22,13	2,6	<0,02	63,80	0,02	<0,03	<0,55	10,20	<0,009	0,02	<0,025	0,42	6,5	9,30	4,12	14,0	0,05	<0,05	0,03				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,172	10,156	0,001	<0,001	0,006	1,370		12,083	4,031		0,079	0,053	0,048	5,29	414,7	25,3	4,07
	VALOR MAIS																									
	PROVÁVEL	0,18	0,48	22,13	2,6	<0,02	63,80	0,02	<0,001	0,172	10,18	0,001	<0,001	0,006	1,11	6,5	10,69	4,08	14,0	0,06	0,053	0,04	5,29	414,7	25,3	4,07
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,41	0,27	37,70	11,3	<0,02	56,35	0,29	<0,03	<0,55	16,10	<0,009	0,02	<0,025	0,05	7,9	8,50	1,00	21,5	0,08	0,05	0,02				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,352	20,275	0,001	0,003	0,012	0,716		11,779	1,230		0,097	0,038	0,067	6,14	348,5	22,8	4,31
	VALOR MAIS																									
	PROVÁVEL	0,41	0,27	37,70	11,3	<0,02	56,35	0,29	<0,001	0,352	18,18	0,001	0,012	0,012	0,38	7,9	10,14	1,12	21,5	0,09	0,04	0,04	6,14	348,5	22,8	4,31
MÉDIA DO PM-06	ALÍQUOTA B	0,26	0,42	19,67	3,9	0,02	33,17	0,11	<0,001	<0,55	7,23	<0,009	0,02	<0,025	0,24	5,4	5,65	1,55	14,6	0,07	<0,05	0,01				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,258	8,287	0,001	0,002	0,006	0,826		7,105	2,152		0,058	0,063	0,040	5,50	418,16	24,6	4,19
EM 10 MESES	VALOR MAIS	F	Br	Cl	NO_3	NO_2	SO_4	PO_4	Ag	Al	Ca	Cd	Cr total	Cu	Fe total	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn	pH	Eh	T	PROF NA
	PROVÁVEL	0,26	0,42	19,67	3,9	0,02	33,17	0,11	<0,001	0,258	7,76	0,001	0,003	0,007	0,69	5,4	6,38	1,55	14,6	0,053	0,063	0,033	5,50	418,2	24,6	4,19

TABELA V-106: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-07 (PZ-06)

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO PM-07

PROJETO: Resíduos de Barueri | **LOCAL:** Barueri - ETE da SABESP | **PERÍODO:** 09/1998 a 07/1999 | **LABORATÓRIO:** CEPAS/DGE/IGUSP

FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica

Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica

INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																						PROF.
MÊS DA COLETA	Parâmetro	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
	Lim de detecção								0,03	0,55	0,02	0,009	0,02	0,025	0,05		0,003	0,02		0,04	0,05	0,008				
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,10	0,16	7,99	0,1	0,02	47,03	0,04	<0,03	<0,55	25,05	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	4,0	4,30	0,13	11,8	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,069	24,403	0,001	0,001	0,002	2,119		5,394	0,155		0,004	0,023	0,010	5,65	180,4	25,0	5,93
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,10	0,16	7,99	0,1	0,02	47,03	0,04	<0,001	0,069	24,730	0,001	0,001	0,002	2,119	4,0	4,85	0,14	11,8	0,004	0,023	0,010	5,65	180,4	25,0	5,93
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,14	0,15	8,16	0,1	<0,02	63,53	0,06	<0,03	<0,55	27,05	<0,009	<0,02	<0,025	1,70	3,8	4,55	0,60	11,0	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,044	19,592	0,001	0,001	0,003	2,333		3,760	0,070		0,001	0,013	0,005	5,56	170,1	24,1	4,68
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,14	0,15	8,16	0,1	<0,02	63,53	0,06	<0,001	0,044	23,320	0,001	0,001	0,003	2,02	3,8	4,16	0,34	11,0	0,001	0,013	0,005	5,56	170,1	24,1	4,68
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,14	0,17	5,51	2,4	0,04	65,15	0,06	<0,03	<0,55	27,10	<0,009	<0,02	<0,025	2,33	3,8	5,50	0,49	9,4	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,027	34,200	0,001	0,002	0,001	1,363		5,400	1,175		0,003	0,013	0,003	5,79	124,8	26,6	4,36
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,14	0,17	5,51	2,4	0,04	65,15	0,06	<0,001	0,027	30,65	0,001	0,002	0,001	1,85	3,8	5,45	0,83	9,4	0,003	0,013	0,003	5,79	124,8	26,6	4,36
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	0,14	0,69	12,17	0,4	<0,02	67,72	0,04	<0,03	<0,55	34,10	<0,009	<0,02	<0,025	17,20	3,9	6,60	0,86	13,5	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,031	53,939	0,001	0,001	0,002	19,404		6,364	0,823		0,006	0,019	0,005	5,75	149,9	24,7	4,91
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,14	0,69	12,17	0,4	<0,02	67,72	0,04	<0,001	0,031	44,02	0,001	0,001	0,002	36,60	3,9	6,48	0,84	13,5	0,006	0,019	0,005	5,75	149,9	24,7	4,91
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,06	0,18	31,96	5,2	<0,02	48,01	0,12	<0,03	<0,55	21,40	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	4,7	3,40	0,16	15,8	0,04	<0,05	0,14				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,361	31,086	0,001	0,003	0,004	7,858		5,978	0,261		0,030	0,039	0,201	5,26	287,5	25,5	5,75
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,06	0,18	31,96	5,2	<0,02	48,01	0,12	<0,001	0,361	26,24	0,001	0,003	0,004	7,858	4,7	4,69	0,21	15,8	0,04	0,039	0,17	5,26	287,5	25,5	5,75
MÉDIA DO PM-07	ALÍQUOTA B	0,12	0,27	13,16	1,6	0,01	58,29	0,06	<0,03	<0,55	26,94	<0,009	<0,02	<0,025	7,08	4,0	4,87	0,45	12,3	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,106	32,644	0,001	0,001	0,002	6,615		5,379	0,497		0,009	0,021	0,045	5,60	182,54	25,2	5,13
EM	VALOR MAIS	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh	T	PROF NA
10 MESES	PROVÁVEL	0,12	0,27	13,16	1,6	0,01	58,29	0,06	<0,001	0,106	29,79	0,001	0,002	0,002	10,09	4,0	5,13	0,47	12,3	0,011	0,021	0,039	5,60	182,5	25,2	5,13

TABELA V-107: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água do poço PM-08 (PZ-05)

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO PM-08

PROJETO: Resíduos de Barueri | **LOCAL:** Barueri - ETE da SABESP | **PERÍODO:** 09/1998 a 07/1999 | **LABORATÓRIO:** CEPAS/DGE/IGUSP

FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica
Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica

INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																						PROF.
MÊS DA COLETA	Parâmetro / Lim de detecção	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Ag^+ 0,03	Al^{3+} 0,56	Ca^{2+} 0,02	Cd^{2+} 0,009	Cr^{total} 0,02	Cu^{2+} 0,025	Fe^{total} 0,05	K^+	Mg^{2+} 0,003	Mn^{2+} 0,02	Na^+	Ni^{2+} 0,04	Pb^{2+} 0,05	Zn^{2+} 0,008	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,05	0,51	7,66	0,2	0,04	27,23	0,02	<0,03	<0,55	9,05	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	4,2	14,20	1,62	7,4	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,080	9,920	0,001	0,001	0,002	3,985		14,720	1,550		0,007	0,011	0,011	5,57	362,0	26,0	4,88
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,05	0,51	7,66	0,2	0,04	27,23	0,02	<0,001	0,080	9,49	0,001	0,001	0,002	3,99	4,2	14,46	1,59	7,4	0,007	0,011	0,011	5,57	362,0	26,0	4,88
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,13	0,45	8,40	0,3	<0,02	23,93	0,07	<0,03	<0,55	9,25	<0,009	<0,02	<0,025	0,70	4,1	12,70	1,64	6,6	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,042	13,625	0,001	<0,001	0,002	1,286		7,600	1,635		0,009	0,007	0,012	5,56	283,3	23,8	5,02
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,13	0,45	8,40	0,3	<0,02	23,93	0,07	<0,001	0,042	11,44	0,001	<0,001	0,002	0,99	4,1	10,15	1,64	6,6	0,009	0,007	0,012	5,56	283,3	23,8	5,02
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,23	0,49	7,62	2,1	0,04	23,90	0,06	<0,03	<0,55	8,20	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	4,0	8,20	1,28	6,2	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,033	9,323	0,002	<0,001	0,002	0,159		9,271	3,255		0,009	0,015	0,022	5,58	502,7	25,7	3,56
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,23	0,49	7,62	2,1	0,04	23,90	0,06	<0,001	0,033	8,76	0,002	<0,001	0,002	0,16	4,0	8,74	4,17	6,2	0,009	0,015	0,022	5,58	502,7	25,7	3,56
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	0,04	0,29	9,11	0,9	<0,02	21,66	0,04	<0,03	<0,55	5,48	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	4,7	5,80	0,78	6,1	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,062	5,758	0,001	<0,001	0,002	0,086		6,162	0,773		0,006	0,011	0,015	5,28	405,0	26,9	5,28
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,04	0,29	9,11	0,9	<0,02	21,66	0,04	<0,001	0,062	5,62	0,001	<0,001	0,002	0,086	4,7	5,98	0,78	6,1	0,006	0,011	0,015	5,28	405,0	26,9	5,28
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	0,14	0,49	14,57	8,8	<0,02	35,73	0,13	<0,03	<0,55	10,30	<0,009	<0,02	<0,025	<0,05	4,5	12,00	1,42	10,8	<0,04	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,123	12,286	0,001	<0,001	0,002	0,365		14,761	1,629		0,009	0,018	0,028	5,59	358,6	26,7	5,74
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,14	0,49	14,57	8,8	<0,02	35,73	0,13	<0,001	0,123	11,29	0,001	<0,001	0,002	0,365	4,5	13,38	1,52	10,8	0,009	0,018	0,028	5,59	358,6	26,7	5,74
MÉDIA DO PM-08 EM 10 MESES	ALÍQUOTA B	0,12	0,45	9,47	2,5	0,04	26,49	0,06	<0,03	<0,55	8,46	<0,009	<0,02	<0,025	0,70	4,3	10,58	1,35	7,4	<0,004	<0,05	<0,008				
	ALÍQUOTA C								<0,001	0,068	10,182	0,001	<0,001	0,002	1,176		10,503	1,768		0,008	0,012	0,018	5,52	382,32	25,82	4,90
	VALOR MAIS PROVÁVEL	F	Br	Cl	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh	T	PROF NA
	PROVÁVEL	0,12	0,45	9,47	2,5	0,04	26,49	0,06	<0,001	0,068	9,32	0,001	<0,001	0,002	1,12	4,3	10,54	1,94	7,4	0,008	0,012	0,018	5,52	382,3	25,8	4,90

TABELA V-108: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de chorume do poço PM-09

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO POÇO DE CHORUME PM-09

PROJETO: Resíduos de Barueri | **LOCAL:** Barueri - ETE da SABESP | **PERÍODO:** 09/1998 a 07/1999 | **LABORATÓRIO:** CEPAS/DGE/IGUSP

FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica
Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica

INFORMAÇÕES GERAIS		TEORES (mg/l)																							PROF.
MÊS DA AMOSTRAGEM	Parâmetro / Lim de detecção	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+ 0,03	Al^{3+} 0,55	Ca^{2+} 0,02	Cd^{2+} 0,009	Cr^{total} 0,02	Cu^{2+} 0,025	Fe^{total} 0,05	K^+	Mg^{2+} 0,003	Mn^{2+} 0,02	Na^+	Ni^{2+} 0,04	Pb^{2+} 0,05	Zn^{2+} 0,008	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
SETEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	0,12	0,70	1042,22	11,11	152,09	124,28	31,27	<0,03	0,96	46,00	0,01	0,84	0,50	17,20	170,0	30,40	0,12	98,0	12,00	<0,05	0,55	7,95	-83,0	30,0	1,30
	ALÍQUOTA C																									
	VALOR MAIS PROVÁVEL	0,12	0,70	1042,22	11,1	152,09	124,28	31,27	<0,03	0,96	46,00	0,01	0,84	0,50	17,20	170,0	30,40	0,12	98,0	12,00	<0,05	0,55	7,95	-83,0	30,0	1,30
NOVEMBRO DE 1998	ALÍQUOTA B	43,10	18,71	1128,23	2,5	<0,02	32,59	26,38	<0,03	0,30	157,60	<0,009	1,02	0,14	3,70	150,0	52,20	0,02	85,0	<0,04	<0,05	0,09	7,66	-157,1	27,6	0,92
	ALÍQUOTA C																									
	VALOR MAIS PROVÁVEL	43,10	18,71	1128,23	2,5	<0,02	35,59	26,38	<0,03	0,30	157,60	<0,009	1,02	0,14	3,70	150,0	52,20	0,02	85,0	<0,04	<0,05	0,09	7,66	-157,1	27,6	0,92
JANEIRO DE 1999	ALÍQUOTA B	2,52	0,08	182,65	461,4	0,59	1469,27	0,02	<0,03	0,21	816,00	0,01	0,07	0,29	0,75	31,0	55,50	0,02	22,5	1,08	0,18	0,21	6,89	316,9	30,4	0,77
	ALÍQUOTA C																									
	VALOR MAIS PROVÁVEL	2,52	0,08	182,65	461,4	0,59	1469,27	0,02	<0,03	0,21	816,00	0,01	0,07	0,29	0,75	31,0	55,50	0,02	55,5	1,08	0,18	0,21	6,89	316,9	30,4	0,77
ABRIL DE 1999	ALÍQUOTA B	5,90	0,77	1262,76	1,7	<0,02	23,36	84,17	<0,03	1,53	16,70	<0,009	2,82	0,15	12,08	160,0	7,00	0,03	160,0	12,40	0,05	0,23	7,92	-97,0	33,0	1,03
	ALÍQUOTA C																									
	VALOR MAIS PROVÁVEL	5,90	0,77	1262,76	1,7	<0,02	23,36	84,17	<0,03	1,53	16,70	<0,009	2,82	0,15	12,08	160,0	7,00	0,03	160,0	12,40	0,05	0,23	7,92	-97,0	33,0	1,03
JULHO DE 1999	ALÍQUOTA B	5,84	3,97	1432,03	1,0	<0,02	76,85	77,49	<0,03	1,21	16,60	<0,009	1,95	<0,025	13,62	112,0	15,30	<0,02	56,0	7,08	0,15	0,17	7,84	-119,6	28,1	0,98
	ALÍQUOTA C																									
	VALOR MAIS PROVÁVEL	5,84	3,97	1432,03	1,0	<0,02	76,85	77,49	<0,03	1,21	16,60	<0,009	1,95	<0,025	13,62	112,0	15,30	<0,02	56,0	7,08	0,15	0,17	7,92	-119,6	28,1	0,98
MÉDIA DO PM-09 EM 10 MESES	ALÍQUOTA B	11,50	4,85	1009,58	95,5	30,54	345,27	43,87	<0,03	0,84	210,58	0,003	1,34	0,27	9,47	124,6	32,08	0,05	84,3	6,37	0,06	0,25	7,65	-27,96	29,8	1,00
	ALÍQUOTA C																									
	VALOR MAIS PROVÁVEL	F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh	T	PROF NA
	PROVÁVEL	11,50	4,85	1009,58	95,5	30,54	345,87	43,87	<0,03	0,84	210,58	0,003	1,34	0,27	9,47	124,6	32,08	0,05	90,9	6,37	0,06	0,25	7,67	-27,96	29,8	1,00

TABELA V-109: Integração dos resultados da análises químicas das amostras de água de todos os poços

MÉDIA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE TODOS OS POÇOS

PROJETO: Resíduos de Barueri	LOCAL: Barueri - ETE da SABESP	PERÍODO: 09/1998 a 07/1999	LABORATÓRIO: CEPAS/DGE/IGUSP

FERRAMENTAS: Determinação de cátions por Espectroscopia de Absorção Atômica
Determinação de ânions por Cromatografia Líquida Aniônica

INFORMAÇÕES GERAIS		MÉDIA DAS 5 DETERMINAÇÕES (mg/l)																						PROF.
POÇO AMOSTRADO		F^-	Br^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	Ag^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Cd^{2+}	Cr^{total}	Cu^{2+}	Fe^{total}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	pH	Eh (mv)	T (oC)	DO N.A. (m)
PM-01	ÁGUA	0,26	1,80	25,44	0,6	0,03	62,57	0,11	0,002	1,782	27,69	0,002	0,005	0,014	126,85	6,6	8,08	9,22	18,3	0,054	0,063	0,035	6,24	149,4	25,0	2,05
PM-02	ÁGUA	0,39	2,52	55,34	0,6	0,04	2,80	0,10	<0,001	16,157	29,72	0,003	0,003	0,015	28,03	27,1	14,51	4,12	26,1	0,048	0,031	0,031	6,42	139,5	25,5	3,69
PM-03	ÁGUA	0,29	3,35	41,49	1,2	0,04	4,52	0,05	0,002	0,952	25,75	0,002	0,003	0,008	119,93	2,5	11,07	5,87	25,7	0,037	0,061	0,020	6,34	124,1	24,2	2,92
PM-04	ÁGUA	0,16	0,41	7,43	3,4	0,01	1,60	0,20	<0,001	0,127	1,48	0,001	<0,001	0,005	0,123	1,5	1,99	1,42	5,9	0,032	0,040	0,030	5,06	397,1	24,4	2,25
PM-05	ÁGUA	0,41	0,51	78,86	0,5	0,10	8,04	0,08	<0,001	0,138	35,61	0,002	0,001	0,004	0,319	7,9	31,08	8,54	16,1	0,046	0,030	0,040	5,79	375,1	24,0	1,60
PM-06	ÁGUA	0,26	0,42	19,67	3,9	0,02	33,17	0,11	<0,001	0,258	7,76	0,001	0,003	0,007	0,688	5,4	6,38	1,85	14,6	0,053	0,063	0,033	5,50	418,2	24,6	4,19
PM-07 (PZ-06)	ÁGUA	0,12	0,27	13,16	1,6	0,01	58,29	0,06	<0,001	0,105	29,79	0,001	0,002	0,002	10,089	4,0	5,13	0,47	12,3	0,011	0,021	0,039	5,60	182,5	25,2	5,13
PM-08 (PZ-05)	ÁGUA	0,12	0,45	9,47	2,5	0,04	26,49	0,06	<0,001	0,068	9,32	0,001	<0,001	0,002	1,117	4,3	10,54	1,94	7,4	0,008	0,012	0,018	5,52	382,3	25,8	4,90
MÉDIA GERAL	ÁGUA	0,25	1,22	31,36	1,80	0,04	24,69	0,10	0,002	3,45	20,83	0,002	0,003	0,007	35,89	7,4	11,10	4,13	15,79	0,036	0,040	0,032	5,82	271,02	24,8	3,34
PM-09	CHORUME	11,50	4,85	1009,58	95,5	30,54	345,87	43,87	<0,03	0,84	210,58	0,003	1,34	0,27	9,47	124,60	32,08	0,05	90,9	6,37	0,06	0,25	7,67	-28,0	29,8	1,00

Esse fenômeno seria também um dos principais responsáveis pela diminuição do pH dos resíduos, principalmente em suas zonas basais.

O pH médio obtido para o chorume foi 7,67, valor compatível com os pH's medidos em amostras de resíduos dos corpos Sul, Leste e Oeste. O chorume apresenta Eh médio de –28,0 mv, constituindo-se portanto num meio com tendências redutoras.

A comparação entre os teores dos metais no chorume e os teores médios dos mesmos metais nos perfis executados nos resíduos dos corpos Sul, Leste e Oeste é apresentada na **Tabela V-110**.

Tabela V-110: Comparação entre os teores médios dos metais nos resíduos e o teor medido no chorume do PM-09

PERFIL	TEOR NO RESÍDUO DISPOSTO (mg/kg) ABERTURA : ÁCIDOS FORTES A QUENTE								
	Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
CORPO OESTE PERFIL A	20,50 ± 9,37	12,28± 2,25	1366,00± 315,01	950,00 ± 191,72	446,60 ± 121,94	263,00 ± 43,12	2083,00± 427,68	46040,00 ± 6119,84	526,00 ± 39,85
CORPO LESTE PERFIL A	22,98 ± 6,53	10,10 ± 2,86	842,40 ± 231,86	711,40 ± 128,35	319,40 ± 85,37	154,60 ± 36,47	1506,00 ± 444,07	42000,00 ± 2099,13	530,00 ± 70,41
CORPO LESTE PERFIL B	25,84 ± 6,29	11,79 ± 3,41	1031,43± 199,54	737,00 ± 136,08	343,29 ± 75,57	169,86 ± 32,81	2005,71± 466,93	43220,00 ± 2801,26	541,43 ± 57,38
CORPO LESTE PERFIL C	18,88 ± 4,91	11,23± 3,52	1003,75± 327,60	771,00 ± 276,92	234,25 ± 78,62	260,00 ± 73,71	2041,00± 491,4	38450,00 ± 15888,60	482,50 ± 32,76
CORPO SUL PERFIL A	24,67 ± 9,10	10,39 ± 2,07	1055,71± 292,40	1000,00± 192,49	539,14± 96,94	280,43 ± 75,89	2581,43± 541,30	39671,43 ± 5212,94	420,00 ± 68,34
CORPO SUL PERFIL B	14,47 ± 5,69	8,50 ± 2,57	843,33± 75,32	863,83± 221,72	734,33± 283,76	196,83 ± 42,56	3750,00± 1635,45	35566,67 ± 5968,91	418,33 ± 139,38
CORPO SUL PERFIL C	35,95 ± 8,65	15,45 ± 3,37	907,56± 743,29	372,47± 305,04	506,00± 110,35	473,25 ± 122,90	2917,50± 730,22	46450,00 ± 4968,97	492,50 ± 40,88
MÉDIA GERAL DOS RESÍDUOS	23,33 ± 7,22	11,39 ± 2,86	1007,11± 312,15	772,24± 207,474	446,14± 121,80	256,85 ± 61,06	2412,09± 676,72	41628,23 ± 6151,52	487,25 ± 64,14
TEOR NO CHORUME DO PM-09	<0,003	0,003	1,34	0,27	6,37	0,06	0,25	124,6	0,05

A comparação direta entre os teores médios dos metais nos resíduos (em cada perfil individual e no conjunto geral dos perfis) e os respectivos teores médios obtidos diretamente no chorume evidencia que os teores dos chorumes são muito inferiores aos teores médios obtidos para os resíduos totais. A relação percentual entre os teores dos dois materiais é exibida na **Tabela V-111**.

Tabela V-111: Relação percentual entre os teores médios dos metais nos resíduos e o teor médio nos chorumes do PM-09

PERFIL	RELAÇÃO PERCENTUAL ENTRE OS TEORES MÉDIOS NO CHORUME E NOS RESÍDUOS (%)								
	Ag	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
MÉDIA GERAL DOS RESÍDUOS	<0,01	0,02	0,13	0,03	1,43	0,02	0,01	0,30	0,01

Verifica-se que os metais Ag, Cd, Pb, Zn e Mn ocorrem nos chorumes em teores que valem de 0,01% a 0,02% dos respectivos teores médios nos resíduos. Se considerarmos que o chorume é o resultado da lixiviação dos resíduos dispostos pela água conclui-se que, pelo menos no momento das amostragens, esses metais estavam sendo removidos dos resíduos a taxas muito reduzidas. Já os metais Ni, Cr e Fe apresentam um outro comportamento. Os teores médios de Ni, Fe e Cr medidos nos chorumes equivalem respectivamente a 1,43%, 0,30% e 0,13% dos teores médios dos mesmos metais nos resíduos. Verifica-se assim que esses três metais estão sendo eliminados dos resíduos a taxas bem mais elevadas que os demais.

A comparação entre os teores dos metais nos chorumes e a média obtida para os resíduos como um todo também permite afirmar que a maior parcela dos metais contidos nos resíduos não está na fase líquida, sob formas solúveis, devendo portanto estar associada à fase sólida. Dessa forma, as condições de pH e Eh reinantes no interior da massa de resíduos ainda favoreceria a permanência dos metais na fase sólida, permitindo a sua liberação somente em pequenas taxas.

. Considerações preliminares: 17) Os resultados obtidos nas análises químicas das águas subterrâneas

A análise química da grande maioria das amostras de águas subterrâneas evidenciou teores de pequena magnitude para a maioria dos metais traço. Apenas a amostra coletada em julho de 99, no PM-02, resultou em teores relativamente elevados para Cr, Ni, Pb e Zn, teores bem superiores, inclusive, aos obtidos em amostras coletadas no mesmo poço em outras datas. Essa constatação levou à suspeita da ocorrência de erro na preparação ou na análise dessa amostra específica. Assim, os teores médios dos metais Cr, Ni e Pb para o PM-02 foram calculados sem considerar os resultados obtidos na amostragem executada em julho de 1999. Levando-se isso em consideração, é feita a seguir uma breve descrição do comportamentos dos teores dos diversos metais.

Três metais ocorrem em concentrações de ordem 10^{-3} mg/l: a prata, que ocorre desde teores inferiores a 0,001 mg/l até 0,002 mg/l; o cádmio, que ocorre entre

0,001 e 0,003 mg/l; e o cromo, que ocorre entre 0,001 e 0,005 mg/l, considerando o conjunto dos poços. O cobre ocorre em concentrações de ordem 10^{-3} e 10^{-2} mg/l: de 0,002 mg/l a 0,008 mg/l nos poços PM-03, PM-04, PM-05, PM-06 e PM-07 e 0,014 mg/l e 0,015 mg/l, respectivamente nos poços PM-01 e PM-02. Os metais que ocorrem em concentrações de ordem 10^{-2} mg/l são o níquel (entre 0,01 mg/l e 0,05 mg/l), o chumbo, (de 0,01mg/l a 0,06mg/l) e o zinco (de 0,02 mg/l a 0,04 mg/l). O manganês ocorre em concentrações de ordem 10^{0} e 10^{1} mg/l em todos os poços, enquanto o ferro chega a teores de ordem 10^{2} mg/l nos poços PM-01 e PM-03.

Além da ocorrência desses metais, as análise químicas das águas subterrâneas evidenciaram a presença de teores consideráveis de outros cátions (Al, Ca, K, Na e Mg), bem como dos ânions F^-, Br^-, Cl^-, NO_3^-, NO_2^-,SO_4^{2-} e PO_4^{2-}.

. Considerações preliminares: 18) Avaliação dos resultados obtidos na caracterização química das águas subterrâneas do ponto de vista ambiental

Para que seja possível a avaliação do grau de contaminação da água subterrânea da área estudada pelos metais, é apresentada a seguir a **Tabela V-112**, na qual são apresentados os teores dos metais na água dos poços de monitoramento, acompanhados dos respectivos teores de intervenção, extraídos de CETESB (2000). Os campos marcados em vermelho representam teores superiores aos teores de intervenção, e que portanto, de acordo com a classificação da CETESB *op.cit*, exigiriam medidas de remediação ambiental.

TABELA V-112: Teores de intervenção - água subterrânea - Estado de São Paulo e teores médios determinados para a água subterrânea da área da ETE

METAL	TEORES (mg/l)								
	TEORES DE INTERVENÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO	MÉDIA NOS POÇOS ANALISADOS							
		PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08
Ag	0,05	0,002	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cd	0,005	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Cr	0,05	0,005	**0,003**	0,003	<0,001	0,001	0,003	0,002	<0,001
Cu	1	0,014	0,015	0,008	0,005	0,004	0,007	0,002	0,002
Mn	0,01	**9,22**	**4,12**	**5,87**	**1,42**	**8,54**	**1,85**	**0,47**	**1,94**
Fe	3	**126,85**	**28,03**	**119,93**	0,123	0,316	0,688	10,089	1,117
Ni	0,08	0,054	**0,048**	0,037	0,032	0,046	0,053	0,011	0,008
Pb	0,05	**0,063**	**0,031**	**0,061**	0,040	0,030	**0,063**	0,021	0,012
Zn	5	0,035	0,278	0,020	0,030	0,040	0,033	0,039	0,018

CETESB, (2000).

Verifica-se que, dentre os metais estudados, apenas três espécies ocorrem em teores superiores aos teores de intervenção: **Mn**, **Fe** e **Pb**. O Mn ocorre acima do teor de intervenção em todos os poços. Já o Pb ocorre nessas condições nos poços PM-01, PM-03 e PM-06. O Fe ocorre em valores anômalos nos poços PM-01, PM-02, PM-03 e PM-07.

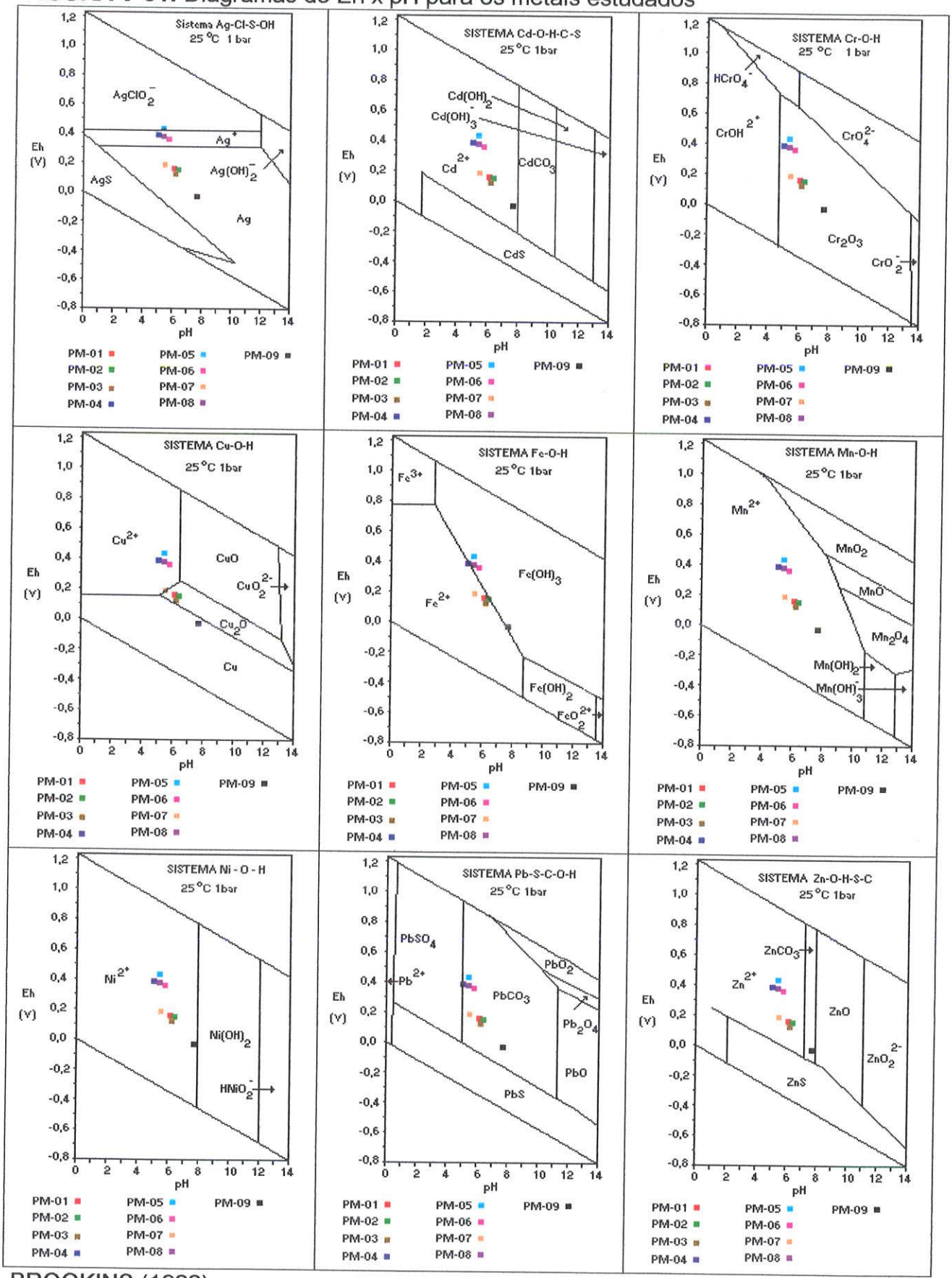
Da **Tabela V-112** evidencia-se também que os poços PM-01 , PM-02, PM-03 e PM-07, todos na região sul da área da ETE e sob influência direta do corpo Sul, são os poços cuja água apresentou a maior incidência de metais acima do teor de intervenção, apresentando teores anômalos de Mn e Fe. O poço PM-06 apresentou teores anômalos de Mn e Pb. Os demais poços apresentaram valores anômalos apenas para o metal Mn.

b. O comportamento dos metais contidos no chorume e na água subterrânea em função do pH e do Eh dos meios e suas relações com os resíduos e solos

Para compreensão do comportamento dos diversos metais no que diz respeito às formas de ocorrência na água subterrânea e nos chorumes, foram elaborados diagramas de pH x Eh para todos os metais estudados. Nesses gráficos foram lançados os valores de pH's e Eh's médios obtidos para todos os poços de monitoramento de água subterrânea bem como para o poço de monitoramento de chorume. Esses diagramas são exibidos na **Figura V-31**.

Juntando-se as informações sobre as condições físico-químicas da água subterrânea e dos chorumes obtidas a partir dos diagramas de pH x Eh, para cada metal, com as conclusões preliminares já obtidas neste trabalho sobre as formas de ocorrência dos metais nos resíduos e nos solos, é possível estimar os comportamentos mais prováveis dos metais nos diversos meios após a disposição dos resíduos no solo.

FIGURA V-31: Diagramas de Eh x pH para os metais estudados



BROOKINS (1988)

Considerações preliminares: 19) O comportamento dos metais no chorume, água subterrânea, resíduos e solos em função das variações do pH e do Eh em cada meio

Do ponto de vista dos valores encontrados para o Eh, os poços de monitoramento de água subterrânea dividem-se em dois grupos:

. o primeiro, constituído pelos poços PM-01, PM-02, PM-03 e PM-07, cuja água apresenta Eh's entre +124,1 mV e + 182,5 mV.

. o segundo, constituído pelos poços PM-04, PM-05, PM-06 e PM-08, cuja água apresenta Eh's de +375,1mV a +418,2 mV.

As condições exibidas pelo primeiro grupo são mais redutoras que as do segundo grupo. Cabe ressaltar que os 4 poços integrantes do primeiro grupo, estão todos situados ao sul da área da ETE, sob influência direta do Corpo Sul de resíduos. Pode-se afirmar portanto que, do ponto de vista dos valores de Eh, as maiores anomalias nas águas subterrâneas ocorrem no subsolo sotoposto ao corpo sul ou naquele situado a jusante dele. Os poços do grupo 1 são também os que apresentaram as maiores anomalias para Fe e Mn.

Já do ponto de vista dos valores do pH da água, os poços podem também ser divididos em dois grupos:

. o primeiro, constituído pelos poços PM-01, PM-02 e PM-03, cuja água apresenta pH's entre 6,24 e 6,42.

. o segundo, constituído pelos poços PM-04, PM-05, PM-06, PM-07 e PM-08, cuja água apresenta pH's entre 5,06 e 5,60.

Verifica-se que as condições exibidas pelos poços do primeiro grupo são mais alcalinas que as exibidas pelos poços do segundo grupo. Coincidentemente, os poços PM-01, PM-02 e PM-03, do grupo 1, também pertencem ao grupo cuja água apresentou Eh's mais baixos.

A partir dos diagramas Eh x pH, são tecidas a seguir algumas considerações sobre o comportamento de cada metal na água subterrânea e no chorume, bem como sobre o seu comportamento nos resíduos frescos originais e nos solos impactados por esses resíduos.

. **Prata:** As condições de Eh e pH indicam que a espécie Ag° é a mais estável na água dos poços PM-01, PM-02, PM-03 e PM-07, bem como no de chorume. As condições existentes nos poços PM-04, PM-06 e PM-08 permitiriam a existência da espécie Ag^{+}, enquanto as condições encontradas no PM-05 favoreceriam a ocorrência da espécie $AgClO_2^{-}$. Cabe ressaltar entretanto, que não foi detectada a presença de Ag solúvel em nenhuma das amostra de água dos poços e nem na de chorume.

Neste trabalho, determinou-se a ocorrência de consideráveis teores de prata nos resíduos originais, verificou-se que ocorreu a sua remoção e detectou-se a sua presença em vária amostras de solo. Portanto, a prata foi efetivamente mobilizada a partir dos resíduos e chegou aos solos. Para que isso acontecesse, esse metal necessariamente deve ter ocorrido em algum momento sob formas solúveis.

Analisando-se o diagrama de Eh x pH verifica-se que a existência de espécies solúveis da prata depende pouco do pH, mas é muito influenciada pelo Eh. A mobilização da prata só seria possível caso ela passasse à forma Ag^{+}, em função do aumento do Eh dos resíduos até valores superiores a 300 mV. Esse aumento do Eh poderia acontecer numa ampla gama de pH's, com o mesmo resultado. Somente nesse caso, seria possível a solubilização da prata dos resíduos sob a forma Ag^{+}. E essa situação pode ter ocorrido, principalmente nas zonas mais superficiais dos resíduos dispostos.

As porções superficiais dos resíduos apresentaram, na época da amostragem, uma clara diferenciação vertical. As zonas mais superficiais, até aproximadamente 0,90m, exibiam um perfil ressecado, com fraturas e fissuras, chegando inclusive a exibir gretas de contração na sua parte superior. A existência de uma estrutura interna como essa favorece a ocorrência de três fenômenos:

. o aumento do potencial redox dessa região em função da aeração dos resíduos através das fraturas, fissuras e vazios;

. a diminuição do pH de abrasão dessa região em função da penetração de água da chuva com pH's consideravelmente inferiores aos pré-existentes nos resíduos;

. a lixiviação de eventuais materiais solúveis existentes nessa região em função da percolação de águas através das fraturas, fissuras e vazios por ocasião das chuvas.

É provável portanto, que a prata contida nos resíduos originais sob a forma Ag^0 tenha se transformado na espécie Ag^+ graças à oxigenação das porções mais superficiais dos pacotes. A prata assim solubilizada migraria para o solo, onde seria adsorvida, principalmente por hidróxidos de ferro. Uma forte evidência da solubilização preferencial da prata nas zonas mais superficiais dos resíduos é o seu F_{CB} (Fator de Concentração na Base). O F_{CB} da prata foi calculado em 2,49. Esse valor somente é inferior aos F_{CB}'s calculados para do cromo e o zinco.

Um outro mecanismo possível para a mobilização da prata a partir dos resíduos, que poderia ter ocorrido principalmente em suas zonas basais, seria a sua incorporação a complexos orgânicos solúveis. De acordo com FERGUSSON, (1990) a prata pode formar complexos orgânicos solúveis em pH's alcalinos, principalmente com compostos húmicos. Esses complexos se tornariam insolúveis em pH's mais ácidos.

Assim, no caso da prata, a diferenciação vertical dos resíduos aparentemente foi determinante na própria ocorrência do processo de dissolução do metal.

. **Cádmio:** As condições de Eh e pH encontradas na água subterrânea e no chorume indicam a espécie Cd^{2+} como a mais estável nesses meios. Foram detectados teores muito baixos do metal, de ordem 10^{-3} mg/l, em ambos os meios. De acordo com MARUYAMA *et al.*, (1975) as formas mais prováveis de ocorrência do cádmio nos resíduos frescos seriam os carbonatos e os hidróxidos. A partir do diagrama de pH x Eh para o Cd, verifica-se que esses compostos tornam-se solúveis apenas com a ocorrência de uma diminuição do pH dos resíduos, fenômeno que favoreceria a liberação da forma solúvel Cd^{2+}. Nesse processo, as modificações do Eh teriam pouca importância na estabilidade do Cd^{2+}.

As análises dos resíduos frescos evidenciaram que o cádmio ocorria em teores consideráveis nos resíduos originais. As análises dos resíduos dispostos evidenciaram que esse metal foi parcialmente removido após a disposição dos resíduos no meio ambiente. Verificou-se também que o cádmio não foi retido pelos solos sotopostos aos resíduos. Portanto, a maior probabilidade é de que a remoção do cádmio tenha efetivamente ocorrido, sob a forma de Cd^{2+}, porém em quantidades tais

que permitiram a sua diluição nos corpos hídricos subterrâneos. De acordo com esse modelo, ocorreria uma paulatina eliminação do metal dos resíduos sob a forma Cd^{2+} e o metal liberado seria incorporado às águas subterrâneas do local, permanecendo sob a forma Cd^{2+}. No entanto, essa incorporação ocorreria a uma velocidade baixa o suficiente para a permitir a diluição do metal nos corpos hídricos locais. Os resultados finais mais palpáveis dessa lenta liberação seriam os baixos teores de Cd, da ordem de 10^{-3} mg/l, detectados na água subterrânea.

No caso do cádmio, a diferenciação vertical dos pacotes de resíduos exerceria influência limitada na dissolução do metal: apenas induziria a diminuição mais acentuada do pH das zonas superficiais e a maior lixiviação dos solutos ali originados. Assim, é provável que o Cd contido nas zonas superficiais tenha se solubilizado e sido removido mais intensamente que o Cd contido nas zonas basais. No entanto, como a redução do pH acabou por ocorrer em todo o perfil, o metal também deve ter sido liberado em toda sua extensão vertical.

Assim, no caso do cádmio, a diferenciação vertical dos resíduos aparentemente teve papel na determinação de velocidades diferentes para a dissolução do Cd das zonas superficial e basal, mas não interferiu nos caminhos do processo de dissolução.

- **Cromo:** Todas as amostras de água e de chorume analisadas apresentaram condições para ocorrência do cromo apenas sob a forma Cr_2O_3, insolúvel. O cromo solúvel está praticamente ausente de todas as amostras de água subterrânea, comportamento coerente com as condições de pH e Eh determinadas para esse meio. Já o teor de médio de Cr encontrado em solução nos chorumes é de 1,34 mg/l, valor elevado e incompatível com a existência única da forma Cr_2O_3.

Detectou-se a presença de teores consideráveis de Cr nos resíduos originais, caracterizou-se a sua remoção parcial dos resíduos dispostos. Detectou-se também a sua presença nos solos sotopostos aos resíduos principalmente nas zonas mais superficiais dos solos. Portanto há evidências da liberação do cromo a partir dos resíduos e da sua fixação nos solos. A existência de uma forma solúvel de Cr é indispensável para explicar esses fatos.

Uma explicação plausível, estaria ligada novamente ao comportamento diferenciado dos metais contidos nas zonas basais e superficiais dos corpos de resíduos, conforme apresentado na discussão do comportamento da prata.

O aumento do potencial redox das zonas superficiais dos resíduos levaria o Cr existente sob a forma Cr_2O_3 a solubilizar-se sob a forma CrO_4^{2-}. O cromo solúvel seria removido das zonas superficiais e transferido para o meio externo, chegando ao solo. Os valores mais baixos do pH dos solos favoreceriam novamente a fixação do CrO_4^{2-}, seja re-precipitado como Cr_2O_3, seja adsorvido a hidróxidos de ferro ou argilo-minerais dos solos. A fixação do Cr no solo impediria o seu aporte à água subterrânea.

Nas zonas basais, a provável persistência de potenciais redox em valores baixos, só permitiria a alteração da espécie Cr_2O_3 para a espécie $Cr(OH)_2^+$ caso os pH's atingissem valores inferiores a 4,5. Valores de pH's dessa ordem não ocorrem nos resíduos. O menor valor encontrado em todas as amostras coletadas foi de 7,23. Portanto, a disponibilização do cromo solúvel a partir dos resíduos deve ter ocorrido quase que exclusivamente nas zonas mais superficiais dos corpos, pela solubilização do Cr_2O_3, originando a espécie CrO_4^{2-}. O fato do cromo ser o metal com maior F_{CB} (2,94) vem ao encontro dessa hipótese.

Portanto, no caso do cromo, a diferenciação vertical dos resíduos parece ter tido papel fundamental na própria ocorrência do processo de dissolução.

. **Cobre:** De acordo com o diagrama de pH x Eh, as condições de pH e Eh da água permitem a ocorrência do cobre sob duas formas principais: Cu^{2+} nos PM's 04, 05, 06 e 08 e CuO_2 nos PM's 01, 02, 03 e 07. No chorume, a forma mais estável é a do Cu^0. Os teores encontrados para cobre de forma geral foram muito baixos em todas as amostras de água. Os teores encontrados nos chorumes também não são elevados.

O cobre foi detectado em teores consideráveis no resíduo original e dele foi removido após a sua disposição no meio ambiente. Verificou-se também que o cobre foi um dos metais mais retidos nos solos sotopostos aos resíduos. Conclui-se assim, que houve remoção do cobre dos resíduos e que essa remoção deu-se sob alguma forma solúvel. A forma Cu^{2+}, estável em pH's inferiores a 7, é a mais provável.

A redução do pH e o aumento do potencial redox dos resíduos, levaria as condições físico-químicas paulatinamente em direção ao campo de estabilidade do

Cu^{2+}. Mais uma vez, as zonas superficiais dos resíduos devem ter atingido essas condições antes das zonas basais. As regiões superficiais devem ter liberado o cobre sob a forma Cu^{2+}, solúvel, em maiores quantidades que as zonas basais.

O cobre assim solubilizado teria migrado para os solos sotopostos, onde ficaria retido. De acordo com FERGUSSON (1990), o cobre tem forte afinidade por hidróxidos de ferro e manganês, materiais carbonáticos e por alguns argilominerais. Dependendo das condições físico-químicas do ambiente, até 90% do Cu presente poderá estar adsorvido à fase sólida do solo. A retenção do cobre pelo solo dificultou a sua incorporação pelas águas subterrâneas.

Dentre os metais traço o cobre apresentou o menor F_{CB}: 1,85, fato que evidencia a limitação do papel da diferenciação vertical dos resíduos na dissolução desse metal. No caso do cobre, a diferenciação vertical dos resíduos aparentemente teve papel na determinação de velocidades diferentes para a dissolução do Cu das zonas superficial e basal, mas não determinou os caminhos do processo de dissolução.

Ferro: As condições de pH e Eh encontradas para os poços permitem a ocorrência do ferro sob duas formas principais: Fe^{2+} nos PM's 01, 02, 03 e 07 e $Fe(OH)_3$ nos PM's 04, 05, 06 e 08. Já as condições encontradas para o chorume são características da zona limítrofe entre os campos de estabilidade do Fe^{2+} e do $Fe(OH)_3$. Como os maiores teores de ferro foram encontrados nos poços PM-01, PM-02, PM-03 e PM-07 os resultados estão plenamente de acordo com as formas esperadas a partir do diagrama pH x Eh.

De acordo com ECKENFELDER, (1991) o ferro ocorre nos resíduos sob a forma de hidróxidos. Levando-se em conta as alterações de pH e Eh ocorridas de formas diferentes nas zonas basais e superficiais dos pacotes de resíduos, é possível que o ferro tenha se comportado de forma distinta em cada uma dessas duas zonas. Nas regiões basais, a maior tendência é de diminuição do pH com manutenção ou pequeno aumento do Eh. Nesse caso, à medida em que o pH dos resíduos baixa, o ferro passaria para a forma solúvel Fe^{2+} que seria removida dos resíduos passando diretamente para o solo. O ferro solúvel, dependendo das condições de pH locais re-precipitaria como hidróxido ou permaneceria em solução como Fe^{2+} na água

subterrânea. Já nas zonas mais superficiais a diminuição do pH é acompanhada por um aumento mais expressivo do potencial redox em função da aeração. Nesse caso, o ferro tenderia a permanecer sob formas insolúveis por um tempo maior.

Uma evidência a favor dessa tese é o fato do ferro ser o metal com menor F_{CB} nos resíduos depois do manganês. O F_{CB} do ferro nos resíduos foi calculado em 1,31. Portanto, no caso do ferro a diferenciação vertical dos resíduos teria agido no sentido oposto ao dos demais metais: favoreceu a dissolução do metal contido na base do pacote. No caso do ferro, a diferenciação vertical dos resíduos aparentemente teve papel decisivo na natureza do processo da sua dissolução.

Manganês: Os diagramas de pH x Eh indicam a espécie Mn^{2+}, solúvel, como a mais estável em todos os poços de monitoramento, inclusive no chorume. É relevante o fato da ocorrência da espécie Mn^{2+}, solúvel, ser incompatível com a ordem de grandeza dos teores de Mn encontrados no chorumes quando estes são comparados aos teores totais de Mn nos resíduos: os teores do chorumes representam apenas 0,01% dos teores de Mn nos resíduos totais.

O Mn deve ter ocorrido nos resíduos originais principalmente como espécies pouco solúveis (óxidos e hidróxidos), estáveis nas condições de elevados pH's originalmente existentes. A diminuição do pH verificada nos resíduos favoreceria a solubilização desses compostos levando o manganês a ocorrer preferencialmente sob a forma Mn^{2+}. Tal mecanismo poderia ocorrer nas zonas menos oxigenadas do pacote, principalmente nas suas porções basais, onde ocorreria diminuição do pH acompanhada de quase estabilidade dos valores do Eh. Nesse caso, haveria a possibilidade do manganês migrar dos resíduos diretamente para os solos.

Uma vez nos solos o Mn poderia re-precipitar como óxido ou hidróxido, caso as condições de pH permitissem, ou migrar para a água subterrânea como Mn^{2+}.

Por outro lado, nas porções mais superficiais dos pacotes de resíduos, poderia ocorrer a permanência do Mn por um maior tempo sob formas insolúveis, pois a diminuição do pH desses locais seria acompanhada por aumentos mais significativos no potencial de oxidação, em função da aeração dos resíduos. Assim, as formas insolúveis poderiam persistir por um tempo maior nas zonas superficiais dos resíduos.

Mesmo assim, o Mn dessa zona também acabaria por se transformar na espécie solúvel Mn^{2+}, podendo então migrar para o solo e para a água subterrânea.

Essa tese é reforçada pelo fato do manganês ser o metal com menor F_{CB} dentre todos os metais estudados. O F_{CB} do manganês foi calculado em 1,08.

Portanto, assim como ocorreu com o ferro, a diferenciação vertical dos resíduos aparentemente teve papel decisivo na definição da natureza dos processos de dissolução do manganês.

Níquel: De acordo com o diagrama pH x Eh, a espécie mais estável do níquel, tanto na água subterrânea como no chorume é o Ni^{2+}. No diagrama, o chorume está posicionado em condições próximas ao limite com a zona de estabilidade do $Ni(OH)_2$. Os teores de Ni encontrados na água subterrânea são baixos, da ordem de 0,04 mg/l. Os teores encontrados nos chorumes são da ordem de 6,3 mg/l.

A solubilidade do Ni nos resíduos é dependente exclusivamente das condições de pH. Portanto, assim como ocorre com o cádmio, a diferenciação vertical dos resíduos teria papel na mobilização do metal exclusivamente em função da maior diminuição de pH nas suas zonas superficiais. O Ni contido nessas zonas teria assim se solubilizado antes e em maior intensidade que o níquel contido nas zonas basais.

Pelo mecanismo proposto, o Ni dos resíduos estaria originalmente sob a forma de hidróxidos. A diminuição do pH levaria à espécie Ni^{2+}, solúvel, que migraria para o solo e para a água subterrânea. A análise dos solos sotopostos aos resíduos indicou teores anômalos do metal, de onde conclui-se que houve retenção do Ni pelo solo. No entanto, essa retenção não impediu que uma parcela do metal fosse transferida para a água subterrânea.

Dessa forma, assim como no caso do cádmio, a diferenciação vertical dos resíduos aparentemente teve papel na determinação de velocidades diferentes para a dissolução do Ni das suas zonas superficial e basal, mas não interferiu na natureza do processo de dissolução.

Chumbo: De acordo com o diagrama pH x Eh, a espécie mais estável do chumbo, tanto na água subterrânea como no chorume, é o $PbCO_3$. Os teores de Pb

solúvel encontrados na água subterrânea (0,012 mg/l a 0,063 mg/l) e nos chorumes (0,060 mg/l) indicam que as condições existentes não são propícias para a solubilização desse metal. No entanto, as caracterizações dos resíduos e dos solos levaram à constatação de que o chumbo foi removido dos resíduos e foi fixado no solo sotoposto. A observação direta do diagrama pH x Eh para o sistema Pb-S-C-O-H não oferece nenhum caminho para a ocorrência das formas solúveis de Pb, formas essas que pudessem migrar dos resíduos para os solos. De acordo com MARUYAMA *et al.*, (1975) as formas mais prováveis de ocorrência do chumbo nos resíduos são os carbonatos, hidróxidos e sulfatos, espécies que, inclusive, foram identificadas nas análises dos resíduos ao MEV.

Se ao invés do sistema Pb-S-C-O-H utilizar-se o sistema Pb-C-O-H, haveria a possibilidade da dissolução direta dos carbonatos de chumbo, originando a forma Pb^{2+}. Isso ocorreria se os pH's dos resíduos chegassem a valores inferiores a 5,5. No entanto, não há evidências que os resíduos cheguem a apresentar pH's inferiores a 7. O menor valor medido para o pH dos resíduos dispostos foi de 7,23. Portanto, essa alternativa também é improvável.

Existe no entanto, um mecanismo possível para a solubilização do chumbo a partir dos resíduos, apresentado por JENKIS & COOPER (1964). Segundo esses autores, a presença de NTA nos lodos residuais de esgotos domésticos é comum. O NTA (Ácido Nitriloacético) é usado na fabricação de detergentes como substituto dos fosfatos. Esse composto reage com os carbonatos de Pb que ocorrem nos lodos condicionados, provocando a sua solubilização de acordo com a reação:

$$PbCO_3 + HT^{2-} \Leftrightarrow PbT^{-} + HCO_3^{2-}.$$

Segundo o mecanismo proposto, o Pb estaria disponível para o meio ambiente sob a forma de complexo orgânico solúvel. Esse complexo atingiria o solo, onde ocorreria a fixação do chumbo. De acordo com FERGUSSON (1990), o chumbo liga-se facilmente a hidróxidos de Mn e Fe no solo, imobilizando-se.

Zinco: O zinco ocorre em teores muito baixos na água subterrânea: entre 0,018 mg/l e 0,040 mg/l. No chorume também ocorre em teores baixos: da ordem de 0,25 mg/l. De acordo com o diagrama de pH x Eh, a forma mais estável para o Zn nos chorumes é a dos carbonatos. Porém, nas águas subterrâneas, a forma mais estável seria a forma divalente Zn^{2+}, solúvel.

Verificou-se que o zinco foi removido dos resíduos em percentual próximo a 30%. Verificou-se também que ele foi fixado pelos solos, principalmente nos horizontes que estavam em contato direto com os resíduos.

A solubilização dos compostos de zinco presentes nos resíduos é influenciada principalmente pela diminuição do pH. Mais uma vez, a diferenciação vertical dos resíduos aparenta ter papel crucial na especiação dos compostos.

Nas regiões basais dos corpos, a diminuição do pH pode ter ocasionado inicialmente a dissolução dos carbonatos e hidróxidos de Zn com liberação da espécie solúvel Zn^{2+}. No entanto, caso não tenha ocorrido também um aumento significativo do Eh dessa região, o que é provável, o zinco possa ter se precipitado novamente, agora sob a forma de sulfetos. Eventuais percolações de chorumes poderiam transportar a parcela do Zn^{2+} que estivesse em solução até o solo, onde ele se fixaria.

Na zona superficial dos corpos de resíduos, a tendência seria a de diminuição do pH e de aumento do Eh. Ambos os processos ocorreriam de forma mais intensa do que nas zonas basais. Nesse caso poderia ocorrer a dissolução dos carbonatos e hidróxidos de Zn, com formação da espécie Zn^{2+} que seria removida das zonas mais superficiais dos resíduos. Essa espécie, solúvel, também atingiria o solo sendo fixada em hidróxidos de ferro e argilo-minerais.

No caso do zinco, a diferenciação vertical dos resíduos aparentemente teve papel tanto na determinação de velocidades diferentes para a dissolução do Zn das zonas superficial e basal, como na própria definição dos caminhos da dissolução.

VI – SÍNTESE E CONCLUSÕES FINAIS

Considerando o conjunto de resultados obtidos neste trabalho e partindo-se das discussões e conclusões parciais já apresentadas sob a forma de "Considerações Preliminares" no Capítulo V, é possível proceder a uma síntese final e à estruturação de um modelo para o objeto em estudo.

Os resíduos frescos produzidos pela ETE de Barueri constituem-se num material com características físico-químicas bastante complexas. São portadores de grande número de compostos orgânicos e inorgânicos e servem de suporte para o desenvolvimento de atividade biológica de origem bacteriana. Suas características físico-químicas também são especiais: têm pH's muito elevados, próximos a 12, e constituem-se em ambiente redutor. Esses resíduos foram expostos às condições ambientais superficiais em Barueri e sofreram uma série de transformações de natureza física, química e físico-química.

A primeira delas não foi diretamente provocada pela exposição dos resíduos às condições ambientais, e sim, por uma conjunção de fatores de ordem interna aos próprios resíduos. Portanto, a primeira transformação que os resíduos sofreram teve um caráter endógeno.

Essa primeira transformação, endógena, está relacionada à diminuição dos pH's dos resíduos em função da continuidade do processo de digestão anaeróbia no seu interior. Uma clara evidência de que essa atividade continuou a ocorrer são as temperaturas medidas nos chorumes: próximas a 30 °C. Ressalte-se que tais temperaturas foram medidas em resíduos que estavam dispostos ao ar livre por mais de 5 anos.

A persistência do processo de digestão anaeróbia nos resíduos está relacionada a limitações técnicas existentes em duas etapas do processo de tratamento dos esgotos empregado em Barueri: a digestão anaeróbia, que não consegue eliminar toda a matéria orgânica presente nos lodos, e o condicionamento químico, que não consegue eliminar completamente a atividade bacteriana anaeróbia.

A conseqüência da persistência de matéria orgânica e bactérias anaeróbias num ambiente anóxico, como o constituído pelos lodos, levou à continuidade do processo de digestão anaeróbia por vários anos. Esse processo é responsável pela geração de ácidos e, conseqüentemente, pela diminuição do pH dos resíduos.

A segunda transformação ocorrida nos resíduos também está relacionada à redução do seu pH. No entanto, essa outra transformação está diretamente ligada à exposição dos resíduos às condições ambientais. Portanto, é uma transformação de caráter exógeno.

Dessa segunda modificação não existem evidências diretas, apenas indiretas. A principal delas é o comportamento dos pH's medidos nos perfis verticais dos resíduos. Todos os perfis, sem exceção, indicaram a ocorrência de pH's mais baixos no topo dos pacotes e mais elevados na base. Caso o único responsável pela diminuição dos pH's fosse a persistência da atividade biológica, ou seja, o mecanismo endógeno, seria de se esperar que o comportamento dos pH's fosse exatamente o oposto: eles deveriam ser mais elevados no topo e mais baixos na base dos pacotes, pois é essa zona é que apresenta as condições mais anóxicas e propícias à proliferação das bactérias anaeróbias responsáveis pelo processo.

Pode-se afirmar assim que a diminuição do pH dos resíduos foi provocada por dois mecanismos distintos: um interno, ligado à persistência da digestão anaeróbia nos resíduos (endógeno), e um externo, ligado à exposição dos resíduos às condições atmosféricas e à chuva (exógeno). Em função das suas origens, cada um desses mecanismos ocorreu de forma independente do outro. Essa independência se caracteriza por evoluções distintas no tempo e no espaço, este constituído pela dimensão vertical dos resíduos.

Inicialmente, no breve intervalo de tempo que se seguiu à disposição dos resíduos sobre o solo, deve ter havido um franco predomínio do mecanismo endógeno em toda a dimensão vertical dos resíduos. Por um certo intervalo de tempo, o pH deve ter diminuído de forma homogênea de cima a baixo do pacote de resíduos. No entanto, a exposição continuada dos resíduos às condições superficiais, à água e ao oxigênio do ar, deve ter interferido na continuidade desse mecanismo nas porções mais superficiais dos resíduos. Nessa zona, as condições passaram a ser progressivamente mais aeróbias e, por isso, o mecanismo endógeno ficou progressivamente

inviabilizado. Ele continuou ocorrendo, porém restrito cada vez mais às porções basais dos resíduos.

No entanto, os mesmos fatores que "expulsaram" o mecanismo endógeno para a base dos pacotes de resíduos, favoreceram a ocorrência do mecanismo exógeno de diminuição do pH.

Dessa forma, as porções superiores dos pacotes até uma profundidade aproximada de 0,90m acabaram sendo submetidas a dois mecanismos responsáveis pela diminuição do pH, primeiramente ao endógeno e em seguida ao exógeno. Os efeitos desses dois mecanismos se somaram, e como resultado, os pH's finais da zonas superficiais dos pacotes são os mais baixos dos resíduos. Nas porções basais, ocorreu apenas um mecanismo: o endógeno. Por isso, os pH's diminuíram nessa zona, porém em menor intensidade que no topo dos pacotes.

Uma importante feição observada nos perfis de resíduos foi o ressecamento das porções mais superficiais dos pacotes, até profundidades da ordem de 0,90m. Em todos os perfis estudados, verificou-se a ocorrência de uma zona superficial mais seca e porosa, com muitas fissuras e vazios. Conforme se aproxima a base dos perfis, percebe-se um gradual aumento no teor da umidade, até que é atingida uma zona muito úmida, com características francamente pastosas. Um perfil com tais características tem grandes probabilidades de ser resultante da ação do meio ambiente externo e ter como causa os mesmos fatores ligados ao mecanismo exógeno de diminuição do pH.

O principal vetor dessa transformação seria a evaporação da água contida nas zonas mais superficiais dos resíduos, que deve ter ocorrido de forma progressiva, a partir do topo em direção à base dos pacotes. No entanto, por alguma razão, a progressão do ressecamento foi limitada a profundidades da ordem de 0,90m a 1,00m. Em todos os corpos estudados, a zona mais seca apresentou espessuras dessa ordem, independentemente da idade ou da época de disposição dos resíduos.

É lógico supor que a abertura de vazios e fissuras provocada pelo ressecamento da zona mais superficial dos resíduos tenha proporcionado condições favoráveis à penetração do ar atmosférico e à percolação da água das chuvas no interior dos mesmos. A penetração do ar induziria a um aumento do potencial redox dessa região, tornando o ambiente progressivamente mais oxidante que aquele

existente na base. A percolação da água teria papel, na remoção mecânica de partículas finas, na redução do pH dos resíduos e na remoção de compostos que eventualmente tivessem tendência a solubilizar-se nas novas condições físico-químicas existentes nessa zona.

Conclui-se que a redução do pH provocada pelos mecanismos endógeno e exógeno, a diminuição do potencial redox e a percolação de água das chuvas nas zonas superficiais dos resíduos tiveram papel fundamental na solubilização e remoção de compostos contidos nos resíduos, dentre os quais a maioria dos metais estudados neste trabalho.

De fato, a comparação entre os teores médios dos metais calculados para os resíduos originais gerados na ETE e os teores dos mesmos metais medidos nos resíduos que ficaram dispostos no terreno confirmou essa tese. Ela indicou probabilidades moderadamente altas a muito altas de que tenha ocorrido remoção parcial de todos os metais estudados. A quantificação da parcela removida de cada metal em particular levou à conclusão de que os metais foram removidos dos resíduos em proporções que variam entre um máximo de 60% (prata) e um mínimo de 30% (zinco, cobre e cromo). Verifica-se assim que a parcela removida é bastante significativa para todos os metais.

No que se refere ao grau de remoção ocorrido em cada corpo de resíduos, concluiu-se que o corpo oeste foi o que sofreu a maior remoção de metais, seguido pelo corpo sul e pelo corpo leste. Essa ordem é exatamente a mesma obtida para a idade dos corpos, do mais antigo (corpo oeste) para o mais recente (corpo leste). Surge assim, mais uma evidência sobre a existência de relação direta entre tempo de disposição dos resíduos e intensidade da remoção dos metais a que eles foram submetidos.

Determina-se assim, que houve remoção continuada no tempo de parcelas muito significativas dos metais contidos nos resíduos gerados pela ETE após a sua exposição às condições ambientais. E existem evidências de que a remoção não ocorreu de forma homogênea dentro dos perfis verticais de resíduos. Os resultados obtidos para os teores dos diversos metais nos perfis verticais sugerem que a remoção dos metais foi muito mais intensa no topo dos perfis do que na base, para praticamente

todos os espécimes metálicos estudados. Portanto houve um mecanismo de remoção diferencial dos metais.

Com base nos valores de F_{CB} (Fator de Concentração na Base) calculados para cada metal, concluiu-se que a intensidade da remoção diferencial para cada metal é a seguinte: Cr > Zn > Ag = Ni = Cd > Pb > Cu > Fe > Mn.

A explicação para tal comportamento está diretamente ligada à diferenciação vertical dos resíduos e das condições físico-químicas associadas às zonas superficiais e basais dos pacotes. A interpretação dos diagramas pH x Eh, elaborados para esses metais por ocasião da avaliação dos resultados das análises químicas das águas subterrâneas e dos chorumes, forneceu as evidências dos mecanismos de dissolução ocorridos para cada metal.

A partir da análise dos diagramas obtidos para as condições físico-químicas dos resíduos, concluiu-se que todos os metais, exceto Fe e Mn, teriam seus caminhos de solubilização favorecidos caso ocorressem simultaneamente dois fenômenos no interior dos resíduos: a diminuição do pH acompanhada do aumento do potencial redox. Conforme já discutido anteriormente, essa conjunção deve ter ocorrido nas zonas mais superficiais dos pacotes, até uma profundidade aproximada de 0,90 m. Essa zona, portanto, deveria sofrer maior perda de todos os metais exceto Fe e Mn. E foi exatamente o que as análises químicas detectaram.

A avaliação dos diagramas de pH x Eh também evidenciou que os únicos metais que não se solubilizariam nessas condições seriam o ferro e o manganês. Esses metais teriam a tendência oposta: permaneceriam sob formas solúveis apenas em zonas mais alcalinas e redutoras. Na avaliação do comportamento dos pH's dos resíduos concluiu-se que as zonas basais dos perfis teriam exatamente essas características. Confirmando essa tese, a variação vertical dos teores de Fe e Mn nos resíduos indicou que esses metais, ao contrário dos demais, sofreram maior eliminação exatamente nas regiões basais dos perfis de resíduos.

Assim, o comportamento dos teores dos metais nos perfis estudados vem corroborar a tese da ocorrência de uma diferenciação química de elementos na vertical dos pacotes de resíduos. Evidencia-se a existência de duas zonas:

. A primeira, superficial, atingindo profundidades próximas a 0,90m, sofreria as maiores influências das condições ambientais externas, sofrendo também as

maiores diminuições de pH. Essa zona seria submetida mais intensamente à eliminação dos metais contidos nos resíduos, exceto Fe e Mn.

. A segunda, inicia-se a partir da profundidade de 0,90 m, é mais úmida, alcalina e redutora que a primeira. Permanece ainda sob influência da atividade biológica anaeróbia e sofre perdas mais discretas de metais. No entanto, sofre perdas acentuadas de ferro e manganês.

A comparação entre os resultados obtidos nas análises químicas dos resíduos dispostos, feitas a partir da abertura por água deionizada a frio, e os resultados obtidos nas análises químicas dos chorumes, leva à conclusão de que praticamente toda a massa de metais ainda presentes nos resíduos dispostos está associada à sua fase sólida. Apenas os metais Cr e Ni apresentaram pequenas parcelas sob formas solúveis em ambos os ensaios.

A análise mineralógica e a observação ao microscópio eletrônico de varredura efetuadas em grãos de resíduos indicaram a existência de diversas espécies morfologicamente distintas, todas neoformadas, constituídas principalmente por carbonatos e fosfatos de cálcio e ferro, e também por sulfatos de cálcio. Todas as espécies neoformadas contêm em sua estrutura quantidades variáveis dos metais Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn; bem como de alguns Elementos Terras Raras. No entanto, mais importante do que a constatação da existência desses compostos, foi a verificação de que eles não ocorrem homogeneamente nos perfis.

Os Fragmentos Esféricos (FESF), constituídos por fosfatos de cálcio e ferro neoformados, não ocorrem no perfil do corpo Oeste (mais antigo), ocorrem apenas na base dos perfis do corpo Sul (idade intermediária) e também são observados em toda a extensão vertical dos perfis do corpo Leste (mais recente). Aparentemente esses fragmentos foram totalmente solubilizados no perfil do corpo Oeste e parcialmente no corpo sul. Identifica-se assim, mais um possível efeito da diferenciação vertical ocorrida nos resíduos, desta vez relacionada diretamente à idade dos corpos: os fragmentos FESF seriam solubilizados do topo para a base dos pacotes, tendo desaparecido totalmente no perfil estudado no corpo mais antigo.

Com base nestes pontos apresentados, conclui-se que todos os metais estudados foram removidos dos resíduos em quantidades expressivas, a maioria deles

de forma mais intensa no topo dos pacotes de resíduos. No entanto resta ainda explicar qual o destino desses metais depois de deixarem os resíduos.

A análise química dos solos sotopostos possibilitou constatar que a grande maioria dos metais teve parcela significativa retida nos primeiros 20 cm do solo. Nessa zona, foram detectados os maiores teores de Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn nos perfis de solos analisados. Cabe salientar entretanto, que os sinais de contaminação do solo são detectáveis até profundidades superiores a 1,00 m. As zonas mais superficiais dos solos também foram as que exibiram pH's mais elevados quando comparados a regiões mais profundas. Este fato pode ter facilitado a imobilização dos metais na superfície.

Buscando descobrir o mecanismo de fixação dos metais no solo, tentou-se verificar a existência de correlação entre os teores dos diversos metais e o teores das frações argila. Essa tentativa mostrou-se infrutífera. Dessa forma, pode-se afirmar que a fração argila contida nos solos não aparenta ser a principal responsável pela fixação dos metais.

Uma explicação para a fixação pode estar associada ao comportamento do ferro. A observação do perfil de distribuição química vertical do ferro no solo indica uma considerável contaminação das suas porções mais superficiais por esse metal. O ferro aparentemente migrou das porções basais dos resíduos, onde existia sob a forma Fe^{2+} e, ao atingir o solo, precipitou-se sob a forma de hidróxido, em função das novas condições físico-químicas encontradas.

O hidróxido de ferro assim precipitado poderia fixar a maioria dos outros metais que chegassem ao solo. Cabe ressaltar que a fixação de metais no solo pode ter atenuado o aporte de quantidades mais expressivas de metais à água subterrânea.

Do ponto de vista ambiental, de acordo com os critérios adotados pela CETESB, os níveis de contaminação dos solos da área da ETE não exigiriam intervenção ou ação saneadora, ao menos que se pretendesse utilizar a área para atividades agrícolas. Nesse caso, os teores de Cd e Cr superariam os teores de intervenção para esse metais em amostra analisadas nos perfis Sul C, Leste B e Leste C, e a área teria de ser submetida a algum processo de remediação antes que pudesse ser utilizada para essa finalidade.

No que se refere à água subterrânea, não foram identificados teores superiores aos teores de intervenção para a grande maioria dos metais estudados.

Mesmo assim, foram identificados teores anômalos de Pb, Fe e Mn, principalmente na região sul do terreno da ETE. Nessa região a água subterrânea apresenta pH's mais alcalinos, Eh's mais baixos e teores de Pb, Fe e Mn superiores aos teores de intervenção. Portanto, de acordo com os critérios definidos pela CETESB, a porção sul do terreno da ETE demandaria ação saneadora para remediar a água subterrânea.

A conclusão mais geral deste trabalho é a de que os resíduos gerados pela ETE de Barueri sofreram evolução geoquímica depois de submetidos às condições ambientais superficiais. Essa evolução foi provocada pela associação de fatores intrínsecos aos resíduos e por fatores ambientais externos. Os resíduos sofreram uma diferenciação vertical, associada a transformações morfológicas, mineralógicas, químicas e físico químicas. O resultado desse processo foi a liberação de praticamente todos os metais estudados para o meio ambiente. No entanto, ao metais liberados ficaram retidos nos hidróxidos de ferro presentes no solo, paradoxalmente também originados em sua maior parte a partir do Fe liberado pelos próprios resíduos.

Dessa forma, ocorreu um mecanismo "auto-compensatório" que acabou por atenuar eventuais impactos que seriam provocados pelo aporte de maiores quantidades de metais à água subterrânea. Apenas 3 metais provocaram o comprometimento da qualidade da água subterrânea da área: Fe, Mn e Pb.

Deve-se salientar no entanto, que a massa de Fe que acabou sendo responsável pela retenção parcial dos demais metais no solo, em última análise só foi liberada nas quantidades em que o foi, graças à ordem de grandeza das espessuras dos pacotes de resíduos. O fato dos pacotes terem espessuras superiores a 1 m permitiu a individualização na sua base de uma zona anóxica com pH's próximos à neutralidade, que favoreceu a dissolução do Fe. Caso os resíduos tivessem espessuras inferiores a 1 m, essa diferenciação poderia não ter ocorrido. Os pacotes teriam então pequena espessura e toda sua dimensão vertical poderia ter características desfavoráveis à dissolução do Fe: ambiente oxidante, associado a pH's pouco inferiores a 7. A conseqüência da menor espessura dos resíduos poderia ser então, menores quantidades de Fe liberadas e fixadas no solo.

Nesse cenário, a menor quantidade de hidróxidos de ferro no solo poderia não ser suficiente para a retenção dos demais metais na mesma medida em eles foram retidos, permitindo assim o seu acesso à água subterrânea.

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESII, B. A.; FULLER, W.H. & BOYLE, M.V. (1980); **Effect of Leachate Flow Rate on Metal Migration Through Soil**; in: Journal of Environmental Quality, Vol. 9, nº 1, pp 119 : 126.

ALMEIDA, F.F.M. (1964); Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista; in: BOLETIM DO INSTITUTO GEOLÓGICO, São Paulo 41, pp 169 : 263.

ALLOWAY, B.J. (1990); **Heavy Metals in Soil**; John Wiley & Soons, Inc., Blackie, Glasgow-London., 325p.

ANDERSSON, A. 1977a, **Heavy Metals in Swedish Soils: On their Retention, Distribution and Amounts**; in: Swedish Journal of Agricultural Researches, 7, pp 7 : 20.

ANDERSSON, A. (1977b); **The distribution of Heavy Metals in Soils and Soil Material as Influenced by the Ionic Radius**; in: Swedish Journal of Agricultural Researches, 7, pp 79 : 83.

ANDERSSON, A. (1979); **Om the Distribution of Heavy Metals as Compared to Some Other Elements Bettween Grains Size Fractions in Soils**; in: Swedish Journal of Agricultural Researches, 9, pp 7 : 13.

ARGAMAN,Y. & WEDDLE, C.L. (1973); **Fate of Heavy Metals in Physical-Chemical Treatment Processes**; in: Water 1973, AIChE SYMPOSIUM SERIES, 70,136, pp 400 : 414.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987); NBR 10004: Resíduos Sólidos / Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 3p.

ASSUNÇÃO, J. C. B. (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, 120 p; Departamento de Geologia Geral do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

ASSUNÇÃO, J.C.B. & SÍGOLO, J. B. (1997); **Influência do Ambiente Tropical em Lodos Gerados na Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri-SP: Comportamento dos Metais Pesados**. Revista Brasileira de Geociências, 27, (4): pp 355-364.

ASSUNÇÃO, J.C.B. & SÍGOLO, J.B. (1998); **Evolução Geoquímica de Lodos Gerados na ETE de Barueri, SP: Efeitos de sua Exposição ao Clima Tropical.** Revista Geochimica Brasiliensis, 12 (1/2):001-016. Divulgada em abril de 2000.

BARTH, E. F. ; ETTINGER, M. B. ; SALLOTO, B. V. & McDERMOTT, G. N. (1965); **Summary Report on the Effects of Heavy Metals on the Biological Treatment Processes**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 37, pp 86 : 96.

BETTIOL, W. (1982); **Utilização de Lodo de Esgoto como Fertilizante**, Anais do Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo, CENA/USP, Piracicaba, pp 227 : 232. (631.417 C 719)

BOSWELL, F. C. (1975); **Municipal Sewage Sludge and Selected Element Aplication to Soil: Effect on Soil and Fescue**; in: Journal of Environmental Quality, 4, pp 267 : 272.

BRASIL (Governo Federal), Comissão de Solos do Ministério da Agricultura, (1960);**Carta dos Solos do Estado de São Paulo,** Escala 1: 500.000.

BROOKINS, G. D. (1988) **Eh-pH Diagrams for Geochemistry**. Springer-Verlag, Berlim-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokio, 176p.

BROWN, H. G.; HENSLEY, C. P.; McKINNEY, G. L. & ROBINSON, J. L. (1973); **Efficiency of Heavy Metal Removal in Municipal Sewage Treatment Plants**; in: Environmental Letters, 5, pp 103 : 114.

CAMPANELLA, L.; CARDARELLI, E.; FERRI, T.; PETRÔNIO, B. M. & PUPELLA, A. (1985) Evaluation of Toxic Metals Leaching from Urban Sludge; in: **Chemistry for Protection of the Environment, Proceedings of the Fifth International Conference, Leuven, Belgium, 9 - 13, september, 1985.** PAWLOWSKI, L; ALAERTS, G.; LACY, W. J. Eds. Amsterdam-Oxford-New York-Tókio, pp 151 : 160.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, (1987); **Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água.**

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, (1996); **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.**

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, (2000); **Estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade e de Intervenção para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo.**

CHEN, K. Y. (1974); **Trace Metals in Waste Water Effluents**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 46, pp 2663 : 2675.

CHENG, M. H. ; PATTERSON, J. W. & MINEAR, R. A. (1975**); Heavy Metals Uptake by Actived Sludge**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 47, pp 362 : 376.

COOPER, P. F. & THOMAS, E. V. (1974); **Recent Developments in Sewage Treatment Based on physical-Chemical Methods**; in: Water Pollutuion Control. 73, pp 505 : 520.

CORNU, S. ; NEAL, C. ; AMBROSI, J. P. ; WHITEHEAD, P. ; NEAL, M. ; SIGOLO, J. B. and VACHIER, P. (2001); **The Environmental Impact of Heavy Metals from Sewage Sludge in Ferralsols.** (São Paulo, Brazil); The Science of the Total Environment, Elsevier, 271, pp 27-48.

COTRIM, A. R. (1991); **Metais Pesados na Agricultura: Consequências das Elevadas Concentrações de Mercúrio, Cádmio e Chumbo nos Solos**, Relatório Interno, Produquímica Ind. e Com. Ltda.

CULP, G. (1967); **Chemical Treatment of Raw Sewage 1**; in: Water Wastes Engineering, July, vol. 4, pp 61 : 63.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica da Secretaria de Serviços e Obras Públicas do Estado de São Paulo, (1972a)**; Estudo de Águas Subterrâneas, Avaliação Preliminar, Mapas**.

_____ (1972b); **Estudo de Águas Subterrâneas, Avaliação Preliminar, Textos**.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica da Secretaria de Serviços e Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, (1975); **Estudo de Águas Subterrâneas, Região Administrativa 1, Grande São Paulo, Vol. 1**.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica da Secretaria de Serviços e Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e Universidade do Estado de São Paulo -UNESP (1984), **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, Escala 1 : 250.000.

DAMASCENO, S. (1996); **Remoção de Metais Pesados em Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo de Lodos Ativados e por um Reator Compartimentado Anaeróbio**, São Carlos, 141p. (Dissertação-Mestrado) - Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

DALTON, F. E. & STAIN AND LYNAM, H. T. (1968); **Land Reclamation - A Complete Solution to tha Sludge and Solid Disposal Problem**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 40, p 789.

DAVIS, R. D. (1989); **Agricultural Utilization of Sewage Sludge: A Review**; in: Journal of the Institute of Water and Environment Management, vol. 3, pp 351 : 355.

DEMENY, P. (1987a); Population Change: Global Trends and Implications; in: **Resources and World Development**, MACLAREN, D. J. & SKINNER, B. J. eds.; **Resources and World Development**, S. Bernhard, Dahlem Konferenzen,Berlim, pp 29 a 48.

DEMENY, P. (1987b); Population Change in Rural and Urban Areas: 1950 – 2020; in: MCLAREN, D. J. & SKINNER, B. J. eds.; **Resources and World Development**, S. Bernhard, Dahlem Konferenzen, Berlim, pp 753 : 766.

DRUCKER, H.; GARLAND, T. R. & WILDUNG, R. E. (1979); **Trace Metals in Health and Disease;** KHARASCK, N. ed. Raven Press, New York.

ECKENFELDER, J. (1991); **Principles of Water Quality Management**, Malabar-Krieger.

ELLIOT, H. A.; LIBERATI, M. R. & HUANG, C. P. (1986); **Competitive Adsorption of Heavy Metals by Soils**; in: Journal of Environmental Quality, Vol 15, nº 3, pp 214 : 219.

ETEP – ESTÁTICA – JNS – (1998) Projeto Tietê Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP; **Plano diretor de Uso/Disposição dos Lodos das ETE's da RMSP**, São Paulo, Projeto Tietê Companhia de Saneamento Básico do Estado de Sãp Paulo - SABESP.

FERGUSSON, J. E. (1990); **The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impacts and Health Effects**; Oxford - New York - Seoul - Tokio, Pergamon Press, 614 pp.

FORSTNER, U. & WITTMANN, G. T. (1981); **Metal Pollution in the Aquatic Environment**; U. Forstner & G. T. W. Wittmann Eds. Springer-Verlag, Berlin-Heildelberg-New York; pp 473.

FRAPS, G. (1932); **The Composition and Fertiliser Value of Sewage Sludge**; Texas Agronomic Exp. Sta. Bulletin; no 445, College Station, Texas, 23 p.

FULLER, W. H. & WARRICK, A. W. (1985); **Soils in Waste Treatment and Utilization**. Vols. 1 and 2, Univ. Arizona, USA, Boca Raton, CRC Press, Florida.

GARRIGAN, G. A. (1977); **Land Applications Guidelines for Sludges Contamined with Toxic Elements**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 49, pp 2380 : 2389.

GEHM, H. W. (1938); Sewer Works Journal, vol 10, pp 938.

GEHM, H. W. (1939); Sewer Works Journal, vol 11, pp 739.

GEHM, H. W. (1941); Sewer Works Journal, vol 13, pp 239.

GERRITSE, R. G. ; VRIESMA, R. ; DALENBERG, J. W. & De ROOS, H. P. (1982); **Effect of Sewage Sludge on Trace Element Mobility in Soils**; Journal of Environmental Quality, 11, pp 359 : 364.

GIBLIN, A. E. ; LUTHER, G. W. & VALIELA, I. (1986); **Trace Metal Solubility in Salt Marsh Sediments Contaminated with Sewage Sludge**; in: Estuarine, Coastal and Shelf Science, 23 (4) pp 477 : 498.

GOULD, M. S. & GENETELLI, E. J. (1975); **Heavy Metal Distribuction in Anaerobically Digested Sludge**; in: Proceedings of 30th Industrial Waste Conference, Purdue University, Ann Arbor Science Publ., Ann Arbor, Micchigan, pp 689 : 699

HANNAH, S. A.; JELUS, M. & COHEN, J. M. (1977); **Removal of Uncommon Trace Metal by Physical and Chemical Treatment Processes**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 49, pp 2297 : 2309.

HAYES, T. D. & THEIS, T. L. (1978); **The Distribution of Heavy Metal in Anaerobic Digestion**; in Journal of Water Pollution Control Federation, 50, pp 61 : 72.

HIGGINS, A. J. (1984); **Impacts on Groundwater Due to Land Application of Sewage Sludge**; Water Resources Bulletin, 20, (3), pp 425 : 434.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (1990); **Diagnóstico Brasil - A Ocupação do Território e o Meio Ambiente**; Rio de Janeiro, 169p.

JENKIS, S. H. ; KEIGHT, D. G. & HUMPHREYS, R. E. (1964); **The Solubility of Heavy Metal Hydroxides in Water, Sewage and Sewage Sludge - I The Solubility of Some Metal Hydroxides**; in: International Journal Of Air And Water Pollution, Pergamon Press, Great Britain, vol 8, pp 537 : 556.

JENKIS, S. H. ; KEIGHT, D. G. & EWIS, A. (1964); **The Solubility of Heavy Metal Hydroxides in Water, Sewage and Sewage Sludge - II The Precipitation of Metals by Sewage**; in: International Journal of Air and Water Pollution, Pergamon Press, Great Britain, vol. 8, pp 679 : 693.

JENKIS, H. S. & COOPER, J. S. (1964); **The Solubility of Heavy Metals Hidroxides in Water, Sewage and Sewage Sludge. III.The Solubility of Heavy Metals Present in Digested Sewage Sludge**; in: International Journal of Air and Water Pollution, Pergamon Press, Great Britain, vol. 8, pp 695 : 703

JENNE, E. A. (1968); **Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn Concentrations in Soils and Water: the Significant Role of Hydrous Mn and Fe Oxides**; in: Advanced Chemistry Series, 73, pp 337 : 387.

JOHN, M. K. & VAN LAERHOVEN, C. J. (1976); **Effects of Sewage Sludge Composition, Aplication Rate and Lime Regime on Plant Availbility of Heavy Metals**; in: Journal of Environmental Quality, 5, pp 246 : 250

JORGENSEN, S. E. (1975); **Do Heavy Metals Prevent the Agricultural use of Municipal Sludge?**; in: Water Research, Pergamon Press, Great Britain, vol 9, pp 163 : 170.

KALBASI, M.; RACZ, G. J. & LOEWEN-RUDGERS, L. A. (1978); **Mechanism of Zinc Adsorption by Iron and Aluminum Oxides**; in: Soil Science vol. 125, nº 3, pp 146 : 150.

KEMPTON, S. ; STERRIT, R. M. & LESTER, J. N. (1987a); **Heavy Metals Removal in Primary Sedimentation I.** The Influence of Metal Solubility; in: The Science of the Total Environment, 63, pp 231 : 246.

KEMPTON, S. ; STERRIT, R. M. & LESTER, J. N. (1987b); **Heavy Metals Removal in Primary Sedimentation II. The Influence of Metal Speciation and Particle Size Distribution**; in: The Science of the Total Environment, 63, pp 247: 258.

KIFF, R. J.; (1978); **A Study of the Factors Affecting Bioflocculation in the Activated Sludge Process**; in: Water Pollution Control, 77, pp 464 : 470.

KIRK, P. W. W. & LESTER, J. N. (1984**); Signifiance and Behaviour of Heavy Metals in Waste Water Treatment Processes IV. Water Quality Standards and Criteria**; in: The Science of the Total Environment, 40, pp 1 : 44.

LAGERWERFF, J. V. ; BIERSDORF, G. T. & BROWER, D. L. (1976); **Retention of Metals in Sewage Sludge: I.Constituent Heavy Metals**; in: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL QUALITY, 5, pp 19 : 23.

LESTER, J. N. (1983); **Significance and Behaviour of Heavy Metals in Waste Water Treatment Processes. I - Sewage Treatment and Effluent Discharge**; The Science of the Total Environment, 30, pp 1 : 44.

LESTER, J. N. ; STERRIT, R. M. & KIRK, P. W. W. (1983); **Significance and Behaviour of Heavy Metals in Waste Water Treatment Processes. II - Sludge Treatment and Disposal**; in: The Science of the Total Environment, 30, pp 45 : 83.

LINSTEDT, K. D.; HOUCK, C. P. & O'CONNOR, J. T. (1971); **Trace Ellements Removal in Advanced Wastewater Treatment Processes**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 43, pp 1507 : 1513.

LOXHAM, M. (1988); The Predictive Assessment of the Migration of Leachate in the Subsoil Surrounding Mine Tailing and Dredging Spoil Sites; in: **Chemistry and Biology of Solid Waste - Dredged Material and Mining Tailings**, SALOMONS W. & FORSTNER U. Eds., Springer Verlag, pp 4 : 23.

LU, J. C. S & CHEN, K. Y. (1977) **Migration of Trace Metals in Interfaces of Seawater and Polluted Surficial Sediments**; in: Environmental Science and Technology, Vol. 11, Nº 2, pp 174 : 182.

LUND, L. J. ; PAGE, A. L. & NELSON, C. O. (1976); **Movement of Heavy Metals Below Sewage Disposal Ponds**; in: Journal of Environmental Quality, 5, pp 330 : 334.

MANSON, R. T. & MERRIT, C. A. (1975); **Land Application of Liquid Municipal Waste Water Sludges**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, Vol 47, pp 21:29.

MARUYAMA, T. ; HANNAH, S. A. & COHEN, J. M. (1975); **Metal Removal by Physical and Chemical Treatment Processes**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 47, pp 962 : 975.

MATTIAZZO, M. E. ; BARRETO, M. .C. V. (1995) **Comportamento de Cd, Cu, Cr, Ni e Zn Adicionados a Solos em Diferentes Valores de pH I: Cádmio**; in: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO 25 - Viçosa, MG, 23-29/07/1995. Resumos espandidos, Viçosa: SBCS pp 2379-2380.

MATTIAZZO, M. E. ; GLÓRIA, M. A.; (1995) **Parâmetros para Adição a Solos de Resíduos Contendo Metais I: Estudos com soluções**; in: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO 25 - Viçosa, MG, 23-29/07/1995. Resumos espandidos, Viçosa: SBCS pp 2315-2317.

MATTIAZZO, M. E. ; GLÓRIA, M. A.; MORENO, P. R. (1995) **Avaliação da Presença de Metais na Degradação da Matéria Orgânica Adicionada a Solos.** in: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO 25 - Viçosa, MG, 23-29/07/1995. Resumos espandidos, Viçosa: SBCS pp 2317-2320.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E. (1994); **Comportamento de Cu, Cd, Cr, Ni e Zn Adicionados a Solos de Clima tropical em Diferentes Valores de pH**; Piracicaba; Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo;197p.

MATTHEUS, P. J. (1982); **Sewage Sludge Disposal and Utilisations in the U.K.**; in: Water Serv., London, 86(1037), pp 324 : 326.

McKINNEY, R. E. (1952); **A Fundamental Approach to the Activated Sludge Process. II A Proposed Theory of Floc Formation.** in: Sewage Industrial Wastes, 24, pp 280:287.

MENNEL, M. ; MERRILL, D. T. & YORDEN, R. M. (1974); **Treatment of Primary Effluent by Lime Precipitation and Dissolved Air Flotation**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, Nov. 1974.

MOORE, J. W. (1991); **Inorganic Contaminants of Surface Water**; Springer Verlag,

MULLER, J. F. (1929); **The Value of Raw Sewage Sludge as Fertiliser**; in: Soil Science, 28, p 243.

MYTELKA, A. L. ; CZACHOR, J. S. ; GUGGINO, W. B. & GOLLUB, H. (1973); **Heavy Metals in Waste Water and Treatment Plant Effluents**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 45, pp 1859 : 1864.

NEGULESCU, M. (1985); **Municipal Waste Water Treatment**; Developments In Water Science, 23, Bucareste, Elsevier Ed. , 596p.

NEUFELD, R. D. & HERMAN, E. R. (1975); **Heavy Metal Removal by Acclimated Activated Sludge**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 47, Nº 2, February 1975, pp 310 : 329.

NIMER, E. (1989); **Climatologia do Brasil**, IBGE- DERNA.

NOER, O. J. (1926); **Activated Sludge: Its Composition and Value as Fertilizer**; in: Journal of American Society of Agronomy, Vol. 18, p 953.

OLIVER, B. G. & COSGROVE, E. G. (1974); **The Efficiency of Heavy Metal removal by a Conventional Activated Sludge Treatment Plant**; Water Research, 8, pp 869 : 874.

PENALOZA, A. (2001); **Avaliação do Impacto Causado na Zona Saturada pelos Metais Pesados Provenientes da Disposição de Lodo Residual na ETE de Barueri - SP**; Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 90 p.

PETTIJOHN, F. J. (1976); **Rocas Sedimentarias**, 3ª Edição, Editora Universitária de Buenos Aires, 731p.

POSSA, M. V. & LUZ, A. B. (1984); **Amostragem para Processamento Mineral**, Série Tecnologia Mineral, nº 30.

REICHENHEIM, M. E. & WERNECK, G. L. (1994); Adoecer e Morrer no Brasil dos anos 80: Perspectivas de Novas Abordagens, in: GUIMARÃES, R. A. W. T.; **Saúde e Sociedade no Brasil: anos 80**; Rio de Janeiro, pp 114 : 129

RITTER, W. F. & EASTBURN, R. P. (1978); **Leaching of Heavy Metals from Sewage Sludge Through Coastal Plain Soil**; in: Communications Soil Science and Plant Analyses, 9, pp 785 : 798.

RUDOLF, W., SETTER, L. R. & BAUMGARTNER, W. H. (1929); Sewer Works Journal, vol 1, pp 398.

RUDOLF, W. & GEHM, H. W. (1936a); Sewer Works Journal, vol 8, pp 195.

RUDOLF, W. & GEHM, H. W. (1936b); Sewer Works Journal, vol 8, pp 422.

RUDOLF, W. & GEHM, H. W. (1936c); Sewer Works Journal, vol 8, pp 537.

RUDOLF, W. & GEHM, H. W. (1936d); Sewer Works Journal, vol 8, pp 547.

RUDOLF, W. & GEHM, H. W. (1938); Sewer Works Journal, vol 10, pp 450.

RUDOLF, W. & ZELLER, P. J. A (1932); **Effects os Sulfate Salts on Hydrogen Sulfide Production in Sludge Digestion**; Sewer Works Journal, vol 4, pp 711.

SANTOS, H. F. (1996); **Uso Agrícola do Lodo das Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE's): Subsídios para Elaboração de Uma Norma Brasileira**; Dissertação de Mestrado, Universidade Mackenzie, São paulo, 74 p.

SCHALSCHA, E. B. ; MORALES, M. ; AHUMADA, I. ; SCHIRADO, T. & PRATT, P. F. (1980); **A Fractionation of Zn, Cu, Cr and Ni in Wastewater, Solids and in Soil**; in: Agrochimica, 24, pp 361 : 368

SCHALSCHA, E. B.; MORALES, M. ; VERGARA, I. & CHANG, A. C. (1982); **Chemical Fractionation of Heavy Metals in Wastewater Affected Soils**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 54, pp 175 : 180.

SIDLE, R. C. ; HOOK, J. E. & KARDOS, L. T. (1977); **Accumulation of Heavy Metals in Soils from Extended Waste Water Irrigation**; in: Jornal of Water Pollution Control Federation, 49, pp 311 : 318.

SIEGER, R. B. & HERMANN, G. J. (1993); **Land Application Requirements of the New Sludge Rules**; Water Engineering & Managements, august, pp 30 : 35

SÍGOLO, J. B. ; AMBROSI, J. P. ; GEORGEAUD, V. ; ASSUNÇÃO, J. C. B. e ROCHETTE, P. (2001); **Adsorção de Metais Pesados por Óxidos Hidróxidos Magnéticos em Lodos de Esgotos.** In: Actas do VI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e XII Seminário de Geoquímica. pg 311-315, Universidade do Algarve; Faro - Portugal.

SÍGOLO, J. B. e ASSUNÇÃO, J. C. B. (1995); **Concentração e Dispersão de Metais Pesados Associados a Rejeitos Urbanos da ETE-Barueri-SP.** V Congresso Brasileiro de Geoquimica e III Congresso Geoquímica PALOP. Niterói, RJ, 23 a 27 outubro. Anais CD ROM e Poster

SÍGOLO, J. B. & ASSUNÇÃO, J. C. B. (2000a); **Heavy Metal Behavior in Sewage Sludges in Tropical Conditions.** 31st Internacional Geological Congress. CD ROM abstracts and poster presentation. Session 14-5, Booth C55. Rio de Janeiro.

SÍGOLO, J. B. & ASSUNÇÃO, J. C. B. (2000b); **Heavy Metal Influence of Sewage Sludge on the Groundwater.** 31st Internacional Geological Congress. CD ROM abstracts and poster presentation. Session 21-1, Booth G38. Rio de Janeiro.

SOON, Y. K. (1981); **Solubility and Sorption of Cadmium in Soils Amended with Sewage Sludge**; in: Journal of Soil Science, 32, pp 85 : 95.

STONES, T. (1955); **The Fate of Chromium During the Treatment of Sewage**; in: Journal and Proceedings of Institute of Sewage Purification, 4, pp 345 : 347.

STONES, T. (1956); **The Fate of Iron and Phosphates During the Treatment of Sewage**; in: Journal and Proceedings of Institute of Sewage Purification, 4, pp 404 : 407

STONES, T. (1958); **The Fate of Copper During the Treatment of Sewage**; in: Journal and Proceedings of Institute of Sewage Purification, 1 pp 82: 84.

STONES, T. (1959a); **The Fate of Nickel During the Treatment of Sewage**; in: Journal and Proceedings of Institute of Sewage Purification, 2 pp 252 : 254.

STONES, T. (1959b); **The Fate of Zinc During the Treatment of Sewage**; in: Journal and Proceedings of Institute of Sewage Purification, 2 pp 254 : 257.

STONES, T. (1960); **The Fate of Lead During the Treatment of Sewage**; in: Journal and Proceedings of Institute of Sewage Purification, 2 pp 221 : 223.

TAVARES, R. & MONTEIRO, M. F.G (1994); População e Condições de Vida; in: GUIMARÃES, R. A. W. T.; **Saúde e Sociedade no Brasil: anos 80**; Rio de Janeiro, pp 43 : 71.

TYAGI, R. D; BLAIS, J. F.; AUCLAIR, J. C. & MEUNIER, N. (1993); **Bacterial Leaching of Toxic Metals from Municipal Sludge: Influence of Sludge Characteristics**; in: WATER ENVIRONMENT RESEARCH, Vol. 65, pp 196 : 204.

VANNI, A. ; GENNARO, M. C. ; FEDELE, A. ; PICCONE, G. ; PETRONIO, B. M. ; PETRUZZELLI, G. & LIBERATORI, A. (1994); **Leachability of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge Particulate**; in Environmental Technology, 15, pp 71 : 78.

WILLIAMS, D. E. ; VLAMIS, J. ; PUKITE, A. H. & COREY, J. E. (1980); **Trace Element Accumulation, Movement and Distribution in the Soil Profile from Massive Aplications of Sewage Sludge**; in: Soil Science, vol. 129, Nº 2, pp. 119 : 132.

WILLIAMS, D. E. ; VLAMIS, J. ; PUKITE, A. H. & COREY, J. E. (1984); **Metal Movement in Sludge Treated Soils after Six Years of Sludge Addition: 1. Cadmium, Copper, Lead and Zinc**; in: Soil Science, vol. 137, Nº 5, pp. 351 : 359.

ZENZ, D. R. ; PETERSON, J. R. ; BROOMAN, D. L. & LUE-GING, C. (1976); **Environmental Impacts of Land Application of Sludge**; in: Journal of Water Pollution Control Federation, 48, pp 2332 : 2342.