UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

***CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E GEOQUÍMICAS DE
UM DEPÓSITO DE AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO (ADF)
E SUA IMPLICAÇÃO AMBIENTAL***

Marcella Martins Cará Monteiro

Orientador: Prof. Dr. Joel B. Sigolo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E GEOQUÍMICAS DE UM
DEPÓSITO DE AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO (ADF) E SUA
IMPLICAÇÃO AMBIENTAL”**

MARCELLA MARTINS CARÁ MONTEIRO

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujiani Sígolo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Dr. Joel Barbujiani Sígolo

Titulares: Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

Dr. José Guilherme Franchi

MARCELLA MARTINS CARÁ MONTEIRO

Características Físicas, Químicas e Geoquímicas de um
Depósito de Areia Descartada de Fundição (ADF) e sua
Implicação Ambiental

Dissertação Apresentada ao
Instituto de Geociências da
Universidade de São Paulo
para Obtenção do Título de
Mestre em Geologia

Área de Concentração:
Recursos Minerais e Meio
Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Joel B.
Sigolo

DEDALUS - Acervo - IGC

30900031857

SÃO PAULO

2013

T
M775
MMC.E
L.24

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação
do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Monteiro, Marcella Martins Cará

Características físicas, químicas e geoquímicas
de um depósito de areia descartada de fundição
(ADF) e sua implicação ambiental / Marcella Martins
Cará Monteiro. -- São Paulo, 2013.

221 p. : il.

Dissertação (Mestrado): IGc/USP
Orient.: Sígolo, Joel Barbujani

1. Resíduos sólidos 2. Impactos ambientais 3.
Áreas contaminadas 4. Areia de fundição I.
Título

**Ao meu querido pai, com amor, admiração e gratidão por
seu suporte, cuidado, incentivo e amor ao longo de toda a
minha vida.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador Professor Dr. Joel Barbujani Sígolo pela oportunidade do projeto, pelos ensinamentos e por trabalharmos juntos, contribuindo para meu crescimento científico.

Agradeço ao meu marido, Rodrigo, pela possibilidade de dedicação deste tempo à pesquisa e pela maravilhosa família que construímos.

Agradeço às minhas filhas, Rafaella e Manuella, pela paciência da mamãe estar “sempre no computador”, por existirem e fazerem minha vida mais feliz.

Agradeço ao meu pai e à minha mãe pela vida e pelo apoio nesta dissertação.

Agradeço ao Eng. Isaac Jamil Sayeg, do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Instituto de Geociências – USP, pela colaboração, ensinamentos e contribuições ao projeto.

Agradeço às seguintes instituições e pessoas que contribuíram e me auxiliaram prontamente na viabilização e elaboração desta dissertação:

Ao técnico Paulo Ernesto Mori do Laboratório de Fluorescência de Raios X, ao técnico Dr. Flávio Machado de Souza Carvalho do Laboratório de Difração de Raios X, ao técnico José Paulo Sertek do laboratório de Tratamento de Amostras (LTA), ao técnico Marcos Mansueto do Laboratório de Microsonda Eletrônica (ME), à técnica Elaine Aparecida da Silva Sinfrônio do Laboratório de Sedimentologia (LABSED), ao analista de sistemas Antônio Tadashi Kikuda do Laboratório de Informática Geológica (LIG), à Maria Aparecida Bezerra bibliotecária da Seção de Referência e Atendimento ao Usuário e toda a equipe da Biblioteca do Instituto de Geociências e ao Programa Recursos Minerais e Hidrogeologia.

Por fim, agradeço à todos do Instituto de Geociências da USP.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES	xii
RESUMO	xiii
<i>ABSTRACT</i>.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO	4
3. JUSTIFICATIVA	5
4. REVISÃO DA LITERATURA.....	7
4.1.O SETOR DE FUNDIÇÃO.....	7
4.1.1 PROCESSO DE FUNDIÇÃO.....	7
4.1.2 RESÍDUO AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO (ADF) ..	9
4.1.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ADFs.....	10
4.2.ÁREAS CONTAMINADAS.....	10
4.3.LEGISLAÇÃO	11
4.4.CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DE GOLDSCHMIDT.....	12
4.5.GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS ANALISADOS	13
4.6.ÁREA DE ESTUDO	19
4.6.1. DADOS GEOGRÁFICOS, MORFOLÓGICOS E CLIMÁTICOS	20
4.6.2. GEOLOGIA	21
5. MATERIAIS E MÉTODOS	23
5.1.DIMENSIONAMENTO DO CORPO DEPOSITADO.....	23

5.2.ABERTURA DAS TRINCHEIRAS	23
5.3.COLETA DE AMOSTRAS DO RESÍDUO E SOLO DEPOSITADOS	24
5.4.SECAGEM DAS AMOSTRAS	26
5.5.ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DO RESÍDUO E SOLO	27
5.6.ANÁLISE MORFOLÓGICA DOS GRÃOS E QUÍMICA QUALITATIVA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) COM ESPECTRÔMETRO DE DISPERSÃO DE ENERGIA DE RAIOS X (MEV/EDS OU EDX)	30
5.7.ANÁLISE QUÍMICA TOTAL POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX) DAS AMOSTRAS TOTAIS DO RESÍDUO AMOSTRADO	33
5.8.ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX) DAS AMOSTRAS TOTAIS DE RESÍDUOS.....	37
6. RESULTADOS	39
6.1.DIMENSIONAMENTO DO CORPO DEPOSITADO.....	39
6.2.ABERTURA DAS TRINCHEIRAS	39
6.3.COLETA DE AMOSTRAS DO RESÍDUO E SOLO DEPOSITADOS	40
6.4.SECAGEM DAS AMOSTRAS	41
6.5.ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DO RESÍDUO E SOLO	44
6.6.ANÁLISE MORFOLÓGICA DOS GRÃOS E QUÍMICA QUALITATIVA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) COM ESPECTRÔMETRO DE DISPERSÃO DE ENERGIA DE RAIOS X (MEV/EDS OU EDX)	54
6.6.1. A Experiência da Amostra II.....	54
6.6.2. Análise Qualitativa e Semi-Quantitativa	70
6.6.3. Morfologia dos Grãos.....	76

6.6.4. Caracterização Química Qualitativa por MEV das Frações	77
6.7. ANÁLISE QUÍMICA TOTAL POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX) DAS AMOSTRAS TOTAIS DO RESÍDUO AMOSTRADO	96
6.8. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX) DAS MAIORES FRAÇÕES DAS AMOSTRAS TOTAIS DE RESÍDUOS	109
7. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	110
8. BIBLIOGRAFIA.....	116
9. APÊNDICE– Imagens, Espectros e Microanálises obtidos pelo MEV ..	122
9.1. AMOSTRA II (TR1P-0.0 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm)	122
9.2. AMOSTRA I (TR1P-0.0 – Fração retida na abertura 4mm)	132
9.3. AMOSTRA III (TR1P-1.5 – Fração retida na abertura 4mm)	136
9.4. AMOSTRA IV (TR1P-1.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm)	141
9.5. AMOSTRA V (TR1P-2.5 – Fração retida na abertura 4mm)	160
9.6. AMOSTRA VI (TR1P-2.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm)	166
9.7. AMOSTRA VII (TR1P-3.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm)	185
9.8. AMOSTRA VIII (TR1P-4.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm)	196
9.9. AMOSTRA IX (TR1P-5.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm)	201
9.10. AMOSTRA X (TR1P-6.0 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm)	210

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da fundição em molde de areia.....	7
Figura 2: Fluxograma de geração de resíduos de uma fundição de ferro.	8
Figura 3: Mobilidade dos elementos no ambiente superficial em função da carga e do raio iônico.	14
Figura 4: Diagrama pH-Eh do Ferro a 25°C e 1 Bar.	16
Figura 5: Mapa com a localização geográfica de Sorocaba.....	20
Figura 6: Mapa geológico da região de Sorocaba extraído parte de mapa 1:500000.	22
Figura 7: Perfil de coleta das amostras do resíduo e solo.	24
Figura 8: Perfil de coleta de amostras na Trincheira 1.	25
Figura 9: Balança digital utilizada para pesagem.	26
Figura 10: Estufa utilizada para secagem das amostras.....	26
Figura 11: Pesagem da amostra TR1P-5.0 após secagem.	27
Figura 12: Após secagem da amostra TR1P-0.0, a separação de 2 Kg de resíduo.....	28
Figura 13: Após secagem da amostra TR1P-4.5, a separação de 2 Kg de resíduo.....	28
Figura 14: Peneira utilizada na análise granulométrica do resíduo.	28
Figura 15: Desenho esquemático demonstrando as malhas das peneiras utilizadas na análise granulométrica do resíduo.	28
Figura 16: Peneira vibratória Produtest.	29
Figura 17: Pesagem das amostras após separação granulométrica.	29
Figura 18: Após peneiramento, pesagem das amostras de solo.....	30
Figura 19: Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com EDS.	31
Figura 20: Amostras II E IV sendo preparadas nos stubs.....	33
Figura 21: Balança utilizada para pesagem.	34
Figura 22: Moinho.	34
Figura 23: Cilindros de ágata.	34

Figura 24: Amostras sendo colocadas no micronizador.	35
Figura 25: Cilindros de ágata.	35
Figura 26: Prensa.	35
Figura 27: Pastilhas formadas.	35
Figura 28: Máquina de Fusão modelo CLAISSE M4.	36
Figura 29: Trocador de Amostras PW 2510 e Espectrômetro PW 2400.	36
Figura 30: Lâminas de vidro lapidadas de um lado e lisas do outro.	37
Figura 31: Porta amostra com lâmina de vidro e amostra TR1P-5.5.	38
Figura 32: Difratorômetro de raios-X Siemens D-5000.	38
Figura 33: Área de deposição do resíduo.	39
Figura 34: Trincheira 1 (TR-1).	40
Figura 35: Perfis de solo ao longo da deposição da areia.	41
Figura 36: Raízes e Matéria Orgânica presentes nas amostras.	41
Figura 37: Fração de resíduo com raízes e matéria orgânica.	41
Figura 38: Amostra TR1P-0.0 (base).	43
Figura 39: Amostra TR1P-0.5 (base).	43
Figura 40: Proximidade do Lençol Freático na Trincheira 1.	43
Figura 41: Amostras de meio e topo (TR1P-3.2, 3.5, 4.0).	44
Figura 42: Mapeamento eletrosencundário geral da amostra II.	54
Figura 43: Mapeamento retroespalhado da amostra II.	55
Figura 44: Pontos de análise em imagem “elétrica” na amostra II, aumento de magnitude 50x.	55
Figura 45: Concentração de cromo na amostra II, aumento de magnitude 50x.	56
Figura 46: Espetro 2003-1, aumento de magnitude 50x.	56
Figura 47: Espetro 2003-2, aumento de magnitude 50x.	57
Figura 48: Espetro 2003-3, aumento de magnitude 50x.	57

Figura 49: Espetro 2003-4, aumento de magnitude 50x.....	58
Figura 50: Espetro 2003-5, aumento de magnitude 50x.....	58
Figura 51: Espetro 2003-6, aumento de magnitude 50x.....	58
Figura 52: Microanálise do primeiro espectro (2003-1) na magnitude de 50x.	59
Figura 53: Microanálise do espectro (2003-2) na magnitude de 50x.	59
Figura 54: Microanálise do terceiro espectro (2003-3) na magnitude de 50x.	60
Figura 55: Microanálise do espectro (2003-4) na magnitude de 50x.	60
Figura 56: Microanálise do espectro (2003-5) na magnitude de 50x.	61
Figura 57: Microanálise do espectro (2003-6) na magnitude de 50x.	61
Figura 58: Mapeamento eletrosecundário da região dos finos, com aumento de 450x na amostra II.	62
Figura 59: Mapeamento retroespalhado da região dos finos, com aumento de 450x na amostra II.	62
Figura 60: Pontos de análise em imagem “elétrica” na amostra II, magnitude 450x. 63	
Figura 61: Espetro 2006-1, aumento de magnitude 450x.....	63
Figura 62: Espetro 2006-2, aumento de magnitude 450x.....	64
Figura 63: Espetro 2006-3, aumento de magnitude 450x.....	64
Figura 64: Espetro 2006-10, aumento de magnitude 450x.....	65
Figura 65: Espetro 2006-14, aumento de magnitude 450x.....	65
Figura 66: Espetro 2006-15, aumento de magnitude 450x.....	66
Figura 67: Espetro 2006-17, aumento de magnitude 450x.....	66
Figura 68: Espetro 2006-22, aumento de magnitude 450x.....	67
Figura 69: Espetro 2006-24, aumento de magnitude 450x.....	67
Figura 70: Espetro 2006-26, aumento de magnitude 450x.....	68
Figura 71: Espetro 2006-27, aumento de magnitude 450x.....	68
Figura 72: Fluxograma de definição das FF e FG.	78
Figura 73: Difratoograma da amostra TR1P-5.5.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de Fundidos no Brasil em 2011 x capacidade instalada.	5
Tabela 2: Descrição das amostras preparadas para o MEV.	32
Tabela 3: Separação granulométrica das amostras de base. Destaque em amarelo para as quatro frações mais representativas.	44
Tabela 4: Separação granulométrica das amostras de meio. Destaque em amarelo para as quatro frações mais representativas.	47
Tabela 5: Separação granulométrica das amostras de topo. Destaque em amarelo para as quatro frações mais representativas.	50
Tabela 6: Separação granulométrica das amostras de solo. Destaque em amarelo para as quatro frações mais representativas.	52
Tabela 7: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra II em aumento de 50x.	69
Tabela 8: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra II em aumento de 450x.	69
Tabela 9: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra I em aumento de 200x.	70
Tabela 10: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra III em aumento de 90x.	70
Tabela 11: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra IV em aumento de 50x.	71
Tabela 12: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra IV em aumento de 450x.	71
Tabela 13: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra V em aumento de 70x.	72
Tabela 14: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VI em aumento de 50x.	72

Tabela 15: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VI em aumento de 450x.....	73
Tabela 16: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VII em aumento de 50x.....	73
Tabela 17: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VII em aumento de 450x.....	74
Tabela 18: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VIII em aumento de 50x.	74
Tabela 19: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra IX em aumento de 50x.	74
Tabela 20: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra IX em aumento de 450x.....	75
Tabela 21: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra X em aumento de 50x.	75
Tabela 22: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra X em aumento de 450x.	75
Tabela 23: Descrição da morfologia encontrada nas amostras I a X.	77
Tabela 24: Resultado da FRX para elementos maiores (%).	97
Tabela 25: Resultado da FRX para elementos traços (ppm).....	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Porcentagem (%) de água das amostras de resíduo e solo.....	42
Gráfico 2: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-0.0.	45
Gráfico 3: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-0.5.	45
Gráfico 4: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-1.0.	46
Gráfico 5: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-1.5.	46
Gráfico 6: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-2.0.	47
Gráfico 7: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-2.5.	48
Gráfico 8: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-3.2.	48
Gráfico 9: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-3.5.	49
Gráfico 10: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-4.0.	49
Gráfico 11: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-4.5.	50
Gráfico 12: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-5.0.	51
Gráfico 13: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-5.5.	51
Gráfico 14: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-6.0.	52
Gráfico 15: Distribuição granulométrica da amostra TR1S-6.0 (B).	53
Gráfico 16: Distribuição granulométrica da amostra TR1S-3.0 (A).	53
Gráfico 17: Variação do Na na FF.	80
Gráfico 18: Variação do K na FF.	81
Gráfico 19: Variação do Na na FG.	81
Gráfico 20: Variação do K na FG.	82
Gráfico 21: Variação do Mg na FF.	83
Gráfico 22: Variação do Ca na FF.	83
Gráfico 23: Variação do Sr na FF.	84
Gráfico 24: Variação do Mg na FG.	84

Gráfico 25: Variação do Ca na FG.....	85
Gráfico 26: Variação do Fe na FF.....	86
Gráfico 27: Variação do Fe na FG.	87
Gráfico 28: Variação do Cu na FF.	88
Gráfico 29: Variação do Al na FF.....	89
Gráfico 30: Variação do Cr na FF.....	89
Gráfico 31: Variação do Zr na FF.....	90
Gráfico 32: Variação do Si na FF.	90
Gráfico 33: Variação do Mn na FF.	91
Gráfico 34: Variação do Ti na FF.	91
Gráfico 35: Variação do Al na FG.....	92
Gráfico 36: Variação do Cr na FG.....	93
Gráfico 37: Variação do Si na FG.....	94
Gráfico 38: Variação do Mn na FG.	95
Gráfico 39: Variação do Ti na FG.	95
Gráfico 40: Variação do Na ₂ O na FRX.	99
Gráfico 41: Variação do K ₂ O na FRX.	100
Gráfico 42: Variação do MgO na FRX.....	100
Gráfico 43: Variação do CaO na FRX.	101
Gráfico 44: Variação do Sr na FRX.....	101
Gráfico 45: Variação do Fe ₂ O ₃ na FRX.....	102
Gráfico 46: Variação do Co na FRX.....	102
Gráfico 47: Variação do Ni na FRX.	103
Gráfico 48: Variação do Cu na FRX.....	103
Gráfico 49: Variação do Pb na FRX.....	104
Gráfico 50: Variação do Zn na FRX.....	104

Gráfico 51: Variação do Al_2O_3 na FRX.....	105
Gráfico 52: Variação do Cr na FRX.	105
Gráfico 53: Variação do Zr na FRX.....	106
Gráfico 54: Variação do SiO_2 na FRX.	106
Gráfico 55: Variação do P_2O_5 na FRX.....	107
Gráfico 56: Variação do MnO na FRX.....	107
Gráfico 57: Variação do TiO_2 na FRX.....	108
Gráfico 58: Variação do V na FRX.	108
Gráfico 59: Resultado FRX para elementos maiores com exceção do SiO_2	113
Gráfico 60: Resultado FRX para elementos traços com exceção do Cr e Zr.....	114

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADF	Areia Descartada de Fundição
BSE	<i>Backscattering Electrons</i> / Elétrons Retroespalhados
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cfa	Clima temperado úmido com verão quente, segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DRX	Difração de Raios X
EDS / EDX	<i>Energy Dispersive x-ray Spectrometer</i> / Espectrômetro de Dispersão de Energia de Raios X
Eh	Potencial Redox
FF	Fração Fina
FG	Fração Grossa
FRX	Fluorescência de Raios X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGc	Instituto de Geociências
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
NBR	Norma Brasileira
NH	Nível Hidrostático
pH	Potencial Hidrogeniônico
SE	<i>Secondary Electrons</i> / Elétrons Secundários
SEADE	Fundação Estadual Sistema de Análise de Dados
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente de Sorocaba
TR1	Trincheira 1
TR2	Trincheira 2
TR3	Trincheira 3
USP	Universidade de São Paulo

RESUMO

MARTINS CARÁ MONTEIRO, Marcella. **Características Físicas, Químicas e Geoquímicas de um Depósito de Areia Descartada de Fundição (ADF) e sua Implicação Ambiental**. 2013. 221p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

A falta de regulamentação ambiental no passado levou muitas indústrias, incluindo as de fundição (geradoras de grandes quantidades de areia de fundição), a destinarem seus resíduos de forma inadequada ao longo dos anos, criando passivos ambientais que perduram até hoje. A periculosidade destes passivos muitas vezes não está diretamente ligada à periculosidade dos resíduos depositados, pois acredita-se que ao longo dos anos, sob a ação do intemperismo, muitas reações químicas ocorrem levando à mobilidade dos elementos químicos presentes no depósito de resíduos. Este trabalho propõe avaliar o comportamento de um depósito de resíduos de areia de fundição não controlado, com mais de 30 anos e a mobilidade de elementos inorgânicos potencialmente tóxicos ao longo de um perfil vertical do depósito, como parte da gestão ambiental de uma área impactada. Para este objetivo foram utilizadas ferramentas como análise de umidade, análise granulométrica, análise morfológica por MEV, análise química qualitativa e quantitativa por MEV-EDS e por FRX. Os elementos químicos analisados foram divididos em grupos de forma a encontrar similaridades. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que os alcalinos, alcalinos terrosos, calcófilos e alguns litófilos (Al, Zr, P, Mn, Ti e V) migraram para a base do perfil e o comportamento do depósito de resíduos pode ser comparado ao comportamento diagênico clássico de evolução pedológica de perfis de solo em rochas em condições tropicais. Além disso, do ponto de vista micromorfológico, granulométrico e químico esse depósito de resíduo não é o mesmo ao longo do perfil vertical escavado e a divisão em blocos (base, meio e topo) só é verificada na análise granulométrica. E, apesar do resíduo ADF não ser considerado classe I, o mesmo pode apresentar risco ao meio ambiente quando depositado em locais não controlados e submetidos a condições climáticas supérgenas tropicais.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Impactos ambientais. Áreas contaminadas. Areia de fundição.

ABSTRACT

MARTINS CARÁ MONTEIRO, Marcella. **Fisical, chemical and geochemical characterization of a foundry sand deposit and it's environmental implication.** 2013. 221p. Thesis Master's Dissertation – Mineral Resources and Hydrogeology Pos-graduation Program of Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

The lack of environmental regulation in the past has led many industries, including foundries (that generates large amounts of foundry sand), to place their waste improperly over the years, creating environmental passives that endure today. The danger of these passives is often not directly related to the dangerousness of waste landfilled because it is believed that over the years, under the action of weathering, many chemical reactions occur leading to mobility of chemical elements present in the waste deposit. This work proposes to evaluate the behavior of an uncontrolled waste foundry deposit, with more than 30 years, and the mobility of potentially toxic inorganic elements along a vertical profile of the deposit as part of the environmental management of an impacted area. For this purpose were used tools such as humidity analysis, granulometric analysis, morphological analysis by Scanning Electron Microscopy (SEM), qualitative and quantitative chemical analysis by SEM with Energy Dispersive X-ray Detector (EDX) and X-ray Fluorescence. The chemicals analyzed were divided into groups in order to find similarities. From the results obtained it was concluded that the alkali, alkaline earth, chalcophile and some lithophile (Al, Zr, P, Mn, Ti e V) migrated to the base of the profile and behavior of the waste deposit can be compared to the classic diagenic behavior of pedological evolution of soil profiles in rocks in tropical conditions. Furthermore, from the standpoint of micromorphology, particle size and chemical this waste deposit is not the same along the vertical profile excavated and the three divisions (base, middle and top) is only checked on granulometric analysis. And despite the foundry sand residue is not considered class I, it may present a risk to the environment when deposited in non-controlled area and subject to tropical supergens weather conditions.

Keywords: Solid waste. Environment impact. Contaminated areas. Foundry sand.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca pela sustentabilidade surgiu com destaque impulsionada pela sociedade, como de clientes preocupados em consumir produtos e serviços ecologicamente corretos, e com imposições legais cada vez mais severas. Dentre as imposições ambientais legais à indústria, pode-se destacar o correto gerenciamento de seus resíduos.

Alguns órgãos ambientais estaduais, estabelecem na forma de lei que os resíduos gerados devem ser destinados em locais construídos e licenciados para tal, e que recebam resíduos conforme suas características e tecnologia disponível, o que pode encarecer o processo dependendo do resíduo. Os resíduos industriais demandam muita tecnologia para obtenção do produto final, e conseqüente grandes investimentos por parte dos geradores para destinação final do resíduo produzido. Em virtude desse cenário, e da falta de regulamentação no passado, muitas indústrias anteriores a essas legislações destinaram seus resíduos de forma inadequada ambientalmente ao longo dos anos, gerando passivos ambientais que perduram até hoje.

Em São Paulo, o gerenciamento de resíduos de areias de fundição vem sendo alvo de controle por parte dos órgãos ambientais, como a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), que tem fiscalizado com rigor diversas indústrias deste setor, requisitando frequentemente registros de destinação de areia descartada de fundição (ADF) e laudos ambientais do subsolo das fábricas. Quando é identificada a contaminação do solo ou da água subterrânea, as indústrias devem proceder com ações de correção do(s) dano(s) visando evitar sanções civis, penais e criminais, bem como manter a licença de operação em conformidade com as regulamentações do órgão.

A fundição está presente no grupo dos setores industriais que mais geram resíduos. Dentre os resíduos gerados destaca-se: as areias fenólicas ou de macharia, areias de moldagem ou areia verde, pós da exaustão de fornos e atividades de acabamento e moldagem, refratários e escória (CHEGATTI, 2004). Sabe-se que a areia de fundição corresponde a maior fração de resíduos gerados pela indústria de fundição. Somente no Estado de SP, anualmente, são estimados 1,5 milhões de toneladas de excedentes de areia de fundição (MARIOTTO, 2001).

Há alguns anos, uma grande parte das areias do circuito produtivo eram descartadas, sendo sua totalidade substituída anualmente por areia virgem. Isto

ocorria mesmo em fundições com recursos técnicos mais limitados. As areias descartadas de fundição (ADF) geradas, provenientes da moldagem ou da macharia, tinham como destino final a deposição em aterros não controlados, em sua maioria, localizados internamente às fábricas. E estas areias representam um problema de contaminação, pois em certas partes dos torrões das areias vazadas existem restos da liga fundida e de componentes da decomposição térmica do sistema ligante, sendo a areia depositada (ADF) uma fonte de contaminação por lixiviação de metais pesados e resinas.

Segundo VAN DYCK (1995), *apud* CETESB (2001) “uma área contaminada é definida como um local onde, como resultado das atividades humanas, resíduos estão presentes ou a poluição dos solos e águas subterrâneas ocorrem ou podem ocorrer”. E de acordo com a Lei Estadual de SP, 13.577 de 2009, considera-se área contaminada aquela área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria, abandonados ou em atividade, que contém quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger.

Segundo SÁNCHEZ (1998), a existência de áreas contaminadas gera não somente problemas evidentes, com a ocorrência ou a possibilidade de explosões e incêndios, mas também ocasiona danos ou riscos à saúde das pessoas e ecossistemas, ocasionados por processos que se manifestam, em sua maioria, a longo prazo, provocando: o aumento da incidência de doenças em pessoas expostas às substâncias químicas presentes em águas subterrâneas coletadas em poços; contato dermal e ingestão de solos contaminados por crianças ou trabalhadores, inalação de vapores e consumo de alimentos contaminados (hortas irrigadas com águas contaminadas ou cultivadas em solo contaminado e animais contaminados).

A presença de uma área contaminada pode representar também a limitação dos usos possíveis do solo, induzindo restrições ao desenvolvimento urbano e problemas econômicos relativos ao valor dos imóveis. (CETESB, 2001). De acordo com a lei federal 6766/79 e a lei municipal de São Paulo nº 13.885/04, ambas sobre o parcelamento do solo urbano, não será permitido o parcelamento do solo, quando houver poluição e a mesma não tiver sido remediada a níveis aceitáveis para o uso do solo.

O solo foi considerado por muito tempo um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais, com base no

suposto poder tampão e potencial de autodepuração, que leva ao saneamento dos impactos criados. Porém essa capacidade, como ficou comprovado posteriormente, foi superestimada e, somente a partir da década de 70, direcionada maior atenção a sua proteção. (CETESB, 2001)

Em 1999, no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, foi conceituado o termo “áreas contaminadas”, representando o primeiro passo em direção à criação de estruturas políticas, legais e institucionais, além da conscientização de toda a sociedade para que novas áreas contaminadas não fossem geradas.

As alternativas de tratamento dos passivos de ADFs existentes passam por remediação *in situ* ou reciclagem para a construção civil, já que as quantidades dispostas são enormes e a retirada dos sites, além dos riscos de derramamento, significaria altos custos de transporte, inviabilizando a descontaminação.

O profundo e minucioso conhecimento das características de depósitos não controlados de areia de fundição, passando não somente pela caracterização do resíduo, mas também pelo conhecimento das interações físicas e químicas entre o resíduo, o solo, e água, ao longo dos anos, ajuda a determinar a melhor solução para passivos similares espalhados pelo Brasil, e, principalmente, pelo Estado de São Paulo.

2. OBJETIVO

O objetivo principal dessa dissertação é a caracterização física, química e geoquímica de amostras coletadas em um perfil vertical de um Resíduo de Areia Descartada de Fundição (ADF), de uma indústria de fundição localizada em Sorocaba (SP), e, a análise e interpretação dos resultados das diferentes metodologias aplicadas nessas amostras.

Como objetivo secundário, este trabalho visa avaliar, como parte da gestão de uma área impactada, a mobilidade de elementos inorgânicos potencialmente tóxicos ao longo das trincheiras escavadas em um depósito de resíduos não controlado, com mais de 30 anos. Os resultados serão utilizados para a realização de estudos e de trabalhos posteriores de fitorremediação do local caso se comprove o comprometimento ambiental do mesmo.

3. JUSTIFICATIVA

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de peças fundidas. E o município de Sorocaba e as cidades vizinhas de Limeira e Sumaré abrigam o principal pólo de fundições do Estado de São Paulo.

A produção brasileira de fundidos cresceu cerca de 3% em 2011, chegando a 3,34 milhões de toneladas, segundo relatório anual da ABIFA, conforme a Tabela 1. O volume estimado representa 71% da capacidade instalada da indústria brasileira de fundição, calculada em 4,70 milhões de toneladas anuais. Considerando que tipicamente para a produção de cada tonelada de ferro ou aço é requerida cerca de uma tonelada de areia (WINKLER; BOL'SHAKOV, 2000), o aumento da produção de fundidos, aumenta proporcionalmente a geração de areia de fundição descartada.

METAIS	CAPACIDADE INSTALADA (MIL T)	REALIZADO EM 2011 (MIL T)	TAXA DE OCUPAÇÃO
FERRO	3900	2799	72%
AÇO	420	270	64%
NÃO FERROSOS	400	274	69%
TOTAL	4720	3343	71%

Tabela 1: Produção de Fundidos no Brasil em 2011 x capacidade instalada. (Fonte: ABIFA, 2011)

Na avaliação de Devanir Brichesi, presidente da ABIFA, a demanda por produtos fundidos será beneficiada pelas obras de infraestrutura para a Copa de 2014, para as Olimpíadas de 2016 e para a construção do trem de alta velocidade (TAV), que ligará o Rio de Janeiro a São Paulo e Campinas. É esperada também maior demanda por válvulas e compressores em razão dos investimentos decorrentes do pré-sal. Este aumento de demanda afetará diretamente os pólos de fundições de São Paulo, aumentando a necessidade por soluções para a gestão de resíduos e também para suas áreas contaminadas. (ABIFA, 2010).

Atualmente, nesta indústria de fundição, de que trata a presente dissertação, após a etapa de desmoldagem, a areia de fundição pode ser novamente inserida no processo de produção, com uma recuperação de aproximadamente 90%. Os 10% restantes são liberados do processo, na forma de resíduo. Porém, há 30 anos atrás a quantidade de areia recuperável era consideravelmente menor. Desta forma, grandes quantidades de resíduo de areia de fundição foram dispostos incorretamente neste e em outros *sites* de

fundições, contaminando principalmente as regiões mais industrializadas e os maiores pólos de fundição.

Tendo em vista o contínuo crescimento do setor e o passado de disposição não controlada de resíduos, o entendimento das características das areias de fundição, após longos anos depositadas incorretamente, e dos processos de lixiviação e reação nos sites de deposição, tornam-se partes imprescindíveis ao gerenciamento dessas áreas impactadas e a consequente tomada de decisão do que pode e deve ser feito a respeito destes grandes passivos.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1. O SETOR DE FUNDIÇÃO

O setor de fundição é considerado um grande poluidor por seus processos produtivos gerarem altas quantidades de resíduos, consumirem muitos insumos naturais e por conseguinte possuírem grandes passivos ambientais. Em contrapartida, com o aumento das exigências pelo desenvolvimento sustentável e também na intenção de reduzir custos operacionais, o setor de fundição surge como um grande reciclador por reutilizar materiais como sucatas metálicas, e por reutilizar em seu processo resíduos como a Areia Descartada de Fundição (ADF), trazendo benefícios ambientais pela redução na extração de minérios e pela economia de energia empregada nos processos primários de transformação.

Assim, as ADFs surgem como um material com grande potencial a ser explorado, representando, além de um passivo, um produto de interesse econômico. As restrições ambientais, os custos cada vez maiores com transporte e disposição final em aterros licenciados e controlados e o risco de transportar resíduos não inertes ou perigosos impulsionam o interesse em pesquisas para seu melhor aproveitamento.

4.1.1. PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Em linhas gerais, a fundição é um processo metalúrgico para fabricação de peças sólidas a partir do metal fundido (no estado líquido) e a solidificação deste metal em um molde, com a forma negativa do produto final, conforme Figura 1.

Figura 1: Representação esquemática da fundição em molde de areia (CIMM, 2010).

O molde é feito de uma mistura de areia, geralmente quartzo, com outros elementos, e deve poder permanecer em contato com altas temperaturas, sem alterações significativas de suas características, sendo assim um refratário. Já o macho é um dispositivo, feito também de areia, que tem a finalidade de formar os vazios, furos e reentrâncias da peça. Eles são colocados nos moldes antes que eles sejam fechados para receber o metal líquido na etapa de vazamento. Porém, como a areia resultante da desagregação dos moldes e machos é, na maioria das vezes, misturada na desmoldagem, estas não são usualmente distinguidas, sendo denominadas simplesmente areia descartada de fundição ou ADF. (SOARES *et al.*, 2010)

Segundo BAIL *et al.* (2010), através do fluxograma da Figura 2, visualiza-se os processos e os resíduos gerados (destacados em verde) dentro do processo produtivo de uma fundição de ferro, com destaque para as ADFs de moldagem e de macharia.

Figura 2: Fluxograma de geração de resíduos de uma fundição de ferro. Fonte: BAIL *et al.* (2010).

Na etapa de vazamento do metal líquido no interior do molde, e após sua solidificação, ocorre a desmoldagem, onde a peça fundida é separada da areia, que retorna quase que integralmente para a confecção de novos moldes. No entanto, ainda

que ela retorne ao processo produtivo para confeccionar outros moldes, é preciso que se incorpore areia virgem ao processo, pois as novas tecnologias de confecção dos moldes requerem areias limpas (areias virgens) (MARIOTTO, 2001).

4.1.2. RESÍDUO AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO (ADF)

A primeira etapa do gerenciamento de um resíduo é a caracterização deste resíduo, passando pela sua classificação. Tal etapa é fundamental, pois através dela se define tecnicamente e economicamente o processo de gerenciamento, permitindo identificar os contaminantes, analisar sua origem e os potenciais danos que estes contaminantes podem trazer ao meio ambiente. No Brasil, os resíduos são classificados conforme riscos à saúde pública e ao meio ambiente, de acordo com a norma NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Esta norma foi editada em 1987 e revisada em 2004. Segundo a mesma, os resíduos são classificados em: classe I (perigosos); classe IIA (não perigosos e não inertes) e classe IIB (não perigosos e inertes).

O resíduo de areia de fundição é classificado como classe IIA, segundo o anexo H da NBR 10004, excluídos aqueles contaminados por substâncias constantes nos anexos C, D ou E e que apresentem características de periculosidade. Segundo OLIVEIRA (2007), há duas possíveis fontes de contaminação, que classificaria a areia de fundição como resíduo classe I; as resinas do sistema aglomerante que podem conter constituintes orgânicos ou inorgânicos, tais como fenol, silicato de sódio, etc, e a presença de metais pesados, originários da etapa de vazamento. Procedimentos de gerenciamento (coleta, transporte, etc) e alternativas de destinação final (aterros, incineração, reciclagem, co-processamento, etc) levam em consideração a periculosidade do resíduo, bem como suas características físico-químicas, de modo a propiciar o melhor manuseio e destino final aos resíduos gerados, visando primordialmente à recuperação ou reutilização dos mesmos em outros processos.

Após a desmoldagem, a areia obtida pode ser reutilizada parcialmente no processo de moldagem. Porém, a areia recirculada, após alguns ciclos no processo de fundição, apresenta um acúmulo de materiais residuais, fazendo-se assim necessário a adição de areia virgem e a retirada da mesma parcela de areia de desmoldagem. Esta areia descartada corresponde ao maior volume de resíduos gerados pela indústria de

fundição, e apresenta características quantitativas e qualitativas diferenciadas, em função dos tipos de tecnologias de processos utilizados (BIOLO, 2003).

De acordo com LUZ E LINS (2005) areia pode ser definido como uma massa mineral inconsolidada, de alto teor de sílica, constituída predominantemente de grãos de quartzo, com formas e texturas superficiais que variam, e situando-se numa faixa de granulometria de 0,0625 a 2,0 mm.

As areias são constituídas predominantemente por quartzo, mas ocorre também outros minerais como feldspato, mica e turmalina. A proporção com que os minerais se apresentam nas areias lhes conferem características específicas como a coloração e a composição mineralógica. (CHAVES, 1999).

4.1.3. IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ADFs

Ainda pouco se sabe sobre o impacto ao meio ambiente ao longo de muitos anos, ocasionado pela disposição em depósitos não controlados da areia de fundição, mas é possível que a disposição inadequada desses resíduos gere impactos ambientais em solo e águas superficiais e subterrâneas, a medida em que os contaminantes dessas areias entrem em contato com solo e água e lixiviem a contaminação acima de limites de aceitação previstos pelos órgãos ambientais.

4.2. ÁREAS CONTAMINADAS

A origem das áreas contaminadas está relacionada ao desconhecimento, em épocas passadas, de procedimentos seguros para o manejo de substâncias perigosas, ao desrespeito a esses procedimentos seguros e à ocorrência de acidentes ou vazamentos durante o desenvolvimento dos processos produtivos, de transporte ou ainda de armazenamento de matérias primas e produtos. (CETESB, 2001)

Além de gerar danos à qualidade dos recursos hídricos, do solo e à saúde populacional, as áreas contaminadas podem gerar restrições ao uso do solo e a desvalorização das propriedades, conforme previsto na Lei Federal nº 6.766/79, que define as competências do Estado e do Município sobre a questão do parcelamento do solo, não permitindo o parcelamento do solo em áreas poluídas, até que seja remediada para níveis aceitáveis, e na Lei do Estado de SP nº 9.999/98 que altera a Lei nº 9.472/96, que disciplina o uso de áreas industriais. Esta última lei destaca o fato de que contaminações existentes em áreas localizadas em zonas de uso

predominantemente industrial são cruciais para permitir ou não um uso mais nobre, por exemplo, residencial.

Com relação à gestão de áreas impactadas, a CETESB foi pioneira no Brasil e em 1999, no Estado de São Paulo, a CETESB criou o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, com revisões em 2001 e 2007, cujo objetivo é solucionar a problemática das áreas contaminadas através de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento de suas características e dos impactos por elas causados, e a criação e aplicação de instrumentos necessários à tomada de decisão e às formas e níveis de intervenção mais adequados, sempre com o objetivo de minimizar os riscos à população e ao ambiente decorrentes da existência das mesmas.

Em âmbito nacional, somente 10 anos depois, em 2009, o CONAMA lançou a resolução 420/2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

4.3.LEGISLAÇÃO

A legislação ambiental brasileira é uma das mais avançadas do mundo. Sua estrutura começou a ser implementada a partir de 1981 com a Política Nacional de Meio Ambiente, onde existem uma série de instrumentos para o planejamento, a gestão ambiental e a fiscalização.

A partir de 1988, com a nova Constituição Federal, os assuntos ambientais passam a ser tratados de forma abrangente, reservando à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios a tarefa de proteger o meio ambiente e de controlar a poluição. No capítulo VI (“Do Meio Ambiente”), Artigo 225, é colocado o princípio: *“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”*

Porém, especificamente com relação ao resíduo de areia descartada de fundição (ADF), a legislação brasileira ainda deve muito, sendo São Paulo também o pioneiro quando se trata dos depósitos não controlados deste resíduo, com a Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E, que dispõe sobre procedimentos para gerenciamento de areia de fundição. A Decisão prevê ações a serem adotadas pelas empresas que

possuem depósitos inadequados internos ou externos dessas areias, de forma a exigir a adequação das áreas, seja pela remoção dos resíduos ou pelo confinamento seguro, evitando impactos em solo e águas subterrâneas.

Nos últimos dez anos principalmente, a legislação Brasileira foi desenvolvida de modo a promover a gestão adequada de resíduos, definindo a responsabilidade legal perante sua destinação ou remediação quando este se torna um passivo. Porém pouco resolve a existência de leis severas quando há problemas graves na fiscalização de passivos, levando os mesmos ao mau gerenciamento e ao abandono.

4.4.CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DE GOLDSCHMIDT

A classificação geoquímica de Goldschmidt, desenvolvida por Victor GOLDSCHMIDT (1958), se baseia na geoquímica que agrupa os elementos químicos de acordo com suas principais características geoquímicas chamadas por ele de fases, sendo divididos em cinco: siderófilos, calcófilos, litófilos, atmófilos e biófilos. Somente as três primeiras fases são contempladas nesta dissertação, e, por isso, são descritas a seguir.

- Siderófilos: Fase constituída pelos elementos de transição externa e interna com alta densidade que possuem afinidade geoquímica pelo ferro no estado sólido ou fundido. São eles: Fe, Ni, Co, P, (As), C, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Au, Ge, Sn, Mo, (W), (Nb), Ta, (Se) e (Te).
- Calcófilos: Fase constituída pelos elementos que apresentam pouca afinidade pelo oxigênio, preferindo ligar-se ao enxofre como sulfetos altamente insolúveis. São eles: S, Se, Te, As, Sb, Bi, Ga, In, Tl, (Ge), (Sn), Pb, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, (Au), Ni, Pd, (Pt), Co, (Rh, Ir), Fe, Ru, (Os) e Mo.
- Litófilos: Fase constituída pelos elementos altamente reativos dos blocos s e f da tabela periódica, por um pequeno número de não-metais reativos e os metais mais reativos do bloco d como o titânio, o zircônio e o vanádio. Apresentam afinidade pela sílica. São eles: O, (S), (P), (H), Si, Ti, Zr, Hf, Th, F, Cl, Br, I, (Sn), B, Al, (Ga), Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Yb, Lu, Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, (Fe), V, Cr, Mn, ((Ni)), ((Co)), Nb, Ta, W, U e ((C)).

Segundo consta no livro do GOLDSCHMIDT (1958), os elementos entre parênteses ocorrem em pequenas quantidades em cada grupo.

4.5. GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS ANALISADOS

O intemperismo atua sobre os minerais das rochas através da ação do oxigênio, do gás carbônico e da água formando novos minerais mais estáveis sob as novas condições. A rocha alterada fragmenta-se sob os efeitos da erosão e os fragmentos são transportados pelo vento, pela água ou pelo gelo, e redepositados, ou permanecem em solução (MASON, 1971). Apesar das referências tratarem de ambientes supérgenos, e o material de estudo da presente dissertação ser um resíduo (antrópico), acredita-se que há a possibilidade de analogia, pois o depósito do resíduo está sob a ação da natureza há mais de 30 anos.

A mobilidade de um elemento, ou, a tendência deste elemento em migrar no meio superficial, é resultante de uma complexidade de fatores físicos (gravidade, atrito, capilaridade e difusão), químicos (pH, solubilidade de sais, coprecipitação, sorção, Eh e formação de íons complexos e compostos orgânicos) e biológicos (pela assimilação e concentração de elementos por microorganismos ou por microorganismos catalizarem reações de oxidação e redução). Sendo a água o principal agente de transporte para os produtos do intemperismo, a mobilidade também pode ser definida como a facilidade e velocidade com que o material se move, ou a tendência deste material ficar estável em soluções aquosas ou em suspensões. (HAWKES, 1957)

A importância do potencial iônico nos processos sedimentares foi primeiro apontada por Goldschmidt como uma medida do comportamento de um íon em direção à água (MASON, 1971). Elementos com baixo potencial iônico (como Ca, Na) são solúveis como simples cátions, enquanto elementos com alto potencial iônico atraem o oxigênio formando oxi-ânions solúveis (como PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e MoO_4^{2-}). Já elementos com um potencial iônico intermediário (como Al, Ti e Sn) são imóveis em virtude de sua baixa solubilidade e forte tendência à adsorção em superfícies. Diferenças na valência também resultam em mobilidades diferentes. (ROSE, HAWKES, WEBB, 1979).

A Figura 3 apresenta a mobilidade dos elementos em relação ao raio iônico e a carga iônica.

Figura 3: Mobilidade dos elementos no ambiente superficial em função da carga e do raio iônico. (ROSE, HAWKES, WEBB, 1979)

Segundo ROSE, HAWKES, WEBB, 1979, o pH e o Eh são os fatores mais importantes para determinar a solubilidade de um elemento em solução aquosa. A maioria dos elementos metálicos são altamente solúveis em soluções ácidas, mas podem precipitar com o aumento do pH. Para os metais alcalinos e para a maioria dos alcalinos terrosos o pH de precipitação está acima da faixa de pH das águas naturais. Porém muitos elementos de maior valência e elementos de transição são precipitados na faixa de pH das águas naturais. Com relação à concentração de elétrons no ambiente, potencial redox (Eh), sua importância está relacionada a diversidade de

valência de alguns elementos e a diferença de comportamento dos mesmos com a mudança do estado de oxidação.

Nesta dissertação, foram 19 os elementos químicos analisados: Na, K, Mg, Ca, Sr, Fe, Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Al, Cr, Zr, Si, P, Mn, Ti e V, devido à maior ocorrência nas amostras. Os 19 elementos estudados foram agrupados de acordo com a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) (2005) e a classificação de Goldschmidt, afim de verificar comportamentos comuns entre eles, apesar de se tratar de um depósito tecnogênico.

a) Metais Alcalinos (Elementos analisados: Na e K)

Os elementos do Grupo 1, os metais alcalinos, são muito eletropositivos e fortemente reativos. Tendem a formar ligações iônicas e, por isso, são muito solúveis em soluções aquosas (White, 2005). Como característica comum trazem um elétron na última camada resultando em um comportamento químico altamente reativo (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). Geralmente, o Na e o K, por serem metais alcalinos, em ambiente tropical e com disponibilidade de soluções aquosas, apresentam, de modo geral, elevada solubilidade, ou seja, nessas circunstâncias tendem a migrar para o aquífero por intensa circulação e lixiviação produzida pela infiltração da água da chuva, permitindo serem concentrados mais intensamente na base do depósito (sentido TR1P-0.0). O potencial iônico do Na^+ e do K^+ (Figura 3) corroboram com as informações acima, indicando que são cátions móveis.

b) Metais Alcalinos Terrosos (Elementos analisados: Mg, Ca e Sr)

Os elementos do Grupo 2, os alcalinos terrosos, tem as mesmas características dos alcalinos, porém mais moderadas (WHITE, 2005). De forma geral, o Mg, Ca e o Sr, por serem metais alcalinos terrosos, em ambiente tropical e com disponibilidade de soluções aquosas, também são esperados em maiores concentrações na base do depósito (sentido TR1P-0.0). De acordo com a Figura 3, o potencial iônico destes elementos indicam que Ca^{2+} e Sr^{2+} são cátions móveis e que Mg^{2+} está no limite entre a mobilidade e a imobilidade.

c) Elementos Siderófilos (Elementos analisados: Fe, Co e Ni)

Os elementos siderófilos tendem a acompanhar o Fe. Segundo Kabata-Pendias e Pendias, 2001, o comportamento do Co e do Ni em solo é muito similar ao do Fe,

devido, principalmente, à proximidade em distância entre os raios atômicos. O Fe, o Co e o Ni pertenciam ao antigo Grupo VIII da Tabela Periódica, que por sua vez, agrupavam elementos pelas suas propriedades químicas e geoquímicas (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). Atualmente, o Fe pertence ao Grupo 8, o Co ao Grupo 9 e o Ni ao Grupo 10.

As reações do Fe no processo de intemperismo são muito dependentes da relação pH x Eh do meio e das valências dos compostos de Ferro envolvidos (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). Em meio ácido ou alcalino, após oxidado, o ferro permanece relativamente imóvel como Fe^{+3} . Sob condições ácido-redutoras, o Fe^{+2} pode ser lixiviado do meio. O diagrama pH x Eh do Fe a 25°C e 1 Bar é visualizado na Figura 4.

Figura 4: Diagrama pH-Eh do ferro a 25°C e 1 Bar. (WHITE, 2005)

A mobilidade do Fe é muito baixa sob condições de oxidação e baixa em ambiente ácido, neutro a alcalino e redutor. As principais barreiras geoquímicas deste elemento são a oxidação; o aumento de pH; a precipitação sob a forma de óxidos, hidróxidos ou oxi-hidróxidos de ferro, co-precipitando muitos outros metais (REIMANN & CARITAT, 1998).

Considerando-se somente o potencial iônico dos elementos (Figura 3), os cátions Fe^{2+} , Co^{2+} e Ni^{2+} estão no limite entre a mobilidade e a imobilidade, e o Mn^{4+} e o Fe^{3+} são íons imóveis.

d) Elementos Calcófilos (Elementos analisados: Cu, Pb, Zn)

Conforme descrito no item 4.4, os calcófilos apresentam pouca afinidade pelo oxigênio, preferindo ligar-se ao enxofre como sulfetos altamente insolúveis.

De modo geral, o cobre é um metal pouco móvel, pois é fixado por matéria orgânica e por óxidos de ferro, alumínio e manganês e por argilominerais (ADRIANO, 1986), tendendo a concentrar-se onde foi depositado. Segundo KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001, o Cu é um elemento imóvel no solo e apresenta relativamente pequena variação na concentração total nos perfis de solo. Contudo, segundo a Figura 3, o potencial iônico do Cu indica ser um cátion móvel, tanto para a valência +1 quanto para a +2.

O Pb ocorre principalmente na forma divalente, porém, Pb^{+4} também é conhecido e forma alguns minerais insolúveis em águas naturais. A solubilidade do Pb diminui significativamente com o aumento de pH. Solo com pH alto precipita Pb como hidróxido, fosfato ou carbonato assim como promove a formação de complexos Pb-orgânicos, que por sua vez são muito estáveis. O aumento da acidez aumenta a solubilidade do Pb, mas em menor velocidade do que a acumulação na camada orgânica dos solos. (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). De acordo com a Figura 3, o potencial iônico do Pb^{+2} indica cátion móvel e do Pb^{+4} indica íon imóvel.

A mobilidade do Zn no solo é controlada por fatores como minerais de argila, presença de hidróxidos ou formas hidratadas desse elemento e pH (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). Segundo KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001, a solubilização dos minerais de zinco durante o intemperismo produz Zn^{+2} móvel, especialmente em ambientes ácido-oxidantes. Todavia o Zn é facilmente adsorvido por minerais e componentes orgânicos, sendo observada sua acumulação na maior parte dos tipos de solos. As principais barreiras geoquímicas deste elemento são o pH e a adsorção pelas argilas, pelos óxidos e hidróxidos de Fe-Mn e pela matéria orgânica (REIMANN & CARITAT, 1998). O potencial iônico do Zn^{+2} (Figura 3) encontra-se no limite entre móvel e imóvel.

e) Elementos Litófilos (Elementos analisados: Al, Cr, Zr, Si, P, Mn, Ti e V)

Como visto, os litófilos são elementos reativos com afinidade pela sílica.

A mobilidade dos hidróxidos de Al é baixa, especialmente entre pH 5 a 8. Porém em solos ácidos com pH abaixo de 5.5, a mobilidade do Al aumenta abruptamente, passando a competir com outros cátions pela troca de sites. Um aumento na solubilidade é observado principalmente na faixa de pH de 4.5 a 4.0 (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). O potencial iônico do Al^{+3} (Figura 3) encontra-se na faixa de íons imóveis.

O Cr ocorre na natureza em diversas valências e como Cr +3 é móvel somente em pH menor que 5, já o cromo +6 é instável e facilmente mobilizado em solos ácidos e alcalinos. Porém, o cromo +6 tende a reduzir a cromo +3 tornando-se insolúvel (Adriano, 1986). O potencial iônico do Cr^{+3} o indica como íon imóvel, todavia, o Cr^{+6} não é descrito na Figura 3.

Os minerais de Zr são altamente resistentes ao intemperismo, por isso este elemento é considerado como pouco móvel em solos. Contudo ácidos orgânicos aparentam ser agentes de transporte para a migração de Zr em solos (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). O potencial iônico do Zr^{+4} o coloca na faixa de íons imóveis (Figura 3).

O Si é o elemento mais abundante e relativamente o elemento eletropositivo mais estável da crosta terrestre na forma de compostos silicatados. Porém, sob condições específicas pode ser dissolvido e transportado principalmente na sua fase coloidal. Normalmente a Si é mais móvel em solos alcalinos, não sendo o pH o único fator determinante de sua mobilidade (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). O Si^{+4} apresenta potencial iônico na faixa dos íons imóveis (Figura 3).

Quanto ao P baixas concentrações do mesmo em águas residuárias devem-se à baixa mobilidade deste nutriente no solo, sendo este provavelmente adsorvido pelas partículas do solo, pelas plantas e o restante precipitado (BASSO, 2003). Comparando-se a lixiviação de P com a aplicação de fertilizantes e resíduos orgânicos, alguns autores verificaram que ocorre maior mobilidade de P no solo na forma orgânica (MOZAFFARI E SIMS, 1994; EGHBALL, BINFORD, BALTENSBERGER, 1996). O P^{+6} de acordo com seu potencial iônico é descrito como oxiânion móvel. (Figura 3).

Segundo KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001, o Mn ocorre nas valências +2, +3 e +4, sendo o Mn^{+2} o mais frequente nas rochas formadoras de silicatos,

substituindo, ainda, alguns cátions divalentes como Fe^{+2} e Mg^{+2} . A solubilidade do Mn no solo é extremamente dependente do pH e do Eh, e devido à baixa solubilidade de compostos de Mn uma pequena variação das condições de pH e Eh do meio podem ser significativas. Além disso, o Mn pode ser acumulado no topo do solo por fixação por matéria orgânica. Na Figura 3 somente é apresentado o Mn de valência +4, sendo seu potencial iônico localizado na faixa de íons imóveis.

O Ti ocorre predominantemente no estado tetravalente. Apesar dos minerais de Ti serem conhecidos como os minerais mais estáveis no ambiente de solo, nenhum mineral é completamente insolúvel, sendo sua solubilidade no solo muito limitada. (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001). O Ti^{+4} de acordo com seu potencial iônico é descrito como oxiânion móvel. (Figura 3).

Segundo KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001, as características geoquímicas do V são fortemente dependentes do seu estado de oxidação (+2, +3, +4 e +5) e da acidez do meio. Além disso, descreve o V como sendo associado com matéria orgânica e substituto de Fe, Ti e Al. O V^{+3} e o V^{+4} apresentam potenciais iônicos na faixa dos íons imóveis (Figura 3).

4.6. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é um depósito de resíduos não controlado, localizado em uma fundição de Sorocaba, SP. A fábrica foi implantada no anos 70. O aterro não controlado interno a esta fábrica é resultado da disposição de areia de fundição no solo durante mais de 30 anos.

Esta fundição utiliza como matéria-prima sucata de manganês e de aço-carbono, e produz ferro-liga contendo manganês. No acerto de cargas, são utilizados minério de grafita, Ferro-silício (Fe-Si) 75%, Ferro-manganês (Fe-Mn), Calcário, Hematita, Cromita e FeSiMn a fim de se obter a proporção ideal entre o ferro, o carbono e o manganês na produção das ligas metálicas.

A areia de fundição é utilizada na confecção dos moldes, os quais após serem utilizados são levados para o calcinador (instalado em 2001), onde 80% ou mais da areia é reutilizada, sendo o restante, uma vez por mês (ou menos), levado para um aterro classe II. Porém, antes do desenvolvimento do sistema de regeneração, toda areia usada para a fundição era enviada a este depósito sob condições não controladas, perdurando tal procedimento até o final dos anos 90.

4.6.1. DADOS GEOGRÁFICOS, MORFOLÓGICOS E CLIMÁTICOS

O Município de Sorocaba possui uma área territorial de 449,12 km² e dessa área total 81,5% se constitui em área urbana e 18,5% em área rural. Sua densidade demográfica é de 1.356,98 hab./km², sendo que a do Estado de SP é de 169,76 hab./km² (SEADE, 2010). Sua população estimada é de 593.775 habitantes (IBGE/2011).

Segundo a Figura 5, Sorocaba situa-se sobre o Trópico de Capricórnio na latitude $23^{\circ}30'06''$ sul e longitude $47^{\circ}27'29''$ oeste.

Figura 5: Mapa com a localização geográfica de Sorocaba. (Adaptado IBGE, 2011)

O clima da região é, segundo classificação de Köppen, do tipo “Cfa” (subtropical quente), apresentando como temperatura média anual 21,4°C, máxima de verão 30,1°C e mínima de inverno 12,2°C, e 1.285 milímetros de precipitação pluviométrica anual (KÖEPPEN, 1948).

Na região ocorrem solos predominantemente das classes Argissolos e Latossolos, embora ocorra também Cambissolos, Neossolos Litólicos e Quartzarênicos em algumas porções do município (MADEIRA, 2001).

Segundo, a Secretaria do Meio Ambiente de Sorocaba (SEMA), no Programa de Recuperação de Mata Ciliar e Nascentes de Sorocaba, Prefeitura de Sorocaba, 2010, Sorocaba é uma cidade que vem passando por um rápido crescimento de sua população, o que tem acarretado maior pressão sobre os ambientes naturais do município, ocasionando a necessidade de cuidados por parte do poder público na manutenção da adequada qualidade de vida para todos. Ainda segundo a SEMA, considerando os novos empreendimentos do Parque Tecnológico de Sorocaba, é de se esperar que esse crescimento vigoroso dos últimos anos se acentue, criando um fator de pressão importante sobre o meio ambiente.

4.6.2. GEOLOGIA

A área de estudo situa-se na borda leste da Bacia do Paraná, Grupo Tubarão, formação Itararé, conforme Mapa Geológico, Figura 5.

O Grupo Tubarão é formado por rochas sedimentares neopaleozoicas da base da Bacia do Paraná, subdividido entre o Subgrupo Itararé, constituído por sedimentos depositados em condições glaciais, e a porção superior, composta por sedimentos pós-glaciais correspondentes à Formação Tatuí (VIDAL, ROSTIROLLA, KIANG, 2005).

Durante a deposição dos sedimentos do Subgrupo Itararé, houve uma tectônica ativa provocando um ambiente deposicional com grande variedade e interdigitação de fácies. (SALVETTI, 2005).

LEGENDA

Cpi	Grupo Tubarão - Formação Itararé - Depósitos glaciais continentais, glácio-marinhos, fluviais, deltaicos, lacustres e marinhos, compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios; conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos; raras camadas de carvão.
-----	--

Figura 6: Mapa geológico da região de Sorocaba extraído parte de mapa 1:500000 (Adaptado IPT, 1981)

O Subgrupo Itararé é caracterizado pela presença de arenitos de granulação variada e diamictitos, refletindo as influências glaciais em seus diferentes ambientes deposicionais (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Além disso, repousa sobre o embasamento cristalino cuja superfície erosiva apresenta localmente evidências de retrabalhamento pelo deslocamento do gelo, como por exemplo, a ocorrência da rocha Moutonnée (ALMEIDA, 1946) e vales glaciais (MELFI E BITTENCOURT, 1962), como os observados próximo à Sorocaba.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto, o presente trabalho será desenvolvido de acordo com as seguintes etapas:

1. Dimensionamento do corpo depositado;
2. Abertura das trincheiras;
3. Coleta de amostras do resíduo e solo depositados;
4. Secagem das amostras;
5. Análise granulométrica das amostras do resíduo e solo;
6. Análise morfológica dos grãos e química qualitativa por Microscopia

Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectrômetro de Dispersão de Energia de Raios X (MEV/EDS ou EDX);

7. Análise química total por Fluorescência de Raios X (FRX) das amostras totais do resíduo amostrado;

8. Análise da composição mineralógica por Difração de Raios X (DRX);

Segue-se a descrição de cada etapa e metodologia de trabalho.

5.1. DIMENSIONAMENTO DO CORPO DEPOSITADO

A primeira atividade realizada em campo foi o reconhecimento da área de deposição dos resíduos. Após o reconhecimento inicial, foi realizado o dimensionamento do corpo depositado, com o objetivo de promover a realização das etapas de investigação subsequentes. Para o dimensionamento do corpo, as medições foram realizadas com o auxílio de trena e teodolito.

5.2. ABERTURA DAS TRINCHEIRAS

Na coleta das amostras de resíduo ao longo de um perfil vertical do aterro foram abertas três trincheiras, denominadas TR1, TR2 e TR3, com o auxílio de uma retroescavadeira fornecida pela empresa portadora do depósito. A definição dos locais de escavação das trincheiras levou em consideração o tamanho e a profundidade do corpo, sendo locadas a cada 90 m visto que a extensão maior do corpo era de 270 m. As trincheiras foram escavadas visando atingir o substrato rochoso. Na média, atingiram cerca de 6,5 m.

A Figura 7 ilustra em esquema as trincheiras TR1, TR2 e TR3.

Figura 7: Perfil de coleta das amostras do resíduo e solo. Fonte: Modificado de PENKAITIS, (2012).

5.3. COLETA DE AMOSTRAS DO RESÍDUO E SOLO DEPOSITADOS

A definição dos locais de escavação para coleta de amostras do resíduo depositado no local de estudo levou em consideração as dimensões e a profundidade do corpo depositado, de modo a se obter amostras representativas do resíduo.

Foram coletadas treze amostras de resíduos e duas amostras de solo em um perfil vertical com 6 m, somente na Trincheira 1 (TR1). Dessa forma, pretende-se avaliar do ponto de vista micromorfológico, mineralógico e químico como estão migrando os elementos químicos do depósito de resíduo em associação com dois níveis de solo, situação observada somente na Trincheira 1.

As amostras foram coletadas a cada meio metro (Figura 8), entendendo-se que esse espaçamento seja apropriado para se identificar as prováveis variações químicas e mineralógicas no seio desse depósito.

Figura 8: Perfil de coleta de amostras na Trincheira 1.

Como não havia balança no campo, coletou-se as amostras com peso variando de 2,5 Kg a 3,5 Kg. Considerou-se o marco zero para definição dos nomes das amostras, a maior profundidade escavada nesse local (6 m). Essas amostras foram designadas com o nome da trincheira (TR1) e também de acordo com a profundidade de coleta. Ou seja, a amostra TR1P-0.0, é a amostra de resíduo mais profunda coletada na Trincheira 1. E a amostra TR1P-6.0 a amostra de resíduo de topo coletada na Trincheira 1. Foram consideradas hipoteticamente amostras de base, as amostras: TR1P-0.0/0.5/1.0/1.5, de meio, as amostras: TR1P-2.0/2.5/3.2/3.5/4.0/4.5 e de topo, as amostras: TR1P-5.0/5.5/6.0.

Para o solo foi seguido o mesmo procedimento protocolar, porém foi dado o nome de TR1S-3.0 para a amostra de solo coletada no meio da Trincheira 1, na profundidade de 3 m, e TR1S-6.0 para a amostra de solo coletada no topo da Trincheira 1.

Na coleta das amostras foram utilizadas pás, e no acondicionamento das amostras foram usados sacos e bombonas plásticas virgens. As trincheiras foram escavadas por retroescavadeira, contratada diretamente pela empresa geradora do resíduo.

A amostragem de resíduos em todos os pontos foi realizada objetivando obter as amostras mais representativas possíveis dos materiais contidos ao longo do perfil vertical. As amostras coletadas também foram avaliadas visualmente em uma descrição de campo quanto a sua forma, coloração, agregação etc.

5.4. SECAGEM DAS AMOSTRAS

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade de São Paulo (USP) para retirada da umidade. Primeiramente as amostras foram pesadas em balança digital SF 400 com capacidade para 7 Kg (Figura 9).

Figura 9: Balança digital utilizada para pesagem

O peso das amostras úmidas foi anotado e as mesmas foram encaminhadas a Estufa de Secagem e Esterilização modelo FANEM 320-SE (Figura 10), a 60 °C durante o período mínimo de quarenta e oito horas.

Figura 10: Estufa utilizada para secagem das amostras.

Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas na mesma balança (Figura 11). O cálculo da umidade foi realizado através de balanço de massa (perda de água por evaporação).

Figura 11: Pesagem da amostra TR1P-5.0 após secagem.

5.5. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DO RESÍDUO E SOLO

Com as amostras secas, iniciou-se o procedimento de separação granulométrica no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade de São Paulo (USP).

De forma a garantir resultados mais acurados e equivalência na representação de amostragem, decidiu-se utilizar a maior quantidade possível de cada amostra seca para a separação granulométrica, de modo que a mesma quantidade fosse utilizada para todas as amostras. As amostras TR1P-0.0/0.5/1.0/1.5/2.0/2.5/3.2/3.5/4.0 tinham quantidades totais após secagem entre 2,5 Kg e 3,5 Kg. Já as amostras TR1P-4.5/5.0/5.5/6.0 tinham quantidades totais após secagem entre 3,5 Kg e 4,5 Kg. Assim decidiu-se separar uma alíquota de 2 Kg de cada amostra (Figuras 12 e 13). As amostras foram quarteadas na forma de pilhas para a retirada dos 2 Kg. As quantidades não utilizadas foram guardadas.

Figura 12: Após secagem da amostra TRIP-0.0, a separação de 2 Kg de resíduo.

Figura 13: Após secagem da amostra TRIP-4.5, a separação de 2 Kg de resíduo.

Por outro lado, as amostras de solo TRIS-3.0/6.0 tinham quantidades totais após secagem de aproximadamente 2,1 Kg. Para estas amostras, utilizou-se as quantidades totais, pois possuíam valores em peso muito próximos a alíquota definida de 2 Kg.

A alíquota de 2 kg foi peneirada em peneiras de inox fornecendo treze frações (Figuras 14 e 15).

Figura 14: Peneira utilizada na análise granulométrica do resíduo.

Figura 15: Desenho esquemático demonstrando as malhas das peneiras utilizadas na análise granulométrica do resíduo.

A peneira utilizada para a separação granulométrica foi a peneira vibratória Produtest (Figura 16).

Figura 16: Peneira vibratória Produtest.

A cada batelada do peneiramento, utilizou-se cerca de 200 g de amostra, por 20 minutos, no reostato na posição número 9, de forma que um peneiramento adequado fosse garantido.

As Figuras 17 e 18 exibem as operações de pesagem de amostras de resíduo e de solo após o peneiramento.

Figura 17: Pesagem das amostras após separação granulométrica.

Figura 18: Após peneiramento, pesagem das amostras de solo.

5.6. ANÁLISE MORFOLÓGICA DOS GRÃOS E QUÍMICA QUALITATIVA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) COM ESPECTRÔMETRO DE DISPERSÃO DE ENERGIA DE RAIOS X (MEV/EDS OU EDX)

A imagem eletrônica de varredura é formada pela incidência de um feixe de elétrons no material, sob condições de vácuo. A incidência do feixe de elétrons no material promove a emissão de elétrons, assim como de raios X característicos e de catodoluminescência (REED, 1996). A imagem eletrônica de varredura representa em tons de cinza o mapeamento e a contagem de elétrons secundários (SE – *secondary electrons*) e retroespalhados (BSE – *backscattering electrons*) emitidos pelo material analisado. Pode ser acoplado ao MEV o sistema de EDX (*Energy Dispersive X-Ray*), possibilitando a determinação da composição qualitativa e quantitativa das amostras, a partir da emissão de raios X característicos. (CANEVAROLO, 2004). Para o cálculo das concentrações, o EDS considera que o tamanho dos picos equivale às quantidades dos elementos. Porém, sabe-se que a possibilidade de erros das análises quantitativas em MEV é grande, principalmente para elementos de concentração baixa. Devido ao erro embutido no resultado do EDS chamaremos a análise de semi-quantitativa.

Portanto, com o intuito de se analisar a morfologia do material coletado em campo, bem como promover uma análise química qualitativa e semi-quantitativa do mesmo, foi realizada a análise em Microscópio Eletrônico de Varredura com Espectrômetro de Dispersão de Energia de Raios X (MEV/EDS ou EDX).

O microscópio utilizado foi o equipamento da Marca Oxford, Modelo LEO 440I (Figura 19), localizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Instituto de Geociências da USP, com capacidade de aumento de 5 a 250.000 vezes.

Figura 19: Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com EDS.

A condição padrão para análise química elementar quantitativa por EDS no microscópio utilizado indica ser necessário que a amostra seja lixada, polida e paralela ao plano do porta amostras. Porém as amostras apresentam condições não ideais, e a curvatura de seus grãos influencia no resultado químico analítico de forma a aumentar o erro da análise química elementar quantitativa. (I. J. SAYEG, comunicação pessoal, 24 de Fevereiro de 2012). Não foi possível o cálculo da variação do erro emitido por ausência de amostra padrão que permitisse a comparação entre elas.

Como houve um significativo aumento do número de amostras decorrente da separação granulométrica, para as etapas de análise química qualitativa e semi-quantitativa em MEV, visando à identificação de possíveis minerais e metais contaminantes presentes no resíduo, optou-se pela seleção das maiores concentrações em % peso nas faixas granulométricas tratadas, alternando as profundidades analisadas e escolhendo as quatro faixas granulométricas com maior concentração em peso. Assim foram preparadas dez amostras apresentadas na Tabela 2.

AMOSTRAS PARA MEV		NOME DA AMOSTRA	PROF. DA AMOSTRA	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA
	BASE	AMOSTRA I	TR1P-0.0	Grãos retidos na abertura 4mm
		AMOSTRA II	TR1P-0.0	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm
		AMOSTRA III	TR1P-1.5	Grãos retidos na abertura 4mm
		AMOSTRA IV	TR1P-1.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm
	MEIO	AMOSTRA V	TR1P-2.5	Grãos retidos na abertura 4mm
		AMOSTRA VI	TR1P-2.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm
		AMOSTRA VII	TR1P-3.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm
		AMOSTRA VIII	TR1P-4.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm
	TOPO	AMOSTRA IX	TR1P-5.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm
		AMOSTRA X	TR1P-6.0	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm

Tabela 2: Descrição das amostras preparadas para o MEV.

Nas amostras correspondentes às profundidade 0.0m, 1.5m e 2.5m, onde a faixa granulométrica referente à abertura 4mm foi mais representativa em % peso, decidiu-se analisar, além da mistura do pó das quatro maiores frações, o grão maior que 4mm, como pôde ser observado na Tabela 2 acima, gerando duas amostras nestas profundidades.

As amostras de I a X foram preparadas em *stubs* e recobertas com carbono pela microssonda, para tornarem-se condutores e adequadas à análise em MEV, conforme visto na Figura 20.

Figura 20: Amostras II e IV sendo preparadas nos stubs.

Com relação às amostras de solo, foi decidido não analisá-las no MEV, por conta do prazo, inerente a finalização dessa dissertação, altos custos de análise e disputada disponibilidade laboratorial.

5.7. ANÁLISE QUÍMICA TOTAL POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX) DAS AMOSTRAS TOTAIS DO RESÍDUO AMOSTRADO

A técnica instrumental de FRX baseia-se no princípio de excitação do átomo (elemento da amostra) a ser dosado e quantificação da resposta obtida por absorção da radiação X. As intensidades obtidas estão relacionadas com as concentrações por meio de curvas estabelecidas com padrões (GOMES, 1984).

As determinações obtidas por FRX foram realizadas em amostra total, fazendo com que as determinações pontuais obtidas na seleção granulométrica (eliminando os grupos de pequena concentração percentual) por MEV, não fossem prejudicadas com essa exclusão analítica.

A preparação das amostras é parte importante da análise, pois dela depende a acurácia dos resultados obtidos. As amostras foram preparadas conforme descrito por MORI *et al*, 1999 no Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP) e as determinações de diagramas foram realizadas com o auxílio do espectrômetro de raios X Philips PW2400.

Primeiramente, para a análise do elementos traços, foi utilizada a técnica de pastilha de pó prensado, sendo as amostras preparadas no Laboratório de Tratamento das Amostras. Foram separados em torno de 50 g de cada amostra de resíduo total, gerando treze amostras do TR1P-0.0 até o TR1P-6.0. A Figura 21 apresenta a balança utilizada.

Figura 20: Balança utilizada para pesagem.

Estas amostras passaram durante dez minutos em moinho com anéis de ágata (Figuras 22 e 23).

Figura 22: Moinho.

Figura 23: Cilindros de ágata.

Posteriormente em torno de sete gramas das amostras foram para o micronizador com cilindros de ágata (Figuras 24 e 25).

Figura 24: Amostras sendo colocadas no micronizador.

Figura 25: Cilindros de ágata.

Depois de micronizadas, as amostras foram para estufa a aproximadamente 60°C por 2 dias para secagem do álcool utilizado no micronizador. Só então foram formadas as pastilhas com cera em prensa para a análise em FRX (Figuras 26 e 27).

Figura 26: Prensa.

Figura 27: Pastilhas formadas.

Para a análise dos elementos maiores foi utilizada a técnica de disco de vidro por fusão. Em um cadinho de liga de platina/ouro foi colocado um grama de amostra para cada nove gramas de fundente (seis partes de tetraborato de lítio e quatro partes de metaborato de lítio). A amostra com o fundente é colocada na máquina de fusão modelo CLAISSE M4 (Figura 28) por trinta minutos a aproximadamente 1000 °C.

Figura 28: Máquina de Fusão modelo CLAISSE M4.

As pastilhas prensadas e as amostras vitrificadas são colocadas no suporte do Trocador de Amostras modelo PW 2510 e o mesmo insere as amostras no Espectrômetro com tubo de ródio modelo PW 2400 (Figura 29).

Figura 29: Trocador de Amostras PW 2510 e Espectrômetro PW 2400.

Para os elementos maiores a análise leva em torno de 12 minutos e para os elementos traços aproximadamente 20 minutos.

5.8. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIO X (DRX) DAS AMOSTRAS TOTAIS DE RESÍDUOS

A técnica de DRX se baseia no princípio em que os raios X são dispersos pelos elétrons dos átomos sem mudança de comprimento de onda. A difração resultante de um cristal é uma propriedade física da substância, sendo possível então a sua identificação. (GOMES, 1984).

Para a etapa de DRX optou-se pela análise da amostra total. Foi escolhida aleatoriamente a amostra TR1P-5.5. A análise foi realizada no Laboratório do Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP).

A metodologia de preparação da amostra foi a do pó, conforme descrito por GOMES, 1984. Uma pequena quantidade da amostra foi triturada em cadinho de parcelana até virar um pó muito fino (sensação de talco na mão, em torno de 5 μm). Foram usadas duas lâminas de vidro (Figura 30).

Figura 30: Lâminas de vidro lapidadas de um lado e lisas do outro.

Na primeira lâmina, a amostra triturada foi colocada no lado lapidado (áspero). O lado liso da segunda lâmina foi utilizado para compactar a amostra na primeira lâmina, esfregando uma na outra, de modo que quando virasse a primeira lâmina a amostra não caísse.

A lâmina com a amostra foi identificada e colocada no porta amostra (Figura 31) e posteriormente no difratômetro de raios-X Siemens Modelo D-5000 (Figura 32).

Figura 31: Porta amostra com lâmina de vidro e amostra TR1P-5.5.

Figura 32: Difratorômetro de raios-X Siemens D-5000.

A amostra foi analisada por vinte minutos e quarenta e um segundos, com uma angulação variando de 3° a 65° e com raios-X a cada $0,05^\circ$ (um segundo de duração da emissão de raios-X).

6. RESULTADOS

6.1. DIMENSIONAMENTO DO CORPO DEPOSITADO

O corpo depositado foi dimensionado como um depósito de 270 metros de comprimento por 120 metros de largura, por aproximadamente 8,4 metros de altura (o resíduo foi depositado sobre o solo, e não enterrado). A Figura 33, no segundo plano, ilustra a parte mais alongada em fotografia do corpo depositado. Estima-se, por estas dimensões e pela verificação *in loco*, que há cerca de 300.000 toneladas de resíduos de areia de fundição depositadas durante mais de trinta anos.

Figura 33: Área de deposição do resíduo. (ARAÚJO, 2004)

6.2. ABERTURA DAS TRINCHEIRAS

Após a escavação das três trincheiras, e avaliação visual das mesmas, foi escolhida somente a Trincheira 1 para coleta dos resíduos ao longo do perfil, pois somente esta apresentava dois horizontes de solo em conjunção com o resíduo. A Figura 34 exibe a Trincheira 1 aberta e o perfil com os resíduos e solo nela depositados.

Figura 34: Trincheira 1 (TR1).

6.3. COLETA DE AMOSTRAS DO RESÍDUO E SOLO DEPOSITADOS

Foi possível constatar durante as escavações a presença de outros tipos de resíduos (como vergalhões de ferro, restos de tijolo, cimento, concreto, sacos plásticos, sacos vazios de produtos químicos e outros resíduos industriais), bem como raízes e matéria orgânica. Durante as escavações também foram expostas duas camadas de solo no meio do resíduo, indicando que ao longo do tempo da deposição o material era recoberto por camadas de solo. Essas duas camadas de solo encontradas na Trincheira 1 (Figura 35) também foram amostradas. A área do depósito foi recoberta finalmente por vegetação para promover impermeabilidade ao corpo e simultaneamente melhorar o aspecto visual do terreno.

Figura 35: Perfis de solo ao longo da deposição da areia.

Nas Figuras 36 e 37 verifica-se restos de material orgânico encontrado nas amostras.

Figura 36: Raízes e Matéria Orgânica presentes nas amostras.

Figura 37: Fração de resíduo com raízes e matéria orgânica.

6.4. SECAGEM DAS AMOSTRAS

Observa-se no Gráfico 1 o resultado dos valores percentuais de umidade das quinze amostras, sendo treze de resíduo e duas de solo. Lembrando que as amostras totais foram divididas hipoteticamente em base, meio e topo:

- Base: TR1P-0.0/0.5/1.0/1.5,
- Meio: TR1P-2.0/2.5/3.2/3.5/4.0/4.5,
- Topo: TR1P-5.0/5.5/6.0

Gráfico 1: Porcentagem (%) de água das amostras de resíduo e solo.

A máxima porcentagem encontrada foi 15,23 % na amostra de base (TR1P-0.0). Pode ser percebida uma tendência de redução da umidade a medida que se analisam amostras no sentido da superfície do depósito. As amostras de base (TR1P-0.0/0.5/1.0/1.5) apresentaram resultados que indicam maior concentração de água. Não coincidentemente, essa é a região em que se observa a maior concentração de concreções (Figuras 38 e 39). Isto pode ser explicado pela proximidade do lençol freático ou nível hidrostático (NH) (Figura 40), o qual oscila para mais e para menos no decorrer dos períodos de sazonalidade pluviométrica, ou seja, mais precipitação, mais elevado o NH, menos precipitação, mais baixo o NH. Esse processo de oscilação do NH pode permitir a entrada de compostos cimentantes na areia, produzindo as concreções.

Figura 38: Amostra TR1P-0.0 (base).

Figura 39: Amostra TR1P-0.5 (base).

Figura 40: Proximidade do Lençol Freático na Trincheira 1.

Comparando-se as concentrações de água entre o resíduo e os solos amostrados, nota-se a maior capacidade de retenção de água no solo em relação a areia de fundição, já que as amostras de solo (TR1S-3.0 e TR1S-6.0), em mesmo nível de profundidade, tem maior porcentagem de água em relação às amostras de areia (TR1P-3.2 e TR1P-6.0).

Já as amostras de meio e topo (Figura 41), com menos umidade percentual, exibem visualmente uma aparência desidratada, mais fina, denotando claramente nas amostras tratadas a quase inexistência de concreções.

Figura 41: Amostras de meio e topo (TR1P-3.2, 3.5, 4.0)

6.5. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DO RESÍDUO E SOLO

As Tabelas 3, 4 e 5 exibem as porcentagens em peso das alíquotas obtidas em cada peneira para as amostras de base, meio e topo, respectivamente. Em amarelo estão marcadas as quatro frações mais representativas para todos os grupos de amostras coletadas em campo. Nas amostras de base, observou-se uma concentração em massa nas frações retidas nas aberturas de 4,00mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm, com exceção da amostra TR1P-0.0, que apresentou concentração maior na abertura 2,00mm e menor na abertura 0,18mm.

	TR1P-0.0	TR1P-0.5	TR1P-1.0	TR1P-1.5
ABERTURA	PORCENTAGEM			
4,00	35,20%	39,10%	31,35%	38,40%
2,00	10,15%	8,55%	8,60%	5,15%
1,40	5,70%	4,30%	3,90%	3,60%
1,00	4,55%	2,55%	3,80%	1,70%
0,71	2,90%	4,75%	4,85%	2,10%
0,50	7,70%	5,75%	7,25%	3,25%
0,35	9,20%	10,55%	11,65%	12,60%
0,25	11,85%	11,10%	13,55%	17,75%
0,18	8,05%	8,65%	10,45%	10,45%
0,125	2,40%	2,15%	1,85%	1,95%
0,090	1,25%	1,25%	1,40%	1,20%
0,063	0,65%	0,75%	0,65%	0,80%
<0,063	0,60%	0,80%	0,85%	0,80%
TOTAL=	100,20%	100,25%	100,15%	99,75%

Tabela 3: Separação granulométrica das amostras de base. Destaque em amarelo para as quatro frações mais representativas.

Os Gráficos 2, 3, 4 e 5 apresentam a distribuição granulométrica das frações retidas nas aberturas das amostras de base a partir de tratamento dos dados da Tabela 3.

Gráfico 2: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-0.0.

Gráfico 3: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-0.5.

Gráfico 4: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-1.0.

Gráfico 5: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-1.5.

Nas amostras de meio (Tabela 4), observa-se uma concentração de maior massa nas frações retidas nas aberturas de 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm, com excessão da amostra TR1P-2.0 que apresentou mais concreções e TR1P-2.5 que apresentou maior concentração na abertura 4,00mm em relação à abertura 0,50mm. As amostras TR1P-2.0 e TR1P-2.5, apesar de inicialmente terem sido classificadas

como amostras de meio, após a avaliação granulométrica, verifica-se maior similaridade com as amostras aqui descritas como de base.

	TR1P-2.0	TR1P-2.5	TR1P-3.2	TR1P-3.5	TR1P-4.0	TR1P-4.5
ABERTURA	PORCENTAGEM					
4,00	43,50%	11,85%	2,35%	0,80%	0,70%	5,80%
2,00	9,95%	2,05%	0,75%	0,30%	0,15%	0,45%
1,40	4,15%	0,65%	0,35%	0,05%	0,05%	0,40%
1,00	2,25%	0,50%	0,25%	0,10%	0,10%	0,50%
0,71	3,10%	0,60%	0,45%	0,35%	0,35%	1,05%
0,50	3,00%	1,60%	7,75%	13,60%	10,55%	15,65%
0,35	11,10%	24,45%	48,00%	55,00%	60,05%	39,25%
0,25	11,45%	29,30%	24,60%	19,70%	16,15%	23,35%
0,18	7,45%	21,60%	10,10%	6,85%	8,85%	9,05%
0,125	1,60%	3,55%	2,40%	1,60%	1,25%	2,55%
0,090	1,15%	1,50%	1,35%	0,85%	0,85%	1,00%
0,063	0,60%	0,85%	0,80%	0,35%	0,30%	0,35%
<0,063	0,55%	0,80%	0,45%	0,10%	0,15%	0,20%
TOTAL=	99,85%	99,30%	99,60%	99,65%	99,50%	99,60%

Tabela 4: Separação granulométrica das amostras de meio. Destaque em amarelo para as quatro frações mais representativas.

Os Gráficos 6 a 11 apresentam a distribuição granulométrica das amostras de meio a partir de tratamento dos dados da Tabela 4.

Gráfico 6: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-2.0.

Gráfico 7: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-2.5.

Gráfico 8: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-3.2.

Gráfico 9: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-3.5.

Gráfico 10: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-4.0.

Gráfico 11: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-4.5.

Nas amostras de topo (Tabela 5), observa-se uma concentração em massa nas frações retidas nas aberturas de 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm. Verifica-se que as amostras de meio pouco diferem das amostras de topo.

	TR1P-5.0	TR1P-5.5	TR1P-6.0
ABERTURA	PORCENTAGEM		
4,00	0,55%	1,05%	5,20%
2,00	0,20%	0,30%	2,65%
1,40	0,20%	0,20%	0,95%
1,00	0,25%	0,15%	0,95%
0,71	0,90%	0,65%	1,25%
0,50	22,25%	22,35%	5,80%
0,35	48,45%	43,85%	32,90%
0,25	16,70%	19,65%	24,25%
0,18	7,55%	7,75%	15,20%
0,125	1,60%	2,15%	5,40%
0,090	0,70%	1,00%	2,35%
0,063	0,20%	0,25%	1,40%
<0,063	0,10%	0,10%	1,20%
TOTAL=	99,65%	99,45%	99,50%

Tabela 5: Separação granulométrica das amostras de topo. Destaque em amarelo para as quatro frações mais representativas.

Os Gráficos 12 a 14 apresentam a distribuição granulométrica das amostras de topo a partir de tratamento dos dados da Tabela 5.

Gráfico 12: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-5.0.

Gráfico 13: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-5.5.

Gráfico 14: Distribuição granulométrica da amostra TR1P-6.0.

Nas amostras de solo (Tabela 6), observa-se uma concentração de partículas grosseiras e uma distribuição equilibrada entre as outras frações.

	TR1S-6.0	TR1S-3.0
ABERTURA	PORCENTAGEM	
4,00	38,08%	69,96%
2,00	11,80%	8,54%
1,40	7,29%	2,62%
1,00	4,08%	2,10%
0,71	5,15%	2,19%
0,50	3,98%	1,57%
0,35	5,83%	1,86%
0,25	6,61%	1,96%
0,18	6,27%	1,91%
0,125	2,38%	1,53%
0,090	4,13%	1,96%
0,063	1,36%	1,00%
FUNDO	2,28%	2,10%
TOTAL=	99,22%	99,28%

Tabela 6: Separação granulométrica das amostras de solo. Destaque em amarelo para as quatro frações mais representativas.

Os Gráficos 15 e 16 apresentam a distribuição granulométrica das amostras de solo a partir de tratamento dos dados da Tabela 6.

Gráfico 15: Distribuição granulométrica da amostra TR1S-6.0 (B).

Gráfico 16: Distribuição granulométrica da amostra TR1S-3.0(A).

6.6. ANÁLISE MORFOLÓGICA DOS GRÃOS E QUÍMICA QUALITATIVA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) COM ESPECTRÔMETRO DE DISPERSÃO DE ENERGIA DE RAIOS X (MEV/EDS OU EDX)

O presente item será subdividido em quatro partes. A primeira delas detalha a forma como foram trabalhadas as amostras, que seguiu o mesmo procedimento laboratorial executado com a amostra II, e os resultados da amostra II. A segunda parte fornece a análise qualitativa e a semi-quantitativa das amostra I e III a X, a terceira parte trata da descrição morfológica dos grãos e a quarta parte a caracterização detalhada das frações.

6.6.1. A Experiência da Amostra II

Na primeira seção de MEV, analisou-se a amostra II (TR1P-0.0 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm), que representa uma mistura do pó presente nas frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm de uma amostra de base.

Foi realizado o mapeamento eletrosecundário geral dessa amostra (Figura 42), com aumento de cinquenta vezes, sendo observadas diferentes morfologias: partículas esféricas, arredondadas, rugosas/pulverulentas e angulosas.

Figura 42: Mapeamento eletrosecundário geral da amostra II.

Posteriormente foi realizada imagem retroespalhada (Figura 43), onde o número atômico pode ser diferenciado entre elementos químicos mais pesados (níveis de cinzas mais claros) e mais leves (níveis de cinzas mais escuros). Neste aumento de magnitude (50 vezes) foram realizadas obtenções de espectro nos pontos correspondentes às maiores concentração de cada elemento (tom mais claro de cinza) para determinação qualitativa e semi-quantitativa dos elementos químicos encontrados na amostra analisada. Na Figura 44 os retângulos azuis indicam os pontos analisados com o feixe de elétrons.

Figura 43: Mapeamento retroespalhado da amostra II.

Figura 44: Pontos de análise em imagem "elétrica" na amostra II, aumento de magnitude 50x.

Para se compreender como foram escolhidos os pontos para as obtenções dos espectros para análise, com relação ao cromo, por exemplo, foram obtidos dados nos pontos sinalizados com maior índice de refração na imagem de elétrons retro-espalhados (tonalidade cinza claro na imagem), como pode ser observado na Figura 45. No APÊNDICE (9.1.a) estão todas as imagens correspondentes às escolhas dos pontos na magnitude 50x.

Cr Ka1

Figura 45: Concentração de cromo na amostra II, aumento de magnitude 50x.

No primeiro espectro 2003-1 (Figura 46) observam-se picos para Cr, Ti, Fe, Mn, Al, Mg e Si, indicando a presença destes elementos. Quanto maior o pico do elemento, teoricamente, maior a sua concentração na amostra analisada.

Figura 46: Espectro 2003-1, aumento de magnitude 50x.

No segundo espectro 2003-2 (Figura 47) observam-se picos para Si, Cr, Ca, Ti, Fe, K, Mg e Na. Nota-se que os elementos Ca, K, Na não aparecem no primeiro grão. Por outro lado, o Mn detectado na outra determinação não aparece nessa.

Figura 47: Espectro 2003-2, aumento de magnitude 50x.

No terceiro espectro 2003-3 (Figura 48) observam-se picos para Cr, Co, Fe, Ti, V, Ca, Al, Mg e Si, sendo que Co e V aparecem pela primeira vez nesta amostra e magnitude.

Figura 48: Espectro 2003-3, aumento de magnitude 50x.

Nos outros três espectros 2003-4, 2003-5 e 2003-6 (Figuras 49, 50 e 51) nota-se que todos os elementos já apareceram anteriormente nos outros grãos desta amostra e magnitude.

Figura 49: Espetro 2003-4, aumento de magnitude 50x.

Figura 50: Espetro 2003-5, aumento de magnitude 50x.

Figura 51: Espetro 2003-6, aumento de magnitude 50x.

Microanálises foram realizadas com as porcentagens em peso dos elementos presentes nos grãos de acordo com as Figuras 52 a 57. A Figura 52 apresenta as porcentagens do primeiro espectro, 2003-1, indicando a maior presença de Cr e Fe.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Mg K	1.50	0.4703	5.88	0.20	11.09
Al K	2.73	0.5622	8.94	0.20	15.19
Si K	0.28	0.6373	0.80	0.11	1.31
Ti K	0.31	1.0699	0.54	0.10	0.51
Cr K	28.32	1.0090	51.63	0.37	45.48
Mn K	0.39	0.9564	0.75	0.25	0.63
Fe K	15.13	0.8849	31.45	0.35	25.80
Totals			100.00		

Figura 52: Microanálise do primeiro espectro (2003-1) na magnitude de 50x.

A Figura 53 apresenta as porcentagens do segundo espectro, 2003-2, indicando a maior presença de Cr e Si neste grão.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	14.03	0.9258	25.84	0.61	44.83
Na K	0.28	0.6247	0.77	0.14	0.93
Mg K	1.02	0.6138	2.84	0.14	3.25
Al K	4.64	0.7148	11.08	0.20	11.40
Si K	7.01	0.7284	16.42	0.24	16.23
K K	0.61	1.0670	0.98	0.09	0.70
Ca K	2.15	1.0368	3.53	0.12	2.45
Ti K	0.15	0.9098	0.29	0.09	0.17
Cr K	14.99	0.8927	28.66	0.36	15.30
Fe K	4.72	0.8409	9.58	0.25	4.76
Totals			100.00		

Figura 53: Microanálise do espectro (2003-2) na magnitude de 50x.

A Figura 54 apresenta as porcentagens do terceiro espectro, 2003-3, indicando a maior presença de Cr e Fe neste grão.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	42.95	1.4027	31.73	0.52	55.18
Mg K	3.15	0.5306	6.16	0.15	7.05
Al K	5.38	0.6108	9.13	0.16	9.42
Si K	0.87	0.6670	1.35	0.09	1.34
Ca K	0.28	1.0892	0.27	0.05	0.19
Ti K	0.43	0.9746	0.46	0.07	0.27
V K	0.21	0.9018	0.24	0.07	0.13
Cr K	29.22	0.9320	32.49	0.32	17.38
Fe K	14.81	0.8513	18.02	0.26	8.98
Co K	0.12	0.8442	0.14	0.14	0.07
Totals			100.00		

Figura 54: Microanálise do terceiro espectro (2003-3) na magnitude de 50x.

Seguem nas Figuras 55, 56 e 57 as outras tabelas com as porcentagens dos espectros 2003-4, 2003-5 e 2003-6.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	26.71	1.4516	21.13	0.33	47.69
Mg K	0.19	0.3993	0.54	0.11	0.80
Si K	0.74	0.6510	1.30	0.09	1.68
Ca K	0.19	1.1237	0.20	0.06	0.18
Mn K	0.44	0.9302	0.54	0.11	0.36
Fe K	62.75	0.9489	75.95	0.38	49.10
Co K	0.28	0.9300	0.34	0.21	0.21
Totals			100.00		

Figura 55: Microanálise do espectro (2003-4) na magnitude de 50x.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	24.61	1.1871	21.60	0.47	43.79
Na K	0.29	0.4488	0.68	0.15	0.96
Mg K	0.80	0.4600	1.82	0.12	2.42
Al K	2.88	0.5751	5.21	0.13	6.26
Si K	5.81	0.6661	9.09	0.15	10.50
K K	0.51	1.0938	0.48	0.06	0.40
Ca K	0.66	1.0728	0.64	0.06	0.52
Cr K	0.27	1.0791	0.26	0.07	0.17
Mn K	0.56	0.9034	0.65	0.10	0.38
Fe K	52.78	0.9229	59.57	0.43	34.60
Totals			100.00		

Figura 56: Microanálise do espectro (2003-5) na magnitude de 50x.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	20.71	1.2635	22.19	0.39	46.72
Na K	0.15	0.4163	0.48	0.16	0.70
Mg K	0.16	0.4310	0.49	0.12	0.68
Al K	1.21	0.5536	2.97	0.13	3.70
Si K	2.72	0.6635	5.54	0.14	6.65
K K	0.09	1.1170	0.11	0.07	0.09
Ca K	1.03	1.0962	1.27	0.08	1.07
Mn K	1.01	0.9127	1.50	0.13	0.92
Fe K	45.10	0.9328	65.46	0.41	39.48
Totals			100.00		

Figura 57: Microanálise do terceiro espectro (2003-6) na magnitude de 50x.

Objetivando a determinação da composição dos menores grãos foi aumentada a magnitude para 450 vezes na região dos finos. No mapeamento eletro secundário desta região com aumento de magnitude de 450 vezes (Figura 58), observa-se predominantemente morfologias rugosas/pulverulentas.

Figura 58: Mapeamento eletrosecundário da região dos finos, com aumento de 450x na amostra II.

Na imagem retroespalhada desta região da amostra II (Figura 59) existem também elementos metálicos com número atômico alto (níveis de cinza mais claros).

Figura 59: Mapeamento retroespalhado da região dos finos, com aumento de 450x na amostra II.

Nesta magnitude de 450x foram realizadas 27 análises nos pontos correspondentes às maiores concentrações de cada elemento (tom mais claro de cinza) para

determinação qualitativa e semi-quantitativa dos elementos presentes. Na Figura 60 os retângulos azuis indicam os pontos analisados com o feixe de elétrons.

Figura 60: Pontos de análise em imagem “elétrica” na amostra II, magnitude 450x.

As imagens por elemento obtidas da imagem de elétrons retro-espalhados magnitude 450x (Figura 59) estão contidas no APÊNDICE (9.1. b).

Para a amostra II, magnitude 450x, são apresentados somente 11 espectros e microanálises: 2006-1/2/3/10/14/15/17/22/24/26/27, não sendo necessários os outros, pois com os espectros e as microanálises apresentadas são contemplados todos os elementos. No primeiro espectro 2006-1 (Figura 61) observam-se picos para Mg, Al, Fe, Mn, Ca, K e Si, indicando a presença destes elementos.

Figura 61: Espectro 2006-1, aumento de magnitude 450x.

No segundo espectro 2006-2 (Figura 62) observam-se picos para Ti, Fe, K, Mn, Ca, Mg, Si, Al e Na. Nota-se que os elementos Na, Ti, Na não aparecem no primeiro grão.

Figura 62: Espectro 2006-2, aumento de magnitude 450x.

No terceiro espectro 2006-3 (Figura 63) observam-se picos para Br, Mg, Mn, Fe, Ca, K e Si. Nota-se que não havia aparecido Br nos outros grãos.

Figura 63: Espectro 2006-3, aumento de magnitude 450x.

No 10º espectro, 2006-10 (Figura 64), aparecem os elementos Sb e Sn não detectados antes nas determinações realizadas na amostra II, magnitude 450x.

Figura 64: Espectro 2006-10, aumento de magnitude 450x.

No 14º espectro, 2006-14 (Figura 65), aparece o elemento Zr não detectado antes nas determinações realizadas na amostra II, magnitude 450x.

Figura 65: Espectro 2006-14, aumento de magnitude 450x.

No 15º espectro, 2006-15 (Figura 66), aparece o elemento V não detectado antes nas determinações realizadas na amostra II, magnitude 450x.

Figura 66: Espectro 2006-15, aumento de magnitude 450x.

No 17º espectro, 2006-17 (Figura 67), aparece o elemento Zn não detectado antes nas determinações realizadas na amostra II, magnitude 450x.

Figura 67: Espectro 2006-17, aumento de magnitude 450x.

No 22º espectro, 2006-22 (Figura 68), aparecem os elementos As e Pb não detectados antes nas determinações realizadas na amostra II, magnitude 450x.

Figura 68: Espectro 2006-22, aumento de magnitude 450x.

No 24º espectro, 2006-24 (Figura 69), aparece o elemento Co não detectado antes nas determinações realizadas na amostra II, magnitude 450x.

Figura 69: Espectro 2006-24, aumento de magnitude 450x.

No 26º espectro, 2006-26 (Figura 70), aparece o elemento Hf não detectado antes nas determinações realizadas na amostra II, magnitude 450x.

Figura 70: Espectro 2006-26, aumento de magnitude 450x.

No 27º espectro, 2006-27 (Figura 71), aparece o elemento Sr não detectado antes realizadas na amostra II, magnitude 450x.

Figura 71: Espectro 2006-27, aumento de magnitude 450x.

No APÊNDICE 9.1.c estão contidas as tabelas de microanálise realizadas para a Amostra II, no aumento de 450 vezes, correspondentes aos espectros 2006-1/2/3/10/14/15/17/22/24/26/27. Não são apresentadas as outras microanálises, pois com os espectros aqui apresentados e as respectivas microanálises contemplam-se todos os elementos identificados.

As Tabelas 7 e 8 resumem as análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas e descritas acima. Sendo que os elementos considerados de maior concentração são os elementos com concentração acima de dois dígitos, ou seja, maior ou igual a 10%. No

campo observação das Tabelas 7 e 8 (OBS) estão descritos os elementos que ocorrem com menor frequência.

AMOSTRA II - Aumento 50x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
2003-1	Mg, Al, Si, Ti, Cr, Mn, Fe	Cr 52% e Fe 31%	
2003-2	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Fe	Cr 29%, Si 16%, Al 11% e Fe 10%	
2003-3	Mg, Al, Si, Ca, Ti, V, Cr, Fe, Co	Cr 32% e Fe 18%	Co 0,14%
2003-4	Mg, Si, Ca, Mn, Fe, Co	Fe 76%	Co 0,34%
2003-5	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Fe 60%	
2003-6	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Fe 65%	

Tabela 7: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra II em aumento de 50x.

AMOSTRA II - Aumento 450x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
2006-1	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Mg 39%	
2006-2	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe	Mg 14% e Si 15%	
2006-3	Mg, Si, K, Ca, Mn, Fe, Br	Mg 32%	
2006-4	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Al 28% e Si 24%	
2006-5	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe	Al 28% e Si 15%	
2006-6	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe	Si 43%	
2006-7	Al, Si, Ca	Si 42%	
2006-8	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe	Si 29%	
2006-9	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe	Si 29% e Al 11%	
2006-10	Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, Sn, Sb	Ca 34%	Sn 1,18% e Sb 1,39%
2006-11	Mg, Al, Si, K, Ca, Fe	Ca 62%	
2006-12	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Ca 32%	
2006-13	Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Fe	Ca 35%	
2006-14	F, Mg, Al, Si, Ca, Mn, Fe, Zr	Ca 40% e Si 15%	
2006-15	Mg, Al, Si, Ca, V, Cr, Fe	Cr 30%, Si 13%, Mg 13% e Fe 13%	
2006-16	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Cr 27% e Fe 14%	
2006-17	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn	Cr 33% e Fe 26%	
2006-18	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Fe	Cr 14%, Si 12% e Al 11%	
2006-19	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe, Zn	Mn 30%, Fe 20% e Si 13%	
2006-20	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Mn 49%, Fe 12% e Ca 10%	
2006-21	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Si 38%	
2006-22	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, As, Pb	Fe 32% e Si 10%	As 0,31% e Pb 1,74%
2006-23	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe, Zr	Fe 40%	
2006-24	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co	Fe 72%	
2006-25	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Fe 60% e Si 14%	
2006-26	Mg, Al, Si, Ca, Fe, Sr, Zr, Hf	Zr 46% e Si 15%	Sr 1,97% e Hf 1,37%
2006-27	Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, Sr, Zr	Zr 43% e Si 14%	Sr 1,86%

Tabela 8: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra II em aumento de 450x.

O mesmo procedimento descrito acima para a Amostra II, foi realizado para as amostras I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX e X e os resultados encontram-se no item 6.6.2.

6.6.2 Análise Qualitativa e Semi-Quantitativa

As Tabelas 9 a 22 resumem as análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas para as amostras I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX e X. E no APÊNDICE são apresentados as imagens, os espectros e as microanálises das respectivas amostras contemplando os diferentes elementos identificados nas mesmas.

AMOSTRA I - Aumento 200x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
TR1P0005-1	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Fe 90%	
TR1P0005-2	Al, Si, Ca, Cr, Mn, Fe	Fe 92%	
TR1P0005-3	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe, Zr, Hf	Zr 46% e Si 17%	Hf 0,92%

Tabela 9: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra I em aumento de 200x.

AMOSTRA III - Aumento 90x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
T1P15005-1	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Cr 37%, Fe 12% e Mg 10%	
T1P15005-2	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 53%, Fe 18% e Al 10%	
T1P15005-3	Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Fe	Cr 29%, Fe 13%, Al 12%, Si 11% e Mg 10%	
T1P15005-4	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe, Zr	Zr 60% e Si 19%	
T1P15005-5	Mg, Al, Si, S, K, Ca, Fe, Ba	Ba 46% e S 11%	Ba 46%

Tabela 10: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra III em aumento de 90x.

AMOSTRA IV - Aumento 50x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
4003-1	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Mg 27% e Si 23%	
4003-2	Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Fe	Si 27% e Al 13%	S 0,53%
4003-3	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu	Fe 30% e Si 17%	Cu 1,42%
4003-4	Mg, Al, Si, Fe	Fe 69%	
4003-5	Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe	Fe 39%, Si 13% e Al 10%	
4003-6	Mg, Al, Si, K, Fe	Si 25% e Al 18%	
4003-7	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 26%, Fe 23% e Al 16%	
4003-8	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 26% e Fe 12%	
4003-9	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 30%, Al 12%, Mg 11% e Fe 10%	
4003-10	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 31%, Fe 14%, Mg 11%, Si 10% e Al 10%	
4003-11	Mg, Al, Si, K, Ti, Fe, Cu	Si 26%, Fe 14% e Al 12%	Cu 1,80%
4003-12	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe	Si 28% e Al 11%	

Tabela 11: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra IV em aumento de 50x.

AMOSTRA IV - Aumento 450x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
4006-1	Mg, Al, Si, S, Ca, Cr, Mn, Fe	Mg 25% e Si 20%	
4006-2	Al, Si, Ca, Fe	Al 59%	
4006-3	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe, Zr	Al 28% e Si 16%	
4006-4	Al, Si	Si 45%	
4006-5	Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Fe	Si 48%	Cl 0,55%
4006-6	Na, Al, Si, K, Fe, Ba	Si 34%, K 14% e Al 11%	Ba 0,63%
4006-7	Al, Si, K, Fe	Si 37%, K 17% e Al 11%	
4006-8	Na, Mg, Al, Si, K, Ti, Fe	Si 22% e Al 17%	
4006-9	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Mo	Ca 39%	Cu 0,44% Mo 0,86%
4006-10	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Ca 68%	
4006-11	Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Fe	Ca 21%	
4006-12	Mg, Al, Si, Fe	Fe 81%	
4006-13	Al, Si, Mn, Fe	Fe 73%	
4006-14	Mg, Al, Si, P, K, Ca, Cr, Fe, Ni	Fe 33% e Cr 32%	P 5,42% Ni 0,58%
4006-15	Mg, Al, Si, Ca, Cr, Fe	Cr 51%, Fe 22% e Al 10%	
4006-16	Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Mn, Fe	Mn 39% e Mg 26%	Cl 0,36%
4006-17	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe	Ti 42%	
4006-18	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, V, Fe	Ti 49%	
4006-19	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe	Si 36%, Fe 26% e Al 11%	
4006-20	Mg, Al, Si, Fe, Sr, Zr	Zr 48% e Si 14%	Sr 2,13%
4006-21	Na, Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Fe, Sr, Zr	Zr 50% e Si 16%	Sr 1,74%
4006-22	Mg, Al, Si, Sr, Zr	Zr 49% e Si 15%	Sr 1,93%
4006-23	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Si 34% e Al 11%	
4006-24	Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe	Si 24%	P 1,24% Cl 3,32%

Tabela 12: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra IV em aumento de 450x.

AMOSTRA V - Aumento 70x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
T1P25005-1	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Cr 25%, Si 15%, Fe 13% e Mg 11%	
T1P25005-2	Mg, Al, Si, Cr, Fe, Zr	Zr 51% e Si 16%	
T1P25005-3	Mg, Al, Si, Fe, Zr, Hf	Zr 59% e Si 18%	Hf 1,46%
T1P25005-4	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Fe 28%, Cr 18% e Si 10%	
T1P25005-5	Mg, Al, Si, Ca, Fe	Si 55%	
T1P25005-6	Mg, Si, Ca, Fe	Si 65%	
T1P25005-7	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe	Si 37%	
T1P25005-8	Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, Zr, Hf	Zr 46% e Si 17%	Hf 0,56%

Tabela 13: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra V em aumento de 70x.

AMOSTRA VI - Aumento 50x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
6003-1	Mg, Al, Si, Ca, Cr, Fe	Mg 24%, Si 22% e Fe 13%	
6003-2	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Cr 16%, Si 15% e Mg 13%	
6003-3	Mg, Al, Si, Ca, Fe, Cu	Al 55%	
6003-4	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe	Al 36% e Si 24%	
6003-5	Na, Mg, Al, Si, K, Fe	Si 41%	
6003-6	Mg, Al, Si, K, Fe	Si 41%	
6003-7	Mg, Al, Si, Ca, Cr, Fe	Cr 33%, Fe 15%, Al 14% e Mg 11%	
6003-8	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 34%, Fe 14%, Al 12% e Mg 10%	
6003-9	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Fe	Cr 25%, Fe 14%, Si 11% e Al 10%	
6003-10	Mg, Al, Si, Mn, Fe	Fe 85%	
6003-11	Mg, Al, Si, Ca, Mn, Fe, Ni	Fe 68% e Mn 12%	Ni 2,51%
6003-12	Mg, Al, Si, K, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn	Ti 35%, Fe 24% e Mn 13%	
6003-13	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu	Si 31%, Fe 10% e Al 10%	Na 1,345
6003-14	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe	Si 27%	
6003-15	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn	Fe 39%, Mn 23% e Si 11%	
6003-16	Mg, Al, Si, Ca, Mn, Fe	Fe 80%	

Tabela 14: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VI em aumento de 50x.

AMOSTRA VI - Aumento 450x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
6006-1	Mg, Al, Si, Ca, Mn, Fe	Mg 40%	
6006-2	Mg, Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe	Mg 24% e Si 14%	
6006-3	Al	Al 63%	
6006-4	Al, Si	Al 68%	
6006-5	Al, Si	Al 64%	
6006-6	Al, Si	Si 56%	
6006-7	Si	Si 54%	
6006-8	Si	Si 47%	
6006-9	Mg, Al, Si, Mn, Fe	Fe 67%	
6006-10	Mg, Al, Si, Cr, Mn, Fe	Fe 88%	
6006-11	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn	Fe 45% e Mn 23%	
6006-12	Mg, Al, Si, S, Cr, Mn, Fe, Zr	Fe 49%	
6006-13	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 32%, Fe 21%, Al 12% e Mg 11%	
6006-14	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Fe	Cr 31%, Fe 17% e Al 10%	
6006-15	Mg, Al, Si, Fe, Sr, Zr	Zr 44% e Si 16%	Sr 1,59%
6006-16	Mg, Al, Si, Fe, Sr, Zr	Zr 47% e Si 14%	Sr 1,99%
6006-17	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe	Si 37%	
6006-18	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Si 37% e Fe 17%	
6006-19	Mg, Al, Si, Ca, Fe	Ca 42%	
6006-20	Mg, Si, Ca, Mn, Fe	Ca 38%	
6006-21	Mg, Al, Si, S, K, Ca, Fe	Si 10%	
6006-22	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Fe 15% e Si 13%	
6006-23	Si	Si 54%	
6006-24	Na, Mg, Al, Si, K, Fe	Si 54%	

Tabela 15: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VI em aumento de 450x.

AMOSTRA VII - Aumento 50x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
RIP35003-1	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 35%	
RIP35003-2	Na, Mg, Al, Si, K, Ti, Cr, Fe	Cr 20% e Mg 13%	
RIP35003-3	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 29% e Mg 19%	
RIP35003-4	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Si 29%	
RIP35003-5	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Mg 26%, Si 21% e Fe 10%	
RIP35003-6	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Si 34% e Al 16%	
RIP35003-7	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 55% e Fe 15%	
RIP35003-8	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 52% e Fe 18%	
RIP35003-9	Mg, Al, Si, Cr, Mn, Fe, Ni	Cr 65% e Fe 16%	Ni 0,80%
RIP35003-10	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 46% e Fe 24%	
RIP35003-11	Mg, Al, Si, K, Cr, Mn, Fe	Cr 17%, Mg 12%, Fe 12% e Si 10%	
RIP35003-12	Si, Cr, Mn, Fe	Fe 95%	
RIP35003-13	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 50%	
RIP35003-14	Mg, Al, Si, Ca, Cr, Fe	Si 47%	
RIP35003-15	Na, Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 29%, Fe 15%, Mg 14%, Al 11% e Si 11%	
RIP35003-16	Mg, Al, Si, Ti, Cr, Fe	Cr 35%, Fe 16% e Al 11%	

Tabela 16: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VII em aumento de 50x.

AMOSTRA VII - Aumento 450x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
RIP35006-1	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 24%	
RIP35006-2	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 45% e Fe 21%	
RIP35006-3	Mg, Al, Si, Ca, Fe	Si 51%	
RIP35006-4	Mg, Al, Si, K, Ca, Fe	Si 12%	
RIP35006-5	Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, Cu	Al 15% e Si 13%	Cu 1,50%
RIP35006-6	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 42% e Fe 28%	
RIP35006-7	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe	Si 28% e Al 15%	
RIP35006-8	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Al 16%, Si 16% e Fe 10%	
RIP35006-9	Mg, Al, Si, Fe	Al 40% e Fe 17%	
RIP35006-10	Al, Si, Ca, Fe	Fe 33%, Si 17% e Ca 13%	

Tabela 17: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VII em aumento de 450x.

AMOSTRA VIII - Aumento 50x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
RIP45003-1	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 34% e Mg 25%	
RIP45003-2	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 23% e K 19%	
RIP45003-3	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Si 28%, Mg 15% e Ca 13%	
RIP45003-4	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 43%, Fe 15% e Al 10%	
RIP45003-5	Al, Si, Fe	Fe 77%	

Tabela 18: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra VIII em aumento de 50x.

AMOSTRA IX - Aumento 50x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
9003-1	Al, Si, K	Si 47%	
9003-2	Na, Al, Si, K, Fe	Si 36%	
9003-3	Na, Mg, Al, Si, K, Ti, Cr, Fe	Si 26% e Mg 16%	
9003-4	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 25%	
9003-5	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 42% e Fe 17%	
9003-6	Mg, Al, Si, Ti, Cr, Fe	Cr 31%, Fe 11%, Al 11% e Mg 10%	
9003-7	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 26%, Fe 22% e Al 12%	
9003-8	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Si 18% e Fe 15%	
9003-9	Na, Mg, Al, Si, K, Fe	Si 34%	
9003-10	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Cr 14%, Mg 14% e Si 13%	
9003-11	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 21% e Fe 13%	

Tabela 19: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra IX em aumento de 50x.

AMOSTRA IX - Aumento 450x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
9006-1	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 40%, Fe 22% e Si 12%	
9006-2	Si	Si 70%	
9006-3	Mg, Al, Si, Cr, Fe, Cu	Si 30%	Cu 3,03%
9006-4	Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe	Fe 26% e Si 15%	P 0,49%
9006-5	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 42%, Fe 16% e Al 10%	

Tabela 20: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra IX em aumento de 450x.

AMOSTRA X - Aumento 50x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
10003-1	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe	Si 20% e Mg 14%	
10003-2	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Si 27% e Mg 19%	
10003-3	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	Si 25% e Al 14%	
10003-4	Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Fe	41% Al	
10003-5	Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe	41% Si	
10003-6	Na, Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 23%, Fe 22% e Si 11%	
10003-7	Mg, Al, Si, Ca, Cr, Mn, Fe	Si 19% e Mg 15%	
10003-8	Mg, Al, Si, Cr, Mn, Fe	Cr 43% e Fe 19%	
10003-9	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Cr 34%, Fe 15% e Al 11%	
10003-10	Mg, Al, Si, Cr, Mn, Fe	Fe 71%	
10003-11	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe	Fe 47%	
10003-12	Mg, Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe	Ca 31%, Mn 20% e Si 14%	Ca 31%
10003-13	Mg, Al, Si, Ca, Ti, Cr, Fe	Cr 30%, Fe 13%, Mg 10% e Al 10%	
10003-14	Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Fe	Cr 49% e Fe 16%	

Tabela 21: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra X em aumento de 50x.

AMOSTRA X - Aumento 450x			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	OBS
10006-1	Na, Mg, Al, Si, K, Mn, Fe	Si 40%, Al 10% e Fe 10%	
10006-2	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 41%, Fe 17% e Al 11%	
10006-3	Mg, Al, Si, Cr, Fe, Ni	Cr 32%, Fe 18% e Al 12%	Ni 0,35%
10006-4	Mg, Al, Si, Cr, Mn, Fe	Cr 32%, Fe 21% e Al 11%	
10006-5	Mg, Al, Si, K, Cr, Fe	Fe 78%	
10006-6	Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Cr, Fe	Si 30%	Cl 0,32% e Ca 1,53%
10006-7	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Si 26%	
10006-8	Si, Cr, Fe	Fe 42%, Cr 40% e Si 17%	
10006-9	Mg, Al, Si, K, Fe, Sr, Zr, Hf	Zr 38% e Si 16%	Sr 2,09%, Hf 0,45%
10006-10	Mg, Al, Si, Cr, Mn, Fe	Fe 78%	
10006-11	Mg, Al, Si, Cr, Fe	Cr 44%, Fe 19% e Al 10%	

Tabela 22: Resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS para a Amostra X em aumento de 450x.

6.6.3 Morfologia dos Grãos

Com relação à morfologia das amostras analisadas no MEV, os grãos foram descritos de acordo com seu arredondamento e esfericidade além de outras formas encontradas. Sendo arredondamento a medida da angulosidade das partículas (do mais anguloso para o mais arredondado) e esfericidade o quanto é circular uma partícula. Todo o grau de arredondamento e esfericidade encontrado, acredita-se, provém do material fornecido a fundição para construção dos moldes, ou seja, provém da fonte original da areia. A angulosidade encontrada acredita-se seja fruto da quebra das partículas na fundição quando do deslocamento da areia fundida nas peças metálicas produzidas.

A Tabela 23 traduz de modo resumido a morfologia encontrada em todas as amostras (I a X).

NOME DA AMOSTRA	PROF. DA AMOSTRA	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	MORFOLOGIA ENCONTRADA
AMOSTRA I	TR1P-0.0	Grãos retidos na abertura 4mm	Em 35x: Grão ligeiramente arredondado. Em 200x: Verifica-se a presença metálica no recheio do grão com poucas incrustações.
AMOSTRA II	TR1P-0.0	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm	Em 50x: Partículas esféricas, arredondadas, rugosas/pulverulentas e angulosas. Em 450x: Basicamente pulverulento.
AMOSTRA III	TR1P-1.5	Grãos retidos na abertura 4mm	Em 35x: Grão semi-arredondado, pulverulento com inúmeras incrustações arredondadas. Em 90x: Muitas incrustações angulosas e semi-arredondadas.
AMOSTRA IV	TR1P-1.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm	Em 50x: Partículas mais arredondadas com algumas pulverulentas e grão "banana". Em 450x: Predominância de pulverulento com alguns esféricos.
AMOSTRA V	TR1P-2.5	Grãos retidos na abertura 4mm	Em 35x: Aglomerado, agregado de grãos de quartzo, grãos ligeiramente fundidos (sinterização). Parte superior possui matriz pulverulenta com grãos imersos nela, parte inferior possui grão a grão colado sem matriz visível. Em 70x: Muitos grãos arredondados, alguns sub arredondados e raros angulosos. Aparecem os restos de "cola" nos grãos.
AMOSTRA VI	TR1P-2.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm	Em 50x: Predominância de grãos arredondados em relação às amostras II e IV. Em 450x: Mais pulverulento com alguns grãos em forma de filamentos.
AMOSTRA VII	TR1P-3.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm	Em 50x: Grãos maiores de elevada esfericidade aparentemente quartzo (~30%) em associação com grãos sub angulosos sempre menores que os de quartzo e em quantidade menores e com grãos angulosos, com dimensões variando de maiores que os de quartzo e muito menores que os sub angulosos. Aparece fragmento de ferro-liga. Em 450x: Fragmentos mais finos são predominantemente angulosos. Existem alguns pulverulentos, e no pedaço analisado um único sub arredondado.
AMOSTRA VIII	TR1P-4.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm	Em 50x: Predominância de grãos arredondados, poucos sub arredondados e nenhum pulverulento. Grãos angulosos em proporção reduzida de dimensões menores que os arredondados.
AMOSTRA IX	TR1P-5.5	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm	Em 50x: Possui grãos arredondados e alguns rugosos/pulverulentos e angulosos. Possui 1 grão grande e anguloso. Poucos finos. Em 450x: Predominância de grãos angulosos e tubulares (tipo plaquetas).
AMOSTRA X	TR1P-6.0	Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm	Em 50x: Muitos grãos arredondados e alguns angulosos. Em 450x: Formas pontudas, agulhas, filamentos, angulosos, grau de arredondamento menor.

Tabela 23: Descrição da morfologia encontrada nas amostras I a X.

6.6.4. Caracterização Química Qualitativa por MEV das Frações

Com base nas Tabelas 7 a 22, onde se encontra um resumo das análises qualitativas e semi-quantitativas realizadas no MEV/EDS, foram definidas como “fração fina” (FF) as frações das amostras analisadas com aumento de 450 vezes e

como “fração grossa” (FG) as frações das amostras analisadas com aumentos 50 vezes, 70 vezes e 90 vezes, e a partir delas, construídos os gráficos de concentração de elementos químicos nas profundidades correspondentes de cada amostra coletada. Relativo à fração da Amostra I com aumento de 200x, a mesma foi considerada FG, porque se trata de um grão retido na abertura 4mm da peneira. Para explicar com mais clareza esta divisão segue a Figura 72.

Figura 72: Fluxograma de definição das FF e FG.

Das frações analisadas no MEV-EDS, as seguintes são “fração fina” (FF):

- Amostra II – Aumento de 450X
- Amostra IV – Aumento de 450X

- Amostra VI – Aumento de 450X
- Amostra VII – Aumento de 450X
- Amostra IX – Aumento de 450X
- Amostra X – Aumento de 450X

Destas seis frações de amostras consideradas FF, obtivemos os Gráficos 17, 18, 21, 22, 23, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33 e 34, com concentrações máximas e mínimas, apresentados por grupo de elementos. As concentrações mínimas exibidas nesses gráficos indicam que alguns elementos exibiram concentrações mínimas detectáveis para algumas frações. Só foram plotados gráficos para os elementos que apresentaram mais de quatro pontos de determinação. Ou seja, dos 28 elementos detectados são apresentados os gráficos para 13 elementos na FF: Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Sr, Zr. Os elementos P, S, Cl, V, Co, Ni, Zn, As, Br, Mo, Sn, Sb, Ba, Hf e Pb foram detectados em menos de quatro pontos, ou frações.

Das frações analisadas no MEV-EDS, as seguintes são “fração grossa” (FG):

- Amostra I – Aumento de 200X
- Amostra II – Aumento de 50X
- Amostra III - Aumento de 90X
- Amostra IV - Aumento de 50X
- Amostra V - Aumento de 70X
- Amostra VI - Aumento de 50X
- Amostra VII - Aumento de 50X
- Amostra VIII - Aumento de 50X
- Amostra IX - Aumento de 50X
- Amostra X - Aumento de 50X

Destas 10 frações de amostras consideradas FG, obtivemos os Gráficos 19, 20, 24, 25, 27, 35, 36, 37, 38 e 39, com concentrações máximas e mínimas, apresentados por grupo de elementos. As concentrações mínimas exibidas nesses gráficos indicam que alguns elementos exibiram concentrações mínimas detectáveis para algumas frações. Só foram considerados os gráficos dos elementos em que se obteve mais de quatro pontos de determinação. Ou seja, dos 28 elementos detectados são apresentados os gráficos para 10 elementos na FG: Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe. Os elementos P, S, Cl, V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Zr, Mo, Sn, Sb, Ba, Hf e Pb foram detectados em menos de quatro pontos, ou frações.

Como descrito na Figura 71, nas Amostras II, IV, VI, VII, IX e X, foram obtidas análises de frações finas (FF) e de frações grossas (FG). Nota-se que para as profundidades 0m, 1,5m e 2,5m foram gerados dois pontos de FG para cada uma. Isto se deve por conta da análise de grão (fração 4mm) face a sua ocorrência entre as quatro maiores frações nessas profundidades.

Observa-se que há uma oscilação dos aumentos dentro dos grupos FF e FG. A escolha do aumento para cada amostra e fração foi realizado em função da obtenção da melhor qualidade de imagem e visualização da morfologia.

a) METAIS ALCALINOS: Na e K

a.1) FRAÇÃO FINA: Na, K

A concentração máxima do Na na FF, Gráfico 17, ocorre em TR1P-1.5 (próximo a base do perfil) com queda de concentração no sentido do topo, e pico anômalo em TR1P-0.0.

Gráfico 17: Variação do Na na FF.

O Gráfico 18, K na FF, indica a tendência de concentração na base do depósito com pico máximo em TRIP-1.5 (17,14%) e queda para aproximadamente 10% em TR1P-0.0.

Gráfico 18: Variação do K na FF.

a.2) FRAÇÃO GROSSA: Na, K

Os dados apresentados para o Na na FG, Gráfico 19, indicam ligeira concentração no topo do perfil com um aumento brusco em TR1P-4.5 para 85% (pico anômalo) e posterior queda em 5,5m e 6m. Verifica-se que quase não há diferença nas concentrações do Na nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50), sendo que no pó as concentrações são ligeiramente maiores do que no grão.

Gráfico 19: Variação do Na na FG.

Na FG do K, Gráfico 20, observa-se clara concentração na parte superior do perfil, com o pico máximo em TR1P-4.5 (em torno de 20%) e posterior queda de concentração em TR1P-5.5 e TR1P-6.0. Verifica-se pequenas diferenças nas concentrações do K nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50), sendo que no pó as concentrações são maiores do que no grão.

Gráfico 20: Variação do K na FG.

Em resumo, para as frações finas dos metais alcalinos, tanto K como Na tendem a se acumular nas porções mais profundas do perfil e seus gráficos são muito similares. Nas frações grossas, por outro lado, Na e K indicam aumento de concentração nas porções superiores do perfil sendo observada máxima concentração em TR1P-4.5 e queda nos dois pontos seguintes no sentido do topo. As três profundidades que contém dois pontos na FG (0m, 1,5m e 2,5m) apresentam concentrações diferentes para K e um pouco diferentes para o Na, sendo que em todas as três profundidades para os dois elementos Na e K, a concentração no pó é mais acentuada do que a observada no grão.

b) METAIS ALCALINOS TERROSOS: Mg, Ca, Sr

b.1) FRAÇÃO FINA: Mg, Ca, Sr

Na FF do Mg, Gráfico 21, verifica-se que há maior concentração na base do depósito, porém, em TR1P-1.5, há uma importante queda de 40% para 25% na concentração de Mg, voltando a subir para 40% em TR1P-0.0.

Gráfico 21: Variação do Mg na FF.

O Gráfico 22, Ca na FF, indica a concentração deste elemento na base do depósito com o maior pico obtido em TR1P-1.5 e leve queda em TR1P-0.0.

Gráfico 22: Variação do Ca na FF.

No Gráfico 23, Sr na FF, o Sr apresenta tendência de se manter constante em torno de 2%, com dois picos anômalos indicando concentração zero (TR1P-3.5 e TR1P-5.5).

Gráfico 23: Variação do Sr na FF.

b.2) FRAÇÃO GROSSA: Mg, Ca

Na FG, Gráfico 24, é observada uma tendência de concentração do Mg no topo do depósito. Apesar disso, o maior pico encontra-se em TR1P-1.5 (mais próximo da base do depósito). Verifica-se diferenças nas concentrações do Mg nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50), sendo a maior concentração encontrada no pó para as três profundidades.

Gráfico 24: Variação do Mg na FG.

Na FG, Gráfico 25, o Ca se concentra no topo do perfil, sendo a maior concentração em TR1P-6.0 (em torno de 30%). Observam-se pequenas diferenças nas concentrações do Ca nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50), sendo que no pó as concentrações são maiores do que no grão.

Gráfico 25: Variação do Ca na FG.

O Sr não apresentou resultados analíticos suficientes para permitir a construção de gráfico na FG.

Em resumo, assim como para os alcalinos Na e K nas as frações finas, tanto Ca quanto Mg nas frações finas tendem a se acumular nas porções mais profundas do perfil. Nas frações grossas, por outro lado, Ca e Mg indicam aumento de concentração nas porções superiores do perfil, seguindo também a similaridade de assinatura química de concentração apresentada nos gráficos de Na e K. Por outro lado o Sr apresenta um comportamento diferente de Ca e Mg, mantendo-se constante no perfil da FF, com exceção dos pontos TR1P-3.5 e TR1P-5.5, onde o Sr não foi detectado. E não há dados suficientes para Sr na FG. As três profundidades que contém dois pontos na FG (0m, 1,5m e 2,5m) apresentam concentrações bem diferentes para Mg e um pouco diferentes para o Ca, sendo que em todas as três profundidades para os dois elementos Ca e Mg, a concentração no pó é maior do que a do grão.

c) ELEMENTOS SIDERÓFILOS: Fe

c.1) FRAÇÃO FINA: Fe

Observa-se no Gráfico 26, que a concentração de Fe na FF se mantém constante entre 80 e 90% com dois pontos anômalos levando a uma queda brusca da concentração em 3,5m e 5,5m.

Gráfico 26: Variação do Fe na FF.

c.2) FRAÇÃO GROSSA: Fe

No Gráfico 27 (Fe na FG) a concentração de Fe se mantém constante entre 70 e 95% com três pontos anômalos em TR1P-1.5 (grão), TR1P-2.5 (grão) e TR1P-5.5. Observa-se diferenças nas concentrações do Fe nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50), sendo que esse elemento se concentrou no pó em proporções mais acentuadas do que observado nos grãos, com exceção do ponto 0m, onde o grão apresenta maior concentração em relação ao pó.

Gráfico 27: Variação do Fe na FG.

Em resumo, para o elemento siderófilo analisado (Fe), a concentração na FF e na FG foi constante com a presença de alguns pontos anômalos. E as três profundidades que contêm dois pontos na FG (0m, 1,5m e 2,5m) apresentam concentrações bem diferentes, sendo que somente em 0m o grão apresentou uma concentração maior de Fe, nas outras profundidades duplicadas, o pó obteve maior concentração.

d) ELEMENTOS CALCÓFILOS: Cu

d.1) FRAÇÃO FINA: Cu

No Gráfico 28, Cu na FF, observa-se a concentração do Cu no topo do perfil. Porém, no ponto mais superficial (TR1P-6.0) o Cu não foi detectado.

Gráfico 28: Variação do Cu na FF.

d.2) FRAÇÃO GROSSA

Não há dados suficientes para Cu na FG.

Em resumo, o elemento calcófilo Cu concentra-se no topo na FF e não apresentou resultados analíticos suficientes que permitissem a construção de gráfico na FG.

e) ELEMENTOS LITÓFILOS: Al, Cr, Zr, Si, Mn, Ti

e.1) FRAÇÃO FINA: Al, Cr, Zr, Si, Mn, Ti

No Gráfico 29 para FF verifica-se que o Al concentra-se no meio do depósito, sendo o maior pico em 2,5m com quase 70% de concentração

Gráfico 29: Variação do Al na FF.

Observa-se no Gráfico 30 para Cr na FF que sua concentração se mantém constante de 30 a 50%, sendo o maior pico em 1,5m (em torno de 50%).

Gráfico 30: Variação do Cr na FF.

O que se observa no Gráfico 31, Zr para FF, é que a concentração se mantém constante entre aproximadamente 40 a 50%, sendo que para os pontos TR1P-3.5 e TR1P-5.5 o Zr na FF não foi detectado.

Gráfico 31: Variação do Zr na FF.

No Gráfico 32, observa-se uma tendência do Si na FF em concentrar-se no topo, atingindo em torno de 70% de concentração máxima em TR1P-5.5, com uma queda em 6m para aproximadamente 40%.

Gráfico 32: Variação do Si na FF.

Observa-se no Gráfico 33, para FF, tendência do Mn em concentrar-se na base, sendo que nos pontos TR1P-3.5 e TR1P-5.5 o Mn na FF não foi detectado.

Gráfico 33: Variação do Mn na FF.

Na FF, Gráfico 34, o Ti tende a concentrar-se na base com a presença de um pico máximo e anômalo em TR1P-1.5 (em torno de 50%) e posterior queda para concentração zero em TR1P-0.0.

Gráfico 34: Variação do Ti na FF.

e.2) FRAÇÃO GROSSA: Al, Cr, Si, Mn, Ti

Na FG, Gráfico 35, o Al tende a se manter constante entre 10 e 20%, com a presença de picos anômalos em TR1P-0.0 (em torno de 2%), TR1P- 2.5 (em torno de

55% para o pó) e TR1P-6.0 (em torno de 40%). As diferenças nas concentrações do Al nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50) são significativas e em todas as três profundidades no pó, esse elemento exibiu suas maiores concentrações.

Gráfico 35: Variação do Al na FG.

Na FG, o Cr apresenta no Gráfico 36, tendência de concentrar-se nas extremidades, topo e base do depósito, com dois picos anômalos em TR1P-3.5 e TR1P-0.0 (grão). As diferenças nas concentrações do Cr nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50) são significativas principalmente para as profundidades 0,0m e 1,5m, sendo que somente em 1,5m o grão possui maior concentração de cromo do que o pó.

Gráfico 36: Variação do Cr na FG.

No Gráfico 37, Si na FG, observa-se uma tendência em concentrar-se no meio do perfil em TR1P-2.5 (em torno de 65% para o grão). Após a profundidade 2,5m até o topo o Si apresenta concentração constante de 40 a 50%, sendo que no ponto TR1P-4.5 a concentração foi de aproximadamente 34%. As diferenças nas concentrações do Si nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50) são significativas principalmente para as profundidades 1,5m e 2,5m, sendo que em 0m e 2,5m o grão possui maior concentração de Si que o pó, já em 1,5m o pó possui maior concentração de Si.

Gráfico 37: Variação do Si na FG.

Na FG, Gráfico 38, o Mn apresenta tendência de se manter constante em torno de 2%. Há a presença de dois picos anômalos em TR1P-2.5 (em torno de 23% para pó) e em TR1P-6.0 (em torno de 20%). Em TR1P-5.5 o Mn não foi detectado. Observa-se diferenças nas concentrações do Mn nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50), sendo que no pó as concentrações são maiores do que no grão, inclusive no ponto 2,5m a concentração no pó é mais de 20 vezes maior do que no grão.

Gráfico 38: Variação do Mn na FG.

O Ti na FG, Gráfico 39, tende a manter-se constante e apresenta concentração anômala no meio do perfil em TR1P-2.5 (em torno de 35% para pó). Observam-se diferenças nas concentrações do Ti nos pontos de mesma profundidade (grão e pó em 0m, 1,5m e 2,5m – Figura 50), sendo que no pó as concentrações são maiores do que no grão.

Gráfico 39: Variação do Ti na FG.

O Zr não apresentou resultados analíticos suficientes para permitir a construção de gráfico na FG.

Em resumo, os litófilos nas FF apresentam perfis diferentes. O Ti e o Mn tendem a concentrar-se na base do depósito, o Al no meio, o Si no topo e o Cr e Zr tendem a manter-se constantes ao longo do perfil amostrado. Nas FG seus comportamentos também não são similares. Al, Mn e Ti tendem a manter-se constantes, Si tende a se concentrar no meio do depósito e o Cr nas extremidades, com o gráfico inverso ao Si. Não há dados suficientes para Zr na FG. Para o Ti, Mn e Al, nas três profundidades com dois pontos na FG (0m, 1,5m e 2,5m), as concentrações no pó são maiores do que no grão. Já para o Si, no pó as concentrações são maiores do que no grão somente em 1,5m e para o Cr no pó as concentrações são maiores do que no grão em 0.0m e 2,5m.

6.7. ANÁLISE QUÍMICA TOTAL POR FLUORESCÊNCIA DE RAIO X (FRX) DAS AMOSTRAS TOTAIS DO RESÍDUO AMOSTRADO

As amostras totais de cada profundidade foram analisadas por FRX e os resultados se encontram na Tabela 24 (elementos maiores) e na Tabela 25 (elementos traços). Foram obtidos resultado para os elementos maiores: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 e para os elementos traços: Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr, Cl, F, S.

	TR1P-0.0	TR1P-0.5	TR1P-1.0	TR1P-1.5	TR1P-2.0		TR1P-2.5	TR1P-3.0	TR1P-3.5	TR1P-4.0	TR1P-4.5		TR1P-5.0	TR1P-5.5	TR1P-6.0
	12/290	12/291	12/292	12/293	12/294a	12/294b	12/295	12/296	12/297	12/298	12/299a	12/299b	12/300	12/301	12/302
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO₂	62,60	68,22	70,82	71,92	64,36	64,17	80,75	82,47	75,40	83,82	84,53	84,17	85,72	62,29	82,62
TiO₂	0,344	0,286	0,281	0,321	0,257	0,250	0,121	0,093	0,106	0,077	0,084	0,086	0,079	0,144	0,092
Al₂O₃	6,77	5,58	5,57	6,58	4,44	4,40	3,11	3,15	3,95	2,67	2,87	2,86	2,41	3,58	2,95
Fe₂O₃	8,03	7,56	7,07	6,62	8,74	8,72	4,56	3,18	4,18	2,89	2,82	2,84	2,61	22,15	3,14
MnO	1,914	0,664	0,674	0,564	2,408	2,409	0,201	0,103	0,115	0,081	0,116	0,116	0,080	0,991	0,090
MgO	3,27	2,95	2,72	2,52	4,30	4,26	2,17	2,36	3,29	2,19	2,05	2,04	1,88	2,60	2,31
CaO	5,26	2,39	1,81	1,15	6,36	6,32	0,21	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,68	0,07
Na₂O	0,12	0,13	0,08	< 0,02	0,02	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
K₂O	0,45	0,37	0,57	0,70	0,43	0,44	0,12	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,15	0,06
P₂O₅	0,036	0,025	0,026	0,027	0,052	0,049	0,011	0,006	0,004	0,003	0,005	0,050	0,004	0,032	0,004
Loi	2,30	2,73	2,76	2,99	2,34	2,32	1,18	0,54	0,00	0,34	0,50	0,42	0,42	0,46	0,72
Total	91,09	90,91	92,38	93,39	93,71	93,37	92,43	92,06	87,20	92,20	93,12	92,72	93,33	93,08	92,06

Tabela 24: Resultado da FRX para elementos maiores (%).

	TR1P-0.0	TR1P-0.5	TR1P-1.0	TR1P-1.5	TR1P-2.0		TR1P-2.5	TR1P-3.0	TR1P-3.5	TR1P-4.0	TR1P-4.5		TR1P-5.0	TR1P-5.5	TR1P-6.0
	12/290	12/291	12/292	12/293	12/294a	12/294b	12/295	12/296	12/297	12/298	12/299a	12/299b	12/300	12/301	12/302
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ba	166	114	115	206	177	175	29	24	25	27	15	22	16	10	45
Ce	146	154	151	139	131	117	118	128	165	91	100	95	91	108	133
Co	32	42	31	25	16	17	25	27	43	24	23	24	20	< 6	60
Cr	39003	47081	38763	34090	29951	29825	36294	43095	62098	40489	37237	37286	34070	40503	45144
Cu	96	93	141	84	82	83	90	15	7	< 5	5	< 5	< 5	50	56
Ga	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
La	< 28	< 28	29	< 28	< 28	< 28	< 28	< 28	< 28	< 28	< 28	< 28	< 28	< 28	< 28
Nb	16	9	14	16	29	29	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
Nd	64	66	52	59	52	51	37	41	58	42	30	46	33	36	53
Ni	167	186	179	184	155	152	188	210	308	195	186	188	166	364	214
Pb	106	113	114	35	21	18	20	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	33
Rb	25	17	21	30	16	15	4	< 3	3	3	< 3	< 3	< 3	< 3	8
Sc	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14
Sr	106	82	71	37	257	258	10	3	4	3	3	3	2	3	32
Th	7	< 7	< 7	< 7	10	10	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	90	< 7
U	< 3	< 3	< 3	< 3	8	7	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	74	< 3
V	184	204	173	119	124	134	112	107	136	84	85	94	74	99	128
Y	20	14	18	16	17	17	10	4	4	4	4	5	4	4	9
Zn	271	344	333	124	101	100	162	69	97	65	60	59	55	143	95
Zr	1521	1440	1592	1237	1557	1561	1221	325	274	211	309	307	338	271	869
Cl	< 50	< 50	61	< 50	73	65	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
F	1418	724	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	669	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500
S	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550

Tabela 25: Resultado da FRX para elementos traços (ppm).

Observa-se em ambas as Tabelas 24 e 25 uma diferença brusca ou um “corte” entre as profundidades 2,5 e 3m para alguns elementos como TiO_2 , CaO , P_2O_5 , Cu , Pb , Zn e Zr . A concentração do zircônio, por exemplo, caiu para 1/4 das concentrações anteriores, sentido base. Porém, no topo, em 6m, voltou a aumentar em quatro vezes. O zinco teve sua concentração reduzida pela metade de 2,5m para 3m, porém em 5,5m voltou a aumentar, duplicando, reduzindo posteriormente em 6m. A concentração de Y apresentou duas quedas bruscas, uma de 2m para 2,5m e outra de 2,5m para 3m, voltando a subir em 6m. Comportamento similar é observado para o Sr , Rb , Pb , Cu , P_2O_5 , CaO .

A partir das Tabelas 24 e 25 foram montados os gráficos de concentração nas profundidades por elemento/óxido analisados na FRX. Os Gráficos 40 a 58 apresentam estes resultados por elemento e são novamente divididos em grupos.

Os pontos TR1P-2.0 e TR1P-4.5 possuem resultados duplicados, pois de acordo com o procedimento do laboratório, a cada cinco análises uma deve ser duplicada.

a) METAIS ALCALINOS: Na e K

O Gráfico 40 resultado da FRX indica concentração do Na na base do depósito. Em TR1P-2.0 não foi detectada a presença de sódio.

Gráfico 40: Variação do Na_2O na FRX.

O Gráfico 41 resultado da FRX indica concentração do K na base do depósito, atingindo a máxima concentração em 1,5m.

Gráfico 41: Variação do K₂O na FRX.

Em resumo, de forma geral, Na e K demonstram se concentrar na base do depósito tanto pela técnica de MEV (na FF) quanto por FRX.

b) METAIS ALCALINOS TERROSOS: Mg, Ca, Sr

O Gráfico 42 resultado da FRX indica leve concentração do Mg na base do depósito, apesar dos dois picos de concentração em 2m e 3,5m.

Gráfico 42: Variação do MgO na FRX.

O Gráfico 43 resultado da FRX indica concentração do Ca na base do depósito e a presença de um pico anômalo de máxima concentração em TR1P-2.0. Em TR1P-5.5 há também um pico anômalo.

Gráfico 43: Variação do CaO na FRX.

O Gráfico 44 resultado da FRX indica concentração do Sr na base do depósito e a presença de um pico anômalo e de máxima concentração em TR1P-2.0. Em TR1P-6.0 há também um pico anômalo.

Gráfico 44: Variação do Sr na FRX.

Em resumo, de forma geral, Mg, Ca e Sr se concentram na base do depósito tanto pela técnica de MEV (na FF) quanto por FRX.

c) ELEMENTOS SIDERÓFILOS: Fe, Co, Ni

O Gráfico 45 resultado da FRX indica ligeira concentração na base do depósito, embora exiba pico de concentração do Fe anômalo em TR1P-5.5.

Gráfico 45: Variação do Fe₂O₃ na FRX.

O Gráfico 46 resultado da FRX indica alta concentração do Co no topo do depósito, em 6m. Em 5.5m a concentração do Co vai a zero, tornando a aumentar até 3,5m. Depois há uma nova queda na concentração até 2m e um novo incremento até a base do depósito. Resumidamente, a tendência do Co é manter-se constante entre 20 e 40 ppm ao longo do depósito.

Gráfico 46: Variação do Co na FRX.

O Gráfico 47 resultado da FRX indica tendência do Ni em manter-se constante entre 150 e 200 ppm ao longo do perfil coletado nesse depósito. Nota-se a presença de dois picos de concentração máxima em 3,5m e 5,5m.

Gráfico 47: Variação do Ni na FRX.

Em resumo, Co e Ni permanecem constantes ao longo do perfil de amostras coletado nesse depósito e Fe concentra –se preferencialmente na base do depósito, diferentemente de seu resultado por MEV que mostrou concentração constante de Fe ao longo do depósito. Co e Ni não foram avaliados por MEV.

d) ELEMENTOS CALCÓFILOS: Cu, Pb, Zn

O Gráfico 48 resultado da FRX indica concentração do Cu na base do depósito, atingindo sua concentração máxima em 1m. Nota-se que no topo do perfil coletado nesse depósito (5,5m e 6m) a concentração é maior do que no meio do perfil.

Gráfico 48: Variação do Cu na FRX.

O Gráfico 49 resultado da FRX indica concentração do Pb na base do perfil coletado nesse depósito atingindo sua concentração máxima em 1m. Nota-se que no topo perfil coletado (6m) a concentração é maior do que no meio do mesmo.

Gráfico 49: Variação do Pb na FRX.

O Gráfico 50 resultado da FRX indica concentração do Zn na base do perfil coletado, atingindo sua concentração máxima em TR1P-0.5.

Gráfico 50: Variação do Zn na FRX.

Em resumo, Cu mostrou concentração na base do perfil coletado nesse depósito por FRX, porém por MEV concentrou no topo do perfil (na FF). Pb e Zn também se

concentraram na base do perfil coletado nos resultados obtidos por FRX e não foram analisados por MEV.

e) ELEMENTOS LITÓFILOS: Al, Cr, Zr, Si, P, Mn, Ti e V

O Gráfico 51 resultado da FRX indica concentração do Al na base do perfil coletado nesse depósito.

Gráfico 51: Variação do Al₂O₃ na FRX.

O Gráfico 52 resultado da FRX indica que o Cr se mantém constante entre 30.000 ppm e 50.000 ppm ao longo do perfil coletado. Nota-se a presença de um pico anômalo fora desta faixa de concentração em TR1P-3.5, chegando a mais de 62000 ppm.

Gráfico 52: Variação do Cr na FRX.

O Gráfico 53 resultado da FRX indica concentração do Zr na base do perfil coletado nesse depósito. Nota-se que nas amostras de topo desse depósito (6m) a concentração é maior do que no meio do perfil coletado (de 5,5m a 3m).

Gráfico 53: Variação do Zr na FRX.

O Gráfico 54 resultado da FRX indica concentração do Si no topo do perfil coletado nesse depósito. E o ponto de menor concentração é em TR1P-5.5.

Gráfico 54: Variação do SiO₂ na FRX.

O Gráfico 55 resultado da FRX indica concentração do P na base do perfil coletado nesse depósito. Nota-se a presença de dois picos anômalos em 2m e 5,5m. O pico anômalo de 4,5m pode ser desconsiderado, já que na primeira medida (12/299a) o valor encontra-se dentro do esperado indicando um provável erro de análise.

Gráfico 55: Variação do P₂O₅ na FRX.

O Gráfico 56 resultado da FRX indica concentração do Mn na base do perfil coletado nesse depósito. Nota-se a partir dos resultados obtidos que a concentração no topo do depósito (5,5m) é maior do que no meio do depósito (de 5m a 2,5m) e que em TR1P-2.0 ocorre a maior concentração de Mn (2,409%).

Gráfico 56: Variação do MnO na FRX.

O Gráfico 57 resultado da FRX indica concentração do Ti na base do perfil coletado nesse depósito, sendo que nas amostras obtidas em direção ao topo do perfil coletado (5,5m) a concentração é maior do que no meio do mesmo (de 5m a 2,5m).

Gráfico 57: Variação do TiO₂ na FRX.

O Gráfico 58 resultado da FRX indica concentração do V na base do perfil coletado nesse depósito.

Gráfico 58: Variação do V na FRX.

Em resumo, Al, Zr, P, Mn, Ti e V mostraram tendência de concentração na base do perfil coletado nesse depósito diante das determinações obtidas por FRX, porém por MEV o Al se concentrou no meio do perfil na FF e manteve-se constante ao longo do perfil na FG, o Zr manteve-se constante na FF e não foi analisado na FG, o Ti concentrou-se na base na FF e no meio do perfil na FG, o Mn concentrou-se no fundo na FF e não apresentou nenhuma tendência específica na FG. Por outro lado o P e o V não foram analisados por MEV. O Cr tende a manter-se constante tanto por FRX quanto por MEV na FF. Já na FG o Cr tende a concentrar-se nas extremidades, topo e

base do depósito. O Si tende a se concentrar no topo do perfil por FRX e por MEV na FF concentra-se no topo e na FG no meio do perfil.

6.8. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX) DAS MAIORES FRAÇÕES DE CADA AMOSTRA DO RESÍDUO E SOLO

Escolheu-se aleatoriamente uma amostra para análise na DRX. A amostra escolhida foi a TR1P-5.5. O resultado da análise é obtido através do difratograma (Figura 73), onde observa-se a predominância de quartzo, como era de se esperar por tratar-se basicamente de um resíduo constituído predominantemente por areias quartzosas (resíduo de areia de fundição), com pequenas quantidades de Fe, Mg, Cr, Ti e Al.

Figura 73: Difratograma da amostra TR1P-5.5.

A quantificação das espécies na DRX é relativamente imprecisa e não exibe solução para o presente caso de investigação, pois a altura dos picos obtidos depende da quantidade e do grau de cristalinidade das espécies. Desse modo a continuidade desse tipo de investigação técnica foi abandonada face a perspectiva de pouco ou nenhum resultado concreto que permita uma análise e conclusão precisa quanto aos minerais determinados por essa metodologia para a compreensão e determinação mineralógica específica desse caso.

7. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resíduos de fundição, tratados neste trabalho, foram depositados durante mais de 30 anos, sofrendo intemperismo, lixiviação, transformação e conformação de minerais e metais por diversas reações químicas produzidos pelos mecanismos de alteração química e geoquímica dos agentes supérgenos do intemperismo. Há indicações de que os resíduos dispostos tenham sofrido tais modificações, com base nas curvas de concentração dos elementos químicos, indicando concentração no fundo do depósito para elementos móveis, bem como na fixação de alguns elementos na porção superior do depósito, além de deslocamentos ao longo do perfil de elementos que sabidamente deveriam encontrar-se fixos, ou na superfície, ou mesmo na base do depósito.

Foi pressuposto no presente trabalho que o comportamento do depósito de resíduos seria análogo ao comportamento diagênico clássico de evolução pedológica em condições tropicais. Verificou-se a veracidade desta premissa através da observação do comportamento similar dos elementos em relação à sua mobilidade nos ambientes naturais (literatura) e no ambiente supérgeno estudado, como exemplo os alcalinos e os alcalinos terrosos. Deve ser destacado o aspecto distintivo entre um depósito de resíduos de areia de fundição e perfis de alteração de solo. Para todos os efeitos a análise e essa comparação é a possível de ser realizada diante da inexistência de outros parâmetros que permitissem essa comparação.

O depósito foi dividido inicialmente em três partes: base, meio e topo. Após o resultado do fracionamento granulométrico e com base nos perfis granulométricos similares, verificou-se que a divisão da base vai de 0m até 2,5m, do meio de 2,5 até 5,5m e do topo de 5,5m até 6m.

As amostras de base apresentam maior umidade, o que pode ser observado também pela maior quantidade de concreções apresentadas por essas amostras (Figuras 37 e 38). Isto pode ser explicado pela proximidade do lençol freático (Figura 39) e não pela chuva, pois a água pluvial migra aleatoriamente no interior do depósito face a diversas lentes de argila e solo de recobrimento os quais foram depositados ao longo da construção desse depósito de modo aleatório. Desse modo camadas de argila e solo e/ou solo-argiloso agiram como camada impermeabilizante, distribuindo o fluxo de água pluvial de forma aleatória a medida de sua infiltração no corpo de areia de fundição disposta. Acredita-se que, em parte, compostos e elementos que

pudessem ser dissolvidos nesse processo de infiltração também são os responsáveis por cimentação de parte do material disposto tal como foi observado no mapeamento eletrosecundário da Amostra V (profundidade 2,5m) disponível no item 9.5.b do APÊNDICE. Esta “cola” observada pode ser algum metal ou mesmo a resina fenólica utilizada na confecção do molde.

Com relação à morfologia observada através do MEV nos mapeamentos eletrosecundários, verificou-se que nas regiões de grãos mais finos a angulosidade é maior e a esfericidade menor em relação à região dos grãos maiores. Além da presença de grãos de outras formas, como agulhas, filamentos e tubulares corroborando com a tese de quebra das partículas na fundição durante o deslocamento da areia fundida nas peças metálicas produzidas. Não foi possível relacionar morfologia versus profundidade do perfil. Verificou-se na Amostra V restos de “cola” responsável por agregar os grãos de quartzo.

Nas imagens retroespalhadas observa-se que os grãos de maior esfericidade e níveis de cinza mais claros são ricos em Fe e os grãos mais pulverulentos com níveis de cinza mais claros são mais ricos em Cr e outros metais.

Do total de 28 elementos identificados por Microscopia Eletrônica de Varredura, foram analisados 13 elementos na FF (Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Sr, Zr) e 10 elementos na FG (Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe). Os outros elementos não foram detectados em pontos suficientes para apresentarem uma curva de tendência. Quando do emprego da análise de amostras por FRX, dos resultados obtidos, foram analisados todos os elementos maiores: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 e os seguintes elementos traços: Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, V, Zn, Zr. A análise dos elementos por MEV e por FRX foi realizada por grupos de acordo com IUPAC e Goldschmidt.

Os metais alcalinos e os alcalinos terrosos, assim como se comportam nos ambientes naturais, demonstram se concentrar na base do depósito tanto quando analisados e identificados por Microscopia Eletrônica de Varredura como pelos resultados obtidos por Fluorescência de Raios X.

Em relação aos siderófilos, os resultados observados para os elementos Co e Ni demonstram que os mesmos permanecem em concentrações constantes ao longo das amostras coletadas no perfil estudado diante dos resultados de FRX. Por outro lado o Fe concentra-se preferencialmente na base do depósito quando analisados os resultados obtidos por FRX, diferentemente de seu resultado por MEV, que exibiu

concentração constante de Fe ao longo do depósito. Os elementos Co e Ni ocorrem de modo não constante nos resultados obtidos pelo MEV, não permitindo assim uma análise de distribuição que indicasse um comportamento específico de maior ou menor concentração seja no topo, no meio ou na base do perfil estudado. A não apresentação de concentrações constantes de Fe por FRX ao longo do perfil, e sim na base do depósito, pode ser explicada pela deposição de resíduos com menor regeneração, ou seja, mais concentrados em Fe, no início das atividades operacionais do empreendimento industrial, período em que não havia critério de regeneração das areias de fundição já utilizadas. Ou também porque nos resultados obtidos das análises por FRX o produto indica que não se trata de Fe total e sim de Fe_2O_3 imóvel (Fe^{3+}).

Para os elementos considerados calcófilos, identificou-se que o cobre concentra-se preferencialmente na base do perfil coletado nesse depósito á luz dos resultados obtidos por FRX demonstrando mobilidade como previsto pelo seu potencial iônico (Figura 3), porém nos resultados obtidos na Microscopia Eletrônica de Varredura, esses, indicam concentração no topo do perfil (na FF). Pb e Zn também indicaram preferência de concentração na base do perfil analisado quando da leitura dos resultados obtidos por FRX, indicando que se trata de Pb^{+2} (móvel pelo potencial iônico) e de Zn^{+2} (móvel para pH ácido – como descrito no item 4.5.d) e de ambientes de pH baixo. Pb e Zn não foram analisados por MEV.

Os considerados litófilos, Al, Zr, P, Mn, Ti e V mostraram tendência de concentração na base do perfil coletado nesse depósito diante das determinações obtidas por FRX, indicando se tratar provavelmente de ambiente onde a acidez deve prevalecer, fazendo com que migrem para a base quando na presença de soluções percolantes de origem pluviométrica. O Ti^{+4} analisado pela FRX (TiO_2) é móvel, como indica seu potencial iônico (Figura 3). Por MEV o Al se concentrou no meio do perfil na FF e manteve-se constante ao longo do perfil na FG, o Zr manteve-se constante na FF e não foi analisado na FG, o Ti concentrou-se na base na FF e no meio do perfil na FG, o Mn concentrou-se no fundo na FF e não apresentou nenhuma tendência específica na FG. O P e o V não foram analisados por MEV. O Cr tende a manter-se constante tanto por FRX quanto por MEV na FF, apesar de supormos o ambiente ácido, esperando mobilidade do Cr^{+3} . Já na FG o Cr tende a concentrar-se nas extremidades, topo e base do depósito. O Si tende a se concentrar no topo do perfil por FRX e por MEV na FF concentra-se no topo e na FG no meio do perfil.

Como é suposto pelos diversos elementos acima que o ambiente é mais ácido, acredita-se que o transporte do Si seja pela fase coloidal.

Unificando-se os resultados da FRX e plotando um gráfico para os elementos maiores, com exceção do Si (pois a escala deste gráfico é bem maior), Gráfico 59, observa-se a presença constante de picos fora das tendências em 2m e em 5,5m para alguns elementos como TiO_2 , CaO , P_2O_5 , aumentando a concentração destes elementos no sentido da base do perfil. Acredita-se que tal fato tem influência das camadas de solo nas profundidades 3m e 6m que pode estar liberando os elementos.

Gráfico 59: Resultado FRX para elementos maiores com exceção do SiO_2 .

Quando unifica-se os gráficos dos elementos traços, com exceção do Cr e Zr (pois a escala destes gráficos são bem maiores), Gráfico 60, e com base na Tabela 25, observa-se a presença constante de picos fora das tendências em 3,5m e em 5,5m. para alguns elementos como Cu, Pb, Zn e Zr, indicando influência das camadas de solo.

Gráfico 60: Resultado FRX para elementos traços com exceção do Cr e Zr.

Alterações de significado ambiental nas águas foram obtidas em trabalhos paralelos como o trabalho da Gabriela Penkaitis (2012), onde detectou-se a presença de Fe, Mn, B e Se acima dos limites de intervenção da CETESB. Foram detectadas neste mesmo trabalho concentrações mais elevadas a jusante do depósito (em relação à montante) para: fluoreto, nitrato, Na, sulfato, Ba e cloreto, apesar de não estarem acima dos limites de intervenção do Órgão Ambiental de SP, colaborando com os resultados de concentração de elementos alcalinos no fundo do depósito.

Desta forma, de modo simplificado pode-se inserir as seguintes conclusões obtidas pela presente investigação laboratorial realizada nesta dissertação:

- 1) A separação granulométrica e o MEV são ferramentas importantes para diagnose de conteúdo de materiais de ADF e do comportamento dos materiais, desde que associadas a uma análise mais generalista como da FRX. Já a técnica de DRX não apresentou resultados relevantes, não sendo efetiva para este caso.
- 2) A determinação analítica pontual e a coleta seletiva na vertical fornecem uma visão em profundidade dos elementos químicos, morfologia, granulometria e umidade distribuídos no corpo do depósito de resíduo.
- 3) Do ponto de vista micromorfológico, granulométrico e químico esse depósito de resíduo não é o mesmo ao longo do perfil vertical escavado.

- 4) Apesar do resíduo ADF, na maioria dos depósitos, incluindo o depósito estudado, não ser considerado perigoso (classe I pela NBR 10004), o mesmo pode apresentar risco ao meio ambiente quando depositado em locais não controlados, uma vez que elementos químicos sofrem intempéries, reagindo entre si e com o auxílio da chuva, migrando, em alguns casos, para partes mais profundas do depósito, podendo chegar ao aquífero acima de limites dos Órgãos Ambientais. Tal conclusão é corroborada por PENKAITIS (2012).
- 5) Apesar do depósito ter se mostrado aparentemente passível de separação em 3 blocos (base, meio e topo) por similaridade granulométrica, quando analisado morfologicamente não foi observada a mesma similaridade.
- 6) O pH do meio do depósito provavelmente é ácido devido à mobilidade de alguns elementos, com excessão do Cr.
- 7) As camadas de solo em 3m e 6m influenciam na dinâmica e na mobilidade de alguns elementos de modo a liberar alguns e capturar outros.
- 8) Pela técnica de FRX, o comportamento comum dentro dos grupos, só foi observado para os alcalinos, alcalinos terrosos e calcófilos. Para os siderófilos, talvez não foi observada a similaridade dentro do grupo porque o Fe na FRX não é Fe total. A mesma análise não foi feita para os resultados do MEV, pois este apresenta resultados muito pontuais.
- 9) Os alcalinos, alcalinos terrosos, calcófilos e alguns litófilos (Al, Zr, P, Mn, Ti e V) migraram para a base do perfil, ao analisar-se a FRX.
- 10) O comportamento do depósito de resíduos pode ser comparado ao comportamento diagênico clássico de evolução pedológica em condições tropicais.

8. BIBLIOGRAFIA

- ADRIANO, D. C.. *Trace elements in the terrestrial environment*. New York, Springer-Verlag, c1986. xix, 533 p..
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. Desempenho do Setor de Fundição Dezembro/2011. Disponível em:
<<http://www.abifa.com.br/Imagens/file/IndicesMercado/Desempenho/2011/DESEMPENHO%20DEZEMBRO%202011.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2012.
- _____. Revista da ABIFA, Ano XIII, Agosto 2010, Edição 123. Disponível em: < <http://www.en.calameo.com>> Acesso em: 1 maio 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10004: classificação dos resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.
- ALMEIDA, F. F. M. A rocha “Moutonnée” de Salto, Estado de São Paulo. *Boletim de Geologia e Metalurgia*, v. 5, p. 112-123, 1946.
- ARAUJO, C. P. Avaliação de impacto ambiental na disposição de areias de fundição em aterros não controlados: estudo de caso. 2004. 26 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- BAIL, R. S.; BOUSFIELD P. M.; LOBO M. G.; CHEGATTI, S. Uso do Software Sadana Estimativa do Risco à Saúde Humana e Corrente da Exposição ao Resíduo de Areia de Moldagem de Fundição de Ferro. *INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, v. 5, n. 1, 2010. Disponível em:
<<http://www.revistas.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/60/88>>. Acesso em: 26 mar. 2013.
- BASSO, J.C. Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos. Santa Maria: UFSM, 2003. 254p. Tese Doutorado
- BIOLO, S. M. Utilização da areia de fundição na fabricação de blocos cerâmicos. *Revista Fundição & Matérias Primas*, p. 54-59, maio-jun., 2003.
- BRASIL. Resolução CONAMA 420/2009 de 28 de Dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de

atividades antrópicas. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: mar 2011.

- _____. Constituição de 1988. Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de Outubro de 1988. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em mar 2011.
- _____. Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em mar 2011.
- _____. Lei nº 6766/79 de 19 de Dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm. Acesso em: mar 2011.
- CANEVAROLO JUNIOR, S. V. Técnicas de caracterização de polímeros. São Paulo: Artliber, 2004. 445 p.
- CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. Material Didático, Processos de Fundição. Disponível em:
<<http://www.cimm.com.br/portal/fundicao>>. Acesso em: 18 mai 2011.
- CHAVES, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios. São Paulo: Signus, 1999. 3 v.
- CHEGATTI, S. Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Procedimentos para gerenciamento de areia de fundição. Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E. São Paulo, de 08 de agosto de 2007.
- _____. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. 2001. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/7-manual-de-gerenciamento-das--acs>>. Acesso em: 05 abr. 2013.

- _____. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas: relatórios final e preliminar. São Paulo, 1999. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 11 jan. 2012.
- EGHBALL, L. B.; BINFORD, D. G.; BALTENSPERGER, D. *Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application*. Journal Environmental Quality, v.25, n.6, p.1339-1343, 1996.
- GOLDSCHMIDT, V. M. *Geochemistry*. Oxford, Clarendon Press, 1958. xi, 730 p. The International series of monographs on physics. First published 1954. Reprinted from corrected sheets of the 1st ed.
- GOMES C. B. Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia. São Paulo: Edgard Blücher- Pró-Minério, 1984.
- HAWKES, H. E.. *Principles of geochemical prospecting*. USGS Bulletin: 1000-F U. S. Govt. Print. Off.. 1957. Disponível em <http://pubs.er.usgs.gov/publication/b1000F>. p. 225-355.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produto Interno Bruto dos Municípios 2005-2009. Diretoria de pesquisas. Contas Nacionais número 36. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2005_2009/pibmunic2005_2009.pdf. Acesso em 22 jul 2013.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981. v1 (texto) e v2 (mapa). Escala 1:500.000.
- INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY - IUPAC. *Nomenclature of Inorganic Chemistry: IUPAC Recommendations 2005*. Cambridge, UK: RSC; IUPAC. p. IR-3.5, 2005. Disponível em: <http://old.iupac.org/publications/books/rbook/Red_Book_2005.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2013.
- KABATA-PENDIAS, A.. PENDIAS, H.. *Trace elements in soils and plants*. 3rd ed. Boca Raton, Fla, CRC Press, c2001. 413 p..
- KÖEPPEN, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

- LUZ, A. B. da ; LINS, F. A. F. CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (BRASIL). Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. 720 p.
- MADEIRA N. J. Comportamento espectral dos solos. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais. Brasília: UnB, 2001.
- MARIOTTO, L. C. Regeneração de Excedentes de Areias de Fundição. In: SEMINÁRIO LATINO- AMERICANO DE FUNDIÇÃO, 2001, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABIFA, 2001.
- MASON, B. H. Princípios de Geoquímica. Tradução de Rui Ribeiro Franco. São Paulo. Editora da USP, 1971, 381 p.
- MELFI, A. J.; BITTENCOURT, I. Geologia e pedologia da bacia glacial no distrito de Sousas, Campinas, SP. *Bragantia*, São Paulo, v. 21, p. 806-826, 1962.
- MORI, P.; REEVES, S.; CORREIA, C.T.; HAUKKA, M. *Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, Sao Paulo University*. R. Bras. Geoci., 29:441-446, 1999.
- MOZAFFARI, M.; SIMS, T.S. *Phosphorus availability and sorption in an Atlantic coastal plain watershed dominated by animal based agriculture*. Soil Science Society America Journal, Baltimore, v.157, n.2, p.97-107, 1994.
- OLIVEIRA, J. C. D. Estudo experimental da regeneração térmica de areia de macharia em leito fluidizado. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- PENKAITIS, G. Impacto ambiental gerado pela disposição de areias de fundição: estudo de caso. 2012. Dissertação (Mestrado)-Procam, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- PREFEITURA DE SOROCABA. Secretaria do Meio Ambiente de Sorocaba. Programa de Recuperação de Mata Ciliar e Nascentes de Sorocaba, 2010. Disponível em:
[<http://meioambientesorocaba.com.br/sema/UserFiles/file/MC1-](http://meioambientesorocaba.com.br/sema/UserFiles/file/MC1-)

01%20sorocaba%20Prog_%20Rec_%20Mata%20Ciliar%20e%20Nascentes.pdf>. Acesso em: 12 set. 2012.

- REED, S. J. B. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. New York: Cambridge University Press, 1996. 201 p.
- REIMANN, C.. CARITAT, P. de. *Chemical elements in the environment factsheets for the geochemist and environmental scientist*. Berlin, Springer, c1998 New York. ix, 397 p..
- ROSE, A. W.. HAWKES, H. E.. WEBB, J. S.. *Geochemistry in mineral exploration*. 2d ed. London New York, Academic Press, 1979. xvii, 657 p.. Primeiro editado por H. E. Hawkes and J. S. Webb publicado em 1962.
- SALVETTI R. A. P.. Sistemas deposicionais e paleogeografia do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico da bacia do Paraná), na região entre Itu e Indaiatuba, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 110 p.
- SÁNCHEZ, L.E.A Desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental. São Paulo, Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 178p., 1998.
- SÃO PAULO (Estado). Lei nº 13.577 de 08 de julho de 2009. Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. Disponível em: <http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/index.htm>. Acesso em: mar 2011.
- _____. Lei nº 9.999/98 de 9 de Junho de 1988. Altera a Lei nº 9.472, de 30 de dezembro de 1996, que disciplina o uso de áreas industriais. Disponível em: <http://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/169667/lei-9999-98>. Acesso em mar 2011.
- SÃO PAULO (Município). Lei nº13.885/04 de 25 de Agosto de 2004. Estabelece normas complementares ao Plano Diretor Estratégico, institui os Planos Regionais Estratégicos das Subprefeituras, dispõe sobre o parcelamento, disciplina e ordena o Uso e Ocupação do Solo do Município de São Paulo. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/upload/1da2a_Lei_N_13.885-04_Estabelece_normas_ao_PDE.pdf. Acesso em: mar 2011.

- SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H.; TOMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28., 1974, Porto Alegre. *Anais...* São Paulo: SBG, 1974. p. 41-65.
- SEADE. FUNDAÇÃO ESTADUAL SISTEMA DE ANÁLISE DE DADOS. Perfil Municipal. Disponível em:
<<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>> Acesso em: 15 set. 2012.
- Estimativa Populacional 2011. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011>> Acesso em: 06 de setembro de 2012.
- SIEGEL, M. Fundição. 13. ed. São Paulo: Édile, 1982. (Notas de Aulas. ABM)
- VAN DYCK, E. *The contaminated sites policy in Flanders (Belgium)*. In: CONTAMINATED SOIL, 95, 1995. Maastricht. *Proceedings...* Dordrecht: The Research Center Karlsruhe (FZK), Netherlands organization for applied Scientific Research TNO, v. 1, p. 39-48, 1995.
- VIDAL, A. C.; ROSTIROLLA, S. P.; KIANG, C. Análise de favorabilidade para a exploração de água subterrânea na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 4, p. 475-481, 2005.
- SOARES, W. A. A.; FERRARESI, G. N.; QUINÁGLIA, G.A.; UMBUZEIRO, G. A.. Toxicidade do resíduo areia de fundição utilizando o teste com a bactéria luminescente *Vibrio Fischeri*. *Revista Brasileira de Toxicologia* 23, n.1-2 (2010) 17-21.
- WHITE, W. M. *Geochemistry*. John-Hopkins University Press, 2005, 701p.
- WINKLER, E. S.; BOLSHAKOV, A. A. *Characterization of foundry sand waste*. Massachusetts: Chelsea Center for Recycling and Economic Development, 2000. 82 p. (Technical Report; 8).

9. APÊNDICE – Imagens, Espectros e Microanálises obtidos pelo MEV

9.1. AMOSTRA II (TR1P-0.0 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm)

a. Imagens da Amostra II – Aumento de Magnitude 50x

As figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra II em aumento de magnitude 50x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada (Figura 41 do Capítulo 6).

Mn Ka1

Cl Ka1

Mg Ka1_2

Al Ka1

Si Ka1

Ca Ka1

Fe Ka1

Na Ka1_2

Ti Ka1

Cr Ka1

b. Imagens da Amostra II –Aumento de Magnitude 450x

As figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra II em aumento de magnitude 450x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada (Figura 57 do Capítulo 6).

Na Ka1 2

Mg Ka1_2

Al Ka1

Si Ka1

K Ka1

Ca Ka1

Ti Ka1

Cr Ka1

Mn Ka1

Fe Ka1

Zr La1

c. Microanálises da Amostra II – Aumento magnitude 450x

• 2006-1

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	74.32	1.2998	52.71	0.28	64.17
Mg K	34.23	0.8016	39.38	0.25	31.55
Al K	0.70	0.5094	1.26	0.09	0.91
Si K	1.72	0.6196	2.56	0.09	1.78
K K	0.18	1.0008	0.16	0.04	0.08
Ca K	1.04	0.9639	1.00	0.05	0.48
Mn K	0.57	0.8092	0.65	0.07	0.23
Fe K	2.03	0.8245	2.27	0.10	0.79
Totals			100.00		

• 2006-2

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	53.39	0.9790	53.83	0.42	67.38
Na K	0.41	0.8033	0.50	0.09	0.43
Mg K	10.73	0.7528	14.08	0.19	11.60
Al K	6.33	0.6936	9.01	0.15	6.69
Si K	10.65	0.7151	14.71	0.19	10.49
K K	1.18	0.9988	1.16	0.06	0.60
Ca K	2.77	0.9569	2.86	0.08	1.43
Ti K	0.18	0.8106	0.22	0.05	0.09
Mn K	0.39	0.8084	0.47	0.07	0.17
Fe K	2.63	0.8251	3.15	0.12	1.13
Totals			100.00		

- 2006-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	60.69	1.1252	51.83	0.32	65.69
Mg K	27.51	0.8208	32.21	0.24	26.86
Si K	4.00	0.6270	6.14	0.12	4.43
K K	0.36	0.9935	0.35	0.05	0.18
Ca K	1.07	0.9601	1.07	0.06	0.54
Mn K	0.34	0.8173	0.40	0.07	0.15
Fe K	0.89	0.8338	1.03	0.09	0.37
Br L	3.74	0.5161	6.96	0.22	1.77
Totals			100.00		

- 2006-10

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	17.94	0.4124	51.29	0.72	71.75
Mg K	0.69	0.6312	1.28	0.09	1.18
Al K	1.48	0.7429	2.34	0.10	1.94
Si K	3.78	0.8276	5.39	0.13	4.29
K K	0.39	1.1564	0.39	0.08	0.23
Ca K	29.97	1.0277	34.35	0.52	19.18
Fe K	1.65	0.8141	2.39	0.14	0.96
Sn L	0.81	0.8098	1.18	0.35	0.22
Sb L	0.95	0.8052	1.39	0.56	0.25
Totals			100.00		

- 2006-14

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	8.40	0.3438	33.27	0.87	52.84
F K	0.20	0.1523	1.78	1.20	2.38
Mg K	0.77	0.6620	1.58	0.09	1.65
Al K	0.55	0.7716	0.98	0.08	0.92
Si K	9.46	0.8676	14.85	0.29	13.43
Ca K	30.47	1.0251	40.45	0.71	25.64
Mn K	1.62	0.7970	2.77	0.16	1.28
Fe K	2.23	0.8232	3.69	0.18	1.68
Zr L	0.32	0.6903	0.64	0.18	0.18
Totals			100.00		

- 2006-15

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	20.13	1.1301	23.25	0.59	41.01
Mg K	6.16	0.6127	13.13	0.21	15.24
Al K	3.22	0.6226	6.75	0.16	7.06
Si K	7.13	0.6911	13.48	0.20	13.55
Ca K	0.31	1.0472	0.39	0.07	0.27
V K	0.19	0.8801	0.29	0.08	0.16
Cr K	20.86	0.9101	29.93	0.33	16.25
Fe K	8.29	0.8467	12.79	0.25	6.46
Totals			100.00		

- 2006-17

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	22.66	1.2907	23.49	0.58	47.40
Mg K	0.28	0.4740	0.80	0.12	1.06
Al K	3.01	0.5977	6.75	0.16	8.07
Si K	1.86	0.6769	3.68	0.12	4.23
K K	0.18	1.1308	0.21	0.07	0.18
Ca K	1.08	1.1073	1.31	0.08	1.05
Ti K	0.20	0.9918	0.27	0.08	0.18
Cr K	23.60	0.9642	32.75	0.36	20.33
Mn K	1.21	0.9124	1.78	0.19	1.05
Fe K	16.69	0.8752	25.52	0.34	14.75
Zn K	2.19	0.8510	3.45	0.26	1.70
Totals			100.00		

- 2006-22

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	67.24	1.1790	44.33	0.39	67.18
Na K	0.60	0.5414	0.87	0.11	0.92
Mg K	2.10	0.5408	3.01	0.12	3.01
Al K	4.37	0.6399	5.31	0.11	4.77
Si K	8.88	0.7151	9.66	0.13	8.34
K K	0.98	1.0510	0.73	0.05	0.45
Ca K	1.84	1.0178	1.41	0.06	0.85
Ti K	0.20	0.8874	0.18	0.05	0.09
Mn K	0.53	0.8558	0.48	0.07	0.21
Fe K	35.95	0.8740	31.97	0.29	13.88
As L	0.31	0.7837	0.31	0.21	0.10
Pb M	1.66	0.7412	1.74	0.18	0.20
Totals			100.00		

• 2006-24

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	13.11	1.2170	14.40	0.49	33.94
Na K	0.15	0.4078	0.49	0.17	0.81
Mg K	0.41	0.4224	1.29	0.13	2.01
Al K	1.30	0.5395	3.22	0.13	4.50
Si K	2.92	0.6496	6.01	0.14	8.07
K K	0.24	1.1212	0.28	0.07	0.27
Ca K	0.76	1.1036	0.92	0.08	0.87
Cr K	0.12	1.1391	0.14	0.08	0.10
Mn K	0.36	0.9277	0.52	0.12	0.36
Fe K	51.14	0.9469	72.22	0.52	48.76
Co K	0.34	0.9290	0.49	0.22	0.31
Totals			100.00		

• 2006-26

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	21.39	0.4964	34.45	0.46	66.17
Mg K	0.26	0.8040	0.25	0.06	0.32
Al K	0.68	0.9205	0.59	0.06	0.68
Si K	18.05	0.9862	14.63	0.18	16.01
Ca K	0.30	0.9055	0.27	0.05	0.20
Fe K	0.24	0.9072	0.21	0.08	0.12
Sr L	2.22	0.8971	1.97	0.32	0.69
Zr L	43.05	0.7440	46.24	0.43	15.58
Hf L	1.27	0.7400	1.37	0.28	0.24
Totals			100.00		

- 2006-27

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	25.84	0.5211	38.72	0.44	69.23
Mg K	0.44	0.7862	0.43	0.06	0.51
Al K	1.20	0.9011	1.04	0.06	1.10
Si K	17.93	0.9850	14.21	0.16	14.47
K K	0.19	0.9015	0.16	0.05	0.12
Ca K	0.56	0.9097	0.48	0.06	0.34
Fe K	0.58	0.8947	0.51	0.08	0.26
Sr L	2.13	0.8950	1.86	0.28	0.61
Zr L	40.56	0.7433	42.58	0.39	13.35
Totals			100.00		

9.2. AMOSTRA I (TR1P-0.0 – Fração retida na abertura 4mm)

a. Imagens da Amostra I – Aumento de Magnitude 35x

- Mapeamento Eletrosecundário

b. Imagens da Amostra I – Aumento de Magnitude 200x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

OBS: Não foram obtidas imagens de concentração de cada elemento para este aumento.

c. Espectros e Microanálises da Amostra I – Aumento magnitude 200x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise TR1P0005-1 e TR1P0005-3. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• TR1P0005-1

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	5.78	1.2894	4.72	0.53	14.29
Mg K	0.10	0.3816	0.28	0.16	0.56
Al K	0.34	0.5006	0.72	0.13	1.29
Si K	1.25	0.6301	2.08	0.12	3.60
K K	0.13	1.1586	0.11	0.08	0.14
Ca K	0.67	1.1467	0.62	0.08	0.75
Cr K	0.58	1.2257	0.50	0.09	0.47
Mn K	0.72	0.9599	0.79	0.13	0.69
Fe K	84.05	0.9813	90.18	0.58	78.22
Totals			100.00		

• TR1P0005-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	12.55	0.4825	29.92	0.76	59.10
Mg K	0.49	0.8115	0.69	0.09	0.89
Al K	1.62	0.9211	2.02	0.11	2.37
Si K	14.80	0.9760	17.45	0.29	19.63
K K	0.35	0.8920	0.46	0.09	0.37
Ca K	0.49	0.9041	0.62	0.09	0.49
Mn K	0.11	0.8770	0.15	0.12	0.09
Fe K	1.25	0.9065	1.58	0.16	0.90
Zr L	29.54	0.7354	46.19	0.65	16.00
Hf L	0.59	0.7387	0.92	0.46	0.16
Totals			100.00		

9.3. AMOSTRA III (TR1P-1.5 – Fração retida na abertura 4mm)

a. Imagens da Amostra III – Aumento de Magnitude 35x

- Mapeamento Eletrosecundário

b. Imagens da Amostra III – Aumento de Magnitude 90x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

OBS: Não foram obtidas imagens de concentração de cada elemento para este aumento.

c. Espectros e Microanálises da Amostra III – Aumento magnitude 90x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise T1P15005-3, T1P15005-4 e T1P15005-5. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• T1P15005-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	15.82	1.0544	22.93	0.68	40.81
Mg K	3.81	0.6125	9.51	0.25	11.13
Al K	5.14	0.6520	12.06	0.26	12.73
Si K	4.65	0.6751	10.54	0.24	10.69
S K	0.23	0.7945	0.45	0.11	0.40
K K	0.86	1.0691	1.23	0.11	0.89
Ca K	0.46	1.0429	0.67	0.10	0.48
Ti K	0.28	0.9304	0.46	0.11	0.27
Cr K	17.28	0.9090	29.08	0.40	15.93
Fe K	7.25	0.8486	13.07	0.32	6.67
Totals			100.00		

• T1P15005-4

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
O K	4.56	0.4137	16.87	0.99	42.05
Mg K	0.31	0.8514	0.55	0.10	0.90
Al K	0.72	0.9638	1.14	0.11	1.69
Si K	13.13	1.0454	19.24	0.34	27.31
K K	0.33	0.8661	0.59	0.12	0.60
Cr K	0.32	0.8958	0.55	0.15	0.42
Fe K	0.77	0.9326	1.26	0.18	0.90
Zr L	29.75	0.7623	59.79	0.82	26.13
Totals			100.00		

• TIP15005-5

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	25.19	1.0257	26.93	0.42	58.27
Mg K	0.69	0.5259	1.44	0.12	2.05
Al K	1.91	0.5895	3.56	0.14	4.56
Si K	4.20	0.6813	6.76	0.16	8.33
S K	8.59	0.8294	11.36	0.19	12.26
K K	0.91	1.0741	0.93	0.09	0.82
Ca K	0.82	1.0659	0.84	0.09	0.73
Fe K	1.77	0.8732	2.23	0.17	1.38
Ba L	36.82	0.8787	45.96	0.41	11.59
Totals			100.00		

9.4. AMOSTRA IV (TR1P-1.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm)

a. Imagens da Amostra IV – Aumento de Magnitude 50x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

As próximas figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra IV em aumento de magnitude 50x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada desta amostra.

Mg Ka1 2

Si Ka1

K Ka1

Fe Ka1

Al Ka1

Cr Ka1

Cu Ka1

S Ka1

Ti Ka1

b. Imagens da Amostra IV – Aumento de Magnitude 450x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

As próximas figuras exibem a concentração de cada elemento na amostra IV em aumento de magnitude 450x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada.

Mg Ka1 2

Al Ka1

Si Ka1

K Ka1

Ca Ka1

Fe Ka1

Cr Ka1

Mn Ka1

Ti Ka1

Cu Ka1

Cl Ka1

Zr La1

c. Espectros e Microanálises da Amostra IV – Aumento magnitude 50x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise 4003-3 e 4003-5. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• 4003-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	3.90	0.8677	33.23	1.68	54.75
Mg K	0.13	0.5677	1.71	0.31	1.85
Al K	0.62	0.6798	6.72	0.43	6.57
Si K	1.70	0.7332	17.23	0.67	16.17
K K	0.65	1.0485	4.61	0.35	3.10
Ca K	0.24	0.9991	1.78	0.28	1.17
Ti K	0.10	0.8768	0.82	0.33	0.45
Mn K	0.23	0.8579	2.03	0.50	0.97
Fe K	3.62	0.8785	30.46	1.12	14.38
Cu K	0.16	0.8177	1.42	0.80	0.59
Totals			100.00		

• 4003-5

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	31.22	1.0711	32.03	0.68	53.84
Na K	0.53	0.5353	1.10	0.16	1.28
Mg K	0.71	0.5345	1.46	0.13	1.61
Al K	5.76	0.6510	9.72	0.20	9.69
Si K	8.28	0.6909	13.18	0.23	12.62
S K	0.17	0.7856	0.23	0.08	0.20
K K	0.96	1.0543	1.00	0.08	0.69
Ca K	0.77	1.0264	0.82	0.08	0.55
Ti K	0.29	0.9061	0.35	0.08	0.20
Cr K	0.26	0.9827	0.29	0.09	0.15
Mn K	0.54	0.8692	0.69	0.12	0.34
Fe K	31.60	0.8877	39.12	0.48	18.84
Totals			100.00		

d. Espectros e Microanálises da Amostra IV – Aumento Magnitude 250x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise 4006-1/3/5/6/8/9/14/18 e 4006-20. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• 4006-1

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	45.16	0.9471	47.62	0.53	60.64
Mg K	20.59	0.8228	25.01	0.30	20.96
Al K	1.00	0.6294	1.59	0.11	1.20
Si K	14.42	0.7267	19.83	0.26	14.38
S K	0.63	0.7414	0.85	0.08	0.54
Ca K	2.62	0.9484	2.76	0.10	1.40
Cr K	0.22	0.8214	0.27	0.08	0.11
Mn K	0.70	0.8074	0.86	0.10	0.32
Fe K	1.00	0.8239	1.22	0.12	0.44
Totals			100.00		

• 4006-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	49.45	0.9660	46.10	0.42	60.45
Na K	3.69	0.8810	3.77	0.13	3.44
Mg K	0.49	0.7677	0.57	0.08	0.50
Al K	27.00	0.8652	28.10	0.27	21.85
Si K	11.53	0.6625	15.67	0.21	11.70
K K	0.19	0.9747	0.17	0.05	0.09
Ca K	0.25	0.9499	0.23	0.05	0.12
Mn K	0.23	0.8198	0.25	0.08	0.10
Fe K	3.68	0.8370	3.96	0.15	1.49
Zr L	0.73	0.5600	1.18	0.21	0.27
Totals			100.00		

• 4003-5

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	28.34	0.7790	43.83	0.46	58.15
Mg K	1.01	0.8516	1.44	0.09	1.25
Al K	2.75	0.9337	3.54	0.12	2.79
Si K	37.68	0.9409	48.27	0.42	36.47
Cl K	0.30	0.6462	0.55	0.09	0.33
K K	0.32	0.9372	0.41	0.08	0.23
Ca K	0.22	0.9178	0.29	0.07	0.15
Fe K	1.14	0.8248	1.66	0.14	0.63
Totals			100.00		

• 4003-6

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	18.89	0.5788	38.39	0.53	54.06
Na K	0.35	0.9077	0.45	0.10	0.44
Al K	8.92	0.9375	11.19	0.18	9.35
Si K	25.05	0.8601	34.26	0.35	27.48
K K	11.94	0.9798	14.33	0.21	8.26
Fe K	0.52	0.8277	0.74	0.12	0.30
Ba L	0.41	0.7557	0.63	0.20	0.10
Totals			100.00		

• 4003-8

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	52.94	0.8038	52.15	0.40	66.51
Na K	0.27	0.8368	0.26	0.08	0.23
Mg K	0.54	0.7856	0.55	0.07	0.46
Al K	19.12	0.8844	17.12	0.19	12.95
Si K	20.87	0.7644	21.62	0.23	15.71
K K	8.67	0.9862	6.96	0.12	3.63
Ti K	0.35	0.8001	0.34	0.06	0.15
Fe K	1.04	0.8241	1.00	0.09	0.36
Totals			100.00		

• 4003-9

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	13.65	0.3759	49.30	0.80	70.10
Mg K	1.03	0.6289	2.21	0.13	2.07
Al K	0.70	0.7322	1.29	0.10	1.09
Si K	2.00	0.8311	3.27	0.12	2.65
K K	0.28	1.1737	0.33	0.07	0.19
Ca K	29.85	1.0314	39.28	0.64	22.30
Mn K	1.00	0.7893	1.72	0.16	0.71
Fe K	0.78	0.8139	1.30	0.16	0.53
Cu K	0.26	0.7969	0.44	0.19	0.16
Mo L	0.51	0.8036	0.86	0.22	0.20
Totals			100.00		

• 4003-14

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	22.31	1.2161	16.77	0.48	36.50
Mg K	0.67	0.4858	1.26	0.12	1.81
Al K	2.69	0.6077	4.04	0.13	5.22
Si K	4.38	0.7075	5.65	0.14	7.01
P K	6.35	1.0697	5.42	0.14	6.10
K K	0.67	1.1153	0.55	0.07	0.49
Ca K	0.32	1.0959	0.27	0.06	0.23
Cr K	34.60	0.9802	32.26	0.31	21.60
Fe K	32.00	0.8811	33.19	0.33	20.70
Ni K	0.56	0.8712	0.58	0.15	0.35
Totals			100.00		

• 4003-18

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	5.64	0.2966	34.47	1.41	58.43
Mg K	0.31	0.6023	0.94	0.10	1.05
Al K	1.05	0.7274	2.61	0.13	2.63
Si K	3.44	0.8216	7.59	0.23	7.33
K K	0.29	1.1786	0.45	0.08	0.31
Ca K	0.16	1.1623	0.25	0.08	0.17
Ti K	24.58	0.9037	49.33	1.10	27.94
V K	0.34	0.8917	0.68	0.22	0.36
Fe K	1.70	0.8385	3.67	0.23	1.78
Totals			100.00		

• 4003-20

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	20.90	0.4896	34.34	0.52	66.29
Mg K	0.17	0.7996	0.17	0.07	0.22
Al K	0.37	0.9186	0.32	0.06	0.37
Si K	18.09	1.0121	14.37	0.19	15.81
Fe K	0.41	0.9065	0.37	0.10	0.20
Sr L	2.43	0.9185	2.13	0.34	0.75
Zr L	45.43	0.7562	48.30	0.48	16.36
Totals			100.00		

9.5. AMOSTRA V (TR1P-2.5 – Fração retida na abertura 4mm)

a. Imagens da Amostra V – Aumento de Magnitude 35x

- Mapeamento Eletrosecundário

b. Imagens da Amostra V – Aumento de Magnitude 70x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

OBS: Não foram obtidas imagens de concentração de cada elemento para este aumento.

b. Espectros e Microanálises da Amostra V – Aumento magnitude 70x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise T1P25005-1, T1P25005-2, T1P25005-3 e T1P25005-4. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• T1P25005-1

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	13.62	1.0498	25.92	0.74	44.07
Na K	0.39	0.6330	1.24	0.22	1.47
Mg K	3.41	0.6147	11.10	0.29	12.42
Al K	2.18	0.6395	6.81	0.24	6.86
Si K	5.15	0.7035	14.63	0.30	14.17
K K	0.88	1.0574	1.67	0.13	1.16
Ca K	0.38	1.0272	0.74	0.11	0.50
Cr K	11.07	0.9017	24.54	0.42	12.84
Fe K	5.65	0.8471	13.33	0.37	6.49
Totals			100.00		

• T1P25005-2

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	15.42	0.4762	31.21	0.77	62.33
Mg K	0.32	0.8076	0.38	0.08	0.50
Al K	0.48	0.9234	0.50	0.08	0.59
Si K	16.81	1.0149	15.97	0.25	18.16
Cr K	0.36	0.8792	0.40	0.10	0.25
Fe K	0.47	0.9088	0.50	0.12	0.28
Zr L	40.53	0.7652	51.04	0.64	17.88
Totals			100.00		

• T1P25005-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	6.19	0.4280	20.96	0.70	49.86
Mg K	0.22	0.8463	0.37	0.09	0.58
Al K	0.29	0.9607	0.44	0.10	0.62
Si K	12.44	1.0263	17.57	0.30	23.80
Fe K	0.33	0.9323	0.51	0.17	0.34
Zr L	31.02	0.7659	58.70	0.71	24.48
Hf L	0.77	0.7671	1.46	0.56	0.31
Totals			100.00		

• T1P25005-4

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	21.63	1.2047	28.74	0.74	50.40
Mg K	1.91	0.5432	5.63	0.22	6.50
Al K	3.04	0.6261	7.77	0.23	8.08
Si K	4.41	0.6876	10.26	0.24	10.25
K K	0.32	1.0763	0.48	0.09	0.34
Ca K	0.31	1.0515	0.47	0.09	0.33
Cr K	10.50	0.9472	17.74	0.33	9.57
Mn K	0.43	0.8812	0.78	0.20	0.40
Fe K	15.28	0.8696	28.12	0.45	14.13
Totals			100.00		

9.6. AMOSTRA VI (TR1P-2.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 4mm, 2mm, 0,35mm e 0,25mm)

a. Imagens da Amostra VI – Aumento de Magnitude 50x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

As próximas figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra VI em aumento de magnitude 50x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada desta amostra.

Mn Ka1 2

Al Ka1

Si Ka1

Cr Ka1

Fe Ka1

Ti Ka1

Na Ka1 2

Mn Ka1

b. Imagens da Amostra VI – Aumento de Magnitude 450x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

As próximas figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra VI em aumento de magnitude 450x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada desta amostra.

Mn Ka1 2

Al Ka1

Si Ka1

Fe Ka1

Mn Ka1

Cr Ka1

Zr La1

Cu Ka1

c. Espectros e Microanálises da Amostra VI – Aumento magnitude 50x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise 6003-2, 6003-3, 6003-4, 6003-5, 6003-11 e 6003-12. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• 6003-2

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	31.51	1.0167	35.53	0.83	53.61
Mg K	7.54	0.6733	12.84	0.31	12.75
Al K	5.04	0.6629	8.73	0.26	7.81
Si K	8.97	0.7025	14.66	0.31	12.60
K K	0.50	1.0355	0.55	0.10	0.34
Ca K	2.02	1.0057	2.30	0.13	1.39
Cr K	12.29	0.8730	16.16	0.36	7.50
Mn K	0.65	0.8466	0.88	0.21	0.39
Fe K	6.11	0.8381	8.36	0.30	3.61
Totals			100.00		

• 6003-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
O K	17.29	0.9002	36.85	0.76	50.51
Mg K	0.39	0.8978	0.83	0.16	0.75
Al K	27.68	0.9602	55.22	0.73	44.88
Si K	0.79	0.5253	2.88	0.26	2.25
Ca K	0.22	0.9507	0.45	0.15	0.24
Fe K	0.64	0.8513	1.44	0.26	0.57
Cu K	0.99	0.8142	2.33	0.40	0.80
Totals			100.00		

• 6003-4

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	14.80	0.7306	29.73	1.14	42.87
Mg K	2.06	0.9375	3.23	0.18	3.06
Al K	23.66	0.9589	36.22	0.67	30.97
Si K	10.75	0.6444	24.47	0.53	20.10
K K	0.75	0.9544	1.15	0.14	0.68
Ca K	0.48	0.9330	0.76	0.13	0.44
Ti K	0.31	0.8142	0.55	0.14	0.27
Mn K	0.57	0.8232	1.02	0.19	0.43
Fe K	1.64	0.8425	2.86	0.25	1.18
Totals			100.00		

• 6003-5

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	58.45	0.9281	55.63	0.44	68.91
Na K	0.39	0.8355	0.42	0.12	0.36
Mg K	0.65	0.7815	0.73	0.10	0.59
Al K	1.18	0.8842	1.18	0.10	0.86
Si K	43.08	0.9355	40.69	0.41	28.71
K K	0.54	0.9547	0.50	0.08	0.25
Fe K	0.80	0.8186	0.87	0.13	0.31
Totals			100.00		

• 6003-11

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	6.21	1.2256	8.87	0.54	23.40
Mg K	0.34	0.4115	1.45	0.21	2.52
Al K	0.39	0.5275	1.31	0.18	2.04
Si K	2.47	0.6519	6.64	0.25	9.98
Ca K	0.51	1.1220	0.79	0.14	0.83
Mn K	6.32	0.9439	11.72	0.39	9.01
Fe K	36.80	0.9667	66.70	0.66	50.41
Ni K	1.25	0.8749	2.51	0.34	1.80
Totals			100.00		

• 6003-12

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	3.85	0.4183	17.86	1.53	39.43
Mg K	0.29	0.4912	1.16	0.20	1.69
Al K	0.61	0.6157	1.93	0.19	2.53
Si K	1.51	0.7336	4.00	0.22	5.04
K K	0.25	1.1883	0.41	0.13	0.37
Ti K	17.65	0.9677	35.48	0.83	26.17
Mn K	5.93	0.8699	13.25	0.50	8.52
Fe K	11.25	0.9006	24.30	0.70	15.37
Cu K	0.21	0.8536	0.47	0.37	0.26
Zn K	0.50	0.8645	1.13	0.47	0.61
Totals			100.00		

d. Espectros e Microanálises da Amostra VI – Aumento magnitude 450x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise 6006-2, 6006-10, 6006-11, 6006-12, 6006-15 e 6006-17. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• 6006-2

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	39.31	0.8589	40.45	0.80	55.24
Mg K	21.22	0.7762	24.16	0.40	21.71
Al K	5.74	0.6182	8.20	0.24	6.64
Si K	10.24	0.6666	13.57	0.28	10.56
Ca K	1.92	0.9747	1.74	0.10	0.95
Ti K	3.61	0.8309	3.84	0.16	1.75
Mn K	0.51	0.8195	0.55	0.11	0.22
Fe K	7.10	0.8378	7.49	0.25	2.93
Totals			100.00		

• 6006-10

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	3.97	1.3239	4.72	0.49	14.14
Mg K	0.24	0.3853	0.99	0.19	1.95
Al K	0.31	0.5012	0.98	0.16	1.74
Si K	0.97	0.6289	2.41	0.18	4.12
Cr K	0.44	1.2232	0.57	0.15	0.52
Mn K	1.72	0.9599	2.82	0.26	2.46
Fe K	54.60	0.9810	87.51	0.60	75.08
Totals			100.00		

• 6006-11

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	7.55	1.1145	12.44	0.91	30.09
Mg K	0.67	0.4340	2.83	0.27	4.50
Al K	0.49	0.5433	1.66	0.20	2.38
Si K	2.46	0.6644	6.81	0.27	9.39
K K	0.41	1.1326	0.66	0.14	0.65
Ca K	1.51	1.1101	2.51	0.18	2.42
Cr K	0.58	1.0567	1.01	0.20	0.75
Mn K	11.79	0.9317	23.25	0.57	16.38
Fe K	23.28	0.9527	44.89	0.78	31.10
Cu K	0.47	0.8515	1.01	0.38	0.61
Zn K	1.38	0.8645	2.94	0.51	1.74
Totals			100.00		

• 6006-12

• 6006-15

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	23.12	0.5184	37.96	0.72	68.63
Mg K	0.28	0.7908	0.30	0.10	0.36
Al K	0.35	0.9074	0.33	0.09	0.36
Si K	18.24	0.9994	15.54	0.28	16.00
Fe K	0.46	0.8964	0.44	0.13	0.23
Sr L	1.70	0.9070	1.59	0.48	0.53
Zr L	38.28	0.7431	43.84	0.65	13.90
Totals			100.00		

• 6006-17

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	28.31	0.7027	41.14	0.72	56.14
Na K	3.14	0.8885	3.61	0.19	3.43
Mg K	0.58	0.7754	0.76	0.12	0.68
Al K	6.51	0.8779	7.57	0.20	6.12
Si K	30.76	0.8598	36.53	0.50	28.40
K K	6.13	0.9692	6.45	0.19	3.60
Ca K	0.36	0.9159	0.40	0.10	0.22
Ti K	0.31	0.8003	0.40	0.10	0.18
Fe K	2.55	0.8297	3.14	0.20	1.23
Totals			100.00		

9.7. AMOSTRA VII (TR1P-3.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm)

a. Imagens da Amostra VII – Aumento de Magnitude 50x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

As próximas figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra VII em aumento de magnitude 50x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada desta amostra.

Na Ka1 2

Mg Ka1 2

Al Ka1

Si Ka1

K Ka1

Ca Ka1

Cr Ka1

Fe Ka1

b. Imagens da Amostra VII – Aumento de Magnitude 450x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

OBS: Não foram obtidas imagens de concentração de cada elemento para este aumento.

c. Espectros e Microanálises da Amostra VII – Aumento magnitude 50x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise RIP35003-2, RIP35003-6 e RIP35003-9. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• RIP35003-2

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	69.41	1.2693	40.37	0.30	59.46
Na K	0.81	0.6472	0.92	0.09	0.94
Mg K	11.09	0.6287	13.03	0.13	12.63
Al K	6.02	0.6292	7.07	0.10	6.17
Si K	8.36	0.6897	8.96	0.10	7.51
K K	0.96	1.0518	0.68	0.04	0.41
Ti K	0.20	0.9004	0.16	0.04	0.08
Cr K	24.35	0.8803	20.43	0.17	9.26
Fe K	9.47	0.8349	8.38	0.13	3.53
Totals			100.00		

• RIP35003-6

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	6.44	0.7238	32.29	0.87	47.80
Mg K	0.40	0.7988	1.82	0.13	1.77
Al K	3.86	0.8818	15.86	0.31	13.92
Si K	7.41	0.7819	34.32	0.53	28.94
K K	1.01	0.9720	3.77	0.17	2.28
Ca K	0.25	0.9355	0.98	0.14	0.58
Cr K	0.40	0.8507	1.72	0.21	0.78
Mn K	0.25	0.8261	1.09	0.22	0.47
Fe K	1.90	0.8430	8.15	0.34	3.46
Totals			100.00		

- RIP35003-9

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	2.20	1.4506	7.84	0.49	20.52
Mg K	0.16	0.4664	1.74	0.16	2.99
Al K	0.22	0.5866	1.90	0.14	2.95
Si K	0.66	0.7082	4.82	0.18	7.19
Cr K	12.30	0.9836	64.64	0.63	52.06
Mn K	0.48	0.9521	2.59	0.40	1.97
Fe K	2.61	0.8590	15.67	0.42	11.75
Ni K	0.14	0.8864	0.80	0.24	0.57
Totals			100.00		

d. Espectros e Microanálises da Amostra VII – Aumento magnitude 450x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise RIP35006-1, RIP35006-5 e RIP35006-7. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• RIP35006-1

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	9.85	0.9534	54.05	0.86	69.32
Mg K	0.77	0.7118	5.66	0.29	4.78
Al K	0.63	0.7598	4.33	0.26	3.29
Si K	3.72	0.8105	24.00	0.52	17.53
K K	0.24	1.0002	1.26	0.18	0.66
Ca K	0.50	0.9601	2.74	0.21	1.40
Cr K	0.54	0.8345	3.36	0.27	1.32
Fe K	0.73	0.8240	4.61	0.34	1.69
Totals			100.00		

- RIP35006-5

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	9.29	0.9392	56.24	0.76	70.22
Mg K	0.79	0.7327	6.16	0.31	5.06
Al K	2.07	0.7660	15.39	0.40	11.40
Si K	1.65	0.7102	13.20	0.39	9.39
K K	0.32	1.0034	1.79	0.20	0.91
Ca K	0.60	0.9562	3.55	0.23	1.77
Fe K	0.32	0.8292	2.16	0.32	0.77
Cu K	0.21	0.7934	1.50	0.39	0.47
Totals			100.00		

• RIP35006-7

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	54.87	0.8671	51.25	0.29	65.31
Na K	0.24	0.8539	0.23	0.06	0.21
Mg K	0.36	0.7982	0.37	0.05	0.31
Al K	17.04	0.8984	15.37	0.13	11.61
Si K	27.56	0.7875	28.35	0.20	20.58
K K	2.04	0.9692	1.71	0.05	0.89
Ca K	0.45	0.9354	0.39	0.04	0.20
Ti K	0.80	0.8056	0.80	0.05	0.34
Fe K	1.57	0.8248	1.54	0.08	0.56
Totals			100.00		

9.8. AMOSTRA VIII (TR1P-4.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm)

a. Imagens da Amostra VIII – Aumento de Magnitude 50x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

As próximas figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra VII em aumento de magnitude 50x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada desta amostra.

Mq Ka1 2

Al Ka1

Si Ka1

K Ka1

Ca Ka1

Cr Ka1

Fe Ka1

Mn Ka1

b. Espectros e Microanálises da Amostra VIII – Aumento magnitude 50x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise RIP45003-1 e RIP45003-3. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• RIP45003-1

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	18.97	0.7891	31.07	0.49	44.06
Na K	0.65	0.9840	0.85	0.09	0.84
Mg K	16.69	0.8737	24.69	0.23	23.04
Al K	0.50	0.6629	0.97	0.09	0.82
Si K	19.78	0.7614	33.56	0.29	27.11
K K	1.91	0.9584	2.58	0.08	1.50
Ca K	0.18	0.9280	0.25	0.06	0.14
Cr K	0.78	0.8374	1.20	0.09	0.53
Fe K	3.12	0.8348	4.83	0.15	1.96
Totals			100.00		

• RIP45003-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	9.71	0.5967	30.82	0.75	46.49
Mg K	6.00	0.7608	14.93	0.23	14.82
Al K	0.87	0.7006	2.36	0.12	2.11
Si K	11.56	0.7854	27.86	0.36	23.94
K K	0.15	1.0119	0.28	0.08	0.17
Ca K	6.48	0.9711	12.63	0.21	7.61
Cr K	0.75	0.8400	1.69	0.13	0.78
Mn K	0.24	0.8186	0.55	0.13	0.24
Fe K	3.93	0.8370	8.88	0.24	3.84
Totals			100.00		

OBS: Para a amostra VIII não houve aumento na região dos finos, porque nas poucas regiões havia muita sombra, dificultando a obtenção das imagens e análises.

9.9. AMOSTRA IX (TR1P-5.5 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm)

a. Imagens da Amostra IX – Aumento de Magnitude 50x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

As próximas figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra IX em aumento de magnitude 50x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada desta amostra.

Si Ka1

K Ka1

Ca Ka1

Cr Ka1

Fe Ka1

Na Ka1 2

Mg Ka1 2

b. Imagens da Amostra IX – Aumento de Magnitude 450x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

OBS: Não foram obtidas imagens de concentração de cada elemento para este aumento.

c. Espectros e Microanálises da Amostra IX – Aumento magnitude 50x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise 9003-3 e 9003-4. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• 9003-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	12.84	0.6653	35.22	1.17	49.70
Na K	0.38	0.9252	0.75	0.18	0.74
Mg K	7.15	0.8386	15.57	0.41	14.46
Al K	3.04	0.7359	7.53	0.31	6.30
Si K	11.03	0.7619	26.43	0.58	21.24
K K	4.77	0.9842	8.85	0.30	5.11
Ti K	0.74	0.8054	1.67	0.19	0.79
Cr K	0.77	0.8254	1.71	0.21	0.74
Fe K	1.03	0.8308	2.26	0.26	0.91
Totals			100.00		

- 9003-4

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	13.29	0.9554	50.98	1.33	66.06
Mg K	1.83	0.7369	9.11	0.48	7.77
Al K	0.87	0.7394	4.29	0.38	3.30
Si K	5.36	0.7946	24.71	0.79	18.24
K K	0.29	0.9933	1.05	0.24	0.56
Ca K	0.56	0.9571	2.13	0.26	1.10
Cr K	0.85	0.8340	3.74	0.39	1.49
Fe K	0.90	0.8246	3.98	0.47	1.48
Totals			100.00		

d. Espectros e Microanálises da Amostra IX – Aumento magnitude 450x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise 9006-3 e 9006-4. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• 9006-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	2.17	1.0752	56.08	3.22	71.04
Mg K	0.07	0.6983	2.77	0.75	2.31
Al K	0.07	0.7860	2.32	0.71	1.74
Si K	0.93	0.8516	30.29	2.29	21.86
Cr K	0.09	0.8343	3.11	1.01	1.21
Fe K	0.07	0.8318	2.39	1.23	0.87
Cu K	0.09	0.7936	3.03	2.30	0.97
Totals			100.00		

• 9006-4

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	71.77	1.2194	49.76	0.51	70.03
Mg K	0.28	0.5755	0.41	0.12	0.38
Al K	6.15	0.6991	7.43	0.18	6.20
Si K	13.31	0.7410	15.18	0.25	12.17
P K	0.56	0.9833	0.49	0.10	0.35
K K	0.27	1.0330	0.22	0.07	0.13
Ca K	0.20	1.0039	0.17	0.06	0.09
Ti K	0.35	0.8750	0.34	0.08	0.16
Fe K	26.42	0.8589	26.01	0.38	10.49
Totals			100.00		

9.10. AMOSTRA X (TR1P-6.0 – Mistura do pó das frações retidas nas aberturas 0,5mm, 0,35mm, 0,25mm e 0,18mm)

a. Imagens da Amostra X – Aumento de Magnitude 50x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

As próximas figuras exibem a concentração de cada elemento na Amostra X em aumento de magnitude 50x e foram obtidas a partir da imagem retroespalhada desta amostra.

Mg Ka1 2

Al Ka1

Si Ka1

K Ka1

Ca Ka1

Cr Ka1

Fe Ka1

Ti Ka1

Mn Ka1

b. Imagens da Amostra X – Aumento de Magnitude 450x

- Mapeamento Eletrosecundário

- Imagem Retroespalhada

- Obtenção de Espectros a partir da Retroespalhada

OBS: Não foram obtidas imagens de concentração de cada elemento para este aumento.

c. Espectros e Microanálises da Amostra X – Aumento magnitude 50x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise 10003-2, 10003-4 e 10003-12. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

• 10003-2

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	33.50	0.8973	42.20	0.48	56.44
Na K	0.86	0.8672	1.12	0.10	1.05
Mg K	13.28	0.7894	19.02	0.22	16.74
Al K	0.78	0.6711	1.31	0.09	1.04
Si K	18.55	0.7661	27.37	0.28	20.85
K K	1.52	0.9756	1.76	0.08	0.96
Ca K	0.78	0.9420	0.93	0.07	0.50
Cr K	0.52	0.8384	0.70	0.08	0.29
Fe K	4.10	0.8313	5.58	0.16	2.14
Totals			100.00		

• 10003-4

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	37.93	0.8738	44.60	0.33	58.20
Na K	0.93	0.9553	1.00	0.08	0.91
Mg K	1.51	0.8608	1.81	0.08	1.55
Al K	36.24	0.9187	40.53	0.27	31.36
Si K	4.55	0.5952	7.86	0.14	5.84
S K	0.13	0.7301	0.18	0.06	0.12
K K	2.09	0.9793	2.20	0.07	1.17
Ca K	1.01	0.9414	1.11	0.06	0.58
Fe K	0.59	0.8330	0.73	0.09	0.27
Totals			100.00		

• 10003-12

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	4.67	0.4286	24.81	1.03	43.62
Mg K	2.08	0.6333	7.49	0.20	8.67
Al K	0.16	0.6884	0.55	0.09	0.57
Si K	5.00	0.8022	14.18	0.28	14.20
Ca K	14.04	1.0452	30.57	0.49	21.46
Ti K	0.12	0.8045	0.34	0.11	0.20
Mn K	7.44	0.8282	20.44	0.42	10.47
Fe K	0.61	0.8536	1.62	0.23	0.82
Totals			100.00		

d. Espectros e Microanálises da Amostra X – Aumento magnitude 450x

Os espectros e as microanálises apresentados neste item correspondem aos pontos de análise 10006-1, 10006-3, 10006-6 e 10006-9. Somente são apresentados estes, pois com eles são contemplados todos os elementos que aparecem nesta amostra.

- 10006-1

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	4.10	0.7430	27.60	0.87	42.02
Na K	0.10	0.8691	0.60	0.19	0.64
Mg K	0.99	0.8025	6.17	0.26	6.18
Al K	1.68	0.8285	10.10	0.31	9.12
Si K	6.47	0.8040	40.21	0.62	34.88
K K	0.46	0.9608	2.41	0.18	1.50
Mn K	0.51	0.8302	3.08	0.28	1.36
Fe K	1.67	0.8499	9.83	0.42	4.29
Totals			100.00		

• 10006-3

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	35.42	1.4147	28.60	0.39	50.53
Mg K	3.87	0.5443	8.11	0.16	9.43
Al K	6.17	0.6075	11.60	0.17	12.15
Si K	0.59	0.6467	1.03	0.08	1.04
Cr K	26.50	0.9335	32.42	0.28	17.63
Fe K	13.38	0.8539	17.89	0.24	9.05
Ni K	0.26	0.8613	0.35	0.12	0.17
Totals			100.00		

- 10006-6

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	26.40	0.9410	56.33	0.59	69.87
Mg K	1.93	0.7594	5.11	0.17	4.18
Al K	1.20	0.8034	3.00	0.14	2.21
Si K	12.94	0.8549	30.40	0.43	21.48
Cl K	0.11	0.6917	0.32	0.09	0.18
K K	0.45	0.9748	0.92	0.09	0.47
Ca K	0.72	0.9403	1.53	0.10	0.76
Cr K	0.20	0.8199	0.50	0.11	0.19
Fe K	0.77	0.8198	1.88	0.16	0.67
Totals			100.00		

• 10006-9

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	13.28	0.5416	35.60	0.57	64.14
Mg K	1.37	0.7970	2.50	0.10	2.97
Al K	1.17	0.8815	1.93	0.10	2.07
Si K	10.35	0.9320	16.13	0.25	16.56
K K	0.27	0.9057	0.43	0.08	0.32
Fe K	1.36	0.8966	2.20	0.15	1.14
Sr L	1.23	0.8510	2.09	0.44	0.69
Zr L	18.21	0.7033	37.59	0.52	11.88
Hf L	0.76	0.7260	1.52	0.45	0.25
Totals			100.00		