



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DA USINA DE
BENEFICIAMENTO DE FE E SI, VÁRZEA DA PALMA, MG, BRASIL –
DISTRIBUIÇÃO E TRANSPORTE DOS CONTAMINANTES.

AUTORA: Leidiane Luiza Braga

ORIENTAÇÃO: Adolf Heinrich Horn

BELO HORIZONTE
2007

Avaliação do impacto ambiental da usina de beneficiamento de minério de Fe e Si, Várzea da Palma, MG, Brasil – Distribuição e transporte dos contaminantes.

por

Leidiane Luiza Braga

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA -GEOQUÍMICA AMBIENTAL

Orientador: Adolf Heinrich Horn

Braga, L.L. 2007. Avaliação e impacto ambiental..... Dissertação de Mestrado, IGC-UFMG. 82p.

Este trabalho foi defendido em dez de 2007, e é parte integrante do curso de Pós Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais, sendo pré-requisito parcial para obtenção do título de mestre em geologia com ênfase em geologia aplicada

DEZEMBRO / 2007

BELO HORIZONTE – MG

“Devem os alunos ser habituados a resolverem problemas
cujas soluções dependem das teorias expostas no curso,
de modo a desenvolver neles o espírito inventivo sem o qual
haverá esterilidade na ciência. Não conheço melhor ginástica intelectual
que esta para ensinar aos alunos a raciocinar e habituar o espírito a pesquisas.
É bom, sem dúvida, conhecer-se tudo o que produziram os grandes homens
dos outros povos; porém muito melhor é saber servir-se
do que eles fizeram para fazer novas descobertas...
Este espírito inventivo é adquirido desde a infância, nos bancos de colégios e escolas”.

Claude Henri Gorceix

Fundador da Escola de Minas de Ouro Preto

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a Deus por me dar força e ânimo quando se tornava difícil à relação trabalho-estudo e nas dificuldades do dia-a-dia.

Aos meus familiares, pais e irmãos, que sempre incentivaram e me apoiaram.

Ao grande mestre e orientador Dr. Adolf Heinrich Horn, pelas discussões, orientações e amizade.

À escola pública e de qualidade, em especial a Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade do aprendizado.

A todos aqueles que direta ou indiretamente me auxiliaram nesta pesquisa, todo o meu amor e carinho, em especial Wallace e Elizêne e meu irmão José pelo auxílio no campo, Alessandro Medeiros e Silvânia pela revisão do texto e Douglas Rodrigues pela ajuda no Cad.

Gostaria de agradecer pelo apoio financeiro a empresa Georadar Levantamentos Geofísicos, principalmente Celso Magalhães pelo incentivo à pesquisa.

E por fim, ao planeta Terra, pelas maravilhas que todos os dias somos dispostos...

Geólogos se divertem muito mais!!

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	ii
Lista de Figuras.....	v
Lista de Tabelas.....	vii
Resumo.....	viii
Abstract.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação da área de estudo	1
1.1.1. Histórico.....	1
1.1.2. Dados Econômicos.....	1
1.1.3. Área de pesquisa	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Localização e vias de acesso	3
1.4. O processo de produção Fe-ligas	5
1.5. Poluição.....	6
1.5.1. Poluição atmosférica	6
1.5.2. Contaminação do solo e dos sedimentos superficiais	8
1.6. Metais Pesados e seus efeitos.....	9
1.7. Legislação Ambiental	12
1.7.1. Definição e histórico	12
1.7.2. Listas de valores limites.....	14
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA	19
2.1. Geologia Regional.....	19
2.2. Geologia Local.....	21
2.2.1. Introdução	21
2.2.2. Litoestratigrafia	24
2.3. Aspectos Fisiográficos	26
2.3.1. Solo	26
2.3.2. Geomorfologia	28
2.3.3. Clima.....	28
3. PROCESSOS DE CONTAMINAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - CONTEXTO FÍSICO.....	32
3.1. Introdução	32
3.2. Descrição das atividades poluidoras	32
3.3. Comportamento dos metais pesados no solo	33
4. METODOLOGIA	36
4.1. Trabalho e campo e amostragem	36
4.1.1. Amostragem	36
4.1.2. Transporte	36
4.2. Trabalho em laboratório.....	37
4.2.1. Preparação	37
4.2.2. Analítica Química	37
4.2.3. Determinação Mineralógica.....	39
4.3. Tratamento dos dados	40
5. RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	41
5.1. Dados obtidos.....	41

5.1.1. Determinação das concentrações naturais – <i>background</i> dos elementos analisados para área pesquisada	46
5.2. Representação gráfica dos dados	47
5.2.1. Vanádio	47
5.2.2. Cromo.....	48
5.2.3. Manganês	49
5.2.4. Ferro Total.....	50
5.2.5. Níquel.....	50
5.2.6. Cobre.....	51
5.2.7. Zinco	51
5.2.8. Cádmio	52
5.2.9. Bário.....	53
5.2.10. Chumbo.....	54
5.2.11. Antimônio	54
5.2.12. Berílio.....	55
5.2.14. Análise da fumaça.....	55
5.3. Distribuição dos elementos analisados na área de estudo.....	56
5.3.1. Vanádio	56
5.3.2. Cromo.....	57
5.3.2. Manganês	59
5.3.3. Ferro	60
5.3.4. Níquel.....	62
5.3.5. Cobre.....	62
5.3.6. Zinco	63
5.3.7. Cádmio	64
5.3.8. Bário.....	66
5.3.9. Chumbo.....	67
5.3.10. Antimônio	68
5.3.11. Berílio.....	69
5.3.12. Alumínio e Magnésio.....	69
5.3.13. Silício	70
6. DISCUSSÃO DOS DADOS.....	72
7. CONCLUSÃO	74
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
7.1. Bibliografia não citada	80

ANEXO I – TABELAS COM RESULTADOS GEOQUÍMICOS DAS AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA PESQUISADA.

ANEXO II – RESULTADOS DE DIFRATOMETRIA E ESPETCTROMETRIA DE RAIOS X.

ANEXO III – COORDENADAS DOS PONTOS AMOSTRADOS E FOTOS DA ÁREA PESQUISADA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Usina para produção de Si e ferro-ligas, foto tirada da BR-496.....	2
Figura 1.2 – Localização do município de Várzea da Palma, no Estado de Minas Gerais.....	4
Figura 1.3 – Mapa rodoviário da região pesquisada mostrando acesso por Pirapora e Corinto.....	4
Figura 1.4 – Organograma do processo de produção Fe-ligas.....	5
Figura 1.5 – Propagação dos efeitos da poluição no meio físico e na biota.....	7
Figura 1.6 – Fornos artesanais para produção de carvão vegetal, localizados na porção nordeste e sudoeste da área.....	11
Figura 2.1 – Cráton São Francisco de acordo com o mapa geológico do Brasil – CPRM.....	20
Figura 2.2 – Depósito quaternário aluvionar existente na área.....	21
Figura 2.3 – Pelitos da Fm. Três Marias do Grupo Bambuí subjacentes aos depósitos quaternários da área pesquisada.....	22
Figura 2.4 – Contato geológico entre pelitos da Formação Três Marias e depósitos quaternários da área.....	22
Figura 2.5 – Mapa geológico da área pesquisada.	23
Figura 2.6 – Visão geral da área, em direção ENE.....	25
Figura 2.7 – A Fotografia mostra o solo da área classificado como Latossolo vermelho-amarelado.....	27
Figura 2.8 – Perfil típico de desenvolvimento de um solo compatível ao da região estudada.....	28
Figura 2.9 – Visualização do mapa da área em 3D.....	30
Figura 2.10 – Mapa topográfico da área pesquisada.....	31
Figura 3.1 – Visão esquemática de Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e suas implicações práticas.....	34
Figura 5.1 – Histograma da composição química da amostra 340, em duas frações granulométricas.....	44
Figura 5.2 – Histograma da composição química da amostra 342, em duas frações granulométricas.....	44
Figura 5.3 – Histograma da composição química da amostra 348, em duas frações granulométricas.....	45

Figura 5.4 – Histograma da composição química da amostra 353, em duas frações granulométricas.....	45
Figura 5.5 – Histograma da composição química da amostra 357, em duas frações granulométricas.....	46
Figura 5.6 – Distribuição dos valores das concentrações de Vanádio.....	48
Figura 5.7 – Distribuição dos valores das concentrações de Cromo.....	49
Figura 5.8 – Distribuição dos valores das concentrações de Manganês.....	49
Figura 5.9 – Distribuição dos valores das concentrações de Ferro Total.....	50
Figura 5.10 – Distribuição dos valores das concentrações de Níquel.....	51
Figura 5.11 – Distribuição dos valores das concentrações de Cobre.....	51
Figura 5.12 – Distribuição dos valores das concentrações de Zinco.....	52
Figura 5.13 – Distribuição dos valores das concentrações de Cádmio.....	53
Figura 5.14 – Distribuição dos valores das concentrações de Bário.....	53
Figura 5.15 – Distribuição dos valores das concentrações de Chumbo.....	54
Figura 5.16 – Distribuição dos valores das concentrações de Antimônio.....	55
Figura 5.17 – Distribuição dos valores das concentrações de Berílio.....	55
Figura 5.18 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Vanádio.....	57
Figura 5.19 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Cromo.....	58
Figura 5.20 – Gráfico de distribuição do Cromo lixiviado.....	59
Figura 5.21 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Manganês.....	59
Figura 5.22 – Gráfico de distribuição do Manganês lixiviado.....	60
Figura 5.23 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Ferro Total.....	61
Figura 5.24 – Gráfico de distribuição do Ferro lixiviado.....	61
Figura 5.25 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Níquel.....	62
Figura 5.26 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Cobre.....	63
Figura 5.27 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Zinco.....	64
Figura 5.28 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Cádmio.....	65
Figura 5.29 – Gráfico de distribuição do Cádmio lixiviado.....	65

Figura 5.30 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Bário.....	66
Figura 5.31 – Gráfico de distribuição do Bário lixiviado.....	67
Figura 5.32 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Chumbo.....	68
Figura 5.33 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Antimônio.....	68
Figura 5.34 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Berílio.....	69
Figura 5.35 – Gráfico de distribuição do alumínio lixiviado.....	70
Figura 5.36 – Gráfico de distribuição do Magnésio lixiviado.....	70
Figura 5.37 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Silício.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Classificação dos poluentes atmosféricos.....	7
Tabela 1.2 – Elementos selecionados , suas fontes e impactos ao meio ambiente e à saúde humana.....	10
Tabela 1.3 – Legislação do Solo.....	18
Tabela 2.1 – Coluna Estratigráfica da área pesquisada.....	24
Tabela 3.1 – Mobilidade de alguns elementos químicos em relação às condições ambientais.....	35
Tabela 4.1 – Linhas de emissão óptica.....	38
Tabela 5.1 – Resultados de EDX da amostra 340.....	41
Tabela 5.2 – Resultados de EDX da amostra 342.....	42
Tabela 5.3 – Resultados de EDX da amostra 348.....	42
Tabela 5.4 – Resultados de EDX da amostra 353.....	43
Tabela 5.5 – Resultados de EDX da amostra 357.....	43
Tabela 5.6 – Comparação entre os valores mínimos e máximos encontrados de alguns metais para área pesquisada.....	47
Tabela 5.7 – Resultados da análise do material que sai da chaminé da fábrica na área estudada.....	56

RESUMO

Nas últimas décadas, a preocupação com o meio ambiente tornou-se sinônimo de qualidade de vida. Dentro deste contexto, estão os metais pesados, muitas vezes vilões, emitidos freqüentemente para atmosfera, sem qualquer preocupação com o meio ambiente. Este trabalho apresenta resultados de análises geoquímicas realizadas em uma área próxima as atividades impactantes como siderúrgica e carvoeiras, localizadas no município de Várzea da Palma –MG, e teve como objetivo mostrar as correlações destas atividades com a distribuição dos metais analisados no solo subsuperficial (<20cm). Os solos desenvolveram-se sobre depósitos Quaternários e pelitos da Formação Três Marias – Grupo Bambuí. Os dados de difratometria e espectrometria de raios-X contribuíram para tratar mineralogicamente o meio físico e os resultados geoquímicos serviram de base para todo o estudo, como na correlação com gráficos de distribuição dos metais e na confecção de mapas de concentração, comparando os resultados com listas orientadoras de referência, por exemplo CETESB (2005). Os resultados adquiridos mostraram preferencialmente uma tendência de aumento nas concentrações dos metais na direção N/NW e também na direção NE, mostrando compatibilidade entre as anomalias detectadas e as atividades antrópicas desenvolvidas no local como a siderúrgica e as carvoeiras que contribuem para o aumento destas concentrações

Palavras Chaves: Metais pesados, siderúrgica, carvoeiras, Várzea da Palma.

ABSTRACT

In the last decades environmental questions are becoming critical issues for the life quality and inside this context, heavy metals are villains in materials emitted to the atmosphere. This work presents the geochemical analysis in a study area in the influence area of siderurgical and coal productive unities located in the municipality of Várzea da Palma-MG. The main objective is to demonstrate the correlations between these activities and the distribution of chemical contaminants in the superficial soil (<20cm). These soils have been developed overlaying the Quaternary Deposits and pelites of Três Marias Formation (Group Bambuí). Diffraction and X-Ray spectrometry are applied to understand and quantify the physical environment according to their mineralogy, also by concentration maps and comparisons against orientation standards lists, such as Cetesb (2005). The acquired results demonstrate preferentially a trend of concentration of the metals in N/NW direction, also some component on NE direction, showing compatibility between detected anomalies and anthropic activities developed in the siderurgical and coal production unities, which also contributes to the concentration increase in these areas.

Keywords: Heavy metals, siderurgical, coal, Várzea da Palma.

1.1. Apresentação da área de estudo

1.1.1. Histórico

A área estudada está situada em uma região semi-árida, economicamente carente, onde o antigo povoado de Palma Velha era um amontoado de ranchos que serviam de acampamento para tropeiros vindos de diversas regiões, rumo a Curvelo.

Com a construção da estrada de ferro Central do Brasil, em 1910, o povoado passou a se chamar Várzea da Palma. Ao redor da estação Central, moradores das cidades vizinhas foram se aglomerando, atraídos pelo comércio e movimentação da nova ferrovia, aumentando o povoado. Custódio Fernandes Sampaio, considerado o fundador da cidade, foi quem doou parte de suas terras para a construção da igreja matriz e, em sua fazenda, formou-se o povoado.

Em 1948, Várzea da Palma é elevada a distrito e torna-se município em 1953. A cidade tem como atrativo turístico a Igreja de Pedra da Barra do Guaicuí, monumento histórico em ruínas do séc. XVIII, à margem do rio das Velhas. Com uma imponente árvore subindo por suas paredes, a igreja ficou com sua construção incompleta por razões desconhecidas. Segundo a lenda, o corpo do bandeirante Fernão Dias Paes encontra-se enterrado ao lado dessa igreja (Fonte: www.cnecmg.org.br/cidades).

1.1.2. Dados Econômicos

A renda municipal era quase que exclusivamente voltada para atividades agropecuárias, porém a partir de 1967, o governo federal começou a investir na expansão das indústrias siderúrgica e de celulose, implementando uma arrojada política de incentivos fiscais e subsídios a programas de reflorestamento, o que contribuiu para um crescimento exponencial das áreas de plantio como a monocultura de eucalipto no país, superando inclusive culturas tradicionais como as de arroz, feijão e café. Isto foi facilitado pela instalação da represa de Três Marias, fornecedora de energia elétrica para estes processos e pela produção de carvão vegetal na região.

Segundo dados oficiais, em Minas Gerais essas áreas passaram de 62 mil hectares, em 1967, para quase 2 milhões em 1982. Nos anos 70 é criado o pólo siderúrgico do oeste e norte de Minas, abrangendo os municípios de Sete Lagoas, Divinópolis, Pirapora e Várzea da Palma, entre outros. A maioria localizados em áreas de Cerrado. Nos anos 80, o Estado de Minas Gerais se tornou o maior pólo siderúrgico a carvão vegetal do mundo.

1.1.3. Área de pesquisa

A área aqui investigada circunda a Rima Industrial que se implantou no município em 1987, e é uma empresa de comercialização e produção de ligas a base de silício, desenvolvendo no município diversos produtos como silício metálico e ferro-silício 75%, utilizando em seu processo a queima de carvão vegetal. Esta queima gera calor e gases redutores (CO), o que permite a redução dos óxidos de ferro e a produção de uma massa sólida (ou pastosa) de ferro com baixo teor de carbono, além de escórias.

A usina lança para a atmosfera através de suas chaminés (Figura 1.1) materiais particulados, de estruturas cristalinas amorfa, que apesar de não causarem silicose, lançam diretamente para atmosfera vários compostos, os quais geram reações químicas diversas, que somadas a ações dos ventos aumentam o raio de influência direta destas partículas, que não só altera o ar atmosférico como também podem alcançar o solo subsuperficial.



Figura 1.1 – Usina para produção de silício e ferro-ligas. São visíveis os fornos de fusão elétrica, as chaminés e aparelhos para resfriamento e lavagem do gás liberado. Foto tirada da BR-496 na direção leste.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste estudo é avaliar o impacto ambiental dos produtos emitidos pela fábrica de ferro-ligas (Fe-Si), sobre o solo da região de Várzea da Palma – MG, que fica sob a

influência direta das emissões de poluentes pelo ar e indiretamente pelo uso de água subterrânea e uso agrícola.

O objetivo específico consta:

- Determinar a distribuição das concentrações de metais pesados nos solos da área ao redor da fábrica selecionada;
- Apontar os lugares com as maiores concentrações na distribuição superficial;
- Verificar os fatores controladores para esta distribuição como direção e força dos ventos, intensidade das chuvas, composição do subsolo etc.;
- Correlacionar os metais com alguma correspondência entre si;
- Comparar os resultados analíticos dos metais encontrados (Tabela I.1 no Anexo I) com a lista de valores orientadores da CETESB 2005 (Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo), de modo a saber se há ou não concentrações acima do limite de intervenção estabelecido por esta lista;
- Determinar se há compatibilidade da distribuição dos metais encontrados com o empreendimento, no caso, a fábrica de ferro-ligas.

1.3. Localização e vias de acesso

A área de estudo localiza-se no município de Várzea da Palma (Figura 1.2) inserida na microrregião Norte do Estado de Minas Gerais, entre a margem direita da zona do Alto Médio São Francisco e a margem esquerda do Rio das Velhas (Figura 1.3), próximo à confluência deste dois grandes rios. A região é delimitada pelas coordenadas 520000E/8602000N e 532000E/8052000N e se dista 355 Km da capital mineira, Belo Horizonte.



Figura 1.2 – Localização do município de Várzea da Palma, no Estado de Minas Gerais. (Fonte: www.wikipedia.org, acesso em mar/2007).

O acesso a área é feito pelas rodovias federais BR-040, BR135 e BR496, somando um total de 316 km de rodovia pavimentada. A partir deste trajeto é necessário para ingressar na área a utilização de estradas não pavimentadas, em todo entorno da fábrica que se localiza no KM 103 da BR-496.

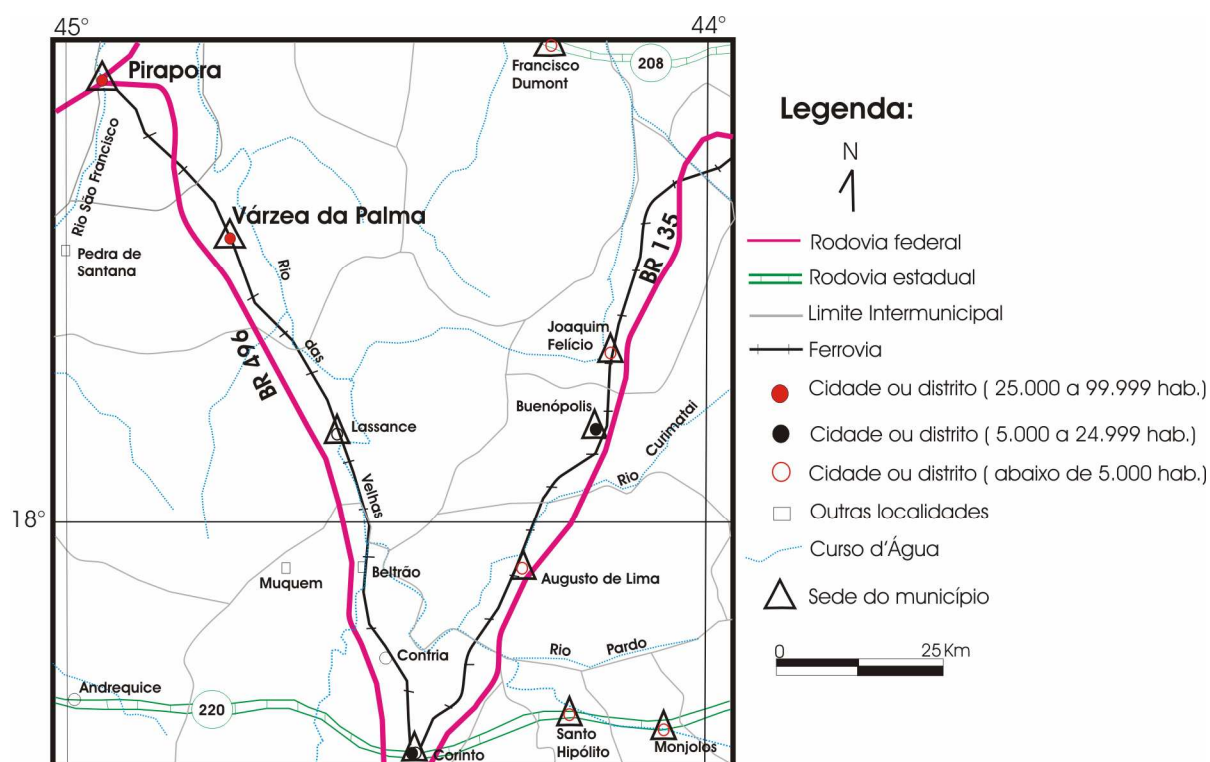


Figura 1.3 – Mapa rodoviário da região mostrando acesso por Pirapora ou Corinto. A área pesquisada localiza-se a 1km do município de Várzea da Palma. (Fonte: DNER).

1.4. O processo de produção Fe-ligas

No processo de fabricação de ferro-ligas nesta siderúrgica são utilizados como matéria-prima, minerais como barita, quartzo, carepa (resíduos de ferro com teor acima de 90%), calcário e também carvão vegetal para manter os altos fornos. Inicialmente é realizada análise visual, granulométrica e química destes minerais, que após o processo metalúrgico são transformados em ligas, utilizando uma mistura para cada produto final objetivado.

A Figura 1.4 mostra o organograma esquemático do processo e produção de ferro-ligas:

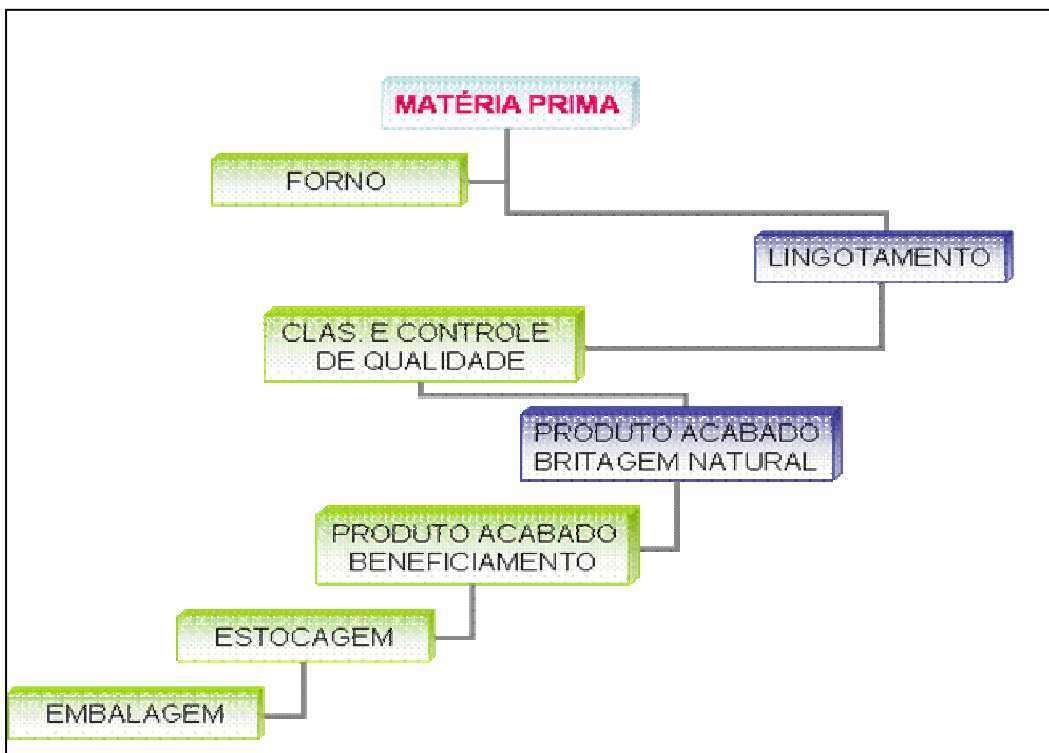
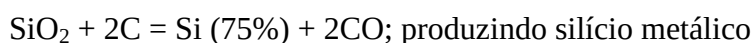
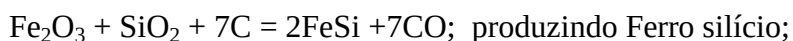


Figura 1.4 – Organograma do processo de produção Fe-ligas.

Conforme mostra o organograma depois que a matéria prima vai ao forno e se torna líquida, são feitos lingotes, que vão para o sistema de britagem. No britador de mandíbula há a primeira redução, que segue para uma outra peneira para classificar o material, novamente de acordo com o tamanho. Na terceira peneira há três correias transportadoras com 3 faixas granulométricas que geram o produto final para comercialização, 70% é exportado (Japão, Itália, Argentina, etc) e os outros 30% vendido ao mercado interno.

A reação deste processo se baseia nas seguintes equações químicas:



Depois de todo o processo 78 tipos de resíduos são gerados, como:

- Cascas e finos de madeira;
- Espumas;
- Lonas plásticas danificadas;
- Finos de Fe-Si-Mg;
- Escórias;
- Particulados de chaminé;
- Etc.

Estes resíduos são classificados de acordo com a Norma técnica NBR 10004/1987, como: I- perigosos; II- Não inerte; III- inerte, depois desta classificação é dado algum destino como estocagem no pátio de resíduos para reciclagem, venda como subproduto ou doação.

1.5. Poluição

A definição de poluição pode ser dada conforme dispõe a Lei n.º 6.938/81 como a “degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

1.5.1. Poluição atmosférica

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade “(Resolução Conama nº 03/90)”.

Vários são os poluentes presentes na atmosfera que prejudicam a saúde humana, dentre eles podem ser citados um grupo universalmente consagrados como indicadores da qualidade do ar: Dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), oxidantes fotoquímicos expressos como ozônio (O₃), partículas em suspensão, hidrocarbonetos totais e óxidos de nitrogênio (NO_x).

Assim conclui-se que os efeitos da poluição ambiental são complexos e difusos, suas conseqüências, além de disseminadas, podem ser também cumulativas e crônicas, tornando mais complexo a ação de despoluir. Uma fonte poluidora exerce efeitos de diferentes dimensões sobre a

biosfera e a biota, atingindo conseqüentemente o ciclo solo-ar-água (Figura 1.5) e afetando tanto a vegetação, microorganismos quanto à vida animal e os seres humanos.

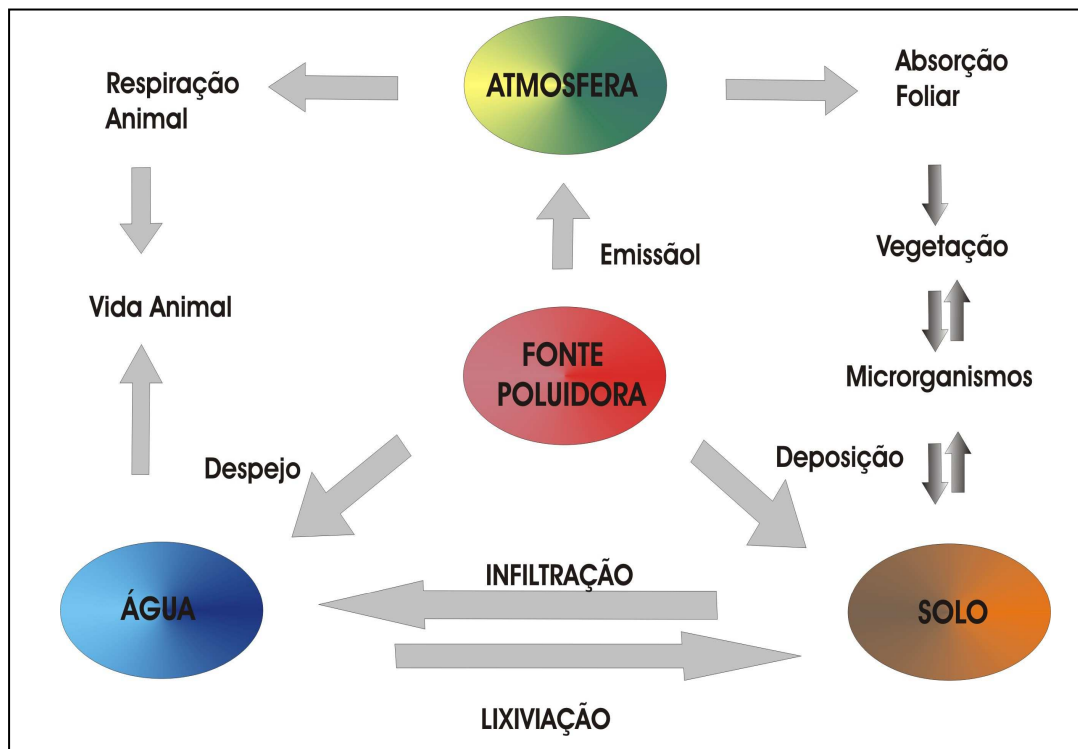


Figura 1.5 – Propagação dos efeitos da poluição no meio físico e na biota. (Adaptada de Valle, 1995).

A poluição atmosférica causada pela indústria de produção de fe-ligas em altos fornos a carvão vegetal é considerável. As fontes de emissões estão presentes em todas as etapas de produção, desde o recebimento e preparo das matérias-primas até a estocagem e expedição dos produtos, subprodutos e resíduos. A indústria, no caso do presente estudo, fonte poluidora, lança para a atmosfera poluentes primários, que são aqueles emitidos diretamente pelas chaminés, no qual por sua vez gera os poluentes secundários, formados na atmosfera por reações químicas diversas entre os poluentes primários e componentes naturais da atmosfera (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 – Classificação dos poluentes atmosféricos. (Fonte: Assunção, 1998)

CLASSIFICAÇÃO	EXEMPLOS
MATERIAL PARTICULADO	Poeiras, fumos, fumaça
GASES E VAPORES	CO, CO ₂ , SO ₂ , O ₃ , NO ₃ , HC, NH ₃ , cloro, H ₂ S.
POLUENTES PRIMÁRIOS	CO, SO ₂ , cloro, NH ₃ , H ₂ S, CH ₄

POLUENTES SECUNDÁRIOS	O ₃ , aldeídos, sulfatos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos
POLUENTES ORGÂNICOS	HC, aldeídos, ácidos orgânicos, partículas orgânicas
POLUENTES INORGÂNICOS	CO, CO ₂ , cloro, SO ₂ , NO _x , poeira mineral, névoas ácidas e alcalinas
COMPOSTOS DE ENXOFRE	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, sulfatos
COMPOSTOS NITROGENADOS	NO, NO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ , nitratos
CARBONATOS ORGÂNICOS	HC, aldeídos, álcoois
COMPOSTOS HALOGENADOS	HCL, HF, CFC, cloretos, fluoretos
ÓXIDOS DE CARBONO	CO, CO ₂ .

As emissões de material particulado, gerado no preparo de matérias-primas, são especialmente importantes nas áreas de processamento do carvão vegetal (transporte, descarga, peneiramento, estocagem e pesagem). O manuseio do carvão vegetal, em função da sua alta friabilidade, produz uma grande quantidade de finos, cuja densidade e granulometria contribuem para sua dispersão na atmosfera. A emissão de poeiras inicia-se com a movimentação de caminhões durante a transferência de carvão no pátio até as tremonhas de recebimento e também durante o transporte de resíduos dos pátios para outras áreas afins. A queima do gás por sua vez, libera para atmosfera, material particulado e dióxido de carbono, conforme mostra a Tabela 1.1.

1.5.2. Contaminação do solo e dos sedimentos superficiais

A poluição do solo é definida como a adição ao solo, de materiais que podem modificar qualitativa e quantitativamente as suas características naturais e utilizações. A maioria dos resíduos sólidos provenientes de aglomerados urbanos (lixo, esgoto) e de atividades industriais e agrícolas, ainda é depositada no solo sem qualquer controle e tratamento.

Estes materiais contaminam facilmente solo e lençóis freáticos, além de produzirem gases tóxicos, que também provocam efeitos ambientais graves, como chuva ácida e efeito estufa.

Com todos esses efluentes lançados a partir de fontes estacionárias, como já dito anteriormente, no item poluição atmosférica, será abordada nesta dissertação a possibilidade destes poluentes atingir o solo e alterar as concentrações naturais dos metais dispersos próximo à área da fábrica.

1.6. Metais Pesados e seus efeitos

O termo metal pesado se refere a uma classe de elementos químicos com peso específico maior que 5g.cm^3 ou com o número atômico maior que 20, situados perto da parte inferior da Tabela Periódica.

Acredita-se que os metais talvez sejam os agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem. Há aproximadamente 5.000 anos a.C., grandes quantidades de chumbo eram obtidas de minérios, como subproduto da fusão da prata e isso provavelmente tenha sido o início da utilização desse metal pelo homem.

Os metais pesados diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados nem destruídos pelo homem. A atividade industrial diminui significativamente a permanência desses metais nos minérios, bem como a produção de novos compostos, além de alterar a distribuição desses elementos no planeta.

A presença de metais muitas vezes está associada à localização geográfica, seja na água ou no solo, e pode ser controlada, limitando o uso de produtos agrícolas e proibindo a produção de alimentos em solos contaminados com metais pesados. Todas as formas de vida são afetadas pela presença de metais dependendo da dose e da forma química. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações e podem danificar sistemas biológicos.

Os metais são classificados em: (1) elementos essenciais: sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel e magnésio; (2) micro-contaminantes ambientais: arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio, titânio, estanho e tungstênio; (3) elementos essenciais e simultaneamente micro-contaminantes: cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel. A manifestação dos efeitos tóxicos está associada à dose e pode distribuir-se por todo o organismo, afetando vários órgãos, alterando os processos bioquímicos, organelas e membranas celulares.

Cada um dos metais pesados causa intoxicações que provocam diversos sintomas com quadro clínico específico. A Tabela 1.2 sintetiza alguns metais com suas principais fontes e impactos à saúde e meio ambiente:

Tabela 1.2 – Elementos selecionados, suas fontes e impactos ao meio ambiente e à saúde humana. (Fonte: <http://www.recicloteca.org.br>)

Metal	Fontes Principais	Impactos na saúde e no meio ambiente
Chumbo	- indústria de baterias automotivas, chapas de metal semi-acabado, canos de metal, aditivos em gasolina, munição. - indústria de reciclagem de sucata de baterias automotivas para reutilização de chumbo	- prejudicial ao cérebro e ao sistema nervoso em geral - afeta o sangue, rins, sistema digestivo e reprodutor ¹ - eleva a pressão arterial agente teratogênico (que acarreta mutação genética)
Cádmio	- fundição e refinação de metais como zinco, chumbo e cobre; - derivados de cádmio são utilizados em pigmentos e pinturas, baterias, processos de galvanoplastia, solda, acumuladores, estabilizadores de PVC, reatores nucleares, tabaco.	É comprovadamente um agente cancerígeno, teratogênico e pode causar danos ao sistema reprodutivo e lesão nos rins.
Mercúrio	- mineração e o uso de derivados na indústria e na agricultura - células de eletrólise do sal para produção de cloro. - lâmpadas fluorescentes.	- Intoxicação aguda: efeitos corrosivos violentos na pele e nas membranas da mucosa, náuseas violentas, vômito, dor abdominal, diarreia com sangue, danos aos rins e morte em um período aproximado de 10 dias. - Intoxicação crônica: sintomas neurológicos, tremores, vertigens, irritabilidade e depressão, associados a salivação, estomatite e diarreia; descoordenação motora progressiva, perda de visão e audição e deterioração mental decorrente de uma neuroencefalopatia tóxica, na qual as células nervosas do cérebro e do córtex cerebral são seletivamente envolvidas.
Alumínio	Produção de artefatos de alumínio; serralheria; soldagem de medicamentos (antiácidos) e tratamento convencional de água.	Anemia por deficiência de ferro; intoxicação crônica
Arsênio	Metalurgia; manufatura de vidros e fundição	Câncer (seios paranasais)
Cobalto	Preparo de ferramentas de corte e furadoras	Fibrose pulmonar (endurecimento do pulmão) que pode levar à morte
Cromo	Indústrias de corantes, esmaltes, tintas, ligas com aço e níquel; cromagem de metais	Asma (bronquite); câncer
Fósforo amarelo	Veneno para baratas; rodenticidas (tipo de inseticida usado na lavoura) e fogos de artifício.	Náuseas; gastrite; odor de alho; fezes e vômitos fosforescentes; dor muscular; torpor; choque; coma e até morte
Chumbo	Fabricação e reciclagem de baterias de autos; indústria de tintas; pintura em cerâmica; soldagem	Saturnismo (cólicas abdominais, tremores, fraqueza muscular, lesão renal e cerebral)
Níquel	Baterias; aramados; fundição e niquelagem de metais; refinarias	Câncer de pulmão e seios paranasais
Fumos metálicos	Vapores (de cobre, cádmio, ferro, manganês, níquel e zinco) da soldagem industrial ou da galvanização de metais.	Febre dos fumos metálicos (febre, tosse, cansaço e dores musculares) - parecido com pneumonia.

Para que os metais pesados indiquem poluição é necessário saber se o teor encontrado supera a concentração em relação à média da região, pois as rochas mobilizam gradualmente, durante o intemperismo, uma parcela de metais que fazem parte de sua composição natural, estes se fixam no solo ou são lixiviados e permanecem nos cursos de águas ou ainda precipitam nos sedimentos (Ugolini & Spaltenstein, 1992). A concentração média dos metais para uma determinada área é denominada como nível de base local ou *background*.

Na área em apreço além das partículas emitidas pelas chaminés das fábricas existentes no município, também há presença de muitos fornos artesanais para queima parcial da madeira – eucalipto, expulsando toda matéria volatilizável, como a água, ficando apenas a parte carbonosa (escura), para produção do carvão vegetal usado principalmente nos fornos das usinas da região (Figura 1.6).



Figura 1.6.– Fornos artesanais para produção de carvão vegetal, localizados na porção nordeste e sudoeste da área. Usa-se como matéria prima arbustos e galhos do cerrado, restos de troncos e eucaliptos.

Toda estas atividades podem contribuir em pequenas ou grandes proporções na concentração destes metais no solo com relação ao *background* local da região. O solo funciona como um depósito para os metais, pois a mobilidade destes é determinada por fatores químicos, físicos e biológicos, através dos processos de dissolução, adsorção, oxidação/redução e formação de complexos solúveis. A composição do solo é diretamente influenciada pelo tipo de rocha que compõe o substrato sobre o qual o solo se desenvolve (Oliveira *et al.* 2001).

1.7. Legislação Ambiental

1.7.1. Definição e histórico

Legislação ambiental é o conjunto de normas jurídicas que se destinam a disciplinar a atividade humana, para torná-la compatível com a proteção do meio ambiente. No Brasil, as leis voltadas para a conservação ambiental começaram a ser votadas a partir de 1981, com a lei que criou a Política Nacional do Meio Ambiente – Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, assegurada sete anos mais tarde pela constituição de 1988 – Art.225. Posteriormente, novas leis foram promulgadas, vindo a formar um sistema bastante completo de proteção ambiental. As leis proíbem a caça de animais silvestres, com algumas exceções, a pesca fora de temporada, a comercialização de animais silvestres, a manutenção em cativeiro desses animais por particulares (com algumas exceções), regulam a extração de madeiras nobres, o corte de árvores nativas, a exploração de minas que possam afetar o meio, a conservação de uma parte da vegetação nativa nas propriedades particulares e a criação de animais em cativeiro, em termos gerais, uso sustentável dos recursos naturais como o solo, a água, as plantas, os animais e os minerais.

Desde os tempos coloniais, a legislação brasileira preocupava-se com a proteção da natureza, especialmente recursos naturais, florestais e pesqueiros. Contudo, era sempre uma preocupação setorial voltada para os interesses econômicos imediatos. Lembrando que, nos séculos passados, a exploração da madeira e de seus subprodutos representavam a base colonial e se constituíam em Monopólio da Coroa.

Ainda depois da Independência, este espírito continuou presente, protegendo-se sempre setores do meio ambiente tendo em vista prolongar sua exploração. Mesmo já neste século, a partir da década de 30, quando o país sofreu profundas modificações políticas, o velho Código Florestal, o Código de Águas (ambos de 1934), assim como o Código de Caça e o de Mineração, tinham seu foco voltado para a proteção de determinados recursos ambientais de importância econômica. O Código de Águas, por exemplo, muito mais que a proteção a este recurso natural, privilegiava, a sua exploração para geração de energia elétrica.

Foi no ciclo de governos inaugurados pela auto denominada Revolução de 1964, que apareceram as primeiras preocupações referentes à utilização dos recursos naturais de forma racional, pela compreensão que se atingiu de que tais recursos só se transformariam em riquezas se explorados de forma racional e de que se deveria dar múltiplos usos a esses recursos, de tal forma que sua exploração para uma determinada finalidade, não impedisse sua exploração para outros fins, nem viesse em detrimento da saúde da população e de sua qualidade de vida. Desse período datam, dentre outras, a Lei nº4.504, de 30.12.1964 (Estatuto da Terra), o novo Código Florestal (Lei

nº 4.771, de 15.09.1965), a Lei de Proteção à Fauna (Lei nº 5.197, de 03.01.1967), Decreto-lei nº 221 (Código de Pesca), Decreto-lei nº 227 (Código de Mineração), Decreto-lei nº 289, (todos de 28.02.1967), que criam o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, com incumbência expressa de “cumprir e fazer cumprir” tanto o Código Florestal, como a Lei de Proteção à Fauna. Também foram instituídas reservas indígenas, criados Parques Nacionais e Reservas Biológicas.

Marco decisivo e que repercutiu de forma notável sobre a legislação ambiental brasileira foi a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente realizada em Estocolmo em 1972. A participação brasileira nesta Conferência foi muito importante para os seus rumos, influenciando fortemente nas recomendações da Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente, mas, no nível da mídia influenciando na opinião pública, nacional e internacional, foi bastante mal compreendida, gerando-se conceito distorcido de que o Brasil preconizava o desenvolvimento econômico a qualquer custo, mesmo devendo pagar o preço da poluição em alto grau. Na verdade, o que a posição oficial brasileira defendia era que o principal sujeito da proteção ambiental deveria ser o Homem, sendo tão danosa para ele a chamada "poluição da pobreza" (falta de saneamento básico e de cuidados com a saúde pública - alimentação e higiene) como a "poluição da riqueza" (industrial). Esse mal entendido, entretanto, acabou por ser benéfico. A necessidade de dar uma prova pública de que o Governo Brasileiro tinha também preocupações com a poluição e com o uso racional dos recursos ambientais resultou na criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA. Foi ela criada pelo Decreto nº 73.030, de 30 de outubro de 1973, como "órgão autônomo da Administração Direta" no âmbito do Ministério do Interior "orientada para a conservação do meio ambiente e uso racional dos recursos naturais".

Oriunda de uma mensagem do Poder Executivo, elaborada pela SEMA e amplamente discutida no Congresso Nacional, foi, em 31 de outubro de 1981, sancionada a Lei nº 6.938, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente, consolidando e ampliando as conquistas já obtidas em nível estadual e federal. A principal qualidade desta legislação foi o reconhecimento, ditado pela experiência, de que a execução de uma Política Nacional do Meio Ambiente, em um país com as dimensões geográficas do Brasil, não seria possível se não houvesse uma descentralização de ações, acionando-se os Estados e Municípios como executores de medidas e providências que devem estar solidamente embasadas no postulado que o meio ambiente representa "um patrimônio a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo". O advento da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente alterou completamente o enfoque legal que, até então, contemplava a utilização dos recursos naturais. A Constituição promulgada em 1988, ao contrário das anteriores, em todo o seu texto demonstra séria preocupação ambientalista e, na

prática, acolheu sob seu manto toda a moderna legislação ambiental editada a partir de 1975, vigente quando de sua promulgação.

Essa preocupação é muito bem sintetizada em seu artigo 225: "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". Dessa forma, a Constituição recebeu e avaliou toda a legislação ambiental no país, inclusive, e principalmente a necessidade da intervenção da coletividade, ou seja, participação da sociedade civil, nela compreendida o empresariado na co-gestão da Política Nacional do Meio Ambiente. Foi acolhida praticamente toda a legislação vigente, mesmo a de âmbito estadual, uma vez que, ainda seguindo o espírito da Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, determinou que essa legislação passasse a ser concorrente com a federal (CF, art. 24, VI). Os objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente são bem mais ambiciosos que a simples proteção de recursos naturais para fins econômicos imediatos, visam à utilização racional do meio ambiente como um todo, consoante determina o artigo 2º da Lei (Oliveira, 2000).

Assim sendo o Brasil é uma república federativa, constituída de estados que possuem autonomia para estabelecer legislação própria de controle ambiental. Entretanto, conforme já mencionado nos parágrafos anteriores, existe uma estrutura geral para controle ambiental esboçada pelo governo federal, que é utilizada naqueles estados onde ainda não existe uma legislação própria.

Com relação à legislação ambiental específica para o solo, o único órgão estadual brasileiro que possui uma lista de valores de investigação para o seu estado, é a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB em São Paulo. As questões ambientais no Estado de São Paulo são tratadas de forma legal há pouco mais de duas décadas. A Lei Estadual nº 118 de 29/06/73 autoriza a constituição de uma sociedade por ações, sob a denominação de CETESB e a Lei Estadual nº 997 de 31/05/76, regulamentada pelo Decreto Estadual nº 8468 de 08/09/76, dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente

A CETESB desenvolveu padrões próprios para qualidade do solo e da água subterrânea, baseado na metodologia empregada na Holanda para essa finalidade e dispõe de valores orientadores para solos e águas subterrâneas do Estado de São Paulo - 2005.

1.7.2. Listas de valores limites

O uso generalizado das listas de valores limite para avaliação de contaminações do solo e da água subterrânea começou nos países industrializados, há cerca de 20 anos, quando o problema de

poluição foi se tornando, gradualmente, conhecido. Essas listas foram desenvolvidas em face da necessidade de se ter parâmetros comparativos, possibilitando definir o grau de poluição e quais os procedimentos a ser tomados, sendo elaboradas a partir de avaliações de risco genéricas, em que normalmente são utilizados cenários e parâmetros mais restritivos. A utilização dessas listas não fornecem uma resposta definitiva quanto a existência de risco decorrente da poluição do solo ou da água subterrânea, em uma área específica, entretanto é um instrumento importantíssimo na deflagração de um processo de caracterização mais detalhada da área avaliada. Abaixo seguem as vantagens e desvantagens de utilização dessas listas, conforme apresentado por Siegrist (1990):

Vantagens:

- Rapidez e facilidade na implementação;
- Áreas similares seriam tratadas em procedimentos similares;
- Útil para avaliação inicial da gravidade de uma contaminação;
- Informações *a priori* facilitam planejamento e ação;
- Estimula empreendedores a realizar remediação, dando segurança para os investimentos;
- Facilita auditorias ecológicas de áreas industriais;
- Facilita monitoramento/permissão de operação de áreas industriais;
- Inclui qualidades não negociáveis e reduz a influência da política local;
- Inclui a proteção de solos na política de controle de poluição, através de padrões ambientais;
- Facilita a avaliação da eficiência da remediação.

Desvantagens:

- Algumas características específicas do local podem ficar fora de consideração;
- Não foram definidas normas, orientações e critérios para muitas substâncias de interesse; muitos valores orientadores definidos para outros programas (p.ex. água potável, água subterrânea) não são, necessariamente, apropriados para área contaminada;
- Lacuna de critérios toxicológicos para muitas substâncias;
- Valores genéricos exigem um certo nível de compreensão, conhecimento e confiança que podem faltar;
- Os valores uma vez estabelecidos podem dificultar uma flexibilidade específica para a avaliação de uma área em questão.

Na Europa, não existe uma estratégia comum para a aplicação de valores-limite. Considerando as diferenças geográficas/geológicas e culturais/sociais, uma harmonização a curto prazo não parece necessária nem desejada. Por outro lado, todos os países europeus (aqui: UE c/ Noruega e Suíça), excluindo a Irlanda, aplicam valores orientadores na investigação confirmatória realizada em áreas suspeitas de estarem contaminadas (N.N., 1998).

A Tabela 1.3 mostra uma compilação de algumas listas de valores-limite para substâncias inorgânicas utilizadas em alguns países, como Alemanha, Canadá e Holanda, devido a sua importância mundial, e como forma de comparação entre as diferenças particulares apresentadas por cada uma, dando-se especial destaque aos valores orientadores do Estado de São Paulo – CETESB, por se tratar de solos tropicais brasileiros conforme a área de estudo aqui avaliada.

Os Valores Orientadores são definidos e têm a sua utilização como segue:

Valor de Referência de Qualidade - VRQ é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea, e é determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos e amostras de águas subterrâneas de diversos aquíferos do Estado de São Paulo. Deve ser utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e de controle de áreas contaminadas.

Valor de Prevenção - VP é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Foi determinado para o solo com base em ensaios com receptores ecológicos. Deve ser utilizado para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade será submetida a nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes proceder o monitoramento dos impactos decorrentes.

Valor de Intervenção - VI é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição Agrícola-Área de Proteção Máxima – APM_{Max}, Residencial e Industrial. Para a água subterrânea, considerou-se como

valores de intervenção as concentrações que causam risco à saúde humana listadas na Portaria 518, de 26 de março de 2004, do Ministério da Saúde - MS, complementada com os padrões de potabilidade do Guia da Organização Mundial de Saúde - OMS de 2004, ou calculados segundo adaptação da metodologia da OMS utilizada na derivação destes padrões. Em caso de alteração dos padrões da Portaria 518 do MS, os valores de intervenção para águas subterrâneas serão conseqüentemente alterados. A área será classificada como Área Contaminada sob Investigação quando houver constatação da presença de contaminantes no solo ou na água subterrânea em concentrações acima dos Valores de Intervenção, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

Tabela 1.3 – Valores de referência da legislação para classificação da qualidade do solo (Fonte: Avaliação de métodos de análises de compostos orgânicos e legislação ambiental – Projeto Georadar-Dez.2006)

LEGISLAÇÃO SOLO (mg/Kg)												
Substâncias	CETESB				ALEMÃ		CANADENSE ³				HOLANDESA ^a	
	Prevenção	Limite Intervenção (mg/Kg) ¹			Alerta ²	Intervenção ²	Agricultura ^b	Residencial/ Parque ^c	Comercial ^d	Industrial ^e	Alerta	Intervenção
		Agrícola	Residencial	Industrial								
Inorgânicos												
Alumínio	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-
Antimônio	2,0	5,0	10,0	25			20 ²²	20 ²²	40 ²²	40 ²²	3	15
Arsênio	15	25	50	100	29	55	12	12	12	12	29	55
Bário	150	300	500	750	200	625	750	500	2000	2000	160	625
Berílio	-	-	-	-			4 ²²	4 ²²	8 ²²	8 ²²	1,1	30
Boro	-	-	-	-			2 ^{21,22}	-	-	-	-	-
Brometo	-						-	-	-	-	20	
Cádmio	1,3	3	8	20	0,8	12	1,4	10	22	22	0,8	12
Chumbo	72	180	300	900	85	530	70	740	260	600	-	-
Cloreto	-						-	-	-	-	-	-
Cobalto	25	35	65	90	20	240	40 ²²	50 ²²	300 ²²	300 ²²	9	240
Cobre	60	200	400	600	36	190	63	63	91	91	36	190
Cromo	75	150	300	400	100	380	64	64	87	87	100	380
Cromo hexavalente	-	-	-	-			0,4	0,4	1,4	1,4	-	-
Enxofre (elementar)	-	-	-	-			500 ²²	-	-	-	-	-
Estanho	-	-	-	-			5 ²²	50 ²²	300 ²²	300 ²²	-	900
Ferro	-						-	-	-	-	-	-
Fluoreto	-	-	-	-			200 ²²	400 ²²	2000 ²²	2000 ²²	500 ¹⁷	
Manganês	-						-	-	-	-	-	-
Mercúrio	0,5	12	36	70	0,3	10	6,6	6,6	24	50	0,3	10
Molibdênio	30	50	100	120	10	200	522	10 ²²	40 ²²	40 ²²	3	200
Nitrato (como N)	-						-	-	-	-	-	-
Níquel	30	70	100	130	35	210	50	50	50	50	35	210
Prata	2	25	50	100			20 ²²	20 ²²	40 ²²	40 ²²	-	15
Selênio	5	-	-	-			1	1	3,9	3,9	0,7	100
Tálio	-						1	1	1	1	1	15
Telúrio	-						-	-	-	-	-	600
Vanádio	275	-	-	-			130	130	130	130	42	250
Zinco	300	450	1000	2000	140	720	200	200	360	360	140	720

(1) - Procedimentos analíticos devem seguir SW-846, com metodologias de extração de inorgânicos 3050b ou 3051 ou procedimento equivalente.

(2) - Os termos originais são *optimum* e *action* que foram interpretados pela Crono como sendo alvo e intervenção, respectivamente.

(3) Atualizada em 2002.

a - Solo com 10% de matéria orgânica e 25% de argila.

b - Agri.: Agricultural land uses.

c - Res./Park: Residential/Parkland uses.

d - Comm.: Commercial land uses.

e - Industrial: Industrial land uses.

2.1. Geologia Regional

A área de estudo está inserida na porção ocidental do Cráton São Francisco (Figura 2.1 - mapa Geológico do Brasil – CPRM). Segundo a definição de Almeida (1977), esta região é uma das porções da Plataforma Sul-americana que não foram envolvidas nos processos orogênicos de Evento Brasileiro, durante o Neoproterozóico.

É constituído em maior parte por rochas de idades arqueanas e circundado por cinturões orogênicos neoproterozóicos que o limitam como: a leste, o cinturão Araçuaí; a oeste e sul, a faixa Brasília; a noroeste a Faixa Rio Preto; e a norte, as faixas Riacho do Pontal e Sergipana, marcando uma mudança de estilos tectônicos.

O preenchimento da bacia Sanfranciscana comporta as seguintes unidades litoestratigráficas: Supergrupo Espinhaço de idade paleo/mesoproterozóica e o Supergrupo São Francisco de idade Neoproterozóica, o Grupo Santa Fé de idade permo-carbonífera e os grupos Areado, Mata da Corda e Urucuia, do Cretáceo.

O **Supergrupo São Francisco** é constituído por duas unidades neoproterozóicas: o Grupo Macaúbas, glacio-continental e o Grupo Bambuí, marinho. O Grupo Bambuí exhibe a maior área de afloramento de todas as unidades, constituindo como unidade característica da bacia. É formada por pacotes de rochas carbonáticas alternadas com terrígenos, dividido nas formações Carrancas (ruditos), Sete lagoas (margas, calcilutitos, calcarenitos), Samburá (conglomerados e pelitos), serra de Santa Helena (pelitos), lagoa do Jacaré (calcarenitos e pelitos), Serra da Saudade (pelitos) e Três Marias (pelitos e arenitos).

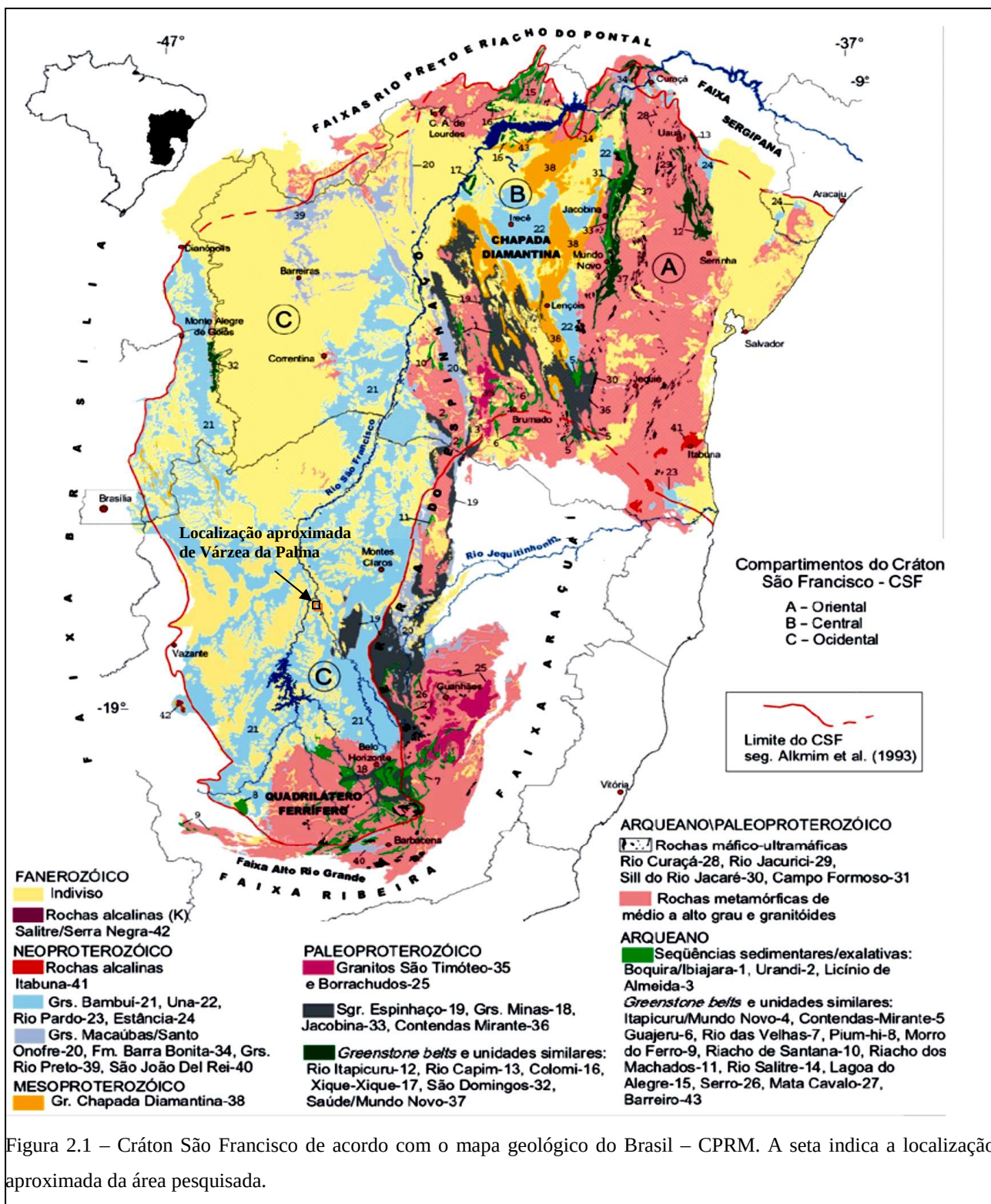


Figura 2.1 – Cráton São Francisco de acordo com o mapa geológico do Brasil – CPRM. A seta indica a localização aproximada da área pesquisada.

Esta seqüência plataformar do Grupo Bambuí, marca uma transgressão marinha generalizada sobre o Cráton, além de mudança no comportamento da porção sul, torna-se uma bacia de antepaís, recebendo sedimentos provenientes de áreas vizinhas soerguidas.

As unidades mesozóicas da bacia são representadas pelos grupos Aerado, Mata da Corda e Urucuia. O Grupo Aerado (Costa & Grossi Sad 1968), engloba uma sucessão de arenitos e conglomerados aluviais que passam a depósitos eólicos e lacustres (Moraes et al., 1986; Sgarbi et al., 2001), o Grupo Mata da Corda engloba rochas vulcânicas e vulcanoclásticas e o Grupo Urucuia, constitui-se por uma seqüência de arenitos eólicos.

2.2. Geologia Local

2.2.1. Introdução

A área aqui pesquisada, de acordo com a Carta Geológica Pirapora, 1:250.000 DNPM, está inserida em Depósitos Quaternários (Figura 2.2), como sedimentos inconsolidados fluviais e terraços antigos, sobre arcóseos e pelitos (Figuras 2.3 e 2.4) pertencentes à Formação Três Marias – Grupo Bambuí, (Figura 2.5). Na porção topograficamente mais elevada da área a Formação Três Marias é aflorante correspondendo aproximadamente 1% da área.

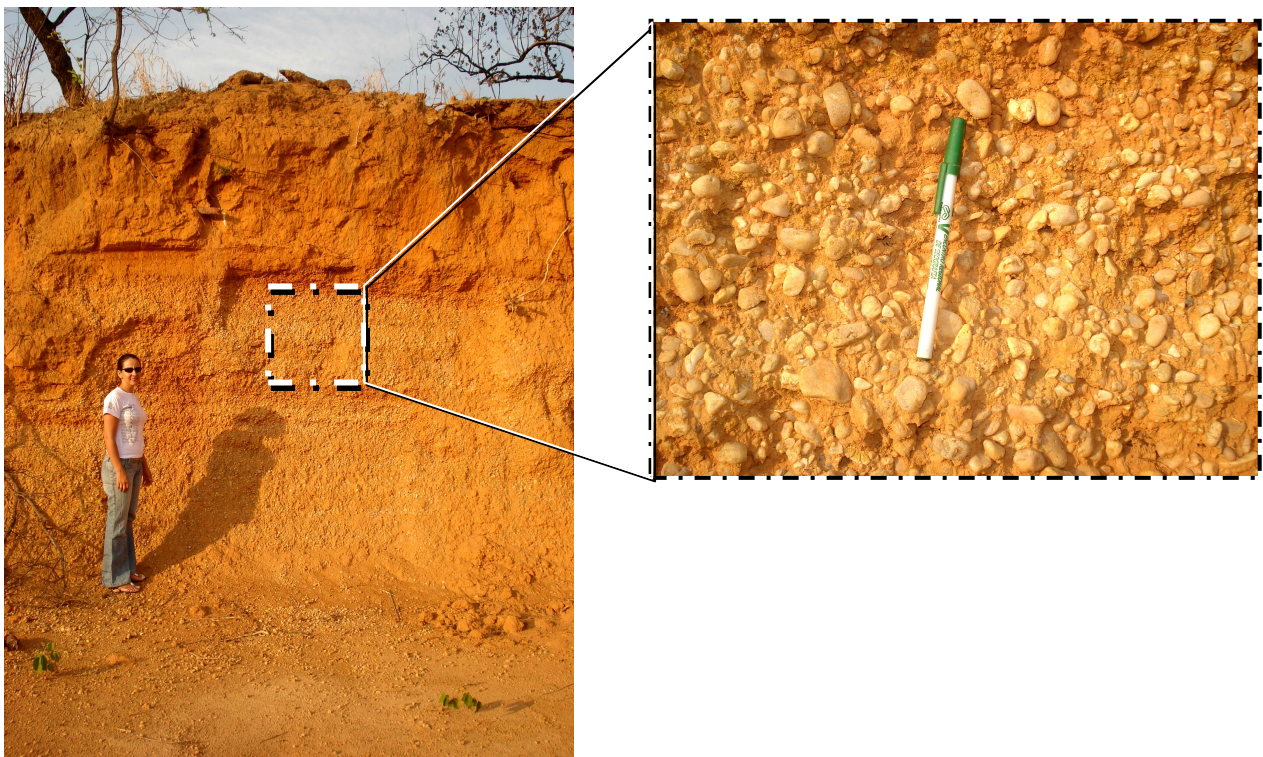


Figura 2.2 – Depósito Quaternário aluvionar existente na área, e detalhe dos seixos arredondados.



Figura 2.3 - Pelitos da Fm. Três Marias do Grupo Bambuí subjacentes aos depósitos quaternários da área pesquisada. Fotografia tirada próximo ao Rio das Velhas, observa-se a pouca profundidade do solo.



Figura 2.4 – Contato geológico entre os Pelitos da Fm. Três Marias do Grupo Bambuí e os depósitos quaternários da área pesquisada. Fotografia tirada sobre a ponte do Rio das Velhas na BR-496.

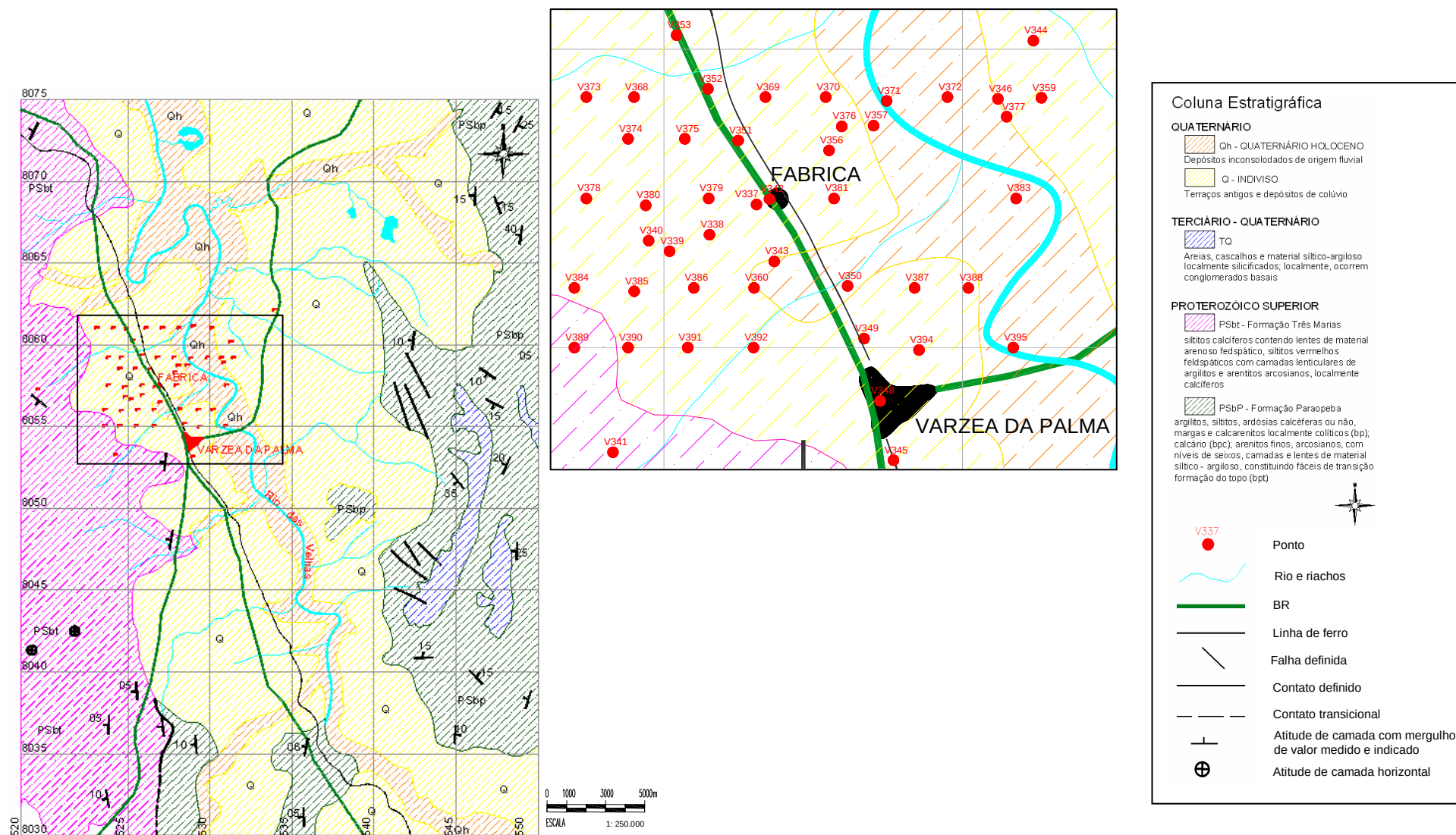


Figura 2.5 – Mapa geológico da região pesquisada, com a localização dos pontos amostrados. (Fonte: DNPM, 1984).

2.2.2. Litoestratigrafia

O Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí (Rimann, 1917) insere-se no Supergrupo São Francisco (Pflug & Renger 1973) e constitui uma extensa cobertura de plataforma depositada sobre o Cráton do São Francisco. Conforme mostra a coluna litoestratigráfica (Tabela 2.1), o grupo acima citado é composto por duas seqüências principais: a inferior marinha representada pelo Subgrupo Paraopeba, carbonática/terrígena, compostas pelas formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade e a superior, terrígena, de natureza continental, denominada Formação Três Marias (Projeto RADAMBRASIL 1983).

Tabela 2.1 - Coluna Estratigráfica para área pesquisada.(Projeto RadamBrasil 1983).

	Subgrupo	Formação
BAMBUÍ	Três Marias	
	PARAOPEBA	Serra da Saudade
		Lagoa do Jacaré
		Serra de Santa Helena
		Sete Lagoas
		Samburá/Carrancas

A seqüência marinha é constituída basicamente por siltitos e folhelhos intercalados com calcários e dolomitos e a base da Formação Sete Lagoas por conglomerados e diamictitos. A seqüência terrígena é constituída por intercalações de arcóseos e siltitos (Braun et al., 1990).

A divisão atual do grupo, com algumas modificações, segue a proposição inicial de Costa & Branco (1961) e Dardenne (1978). A principal controvérsia é a exclusão (Couto & Bez 1981, RADAMBRASIL 1982) dos sedimentos diamictíticos da Formação Jequitaí e unidades cronocorrelatas (Dardenne 1978), na base do Grupo Bambuí.

O Quaternário

Os depósitos quaternários continentais em geral, tais como os do vale do rio das Velhas, são caracterizados pela natureza fragmentada do seu registro, estando irregularmente distribuídos sobre o relevo, não sendo necessariamente restritos a bacias sedimentares. Desta forma, as sucessões sedimentares mostram considerável variabilidade lateral e de fácies, além da similaridade entre suas sucessões verticais de fácies ser um aspecto muito comum (Madeira & Borghi, 1999)

Dentro desta perspectiva, Mello (1992) admite como pioneiros nos estudos do Quaternário brasileiro os trabalhos de Bigarella & Andrade (1965), Bigarella & Mousinho (1965) e Bigarella et al. (1965), que identificam superfícies geomorfológicas produzidas por eventos de erosão associadas a fases climáticas mais secas, assim como o encaixamento da drenagem relacionado com fases de clima úmido. Mendes (1984) coloca algumas críticas com relação a esta aplicação, já que não leva em conta possíveis movimentos tectônicos quaternários, deslocando essas superfícies.

Outro enfoque à integração Geomorfologia-Estratigrafia nos estudos do quaternário continental foi dado por Frey & Wilman (1962, apud Moura 1984) que propuseram o uso de unidades denominadas de morfoestratigráficas, as quais são definidas como corpos sedimentares identificáveis primariamente pela forma apresentada em superfície, e distinguindo-se ou não pela litologia e/ou idade das unidades adjacentes.

A área em apreço, é constituída principalmente por depósitos Quaternários (aproximadamente 99% da área), que se encontram encaixados no vale (Figura 2.6), próximos ao encontro de dois grandes rios brasileiros – São Francisco e Rio das Velhas na planície de inundação do Rio das Velhas. Em geral são sedimentos compostos basicamente por silicados, óxidos de ferro e quartzos.

É importante ressaltar que 99% da área de estudo, está sobre depósitos Quaternários, e que as rochas do Grupo Bambuí afloram no restante da área na porção W/SW, área topograficamente mais elevada.



Figura 2.6 – Visão geral da área em direção ENE, mostrando o aspecto geral da região do vale do Rio das Velhas cercada por montanhas.

2.3. Aspectos Fisiográficos

A área em apreço está localizada na Bacia do Rio das Velhas, próximo à junção com o Rio São Francisco na região norte do Estado de Minas Gerais.

O nome da bacia foi dado pelo governador Antônio de Albuquerque Coelho de Carvalho, em 1711, anteriormente apresentava a denominação indígena de Uaimii, alterada para Guaichui, que quer dizer "Rio das Velhas tribos descendentes" (Feam, 1998).

O Rio das Velhas, tem suas nascentes na serra de Antônio Pereira, localizada dentro dos limites da APA (Área de Proteção Ambiental) da Cachoeira das Andorinhas – Ouro Preto. A bacia hidrográfica do Rio das Velhas apresenta-se segmentada em 51 municípios com uma população total de 4.406.190 (IBGE, 2000).

2.3.1. Solo

Os solos ocorrentes na região de acordo com o mapa de solos do IBGE são: Latossolos vermelho-amarelo (Figura 2.7), neossolos litólicos e cambiosolos haplícicos, sendo que na área estudada foi observada a ocorrência do latossolo vermelho-amarelo.

Latossolos são solos que apresentam horizonte B latossólico (Bw), caracterizado por avançado estágio de intemperização; formação de argila de baixa atividade; capacidade de troca catiônica (CTC) baixa; cores vivas. São solos profundos, bastante porosos e permeáveis, de um modo geral, apresentam reduzida susceptibilidade a erosão (Vieira, 1988; Oliveira et al., 1992; Resende et al., 1995).



Figura 2.7 – A Fotografia mostra o solo da área classificado como Latossolo vermelho-amarelado. Solo desenvolvido em cima dos pelitos da Fm. Três Marias.

A Figura 2.8, mostra exemplo das classificações dos horizontes que se enquadram na classificação do solo da região estudada. O horizonte A possui cor mais escura, por ter mais matéria orgânica como restos de animais, raízes e vegetais decompostos, não sendo porém um solo orgânico, pois predomina matéria mineral em sua composição. O horizonte B normalmente tem cor avermelhada ou amarelada (existem exceções), devido aos processos intempéricos como oxidação e presença de ferro. Nem sempre o solo apresenta horizonte B, como é o caso de solos muito jovens, que possuem somente o horizonte A sobre o horizonte C ou o horizonte A sobre a rocha (camada R). O horizonte C possui cores variadas, a depender da mineralogia da rocha sotoposta. Abaixo do horizonte C existe a rocha (camada R) que dá origem ao solo sobreposto.

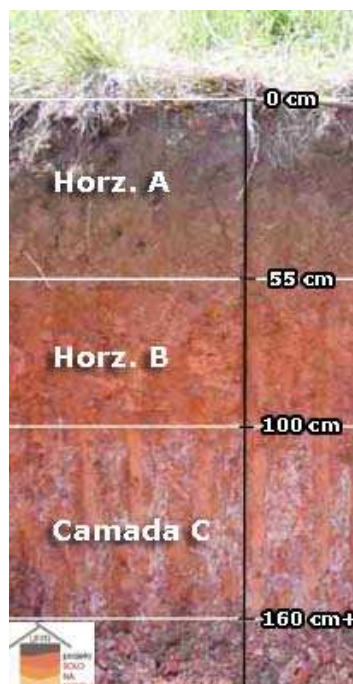


Figura 2.8 – Perfil típico de desenvolvimento de um solo compatível ao da região estudada. (Fonte: www.escola.agrarias.ufpr.br, acessado em maio/2007).

2.3.2. Geomorfologia

No que diz respeito à paisagem geomorfológica, a área se encontra nos domínios dos planaltos do São Francisco, na margem direita do rio, e na depressão da bacia Sanfranciscana, onde são identificadas diversas formas de relevo, evoluídas por erosão fluvial. Compreendem partes de relevo extremamente variado, que vão desde suave-ondulado a montanhoso, sendo as formas mais abruptas encontradas nos limites com a depressão.

A Depressão sanfranciscana corresponde à extensa área rebaixada, ao longo da drenagem do Rio São Francisco. Geologicamente, a superfície do planalto é constituída por depósitos de sedimentos, de textura muito variada, e material decomposto de rochas do Grupo Bambuí, no caso da área aqui estudada, material decomposto da Formação Três Marias. A Figura 2.9, apresenta uma visualização em 3D da área e o mapa topográfico da Figura 2.10 mostra o desnível pouco acentuado do local pesquisado.

As áreas de várzeas, terraços e planícies fluviais tem nessa superfície a maior expressão. São aí dominantes os solos aluviais e hidromórficos, sob vegetação de florestas ciliares e campos de várzea.

2.3.3. Clima

Predomina na região o clima tropical semi-úmido, com chuvas concentradas no verão, e cobertura vegetal original de cerrado e caatinga. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima tropical chuvoso (Awa), com temperatura média do mês mais frio acima de 18°C,

temperatura média do mês mais quente maior que 22°C, época mais seca coincidindo com o inverno e com pelo menos um mês com precipitação total média inferior a 60mm.

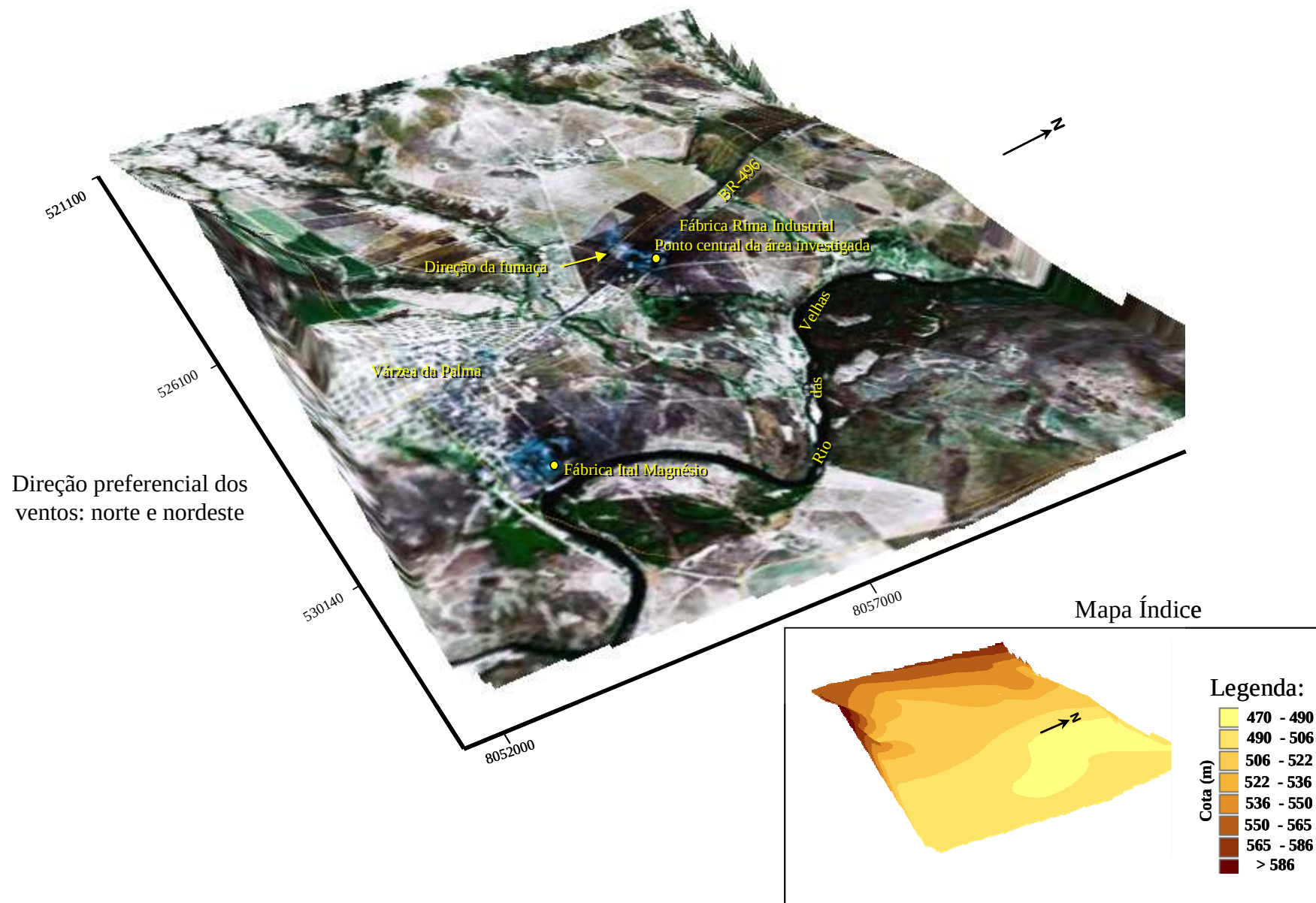


Figura 2.9 – Visualização do mapa da área em 3D. As emissões da fábrica fica bem visível neste mapa, nas direções principais WNW e a SE, atingindo áreas de agricultura e o próprio município. (Foto utilizada na execução da imagem 3D retirada do Google Earth 2005).

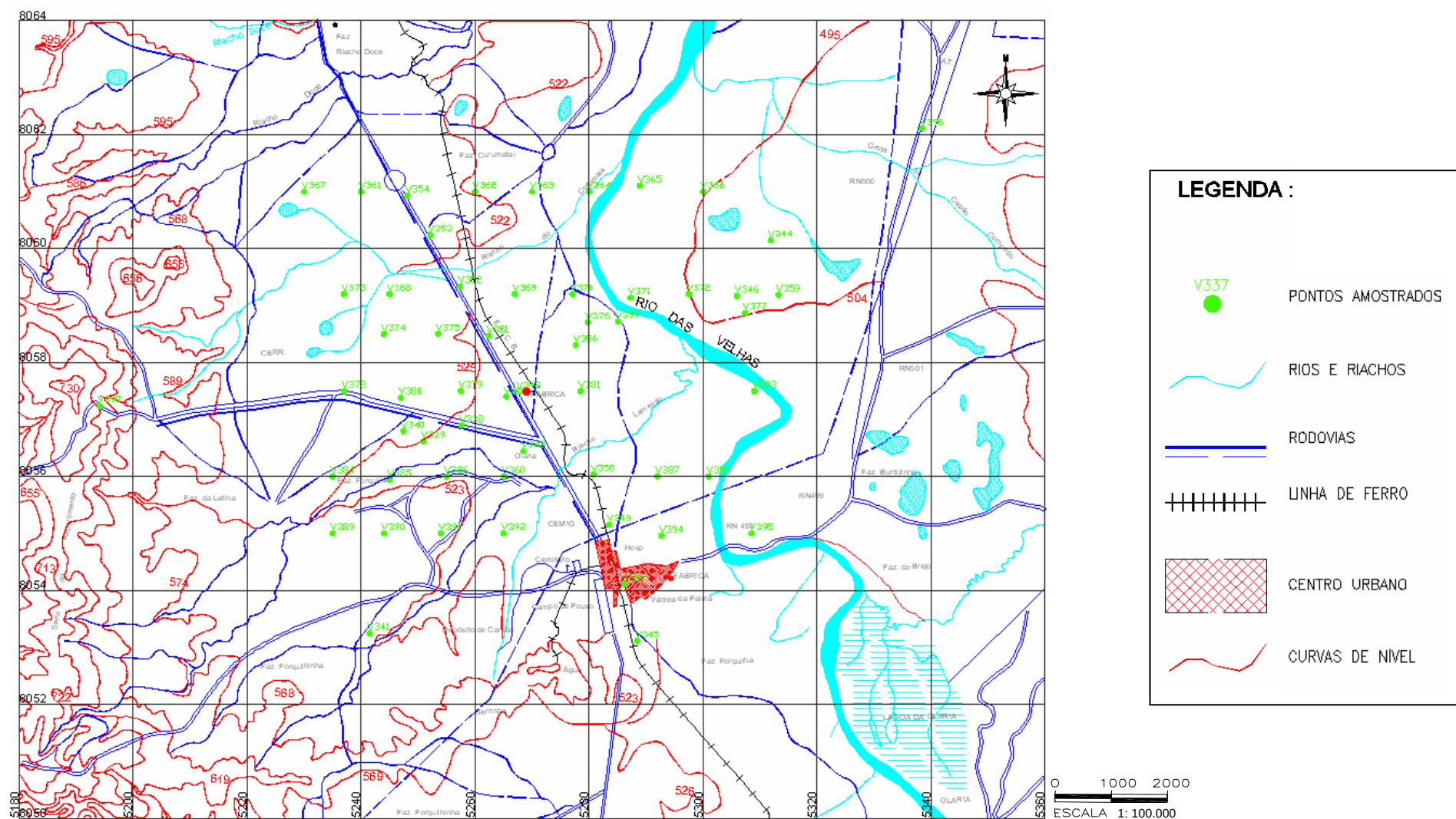


Figura 2.10 – Mapa topográfico da área estudada e localização dos pontos amostrados, compatível com a visualização em 3D da figura 2.9.

3. PROCESSOS DE CONTAMINAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - CONTEXTO FÍSICO

3.1. Introdução

Na área de estudo encontra-se uma indústria de ferro-ligas - Rima Industrial, que atua no município desde 1987. Esse tipo de indústria de Fe-Si, emite para a atmosfera vários compostos, conhecidos como poluentes primários, lançados diretamente pelas fontes de emissão, (no caso chaminés), gerando também na atmosfera pelas reações químicas entre estes poluentes e componentes naturais da atmosfera, os poluentes secundários. A principal fonte de emissão da fábrica, são as chaminés, no entanto fontes secundárias como partículas finas em suspensão, causadas por tráfego de veículos que trafegam na rodovia principal, estocagem de materiais e resíduos gerados a partir da matéria prima utilizada no processo, auxiliam nesta poluição. As formas mais comuns de poluição do ar são monóxido de carbono, dióxidos de carbono em excesso e enxofre, óxidos de nitrogênio e poeiras. No caso de poluição por partículas é muito importante o tamanho, periculosidade, sua composição e forma geométrica.

Em termos gerais os poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos são:

- Material particulado;
- Dióxido de enxofre – SO_2 ;
- Monóxido de carbono CO ;
- Oxidantes Fotoquímicos – Ozônio O_3 ;
- Hidrocarbonetos;
- Óxidos de nitrogênio.

3.2. Descrição das atividades poluidoras

A fonte poluidora aqui abordada, emite seus gases e vapores diretamente para atmosfera e estes conforme foi apresentado na Figura 1.5 do capítulo 1, apresentam caminhos de exposição variados. Esta dissertação trata especificamente dos efeitos desta fonte sobre o solo, a partir de reações físicas e químicas com a água, no qual estes componentes poderão se concentrar no horizonte superficial, ou então serem lixiviados para abaixo da superfície, correlacionando os dados geoquímicos adquiridos e comparando estes valores com listas de referência da legislação do solo.

Quando os gases são lançados pelas chaminés da fábrica, eles alcançam uma certa altitude, podendo seguir longas distâncias com a direção e intensidade dos ventos locais. De acordo com o Instituto de Meteorologia – INMET, a direção preferencial dos ventos na região de Pirapora – MG, com base no ano de 2006 é nordeste, compatível com a direção preferencial dos ventos do estado de Minas Gerais, porém localmente e de acordo com dados da prefeitura de Pirapora e dados visuais de campo na região de Várzea da Palma, os ventos possuem uma direção preferencial em geral para norte e noroeste.

As massas de ar são os principais agentes de transportes destes gases, que podem atingir diretamente o solo ou indiretamente pelas folhas e raízes de plantas nativas, chegando até mesmo no lençol freático. Estes gases conforme já citado anteriormente possuem componentes variados, podendo alterar a concentração natural dos metais existentes no solo – foco do presente estudo.

3.3. Comportamento dos metais pesados no solo

Dependendo do tipo de minerais que se encontram no solo, este pode apresentar características que auxiliam na retenção ou não de metais pesados, pois dependendo da natureza do colóide, os grupos funcionais em suas superfícies determinam uma maior ou menor adsorção do metal. Na matéria orgânica do solo, estes grupos são, principalmente, unidades funcionais carboxílicas e fenólicas que, geralmente, formam estruturas negativamente carregadas. Nos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, e nas periferias das argilas silicatadas (argilominerais expansivos), os grupos funcionais de superfície são originados pela dissociação de grupamentos hidroxila. Nestes sítios, a adsorção do metal pode ocorrer por meio da formação de ligações covalentes ou eletrostáticas, conhecido como adsorção específica. Este fenômeno é muito importante em solos tropicais, onde a elevada quantidade de oxo-hidróxidos determina uma grande capacidade de retenção do metal. A ordem para decréscimo da força de adsorção específica de metais pesados selecionados é: $Cd > Ni > Co > Zn > Cu > Pb > Hg$. Coprecipitação de metais com minerais secundários, incluindo os hidróxidos de Fe, Al e Mn, é importante mecanismo adsorvente em solos com posição de mistura flutuante. Cu, Mn, Mo, Ni, V e Zn são coprecipitados em óxidos de Fe, enquanto Co, Fe, Ni, Pb e Zn são coprecipitados em óxidos de Mn. Nos argilominerais expansivos (argilas 2:1), os grupos funcionais podem ocorrer nos espaços entre as camadas octaédricas presentes em suas estruturas cristalinas. Neste caso, acredita-se que o metal seja fortemente adsorvido, formando complexos de esfera interna.

Outro fator decisivo na dinâmica de um metal é a capacidade de troca catiônica (CTC) de um solo. A CTC está intimamente ligada às concentrações dos íons trocáveis presentes na solução do solo e aos sítios de troca nas interfaces coloidais do sistema. Uma elevada CTC proporciona uma maior retenção do metal no solo. A matéria orgânica, embora represente, em média, cerca de 5%

dos componentes sólidos do solo, é responsável por cerca de 30% a 65% da CTC dos solos minerais, e mais de 50% da CTC de solos arenosos e orgânicos.

A Figura 3.1 mostra uma visão esquemática da CTC:

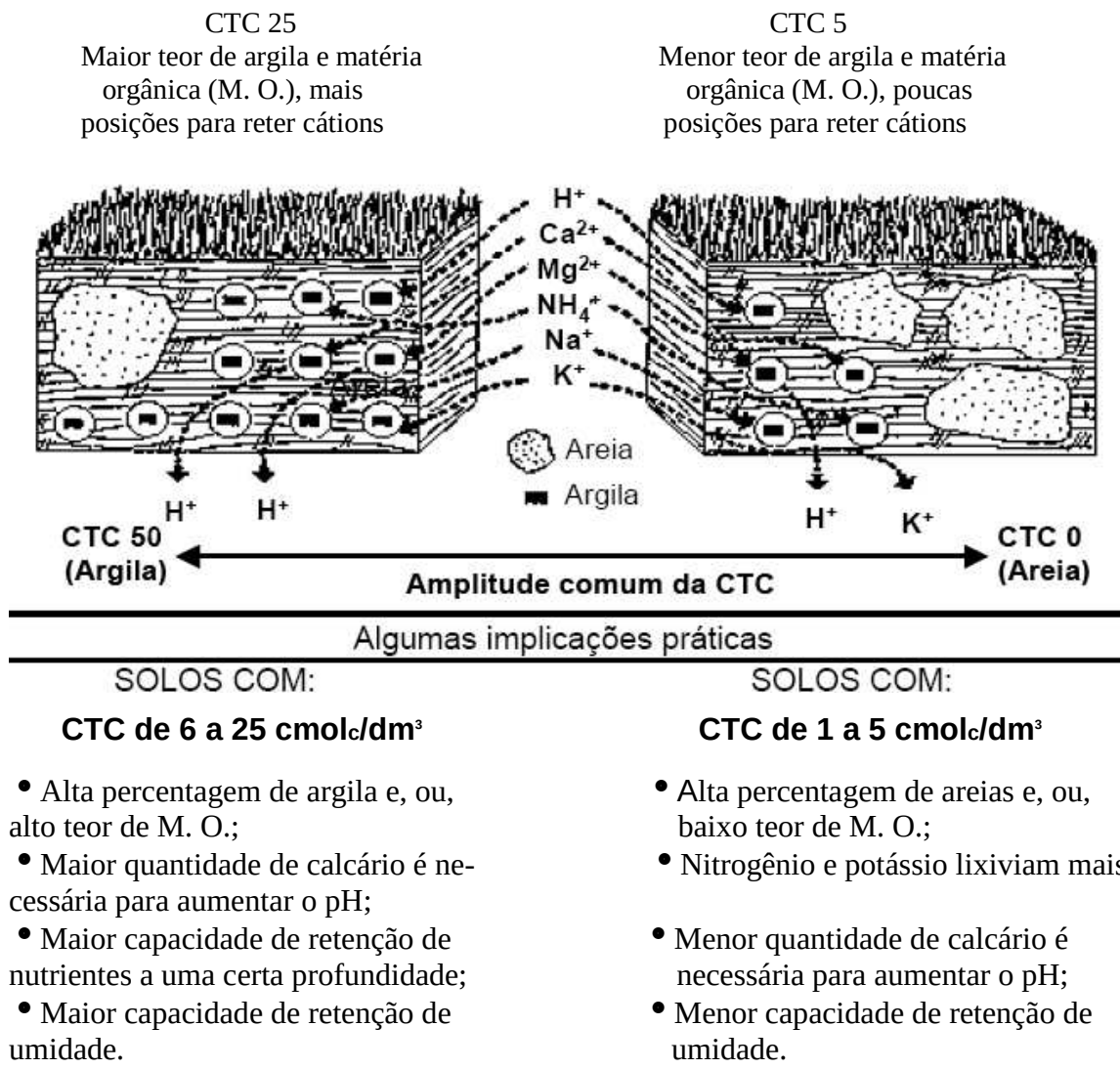


Figura 3.1 - Visão esquemática de Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e suas implicações práticas. Fonte: Adaptado de Instituto da Potassa & Fósforo, 1998.

O pH exerce também uma forte influência na dinâmica dos metais no solo. Ambientes ácidos determinam uma maior mobilidade do metal, enquanto condições de pH acima de seis favorecem a sua retenção, principalmente em solos com elevado grau de intemperização, onde os grupos funcionais de superfície dos componentes coloidais são, na sua maioria, pH-dependentes (oxo-hidróxidos de ferro e alumínio). A Tabela 3.1 relaciona a mobilidade dos elementos com as condições ambientais de pH no meio.

Tabela 3.1. Mobilidade de alguns elementos químicos em relação às condições ambientais (Rose, Hawkes & Webb, 1979; in Eleutério, 1997).

Mobilidade Relativa	Condições Ambientais		
	pH 5 - 8	pH < 4	Redutoras
Altamente Móveis	Mo, B, Cl, I	Cl, S, C, N, I	Cl, Br, I
Moderadamente Móveis	Ca, Mg, Li, Zn, As, Ag, Sr, Hg, Sb	Ca, Mg, Hg, Cu, Co, Li, Zn, Cd, Ni, As, Mn, P, Ag	Ca, Na, Mg, Li, Mn
Pouco Móveis	K, Ba, Mn, Si, Pb, Cu, Ni, Co, Cd	K, Ba, Si	K, P, Si, Fe
Muito Pouco Móveis	Fe, Al, Ti, Au, Cr, Ta	Fe, Al, Ti, Au, As, Mo, Se	Fe, Al, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Se, Mo, Cr, Ta

A metodologia para execução deste trabalho contou inicialmente com pesquisa bibliográfica sobre o conteúdo básico e específico da área e temas correlacionados ao objetivo; levantamento de base cartográfica e dos dados contidos nos mapas geológicos e de solos e fotografias de satélite.

Posteriormente foi selecionado uma malha adequada de amostragem, distribuídos em aproximadamente 80Km² de área, levando em consideração os dados pré-levantados e experiências em outras regiões, adaptados aos fatores específicos. O terceiro passo, após mapeamento foi à coleta de amostras de solo.

As amostras de solo coletadas foram enviadas a laboratórios para análises geoquímicas dos seguintes compostos inorgânicos: Vanádio (V), cromo (Cr), ferro total (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), arsênio (As), cádmio (Cd), bário (Ba), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), antimônio (Sb), berilo (Be), selênio (Se), prata (Ag), alumínio (Al), potássio (K), magnésio (Mg) e silício (Si). Dos 55 pontos amostrados, 35 foram duplicados para análises dos metais solúveis.

Também foram selecionados 5 pontos dispersos na área estudada para análise de difratometria e espectrometria de raios x (DRX e EDX respectivamente), com o intuito de se constatar os principais minerais contidos nos sedimentos quaternários locais.

4.1. Trabalho e campo e amostragem

A coleta de solo foi feita de acordo com uma malha quadrática pré-definida, em um raio aproximado de 4 km no entorno da fábrica e em dois pontos brancos para verificação dos resultados e averiguação de *background* do meio físico.

4.1.1. Amostragem

Com o mapa topográfico em mãos e a malha definida, foi utilizado o aparelho GPS (*Global Position System*) para chegar até os pontos, onde foi retirada a parte superficial do solo utilizando uma pá e levando sempre em consideração a limpeza da mesma, para não haver contaminação entre as amostras; logo em seguida foi cavado um buraco de aproximadamente 15cm, retirando-se a quantidade de material necessário para análise das amostras e em alguns pontos foi coletado amostras duplicadas.

4.1.2. Transporte

As amostras foram introduzidas e transportadas em um frasco de polietileno de aproximadamente 250g e condicionados a uma temperatura de 0°C para análises de metais pesados, analisadas nos laboratórios da ECOLABOR– SP e ANALITICAL SOLUTIONS –SP.

As amostras da primeira campanha também foram analisadas no laboratório da EMBRAPA – MG.

As amostras duplicadas coletadas para análise de metais solúveis e para análises de DRX e EDX foram acondicionadas em sacos plásticos de 1kg a uma temperatura de 0°C, sendo analisadas no Centro de pesquisa Manoel Teixeira da Costa – CPMTC/UFMG e no laboratório de solos e rochas da empresa Georadar respectivamente.

4.2. Trabalho em laboratório

4.2.1. Preparação

As amostras coletadas na primeira campanha desta pesquisa, foram encaminhadas aos laboratórios de São Paulo e também ao laboratório da Embrapa –Sete Lagoas com a finalidade de obter alguns parâmetros a mais como pH (potencial hidrogeniônico), CTC (Capacidade de Troca Catiônica), Al (alumínio), K (potássio) e Mg (magnésio). Na segunda campanha, as amostras coletadas só foram enviadas ao laboratório de São Paulo, que realizou também análises de Al, K e Mg, que não haviam realizado na primeira campanha. Estas amostras seguiram os padrões exigidos pelos laboratórios como armazenamento adequado e envio dentro da data prevista, preservando a integridade das amostras.

4.2.2. Analítica Química

4.1.1.1. Compostos inorgânicos – Metais solúveis

Primeiramente as amostras foram secas em estufas a 90°C, logo em seguida trituradas e pesadas em uma balança de alta precisão. O peso utilizado foi de 100 gramas por amostra, inseridas em frasco pet's independentes, com um litro de água destilada. Após este procedimento as amostras foram homogeneizadas durante uma semana, várias vezes ao dia, e em seguida ficaram em repouso sendo separado as águas dos sedimentos, para análise dos metais lixiviados contidos nestas amostras de água no equipamento ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

4.1.1.2. Compostos inorgânicos – Método Analítico

A determinação dos metais em solo tem como referência o método 3050B da USEPA SW-846, de digestão ácida, onde 1 a 2g da amostra são digeridos com solução de ácido nítrico 1:1. Em seguida adiciona-se ácido nítrico concentrado para a oxidação sob refluxo e peróxido de hidrogênio a 30% para completa oxidação. Após o resfriamento, é adicionado ácido clorídrico para dissolução dos metais e em seguida as amostras estão prontas para as leituras dos metais pela técnica de ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*), método de referência 6010C da USEPA SW-846.

O método consiste na determinação multi-elementar pelo ICP-AES usando o sistema ótico, com detector simultâneo e vista dupla axial e radial no plasma. A amostra digerida é nebulizada (aerossol), que é transportada para a torcha do plasma. Os espectros são produzidos pela radiofrequência indutiva acoplada ao plasma, e as intensidades das linhas de emissão são monitoradas pelo sistema óptico (Quadro 4.1).

ELEMENTO	LINHA ÓPTICA (nm)
Antimônio	206,836
Bário	230,425
Berílio	313,042
Cádmio	228,802
Chumbo	220,353
Cobre	324,752
Cromo	267,716
Ferro Total	259,939
Manganês	257,610
Níquel	231,604
Prata	328,068
Vanádio	292,402
Zinco	213,857
Cálcio	396,847
Magnésio	279,553
Potássio	766,490
Sódio	589,592

Quadro 4.1 – Linhas de Emissão Óptica

- **Análises de Arsênio e Selênio em solo**

As amostras de solo, cerca de 1 a 2 gramas secas, são digeridas com ácido nítrico/peróxido de hidrogênio/ácido clorídrico de acordo o método 3050B da USEPA SW-846. O arsênio é reduzido ao estado trivalente com solução de iodeto de potássio. O Arsênio trivalente é convertido ao hidreto volátil com hidrogênio produzido pela reação da acidificação do borohidreto de sódio em fluxo contínuo de gerador de hidreto, onde é detectado por espectrofotometria de absorção atômica.

O selênio também é digerido em conjunto com o arsênio e a redução para selênio no estado IV com HCl a quente, após a redução a quantificação do selênio é semelhante ao do arsênio, ou seja, por geração de hidretos em fluxo contínuo, este procedimento tem como referência o método 3114 do STM.

- **Análise de Mercúrio em Solo**

As amostras de solo depois de secas a 60°C são digeridas com água régia, oxidada pelo permanganato de potássio, após a oxidação o excesso de oxidante é reduzido com solução de cloridrato de hidroxilamina. A redução do mercúrio ao estado elementar é feita com solução de cloreto estanho II e quantificação do mercúrio é feita no espectrofotômetro de absorção atômica pela técnica de vapor a frio, tendo como referência o método 7471B da USEPA SW-846 e método 3112B do STM.

Na primeira campanha a metodologia utilizada na análise do silício foi a de digestão total da amostra utilizando ácido fluorídrico, e na segunda campanha a digestão foi solúvel com ácido nítrico, ambas com referência do método já citado anteriormente - 3050B da USEPA SW-846.

4.2.3. Determinação Mineralógica

4.1.1.1. Difratometria e Espectrometria de Raios X

As amostras receberam pré- tratamento de secagem ao ar, desagregação e cominuição até a granulometria adequada a difratometria e espectrometria de raios-X.

As amostras, uma vez em granulometria adequada, foram dispostas por pressão nos porta amostras e submetidas a um feixe monocromático de raios-X , que ao interagir com um material que apresenta uma dada periodicidade da rede cristalina, dá origem a difração, que é peculiar a cada constituinte da amostra.

Cada estrutura cristalina gera um padrão único de difração, conforme a disposição espacial dos átomos ou íons na rede cristalina, utiliza-se essa propriedade física para a identificação de seus constituintes mineralógicos, baseando-se na Equação de Bragg : $\lambda = 2d \sin \theta$, onde :

- λ é o comprimento de onda da radiação X (anodo de Cobre);
- d: Distância interplanar da estrutura cristalina investigada;
- θ : O ângulo de Bragg que é o complemento do ângulo de incidência

Já para análise EDX as amostras receberam o mesmo tratamento de DRX até a granulometria desejada e depois foram inseridas no tubo de raios-X que emite radiação para a amostra, onde o detector de silício detecta a fluorescência de raios-X gerada pela amostra. O circuito interno processa pulsos de alta velocidade que gera os espectrogramas de fluorescência de raios-X e é ele também que controla o resfriamento do tubo detector.

4.3. Tratamento dos dados

Os resultados obtidos foram avaliados e tratados de modo a conduzir ao entendimento do comportamento dos metais no solo da região, juntamente com os demais dados como geologia, clima, vegetação, foi possível fazer uma correlação segura e objetiva.

Os dados químicos foram comparados a listas orientadoras de referência para solo, seguindo como padrão à lista da CETESB (2005) de referência nacional, observando se os valores obtidos superaram limites de intervenção e/ou prevenção. Os resultados dos dados geoquímicos encontram-se ilustrados em gráficos e mapas individuais de isovalores.

5. RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

5.1. Dados obtidos

O solo da região estudada é formado por depósitos quaternários, em campo de várzea, com o pH variando de 4,0 a 6,0 $\log [1/H^+]$ e valor médio de 5,3 $\log [1/H^+]$ e CTC variando entre 3,47 e 10,05 cmolc/dm^3 , com valor médio de 6,22 cmolc/dm^3 de acordo com 20 amostras de solo analisadas pelo laboratório da EMBRAPA e dispersas na área (Vide Tabela II.2 no Anexo I). Estes dados conferem a área de um modo geral, solo propício à mobilidade dos metais por apresentar pH mais ácido e CTC baixa conforme apresentado no esquema da figura 3.1 do capítulo 3. A CTC da área está compreendida entre os valores de CTC 5 e CTC 25, porém com a maioria dos valores próximos a CTC 5.

Quanto à mineralogia, a área é constituída principalmente por minerais de quartzo, hematita e caolinita, e também Gibsita e muscovita, dados obtidos através de análises de DRX, em cinco amostras dispersas na área, conforme mostram os gráficos no Anexo II. Para os resultados de EDX, foi constatado em geral a presença dos seguintes elementos químicos (Tabelas 5.1 a 5.5):

Tabela 5.1 – Resultados de EDX da amostra 340 – Valores em porcentagem de peso (%).

Amostra 340				
Elemento	Porcentagem		Desvio padrão	
	<100#	>100#	<100#	>100#
Si	36.409 %	33.958 %	(0.049)	(0.048)
Fe	32.784 %	36.425 %	(0.032)	(0.037)
Al	20.436 %	18.913 %	(0.059)	(0.059)
Ti	3.512 %	3.334 %	(0.014)	(0.015)
K	3.436 %	3.255 %	(0.016)	(0.016)
S	1.552 %	1.938 %	(0.010)	(0.011)
Ba	1.133 %	1.243 %	(0.046)	(0.048)

Tabela 5.2 – Resultados de EDX da amostra 342– Valores em porcentagem de peso (%).

Amostra 342				
Elemento	Porcentagem		Desvio padrão	
	<100#	>100#	<100#	>100#
Si	45.402 %	45.586 %	(0.051)	(0.052)
Fe	26.751 %	26.743 %	(0.030)	(0.033)
Al	17.150 %	16.581 %	(0.050)	(0.050)
Ti	4.323 %	3.930 %	(0.016)	(0.016)
K	2.844 %	2.786 %	(0.014)	(0.014)
S	1.504 %	1.823 %	(0.021)	(0.011)
Ca	1.135 %	1.112 %	(0.007)	(0.007)

Tabela 5.3 – Resultados de EDX da amostra 348– Valores em porcentagem de peso (%).

Amostra 348				
Elemento	Porcentagem		Desvio padrão	
	<100#	>100#	<100#	>100#
Si	40.086 %	47.188 %	(0.051)	(0.075)
Fe	31.320 %	26.286 %	(0.032)	(0.047)
Al	19.738 %	17.363 %	(0.056)	(0.072)
Ti	3.613 %	2.585 %	(0.014)	(0.020)
K	2.646 %	2.323 %	(0.015)	(0.018)
S	1.629 %	2.379 %	(0.011)	(0.016)
Ba	-	1.189 %	-	(0.065)
P	-	0.300 %	-	(0.020)

Tabela 5.4 – Resultados de EDX da amostra 353– Valores em porcentagem de peso (%).

Amostra 353				
Elemento	Porcentagem		Desvio padrão	
	<100#	>100#	<100#	>100#
Fe	36.774 %	56.288 %	(0.068)	(0.077)
Si	32.554 %	19.788 %	(0.050)	(0.063)
Al	22.160 %	10.294 %	(0.088)	(0.081)
Ti	3.506 %	3.970 %	(0.020)	(0.025)
K	1.947 %	2.052 %	(0.018)	(0.020)
Ba	1.397 %	2.539 %	(0.065)	(0.082)
S	1.026 %	3.213 %	(0.013)	(0.045)

Tabela 5.5 – Resultados de EDX da amostra 357– Valores em porcentagem de peso (%).

Amostra 357				
Elemento	Porcentagem		Desvio padrão	
	<100#	>100#	<100#	>100#
Fe	40.819 %	37.044 %	(0.053)	(0.044)
Si	28.644 %	33.289 %	(0.061)	(0.064)
Al	15.792 %	16.267 %	(0.076)	(0.074)
K	7.671 %	7.991 %	(0.032)	(0.034)
Ti	2.129 %	2.094 %	(0.017)	(0.016)
S	1.926 %	1.134 %	(0.014)	(0.023)
Ba	1.068 %	0.951 %	(0.054)	(0.051)
Ca	0.507 %	-	(0.010)	-
Mn	0.492 %	0.467 %	(0.009)	(0.007)

Como era de se esperar os elementos químicos Si, Fe e Al, são os mais abundantes nas amostras analisadas, confirmando os resultados obtidos de DRX, referente aos minerais quartzo, hematita, caolinita e Gibsita. Os minerais que apresentaram K podem estar relacionados às micas, no caso como diagnosticado no DRX, muscovita. Os histogramas abaixo conferem e mostram pequenas diferenças entre estes resultados, para as duas diferentes frações de abertura da peneira, <100# (mesh) e > 100 # (mesh), isto indica menor abertura da peneira no primeiro caso, e maior abertura no segundo para cada amostra, passando materiais com granulometrias distintas. De acordo com a tabela de correlação ISO (USS – TYLER- mm), 100 mesh corresponde a 0,15mm, logo de

acordo com as escalas granulométricas mais utilizadas como por exemplo a escala Internacional e escala da ABNT, a granulometria acima de 0,015mm está compreendida desde areia fina até pedregulho (2mm) e a granulometria abaixo de 0,015mm também vai de areia fina até a fração argila. O Anexo II traz os resultados de EDX e DRX

A Figura 5.1 mostra o histograma correspondente à amostra 340, localizada na porção oeste da área. Percebe-se que para a maior granulometria da amostra (>100#), predomina em porcentagem o Fe, seguido do Si, Al e demais elementos, já a menor granulometria (<100#) apresentou predominância do Si, seguido do Fe, Al e elementos menores.

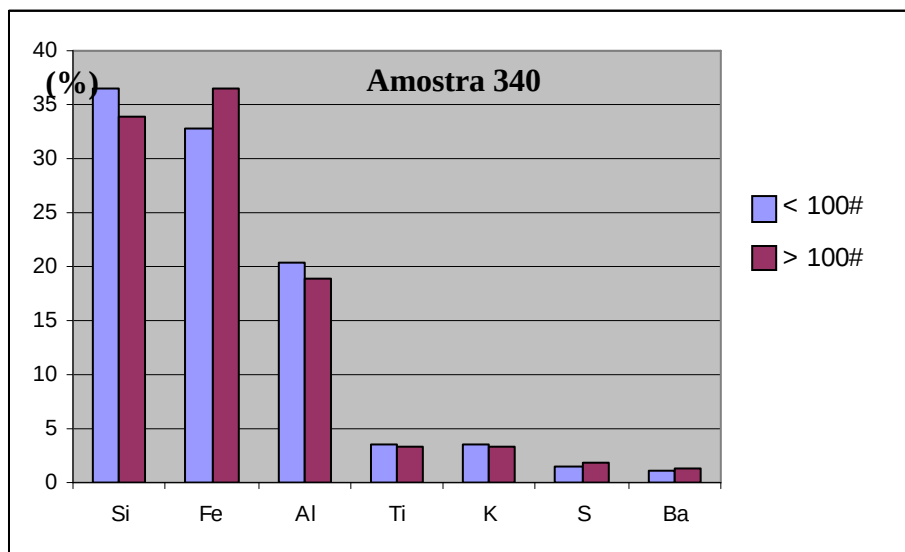


Figura 5.1 – Histograma da composição química da amostra 340, em duas frações granulométricas – Valores em porcentagem de peso (%).

Na Figura 5.2, que representa a amostra 342, localizada ao lado da fábrica de Fe-ligas, nota-se que o silício é o elemento químico de maior porcentagem, seguido do ferro e demais elementos nas duas frações granulométricas.

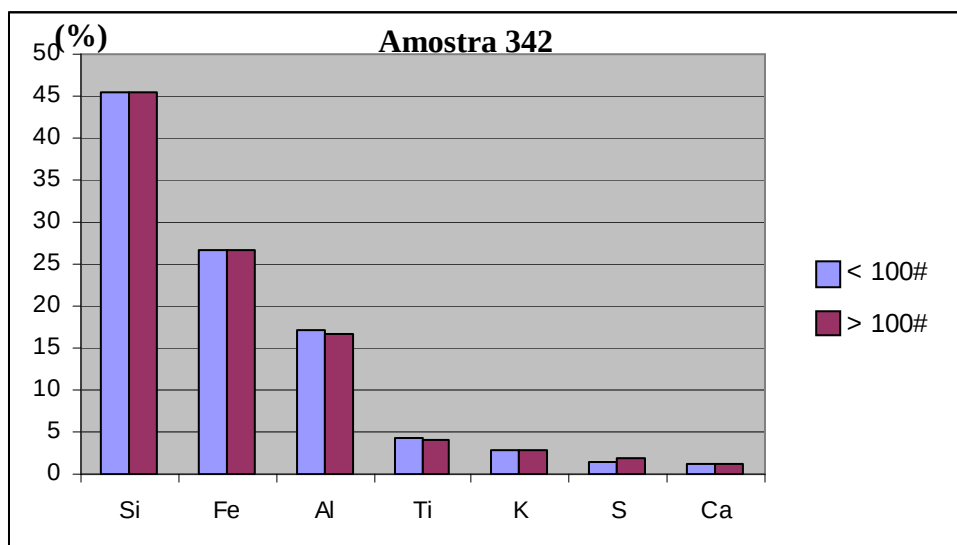


Figura 5.2 – Histograma da composição química da amostra 342, em duas frações granulométricas – Valores em porcentagem de peso (%).

A Figura 5.3, mostra que para a amostra selecionada pela peneira <100#, o Si tem a maior porcentagem, seguida do Fe, Al, Ti, K e S, não aparecendo Ba e P como para as amostras da peneira >100# que também apresentou o Si com a maior porcentagem seguida do Fe, Al, Ti, S, K, Ba e P. Esta amostra encontra-se localizada a oeste da área pesquisada.

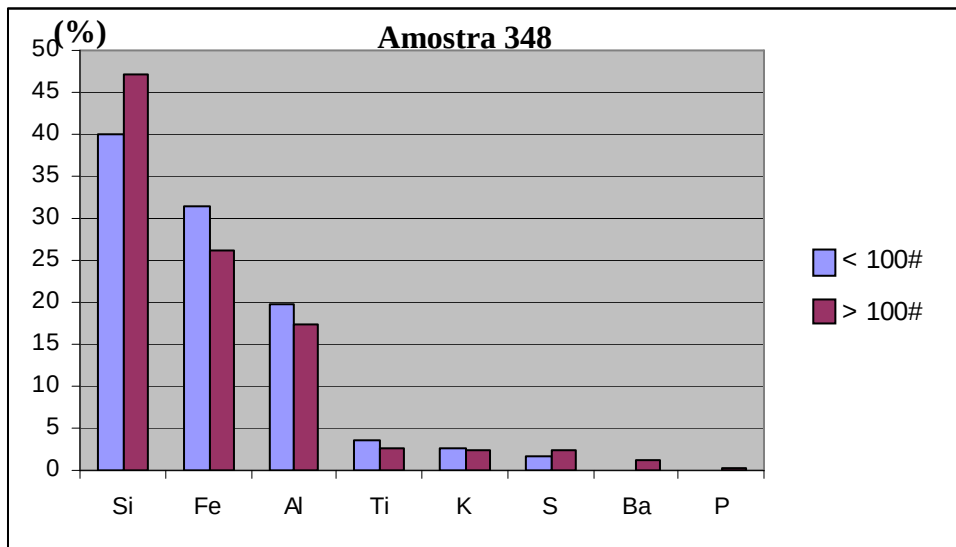


Figura 5.3 – Histograma da composição química da amostra 348, em duas frações granulométricas – Valores em porcentagem de peso (%).

O histograma apresentado na Figura 5.4, mostra variações na seqüência dos elementos químicos com relação à porcentagem, somente entre os compostos K, Ba e S. Esta amostra está localizada a norte da área, próximo a BR que liga Várzea ao município de Pirapora.

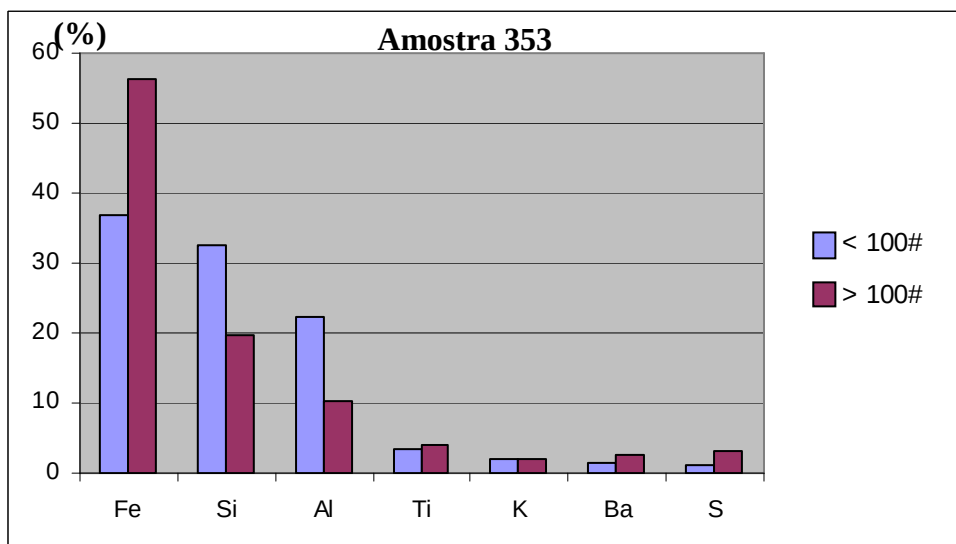


Figura 5.4 – Histograma da composição química da amostra 353, em duas frações granulométricas - Valores em porcentagem de peso (%).

A diferença entre as duas frações granulométricas apresentadas no histograma da Figura 5.5, que representa a amostra 357, localizada a leste da área, somente se dá na ausência do Ca para a fração da peneira >100#. No geral o Fe predomina em porcentagem, seguido do Si, Al e K.

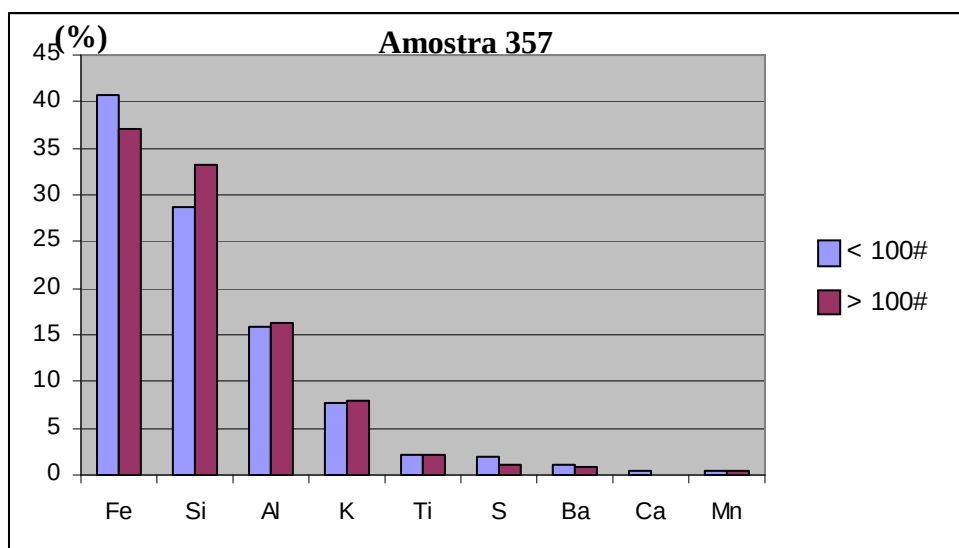


Figura 5.5 – Histograma da composição química da amostra 357, em duas frações granulométricas – Valores em porcentagem de peso (%).

De acordo com estas análises pode-se dizer que os solos são areno-argilosos com alto teor de ferro, e porcentagens também de titânio, bário, enxofre, cálcio e manganês, sedimentos estes carregados e intemperizados das rochas sedimentares rica nestes elementos, como são os pelitos do Grupo Bambuí que ocorrem sob o solo local e afloram nas porções topograficamente mais altas no entorno da área e também logo abaixo dos depósitos quaternários.

5.1.1. Determinação das concentrações naturais – *background* dos elementos analisados para área pesquisada

Foram coletadas duas amostras fora da área pesquisada para determinação do nível natural dos elementos de interesse, sendo que um ponto – V397, se localiza na porção topograficamente mais elevada a oeste da área, em uma cota aproximada de 589m na Serra do Repartimento e o outro ponto V396 localiza-se a leste da área a aproximadamente 4,5km da margem direita do Rio das Velhas, em uma cota aproximada de 500m de altitude. Estes pontos não apresentam influência antrópica relevante podendo representar o nível natural dos elementos no solo investigado. A

Tabela 5.6 compara os resultados dos pontos de controle para *background* com os menores e maiores valores de alguns dos metais analisados nas demais amostras.

Tabela 5.6 – Comparação entre os valores mínimos e máximos encontrados de alguns metais para área pesquisada.

Elemento	Mín. – Máx. (ppm)	V-396 (ppm)	V-397 (ppm)
V	7,2 – 143,0	25,2	15,5
Cr	10,2 – 110,0	13,0	12,0
Ni	0,5 – 21,9	3,9	4,3
Cu	0,6 – 31,3	6,6	43,7
Zn	2,4 – 76,3	7,9	9,8
Cd	0,42 – 3,0	1,2	1,7
Ba	4,6 – 172,5	75,6	136,3
Pb	3,7 – 30,9	10,4	19,7
Sb	1,0 – 3,2	1,16	1,3
Be	0,21 – 1,7	0,6	0,5

5.2. Representação gráfica dos dados

As figuras apresentadas na seqüência, mostram a tendência de valores naturais e valores acima do *background* da área pesquisada, comparando com listas de referência para o solo. Com estes gráficos é possível ter uma visão abrangente da distribuição de todos os resultados encontrados para cada metal específico, sendo eles: V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Ba, Pb, Sb, Be, Si, Al, Mg e K.

Conforme já mencionado os dados estão comparados com a lista de referência da CETESB (2005), por se tratar de solos tropicais. Caso não haja valor orientador para algum composto inorgânico nesta lista de referência, a Lista Holandesa, seguida da Alemã e Canadense serão utilizadas.

Os resultados das análises destes compostos inorgânicos, estão nas Tabelas I.1 e I.3 no Anexo I deste diagnóstico.

5.2.1. Vanádio

Os valores de concentração para o metal vanádio variaram de 7,2 a 143 ppm conforme mostra a Tabela 5.6, o maior valor, está representado pela amostra V354, próximo a BR-496 na porção norte da área. Percebe-se na distribuição dos valores no gráfico (Figura 5.6), circulado em

vermelho que as concentrações naturais deste elemento encontra-se entre 10 e 40 ppm, compatível com as amostras em branco coletadas para *background*.

De acordo com os valores orientadores da lista de referência, não há concentrações acima do limite de intervenção. Os maiores valores se encontram próximos uns dos outros na porção norte e oeste da área.

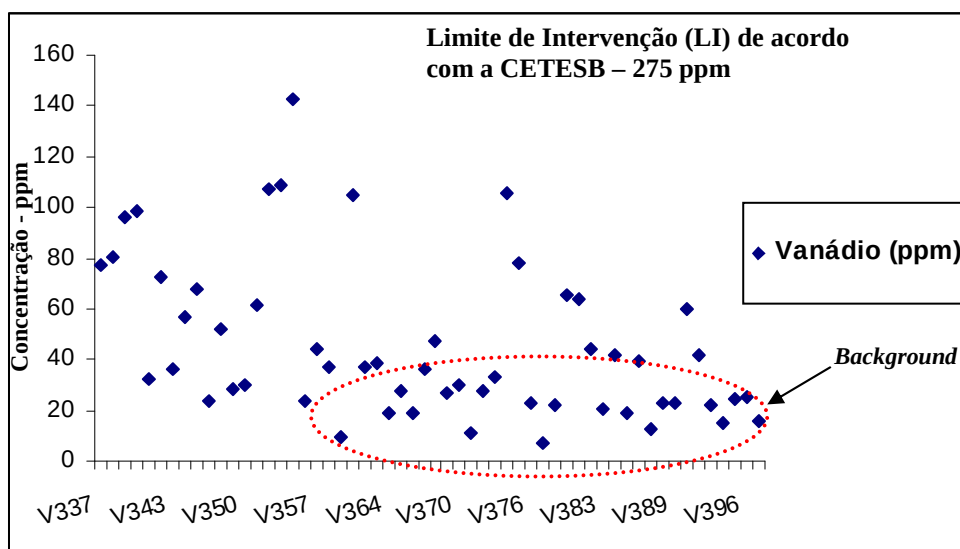


Figura 5.6 - Distribuição dos valores das concentrações de Vanádio.

5.2.2. Cromo

Os resultados obtidos para o metal cromo variaram de 10,2 a 110 ppm, sendo que o maior valor foi encontrado nos pontos V340 e V354 ambos na porção norte da área. A Figura 5.7 mostra a distribuição dos valores obtidos para este metal e no círculo em vermelho os prováveis valores de *background* para área, confirmando as concentrações obtidas nas amostras em branco V396 e V397 como mostra a Tabela 5.6, descrita anteriormente.

Não houve valores de concentração acima do limite de intervenção, mas nos pontos V339, V340, V354, que estão representados acima da reta em azul na Figura 5.7, as concentrações estão acima do valor de prevenção estabelecido pela lista de referência aqui utilizada. A maioria dos pontos com as maiores concentrações de cromo se encontram na porção norte e oeste da área de estudo.

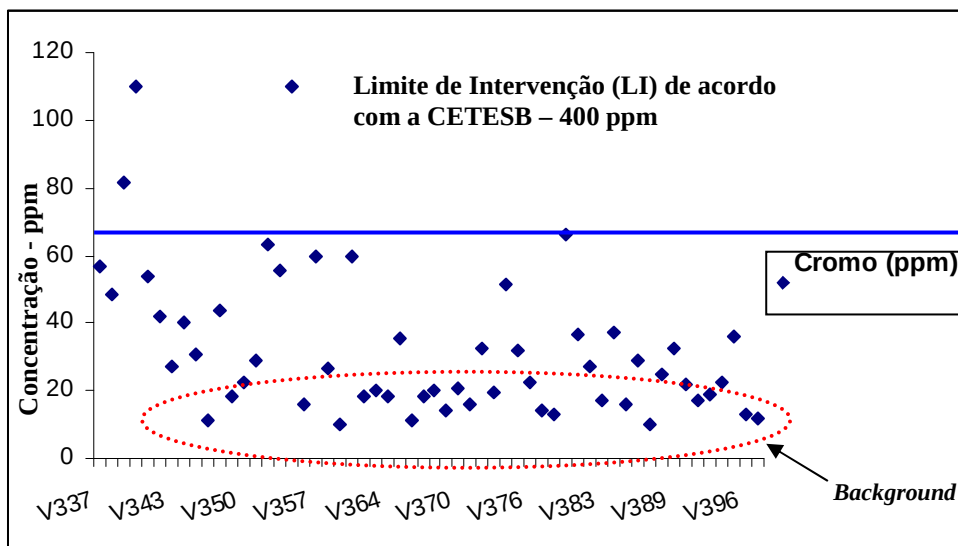


Figura 5.7 - Distribuição dos valores das concentrações de Cromo.

5.2.3. Manganês

Os valores encontrados na área variaram entre 2,8 e 955,2 ppm, sendo que as concentrações naturais (circulado em vermelho) ficaram com valores até aproximadamente 100ppm conforme mostra a Figura 5.8, onde há distribuição de todos os valores analisados, sendo a maioria dos dados uniformes.

Não há valores orientadores para este composto inorgânico em nenhuma lista citada neste diagnóstico, porém os maiores valores de concentração estão nos pontos V395, localizado na porção sudeste da área próximo ao rio, V397, localizado a oeste da área e V357, na porção leste também próximo ao Rio das Velhas.

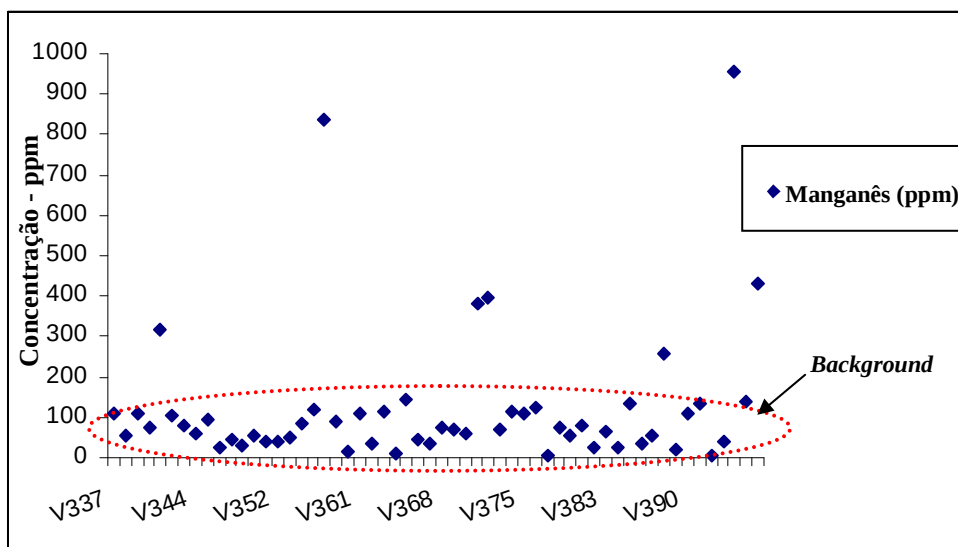


Figura 5.8 - Distribuição dos valores das concentrações de Manganês.

5.2.4. Ferro Total

O ferro é o elemento telúrico mais abundante, compondo 30% da massa total do planeta. Constitui 80% do núcleo e é o quarto elemento mais abundante da crosta da terra, depois do oxigênio, silício e alumínio. Na área podemos considerar como valores naturais os circulados em vermelho representados na Figura 5.9 de distribuição dos valores de ferro. A menor concentração encontrada foi de 557,0 ppm e a maior foi 47.840 ppm. Os dois pontos com os maiores valores estão representados por V361 e V374 localizados nas porções norte e oeste respectivamente.

Assim como o manganês não há valores orientadores nas listas utilizadas neste diagnóstico.

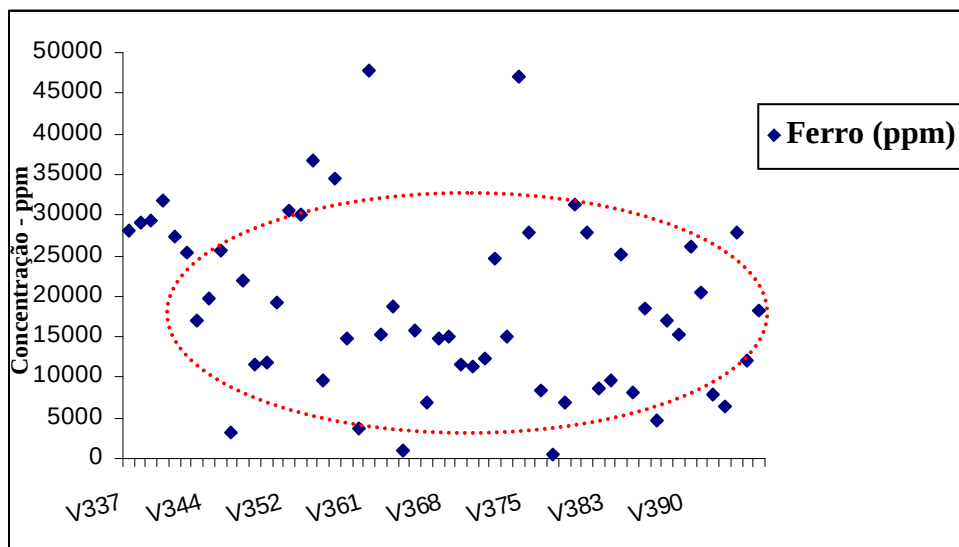


Figura 5.9 - Distribuição dos valores das concentrações de Ferro total.

5.2.5. Níquel

A Figura 5.10 traz a distribuição dos valores deste metal, mostrando uma variação mínima e máxima de 0,5 e 21,0 ppm. No geral os valores naturais se encontram até aproximadamente 5 ppm, confirmando os valores obtidos nas amostras em branco V396 e V397 conforme mostra a Tabela 5.1.

De acordo com a lista utilizada não houve concentrações acima do limite de intervenção e de prevenção. Os maiores valores encontrados estão nas porções nordeste, sudeste e leste da área, todos próximos ao rio principal.

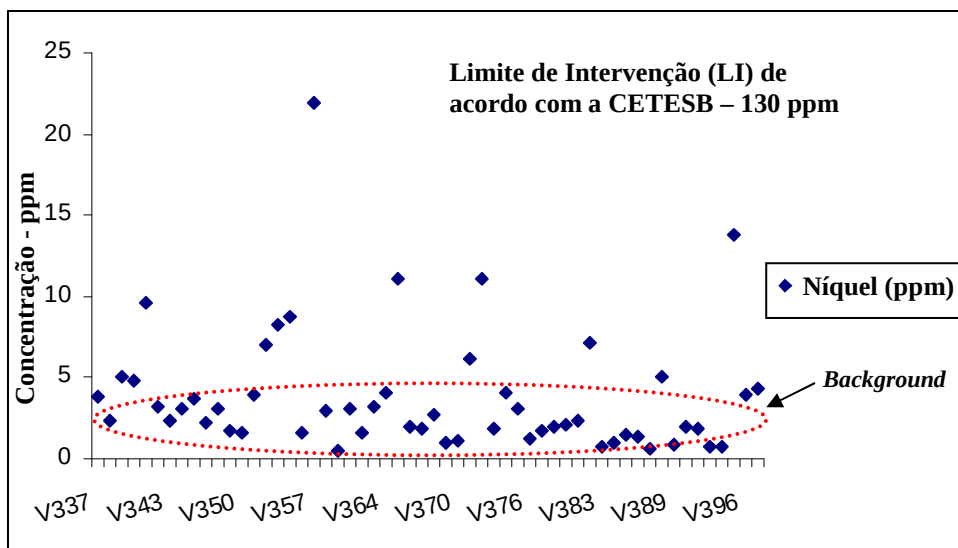


Figura 5.10 - Distribuição dos valores das concentrações de Níquel.

5.2.6. Cobre

Os valores obtidos para cobre estão entre 0,6 e 43,7 ppm. A Figura 5.11 apresenta a distribuição de todos os valores analisados e provável *background* da área, circulado em vermelho.

Não houve valores de concentração acima do limite de intervenção e de prevenção de acordo com a lista utilizada. Os pontos V357, V365, V372, V381 e V395, apresentaram os maiores valores de cobre dentro da malha amostrada, localizados a leste, nordeste e sudeste, todos também próximos ao Rio das Velhas.

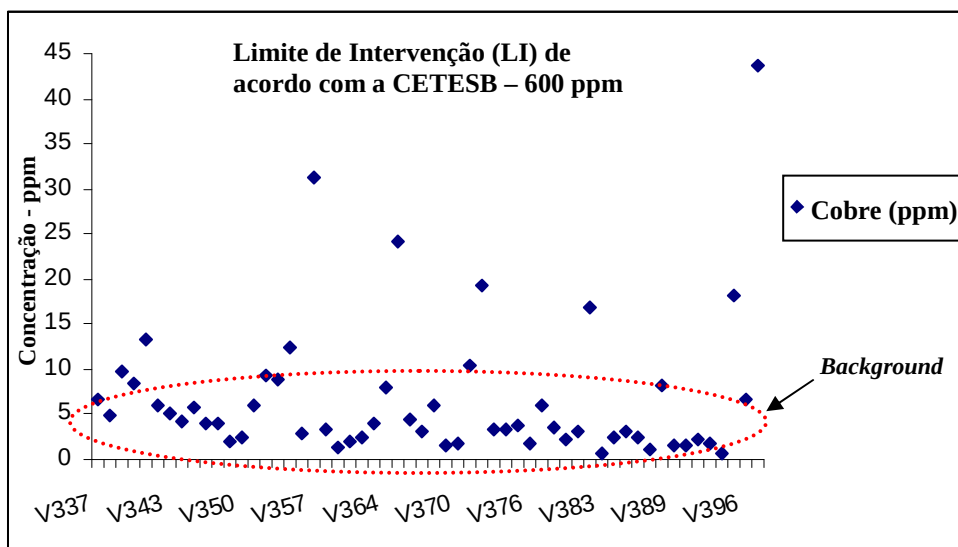


Figura 5.11 - Distribuição dos valores das concentrações de Cobre.

5.2.7. Zinco

A distribuição dos valores de concentração do zinco (Figura 5.12) mostra o mínimo de 2,4 ppm e máximo de 76,3 ppm. Os valores se mostram no geral, uniformes com valores de

background relativamente baixos, circutados na figura em vermelho variando de 2,4 até aproximadamente 30 ppm.

Os valores encontrados são baixos, inferiores aos limites de intervenção e prevenção da lista orientadora utilizada. Os valores mais altos estão na porção leste e sudeste da área, próximos ao rio com exceção do ponto amostral V341 que está na porção sudoeste.

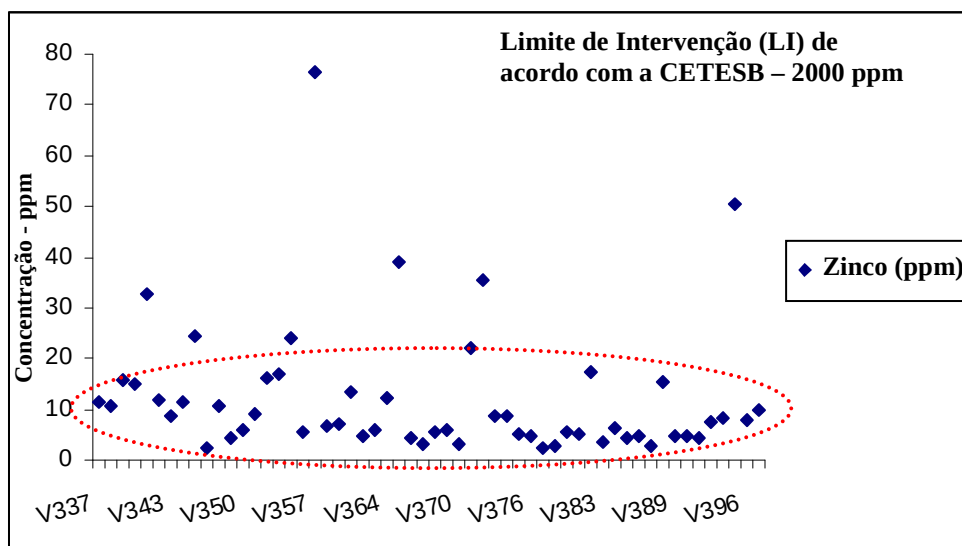


Figura 5.12 - Distribuição dos valores das concentrações de Zinco.

5.2.8. Cádmio

A Figura 5.13 mostra a distribuição dos valores de cádmio e o *background* de acordo com estas análises. Os valores das amostras analisadas na primeira campanha, até o ponto amostral V351 se apresentaram menor que 0,5 ppm, e os valores naturais encontram-se até aproximadamente 1,0 ppm.

Não foram encontrados valores acima do limite de intervenção, porém os valores que se encontram acima da reta em azul na Figura 5.13, estão acima do limite de prevenção de acordo com lista de referência utilizada que é de 1,3 ppm. A maioria destes pontos se encontram na porção oeste e norte da área.

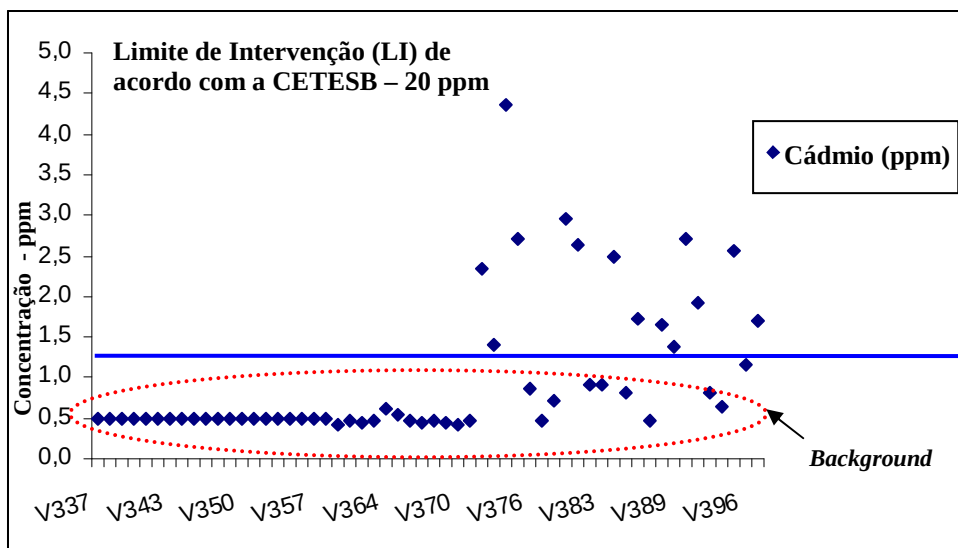


Figura 5.13 - Distribuição dos valores das concentrações de Cádmio.

5.2.9. Bário

Os valores naturais de bário se encontram circulados em vermelho na Figura 5.14. Os resultados obtidos variaram de 4,6 a 172,5 ppm.

De acordo com a lista de referência não houve valores acima do limite de intervenção, mas os dois pontos amostrais V342 e V381 apresentaram valores acima do limite de prevenção estabelecido pela lista orientadora utilizada que é de 150 ppm, sendo que o V342 se localiza na fábrica de Fe-ligas e o ponto V381 está na porção sudeste próximo ao rio. Estes dois pontos estão representados na Figura 5.14 acima da reta em azul. Os demais pontos com valores próximos ao limite de prevenção se encontram dispersos na porção nordeste, sudeste e leste, próximos ao rio, apenas o ponto amostral V397 se encontra na porção oeste da área.

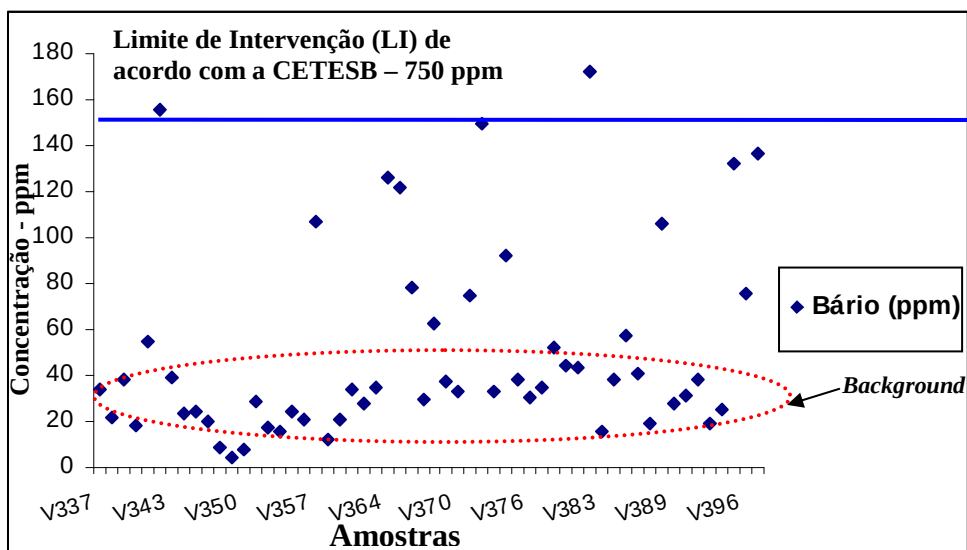


Figura 5.14 - Distribuição dos valores das concentrações de Bário.

5.2.10. Chumbo

Os valores encontrados para o metal chumbo, foram relativamente baixos, variando de 3,7 a 30,9 ppm, conforme mostra a Figura 5.15. O ponto circulado em laranja representa a maior concentração encontrada. Os demais pontos assim como os pontos de controle de *background* (V396 e V397) provavelmente são valores naturais para o solo da região.

De acordo com a lista utilizada não há concentrações acima do limite de intervenção e de prevenção. O ponto amostral V357, com o maior valor de chumbo se encontra na porção leste da área, próximo ao rio.

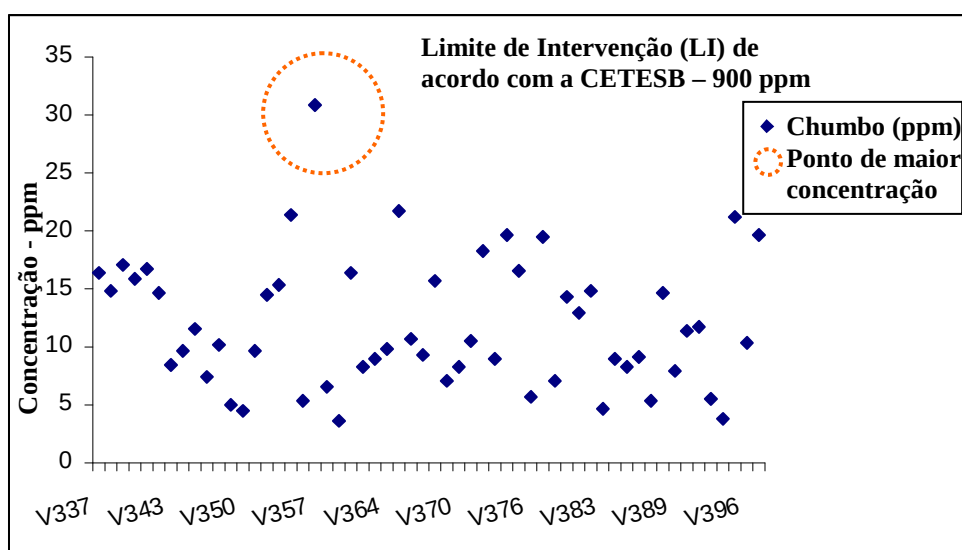


Figura 5.15 - Distribuição dos valores das concentrações de Chumbo.

5.2.11. Antimônio

A Figura 5.16 apresenta a distribuição dos valores de concentração para o antimônio, onde os pontos circulos em vermelho representam o provável *background* da área. Os valores mínimo e máximo variaram de 1,0 a 3,2 ppm.

Não houve valores acima do limite de intervenção, porém os valores acima da reta em azul apresentaram concentrações acima do limite de prevenção de acordo com valores orientadores. Estes pontos se encontram dispersos na área, com maior representação de pontos para a porção oeste.

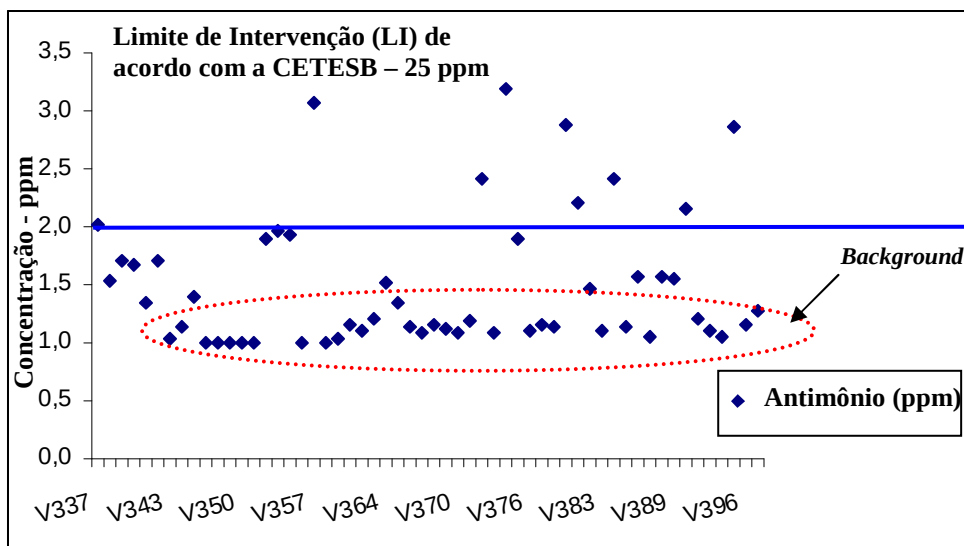


Figura 5.16. - Distribuição dos valores das concentrações de antimônio.

5.2.12. Berílio

Os valores para o Berílio variaram de 0,21 a 1,72 ppm, com a concentração natural variando de 0,2 até aproximadamente 0,8 ppm, dados compatíveis com as amostras em branco V396 e V397.

Não há valor orientador para este elemento na lista da CETESB, assim a lista aqui utilizada para o Berílio é a Holandesa e de acordo com esta lista os pontos amostrais acima da reta em azul da Figura 5.17 estão acima do limite de prevenção que é de 1,1 ppm, porém não houve valores acima do limite de intervenção de acordo com a lista de referência.

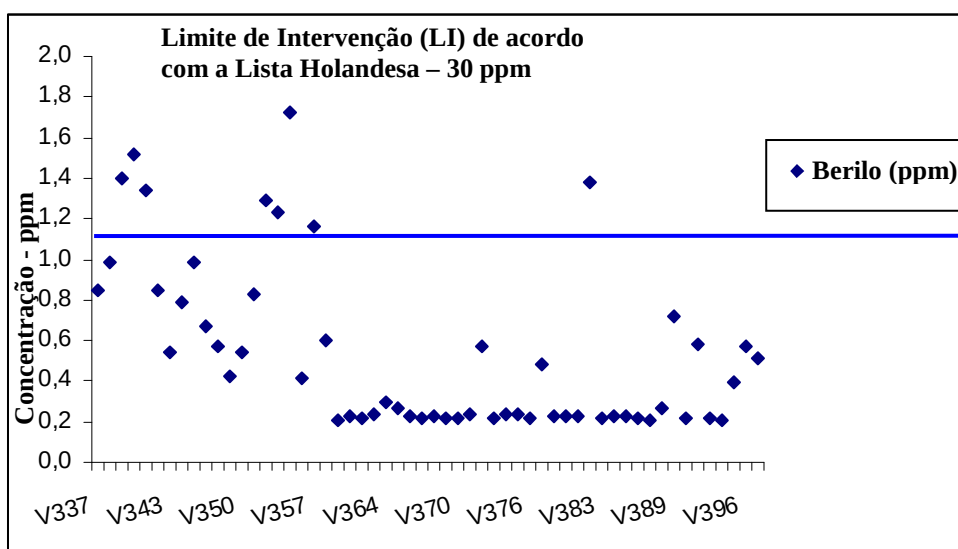


Figura 5.17 - Distribuição dos valores das concentrações de berílio.

5.2.14. Análise da fumaça

O material particulado que sai da chaminé em forma de fumaça também foi analisado, a tabela abaixo mostra os valores obtidos:

Tabela 5.7 – Resultados da análise do material que sai da chaminé da fábrica na área estudada.

V – 0,9 ppm	Cu – 27,3 ppm	Hg - <0,17 ppm	Ag – <4,08 ppm
Cr – 8,0 ppm	Zn – 69,2 ppm	Pb – 14,8 ppm	Al – 707,1 ppm
Mn – 386,0 ppm	As – 4,5 ppm	Sb – 1,2 ppm	K – 1898,5 ppm
Fe total – 3143,0 ppm	Cd – 0,4 ppm	Be – 0,0 ppm	Mg – 627,8 ppm
Ni – 2,2 ppm	Ba – 1185,0 ppm	Se – <0,20 ppm	Si – 525,5 ppm

Comparando estes valores com os demais da área, percebe-se que o Cu, Zn, K e Mg estão entre os maiores valores de concentração encontrados, e o Ba da fumaça é o maior valor encontrado entre todas as amostras analisadas. De acordo com a lista de referência utilizada o Ba está acima do limite de intervenção que é de 750 ppm.

Este excesso de bário liberado pelas chaminés, é devido ao sulfato de bário (barita – BaSO₄) utilizado no processo da fábrica. A absorção desta substância, tanto por via oral quanto por via retal, pode levar a reações tóxicas, que surgem nas primeiras horas após o uso. Os sinais e sintomas de intoxicação por bário são:

- náuseas, vômitos, diarreia, dor abdominal;
- agitação, ansiedade;
- astenia, lipotimia, sudorese;
- tremores, fibrilação muscular, hipertonia dos músculos da face e pescoço;
- dispnéia, arritmia cardíaca;
- parestesias de membros superiores e inferiores;
- crises convulsivas e coma.

5.3. Distribuição dos elementos analisados na área de estudo

Neste item serão apresentados mapas geoquímicos representados pelas figuras 5.18 a 5.37, que mostram a distribuição das concentrações dos metais pesados na superfície do solo da área e também gráficos de distribuição dos metais lixiviados do solo pelas águas meteóricas, logo, estes gráficos nos mostram o carreamento destes metais do solo pelas águas naturais.

Os mapas estão representados por linhas de isovalores, com a localização dos pontos analisados, do município de Várzea da Palma e da fábrica de ferro-ligas.

5.3.1. Vanádio

O mapa de distribuição das concentrações de vanádio na superfície do solo pesquisado, mostra os maiores valores na porção noroeste da área e também próximo à área da fábrica (Figura 5.18). Estes valores maiores da área a nordeste, também se encontram em uma área

topograficamente mais elevada (Figura 2.9 – mapa 3d). Estes resultados condizem com os dados climáticos do INMET, onde a direção preferencial dos ventos para a região é norte/nordeste.

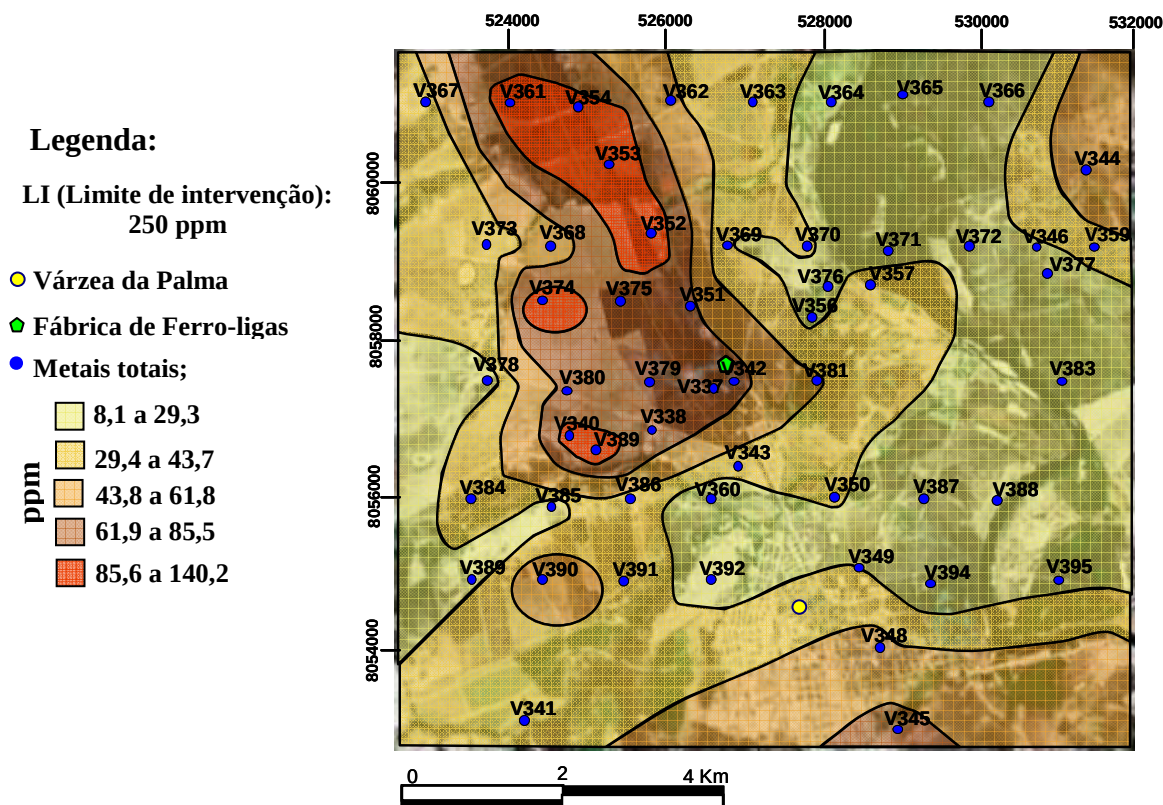


Figura 5.18 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Vanádio.

5.3.2. Cromo

Assim como o vanádio, a distribuição dos valores de concentração de cromo é maior para noroeste, e também na porção oeste contíguo à área da fábrica. O mapa (Figura 5.19) mostra ainda algumas concentrações maiores dispersas para nordeste. Estas concentrações mais elevadas, localizadas a nordeste, também estão no limite da rodovia federal BR-496.

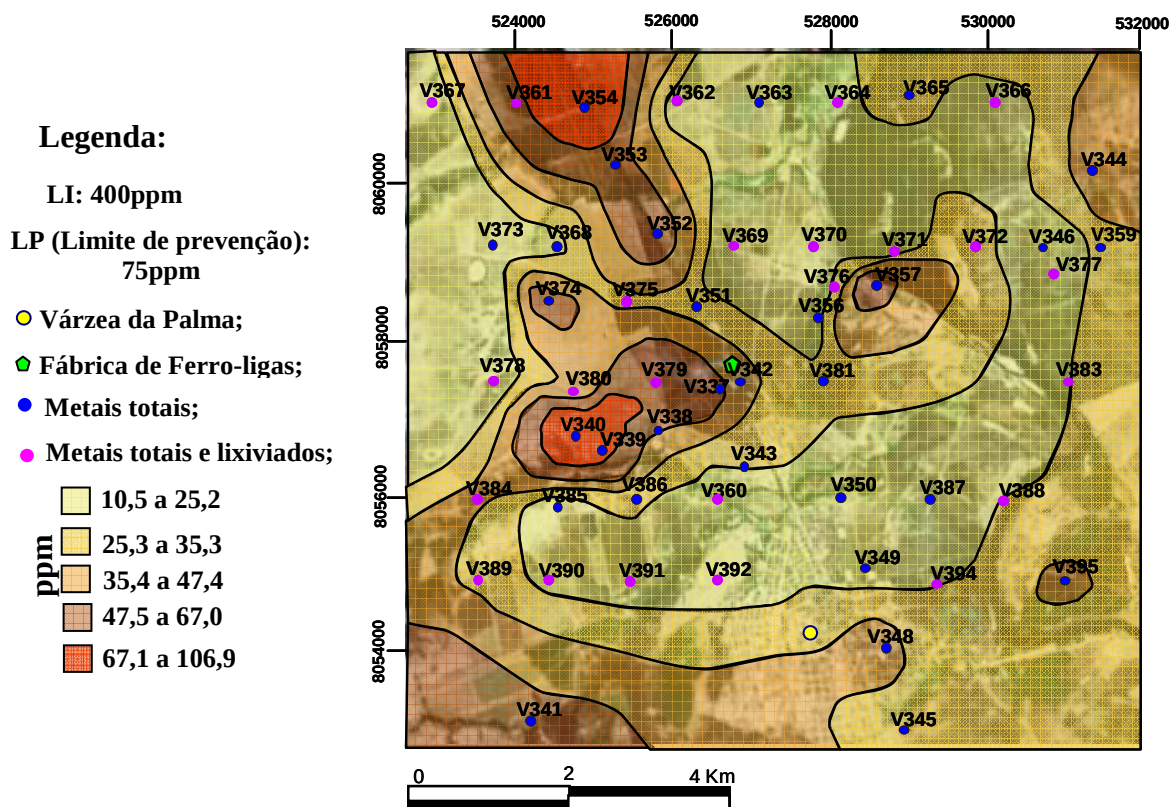


Figura 5.19 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Cromo.

O gráfico abaixo (Figura 5.20), traz os valores de concentração do cromo lixiviado; percebe-se que a mobilidade deste metal é quase zero, pouco móbil, porém em alguns pontos houve valores de lixiviação dispersos pela área, dois pontos estão próximos ao Rio das Velhas no lado sudeste da área (V394 e V388) e os pontos com os maiores valores (V398 0,4m e V398 1,7m), foram retirados de um corte próximo a BR 496, onde foi executado um perfil de solo, nota-se que a mobilidade deste metal decai com a profundidade; por fim os dois últimos pontos com valores mais baixos estão na porção sudoeste em uma topografia um pouco mais elevada.

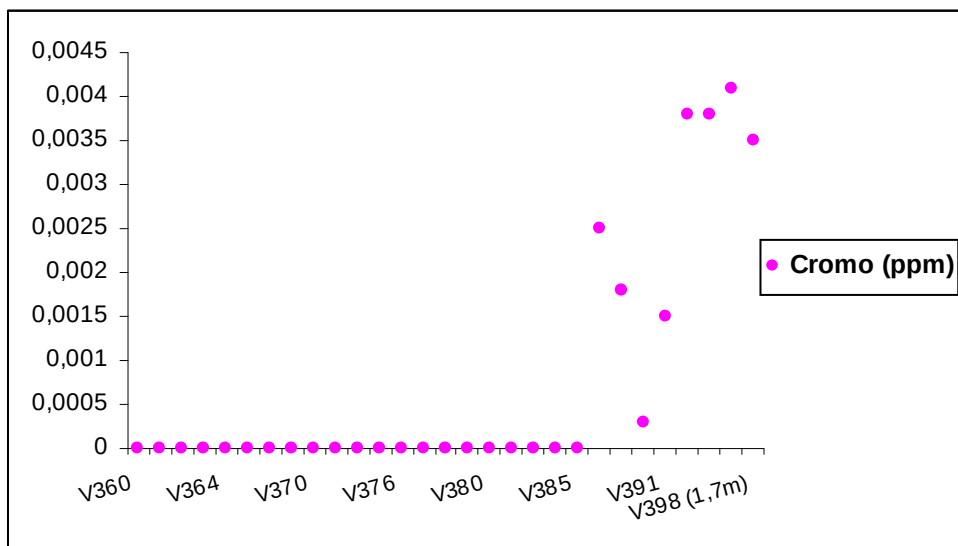


Figura 5.20 – Gráfico de distribuição do cromo lixiviado.

5.3.2. Manganês

A distribuição dos valores de manganês (Figura 5.21) mostram uma certa homogeneidade para área. Os pontos com os maiores valores encontram-se próximo ao Rio das Velhas na porção leste e sudeste. Próximo ao ponto V371, que possui uma concentração alta de manganês, há uma carvoeira com cinco fornos, que sugere uma correlação com estes dados. Também é importante ressaltar que próximos à zona de descarga, espera-se uma concentração maior de metais solúveis como manganês, chumbo e ferro.

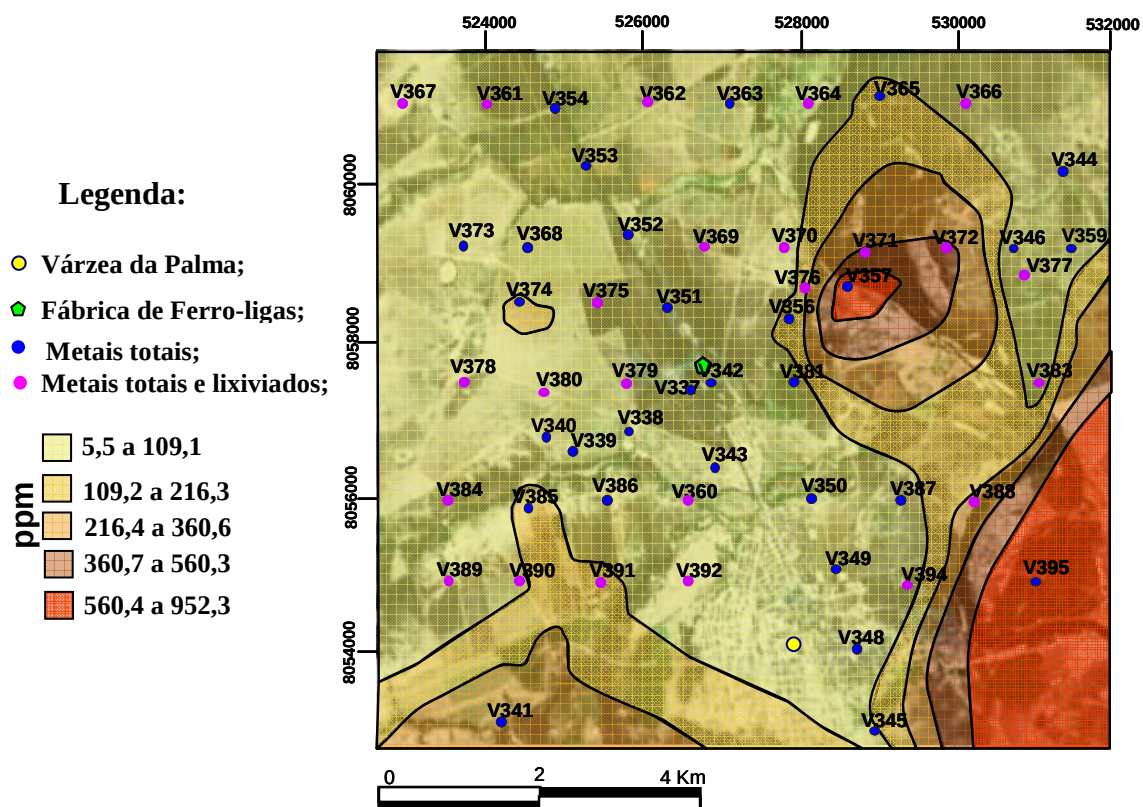


Figura 5.21 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Manganês.

O gráfico a seguir (Figura 5.22) mostra a distribuição dos valores lixiviados de manganês, assim como o mapa acima, há uma homogeneidade dos dados encontrados. O maior valor se encontra no ponto amostral V394, que está localizado a sudeste da área, e os dois demais pontos amostrais estão V372 e V377, estão próximos do Rio das Velhas e próximo a carvoeira já citada. O manganês também se apresenta como um metal pouco móbil.

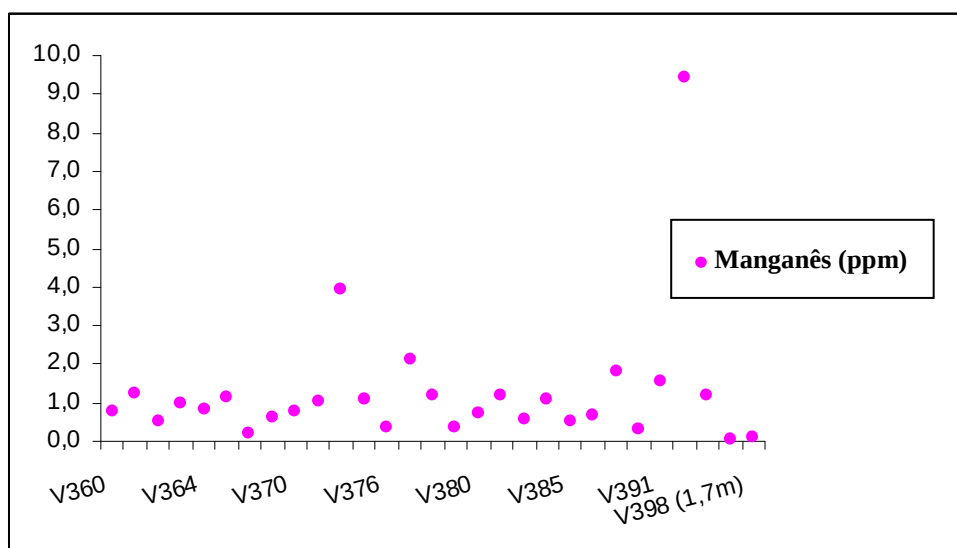


Figura 5.22 – Gráfico de distribuição do manganês lixiviado.

5.3.3. Ferro

O mapa geoquímico de distribuição do ferro total (Figura 5.23) mostra menores valores na parte central e oeste da área, com aumento da concentração para porção nordeste, abrangido a área da fábrica e também um ponto que está próximo à carvoeira. Esta carvoeira com cinco fornos, como já foi citado, está ao lado do ponto amostral V371, revelando uma área de influência de maior concentração no entorno dos pontos adjacentes a esta carvoeira.

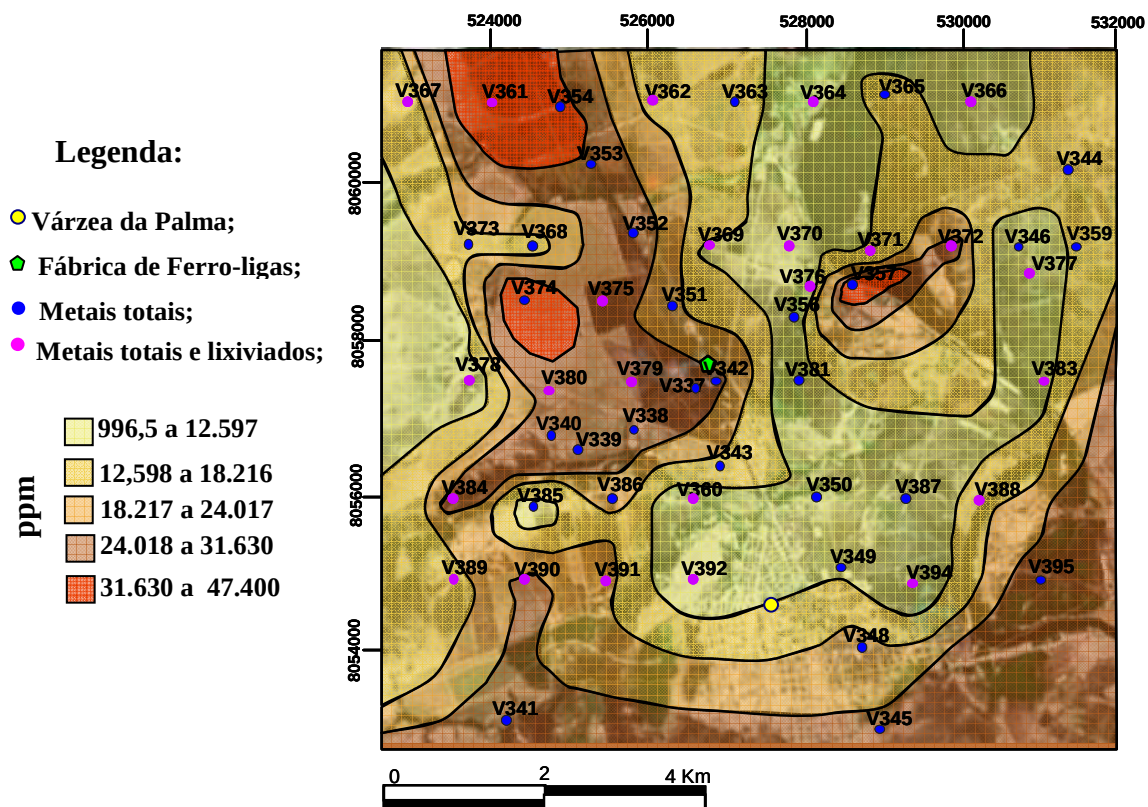


Figura 5.23 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores Ferro total.

O gráfico abaixo apresenta a distribuição dos valores de ferro lixiviado para a área pesquisada, onde o valor máximo é representado pelo ponto amostral V372, que está localizado a nordeste da área e assim como o manganês está próximo à carvoeira. Nota-se ainda no gráfico a homogeneidade dos dados lixiviados, acarretando na pouca mobilidade deste metal.

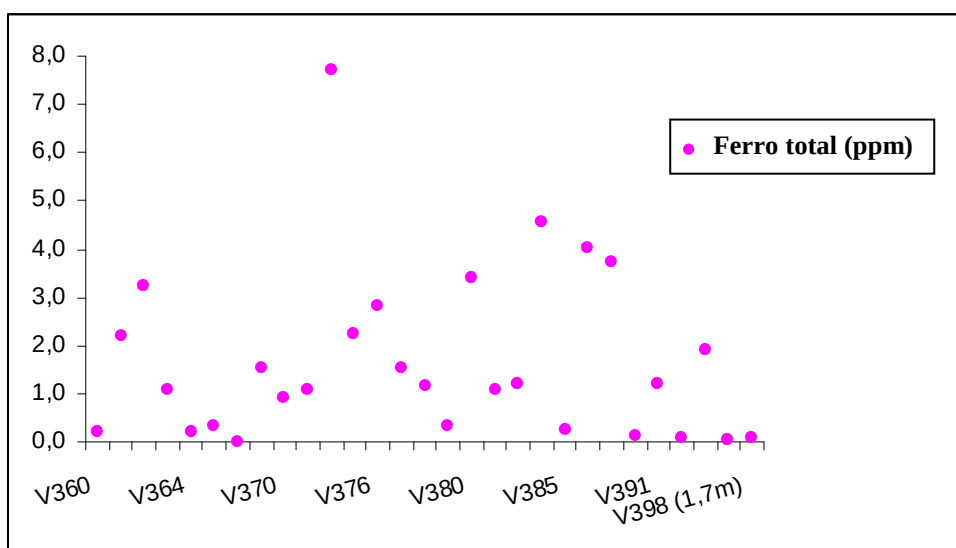


Figura 5.24 – Gráfico de distribuição do Ferro lixiviado.

5.3.4. Níquel

Observando o mapa geoquímico de distribuição dos valores de níquel no solo superficial (Figura 5.25), nota-se no geral baixo valores deste metal, porém com aumento da concentração a leste, nordeste e no ponto amostral V341 a sudoeste da área pesquisada. Os maiores valores estão representados pelos pontos amostrais V357 e V395, sendo que no entorno do ponto amostral V357 há na proximidade uma carvoeira ativa.

Os resultados dos valores lixiviados de níquel, ficaram todos abaixo do limite de detecção do equipamento, ($< 0,0171\text{ppm}$) mostrando a pouca mobilidade e/ou imobilidade deste metal na área estudada.

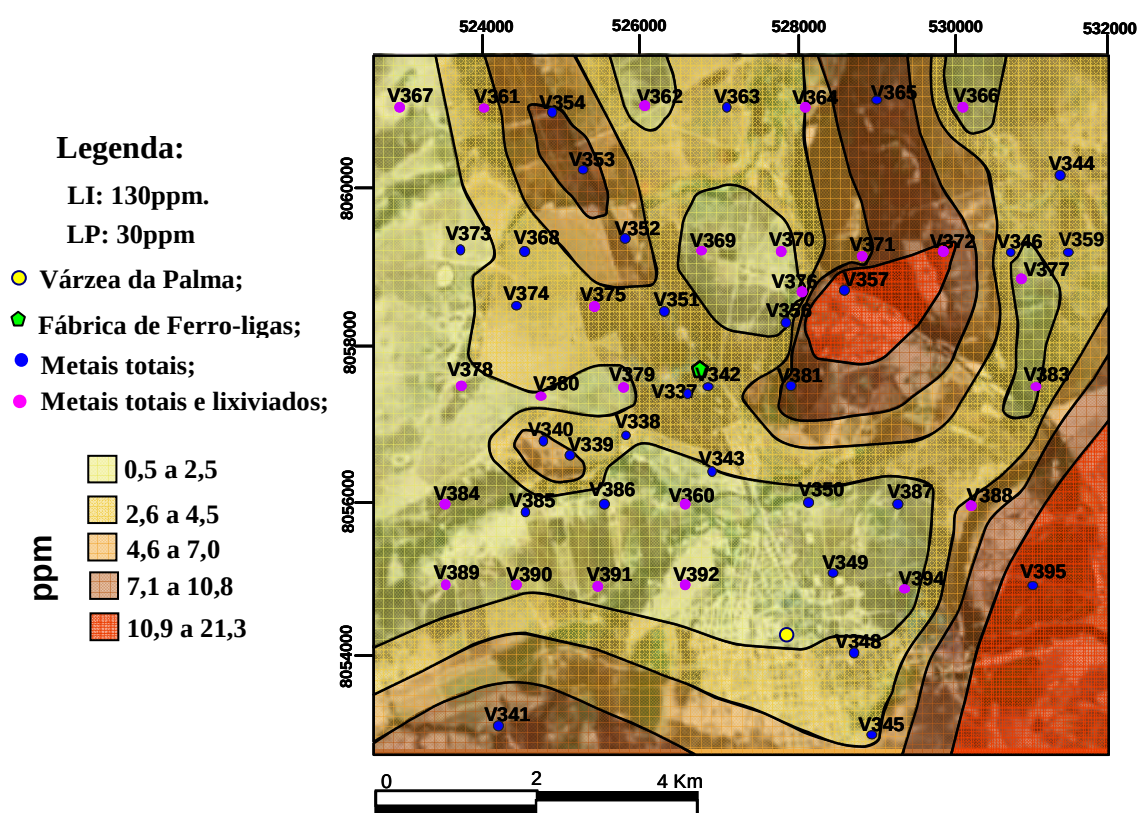


Figura 5.25 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Níquel.

5.3.5. Cobre

Por possuírem uma boa correlação, a distribuição dos valores de concentração de cobre (Figura 5.26) é semelhante a do níquel. São valores baixos que apresentam maior concentração à nordeste, nos pontos amostrais V357, V365, V372 e V381, a sudeste no ponto amostral V395 e a sudoeste no ponto amostral V341.

Também como o níquel, os valores de cobre lixiviados estão abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado ($< 0,0033$ – Anexo I, Tabela I.3), sendo um elemento com baixa ou nenhuma mobilidade.

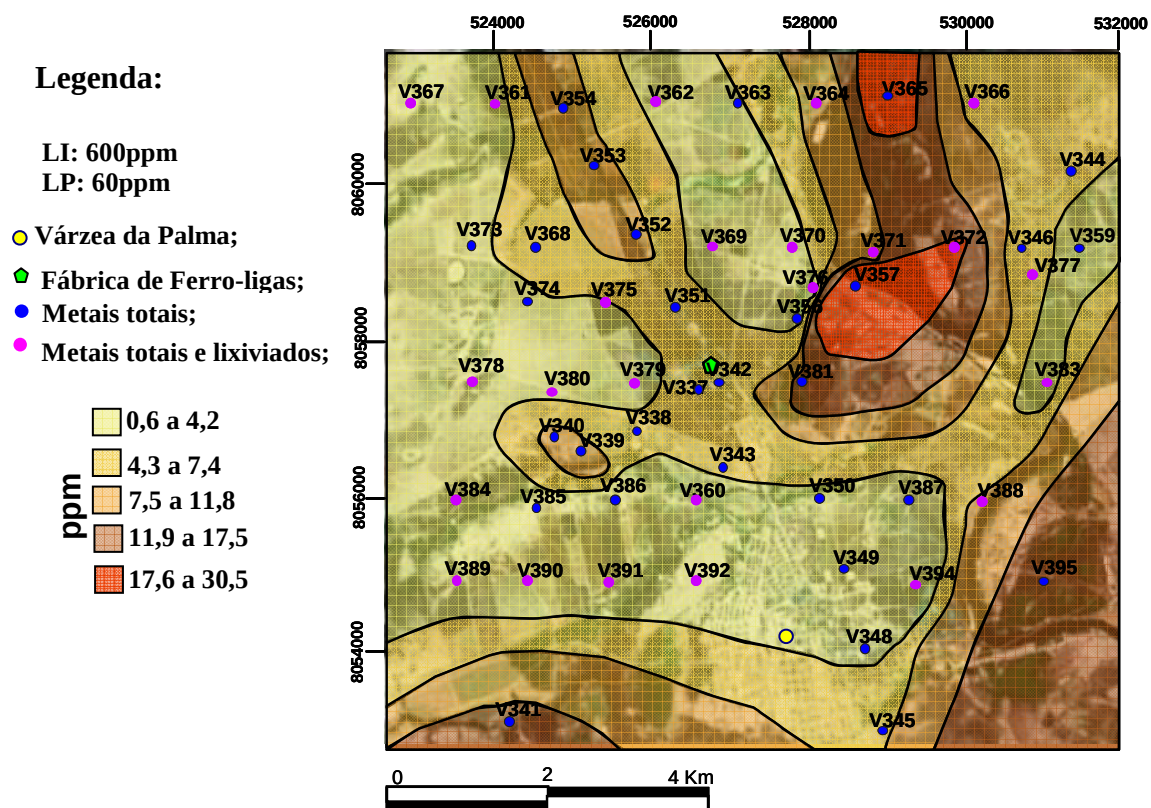


Figura 5.26 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Cobre.

5.3.6. Zinco

A distribuição dos valores de zinco (Figura 5.27) também é similar as do cobre e níquel, com valores baixos e as maiores concentrações nos pontos amostrais V357, V395, V372, V365 e V341, onde os pontos amostrais V357 e V372 como já foi citado anteriormente estão próximos a carvoeira e o ponto V395, próximo a outra usina do município.

A maioria dos valores de zinco lixiviados estão abaixo do limite de detecção do equipamento ($<0,0003$ ppm), apenas em alguns pontos amostrais como V391, V381 e V398 na profundidade de 1,70m, foram detectados valores lixiviados, o quê mostra que assim como o níquel e cobre, o zinco também é um metal com baixa ou nenhuma mobilidade na área pesquisada

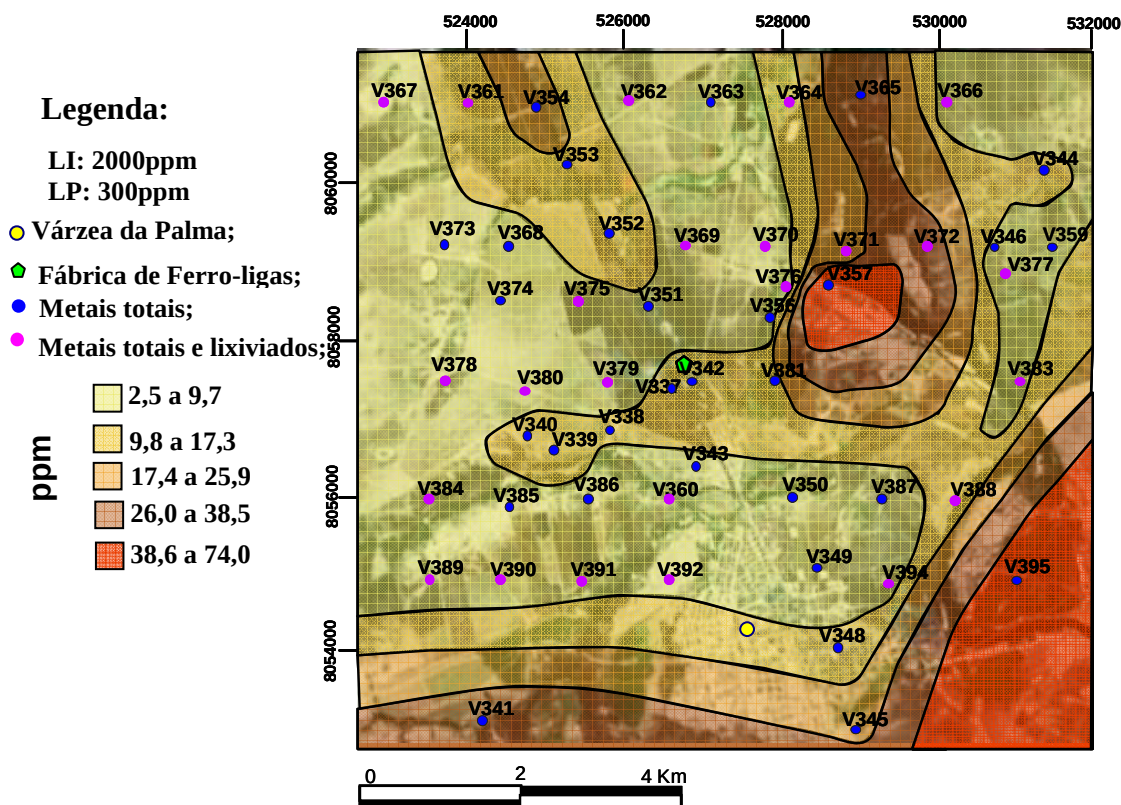


Figura 5.27 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de zinco.

5.3.7. Cádmio

O mapa geoquímico do cádmio (Figura 5.28) mostra os menores valores de concentração na parte central da área, com os maiores valores na parte nordeste/sudeste representado pelos pontos amostrais V372 e V395 e a maior parte dos pontos se encontram na porção oeste, representados principalmente pelos pontos amostrais V374, V375, V379, V380 e V390. Os quatro pontos citados anteriormente (V374, 375, 379 e 380), estão próximos à área da fábrica aqui pesquisada e o ponto amostral V390 está adjacente a uma carvoeira contendo cinco fornos (Vide figura 1.6).

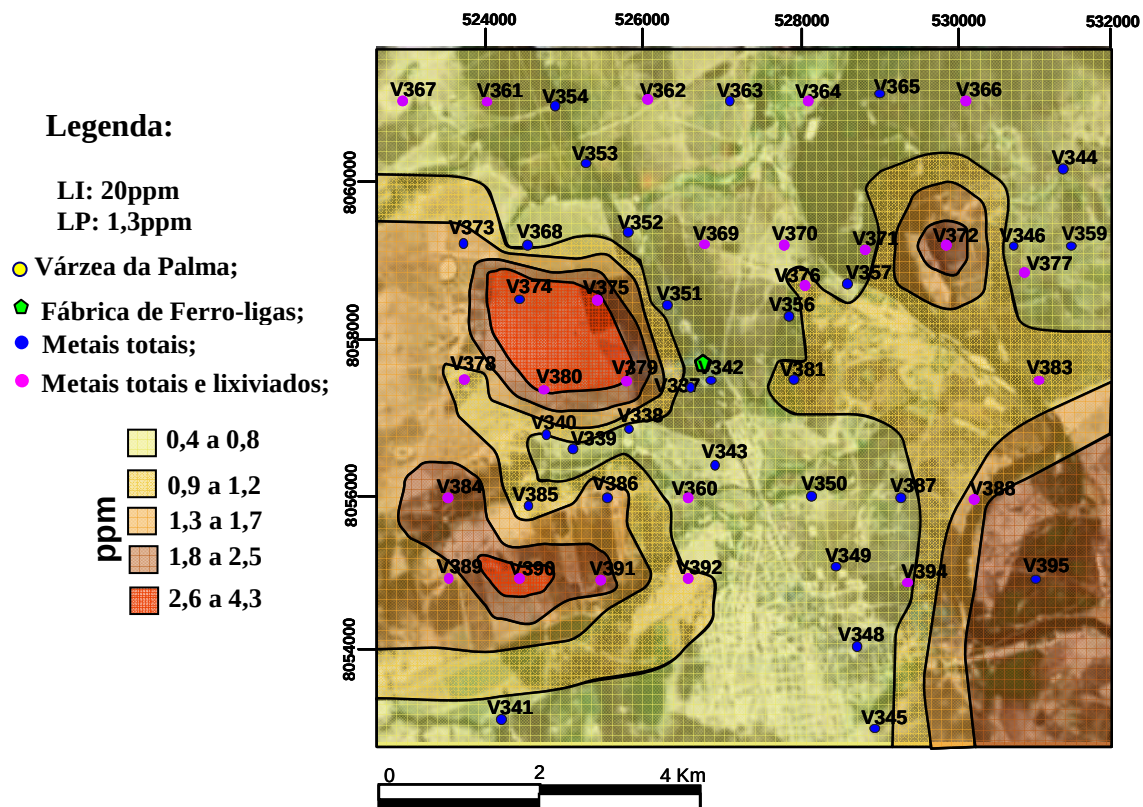


Figura 5.28 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Cádmio.

O gráfico de distribuição dos valores lixiviados do cádmio (Figura 5.29), mostra a maioria dos pontos analisados abaixo do limite de detecção do equipamento, mostrando baixa mobilidade; os maiores valores de concentração deste metal estão localizados nos pontos amostrais: V398 na profundidade de 1,70m, seguido por V384, V396, V398 na profundidade de 0,4m, V384, V367, V388, V389, V390 e V391.

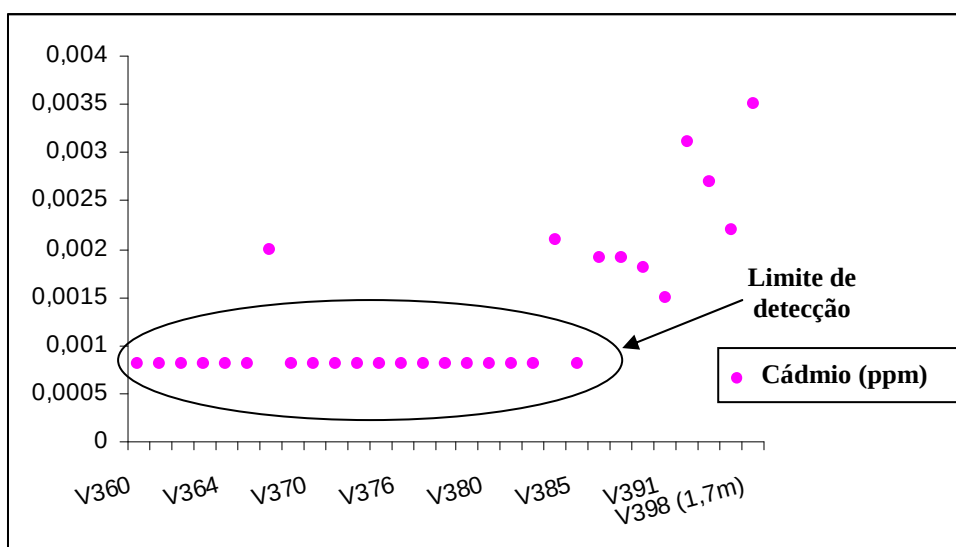


Figura 5.29 – Gráfico de distribuição do Cádmio lixiviado.

5.3.8. Bário

O bário mostra pela sua distribuição no mapa geoquímico (Figura 5.30), valores com altas concentrações na parte central, onde está localizada a fábrica pesquisada, representada pelos pontos amostrais V342 e V381 e também na parte nordeste, representado pelos pontos: V372, V364 e V365 e sudeste com o ponto V395.

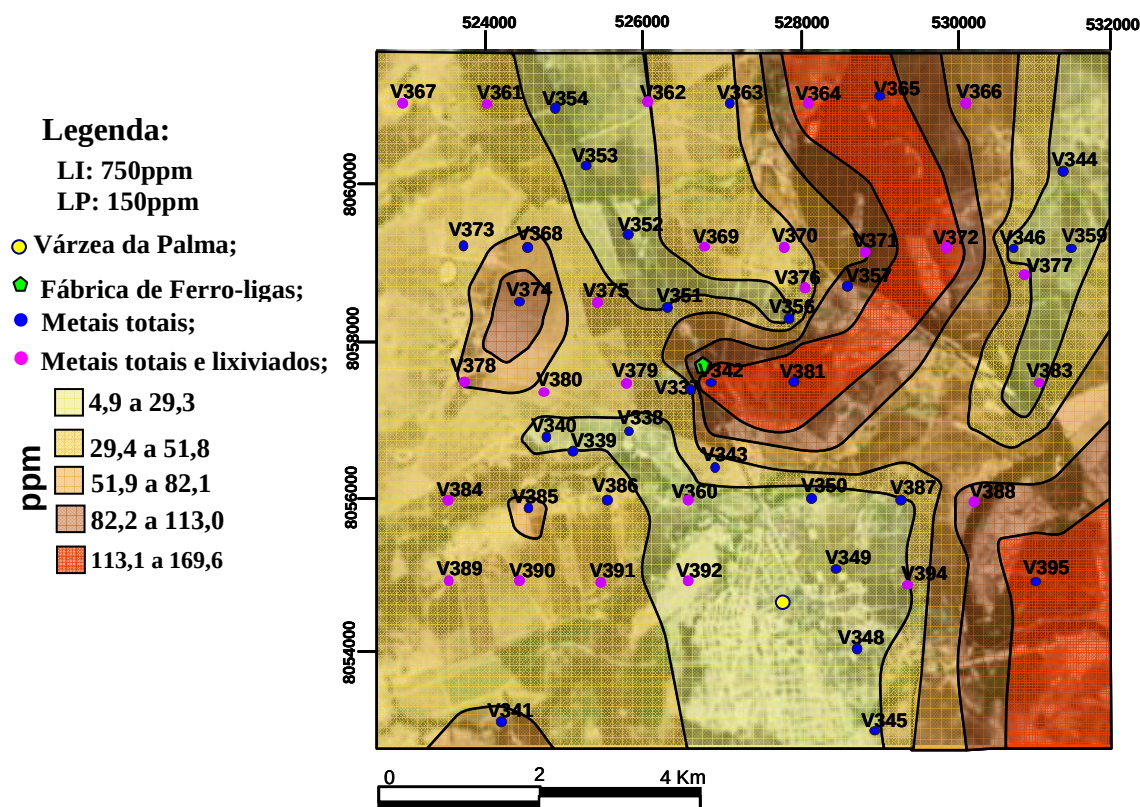
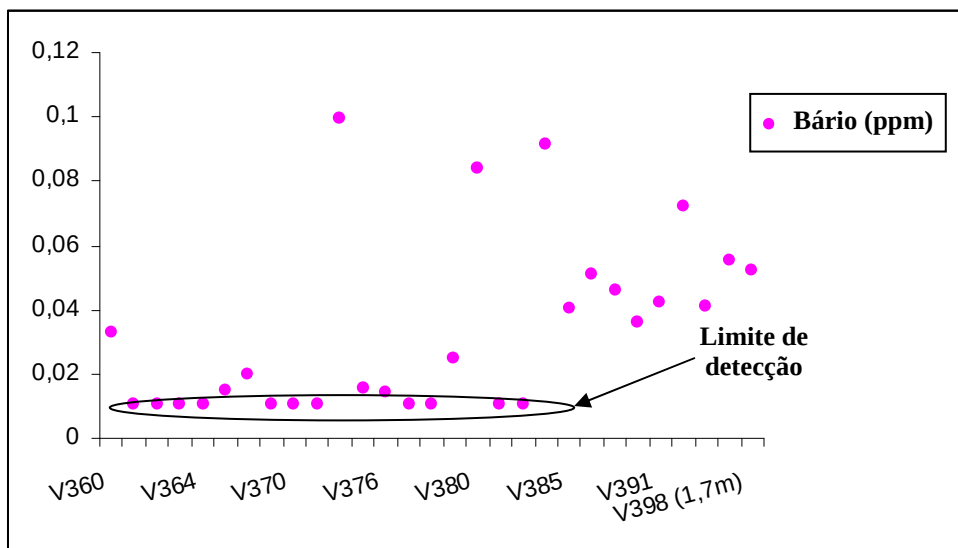


Figura 5.30 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Bário.

O metal bário mostra nos valores de lixiviação representados pelo gráfico abaixo (Figura 5.31), mobilidade baixa, porém com os maiores valores representados respectivamente pelos pontos amostrais: V372, V384 e V380, estes pontos e os demais estão dispersos pela área.



5.3.9. Chumbo

O mapa de distribuição dos isovalores do chumbo (Figura 5.32), apresenta baixos valores, porém com aumento das concentrações, nas partes nordeste, noroeste e sudeste. Estes valores estão representados por pontos amostrais próximos a fábrica, a BR-496, talvez associados a queima de combustíveis fósseis ou a direção preferencial dos ventos como já foi dito anteriormente e também próximos a carvoeira e a outra fábrica do município (V395).

Os valores de chumbo lixiviados apresentaram maior parte dos dados analisados, abaixo do limite de detecção (<0,05 ppm), com exceção dos pontos amostrais V394, V396 e V398 na profundidade de 1,70m, que apresentaram valores um pouco acima deste limite.

Legenda:

LI: 900ppm

LP: 72ppm

● Várzea da Palma;

◆ Fábrica de Ferro-ligas;

● Metais totais;

● Metais totais e lixiviados;

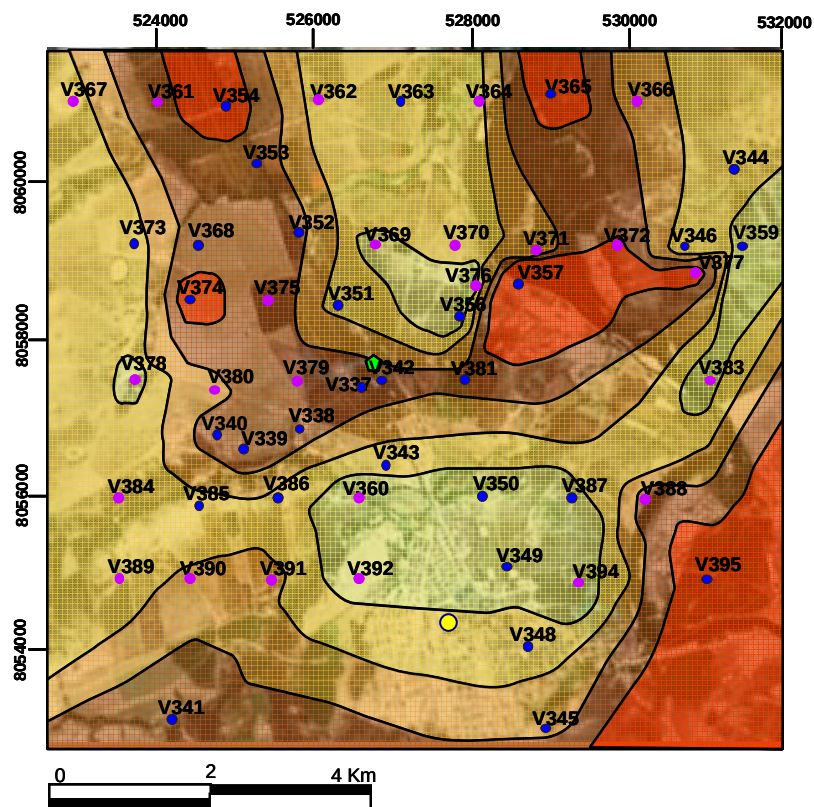
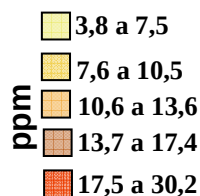


Figura 5.32 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Chumbo.

5.3.10. Antimônio

O mapa de distribuição dos isovalores de antimônio (Figura 5.33) é semelhante ao de chumbo, com relação à distribuição dos pontos amostrais com concentrações mais elevadas, estes valores também são relativamente baixos.

Legenda:

LI: 25ppm

LP: 2,0ppm

● Várzea da Palma;

◆ Fábrica de Ferro-ligas;

● Metais totais;

● Metais totais e lixiviados;

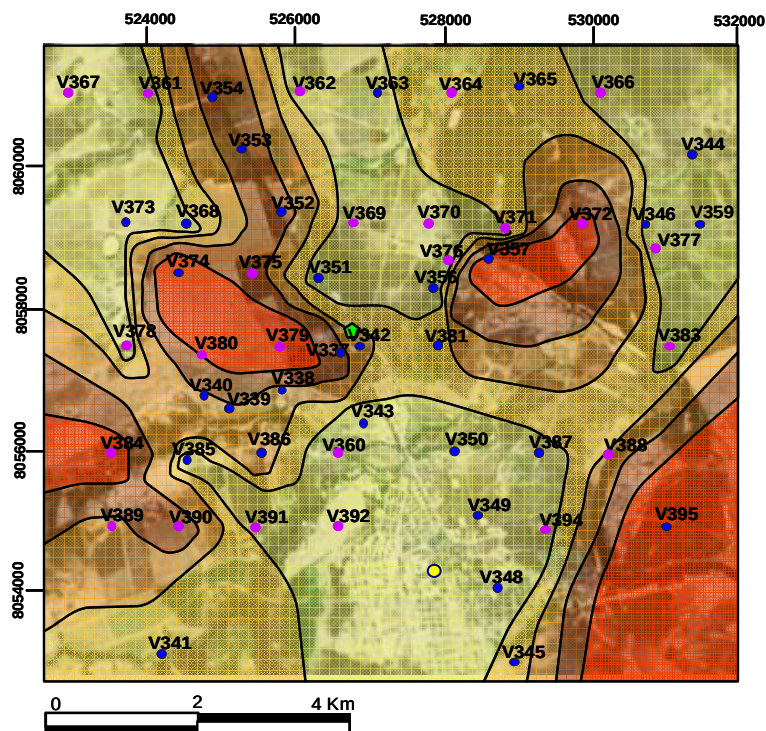
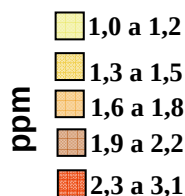


Figura 5.33 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de Antimônio.

5.3.11. Berílio

Os valores de concentração de berílio (Figura 5.34), mostraram aumento na parte noroeste, de acordo com a direção preferencial dos ventos da região, também próximo ao entorno da fábrica e nas partes nordeste e sul da área.

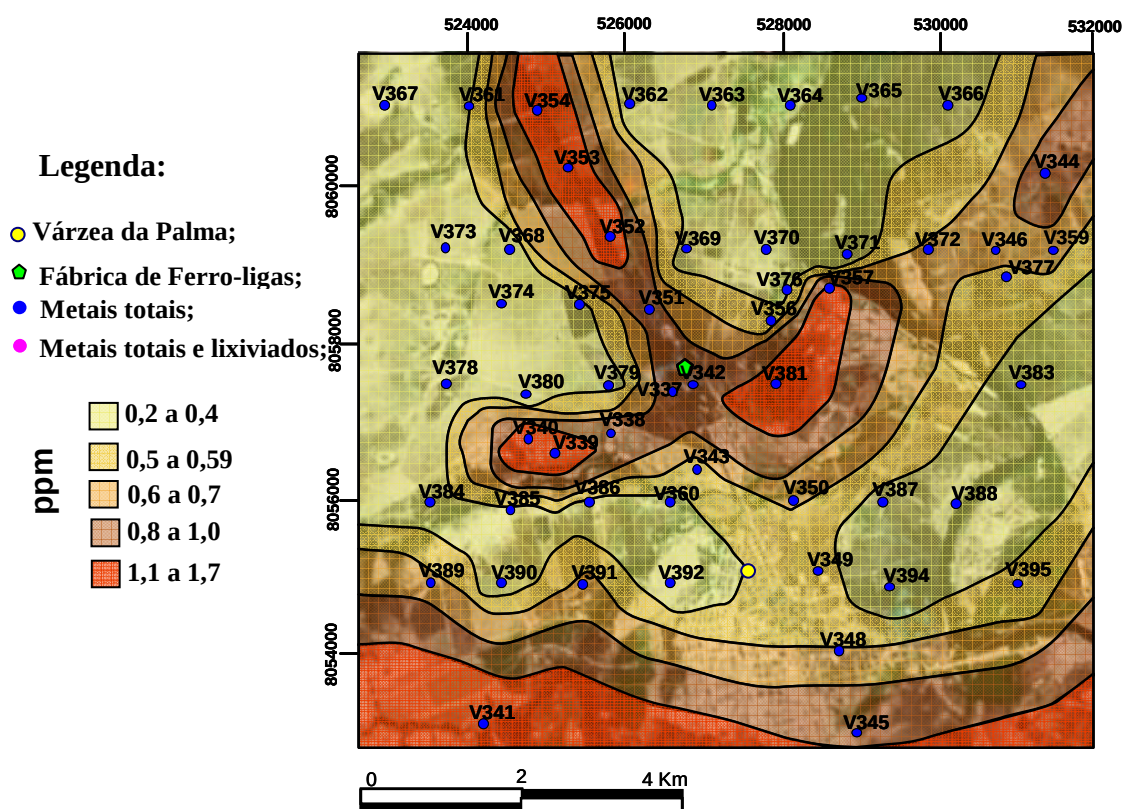


Figura 5.34 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de berílio.

5.3.12. Alumínio e Magnésio

Os gráficos abaixo (Figura 5.35 e 5.36) representado pelos elementos alumínio e magnésio, mostram altos valores de lixiviação em comparação com os metais acima mencionados principalmente o magnésio que assim como o potássio – cátions solúveis, apresentam mobilidades maiores em relação aos demais metais.

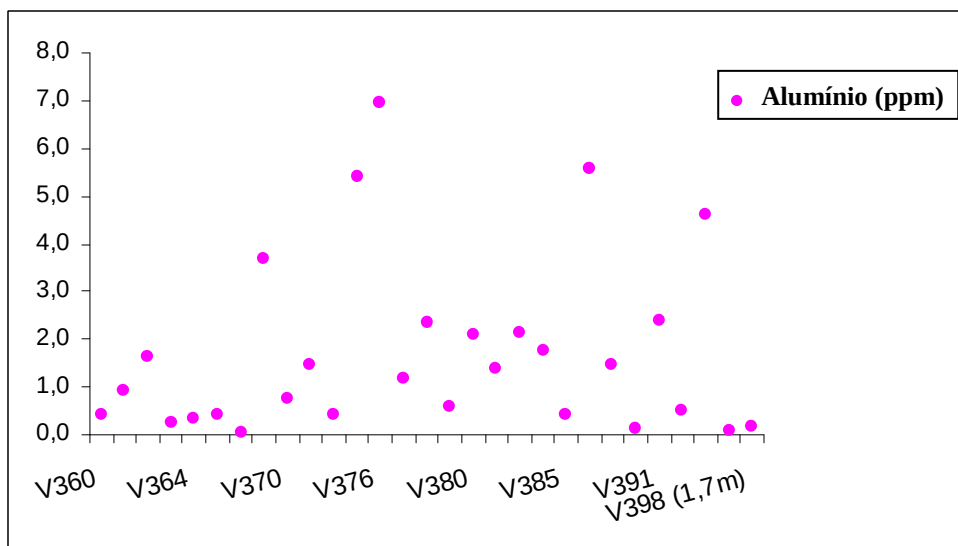


Figura 5.35 – Gráfico de distribuição do alumínio lixiviado.

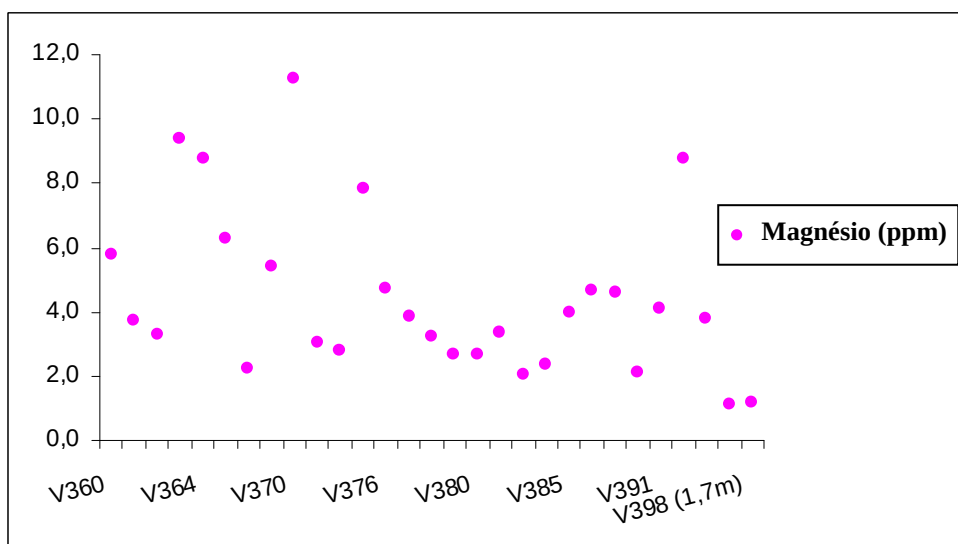


Figura 5.36 – Gráfico de distribuição do magnésio lixiviado.

5.3.13. Silício

Os dados de silício adquiridos nas duas campanhas de coleta com digestão diferenciada como já citado na metodologia, mostram que para o silício com digestão solúvel, a concentração aumenta de sul para norte (Figura 5.37), na direção de descarga de fluxo de água subterrânea, enquanto que os resultados de silício com digestão total se concentraram próximos à área da fábrica, na BR-496 e na porção nordeste, onde há os pontos amostrais V357 e V346, contíguo à carvoeira, estes dados conferem que na parte próximo ao entorno da fábrica, a porcentagem de sílica total da amostra é maior, porém a sílica que é extraída destas amostras por evento natural como a chuva é predominantemente maior na parte norte da área pesquisada, possuindo sílica mais solúvel.

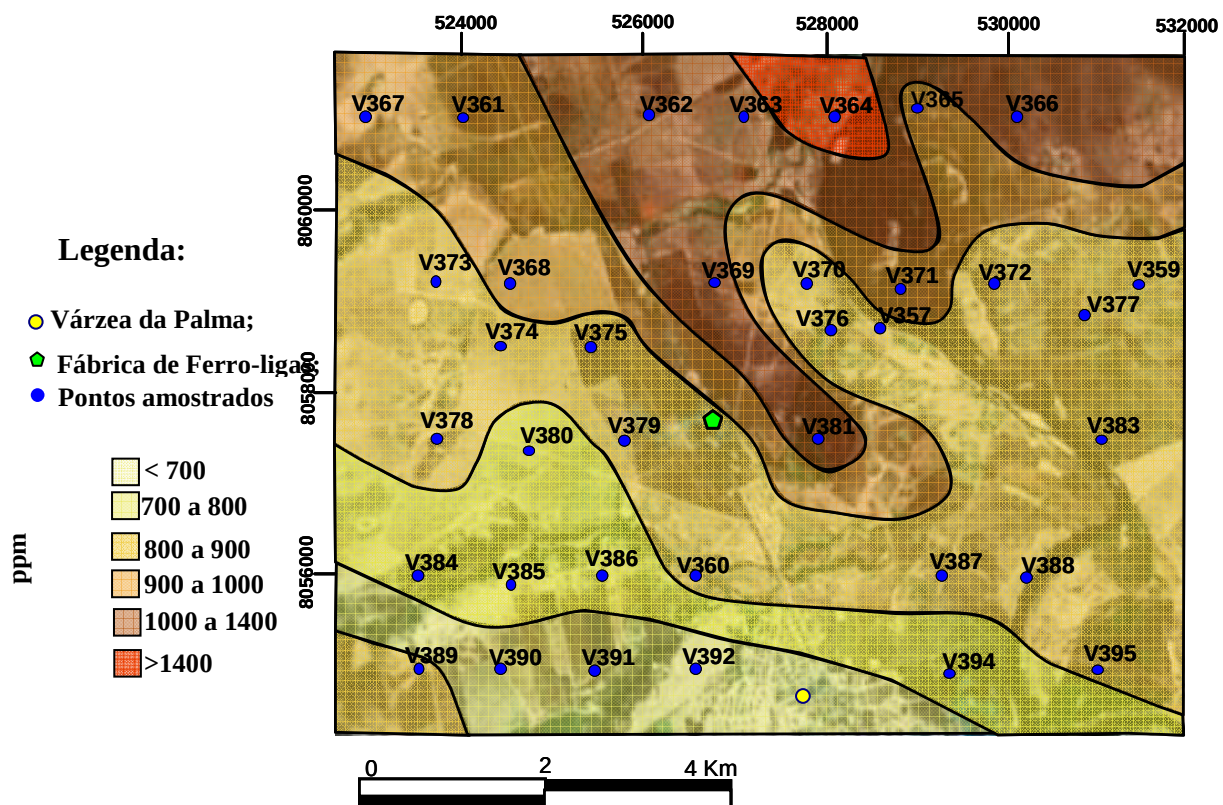


Figura 5.37 – Mapa geoquímico de distribuição dos isovalores de silício.

A área em apreço apresenta de um modo geral homogeneidade nas características geológicas, geomorfológicas, com pouca variação topográfica na vegetação e nos processos antrópicos (usinas e fornos de queima de carvão), mesmo com estas particularidades, os dados foram tratados individualmente para gerar coerência e qualidade na interpretação. Assim sendo, os dados de pH e CTC obtidos na região conferem a área, em geral, solo propício à mobilidade dos metais. Este solo classificado como latossolo-amarelo, possui em sua composição mineralógica, quartzo, hematita e caolinita, logo areno-argiloso, rico em ferro, compatível com os resultados de CTC e pH, que lhe conferem maior mobilidade dos metais.

Para melhor compreensão dos teores naturais do solo, foram coletadas duas amostras que serviram de *background* V396 e V397 com resultados geoquímicos similares, e também serviram como referência os próprios resultados dos pontos amostrais, onde estatisticamente haviam valores de concentração semelhantes.

As distribuições dos valores dos metais totais mostraram uma tendência de aumento nas concentrações em geral para norte e noroeste da área pesquisada, com aumentos também significativos à nordeste, no entorno do ponto amostral V357, no qual na segunda campanha de amostragem foi intensificado ao seu redor coletas de amostras de solo, com os seguintes pontos: V370, V371, V372 e V376, só não houve mais pontos na direção leste do ponto amostral V357 porque a área estava alagada, sem condições de coleta segura. Pela proximidade deste ponto a uma carvoeira deve-se considerar o aumento destas concentrações relacionadas a esta atividade. Também próximo ao ponto amostral V390 existe uma carvoeira, porém este não apresentou anomalias significativas, seria necessária a coleta de mais amostras no seu entorno e principalmente a sul deste ponto para confirmar e/ou restabelecer uma nova interpretação.

Esta tendência de aumento nas concentrações dos metais totais se correlacionam com a direção preferencial dos ventos regionais, como mostra a mancha branca de fumaça na imagem de satélite utilizada na execução dos mapas de isovalores dos metais e no mapa em 3D (vide Figura 2.7).

Ainda com relação aos metais totais de acordo com a lista aqui utilizada CETESB (2005), a qual publicou valores de referência para a concentração de metais pesados em solo que representam limites acima dos quais a poluição é considerada iminente (Borguetti, 2002), não houve valores nos pontos amostrais coletados acima dos limites de intervenção com exceção do resultado da análise do material particulado que sai da chaminé da usina, que apresentou valor de bário acima do limite de intervenção estabelecido pela CETESB (2005) que é de 750ppm. Devido às suas características intrínsecas, os compostos químicos de bário têm grande e variada aplicação na indústria, isto

justifica o elevado teor encontrado na área, fato de sua utilização no processo de produção ferroligas. A análise do material particulado também apresentou valores dos elementos Cu, Zn, K e Mg, mais elevados que os valores de concentração de todos os pontos amostrados e analisados, porém não ultrapassaram os limites de prevenção e nem de intervenção estabelecidos.

Os resultados de metais solúveis apresentaram pouca mobilidade em quase todos os elementos analisados como Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Zn, Ba e Pb, somente os elementos Al e Mg mostraram maior mobilidade no solo pesquisado. Interessante ressaltar que a maioria dos resultados da amostra pontual V398 nas profundidades 0,4m e 1,70m, se mostraram com maior concentração de valor lixiviado em 1,70m, indicando que apesar da baixa mobilidade dos metais, o acréscimo de águas meteóricas, faz com que estes percolem verticalmente alcançando partes mais profundas do solo. Embora o solo apresente características que o classificam como um solo com mobilidade propícia aos metais, ficou comprovado que na área os metais são pouco móveis. As áreas que possuem maior concentração de metais devem estar associadas à influência da indústria siderúrgica e das carvoeiras pela ação direta dos ventos, com deposição do material particulado no subsolo. A diferença entre estas duas atividades, siderúrgicas e carvoeiras, é a presença das altas chaminés na fábrica que distribui o material particulado sob influência direta dos ventos, enquanto que nas carvoeiras a concentração dos poluentes se limita à pequena área de produção de carvão vegetal, por não haver condições que permitam sua dispersão por maiores extensões.

Os resultados obtidos se mostraram compatíveis e esclarecedores conforme o objetivo previsto neste estudo.

As concentrações dos metais encontrados e a distribuição destes sobre o solo amostrado, sugerem proveniência das atividades antrópicas locais, associadas às condições meteorológicas como os ventos, que apesar de possuírem uma direção preferencial para norte, também apresentam variações locais na direção, como pode ser visto nos mapas de isoconcentração dos metais investigados. A altura das chaminés associada aos ventos também influencia na distribuição dos metais, deslocando a fumaça para áreas adjacentes, no entorno da fábrica; já a morfologia propicia o deslocamento destes ventos sem barreiras, por se tratar de uma área topograficamente baixa cercada por serras, formando um corredor geomorfológico.

O solo da região é areno-argiloso mineralogicamente propício à mobilidade dos metais, entretanto de acordo com os dados tratados (análises químicas, pH, CTC) não houve mobilidade significativa dos metais lixiviados no solo pesquisado, fato este importante para preservação das condições ambientais locais.

De todos os compostos inorgânicos analisados: V, Cr, Zn, Pb, Fe, Mn, Ba, Sb, Ni, Cu, As, Cd, Hg, Be, Se, Ag, Al, K, Mg e Si, apenas o bário analisado do resíduo que se concentra na chaminé da fábrica, elemento este, utilizado no processo siderúrgico da fábrica, apresentou valor acima do limite de intervenção estabelecido pela legislação Brasileira – CETESB (2005), todos os demais elementos não ultrapassaram os limites estipulados.

Assim de conformidade com os resultados obtidos nesta dissertação, conclui-se que o mais indicado para área seria um monitoramento mais detalhado destas atividades antrópicas na região, com adensamento dos pontos amostrados, monitoramentos das direções dos ventos, coleta de emissão de fumaça, coleta da poeira atmosférica, coleta de água subterrânea e coleta de plantas nativas, ao longo de pelo menos um ano hidrológico para controle da qualidade ambiental da área pesquisada.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR.10.004. Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSUNÇÃO, J. V. Poluição atmosférica. IN: CASTELLANO, E. G., ed. Desenvolvimento Sustentado: problemas e estratégias. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998. P. 271-308.
- ALMEIDA, F. F. M. de. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. de Geoc.*, 7(4): 349-364.
- BIGARELLA, J.J & ANDRADE, G.O. 1965. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT, H.E. Jr. & FREY, D.G. (eds.) International Studies on the Quaternary. *Geol. Soc. Am. Spec. Papers*. New York,84, p. 433-451.
- BIGARELLA, J.J. & MOUSINHO, M.R. 1965. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvios e várzeas. *B. Paran. Geogr.*, Curitiba, 16/17: 153-197.
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. 1965. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *B. Paran. Geogr.*, Curitiba, 16/17: 117-151.
- BORGHETTI, C. 2002. A influência da indústria calcinadora na distribuição e na concentração de metais pesados nos solos da região de Córrego Fundo-Paíns (MG). Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. 71p.
- BRAUN, O.P.G, MELLO, U. & DELLA PIAZZA, H., 1990. Bacias proterozóicas brasileiras com perspectivas exploratórias para hidrocarbonetos. Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Petrobras-Rio de Janeiro.
- BRASIL. Lei Nº 4.504, de 30 de dezembro de 1964. Dispõe sobre o estatuto da terra e dá outras providências. Disponível em <http://www.lei.adv.br/federal01.htm>.

BRASIL. Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em <http://www.lei.adv.br/federal01.htm>.

BRASIL. Lei Nº 5.197, de 03 de janeiro de 1967. Dispõe sobre a proteção a fauna. Disponível em <http://www.lei.adv.br/federal01.htm>.

BRASIL. Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em <http://www.lei.adv.br/federal01.htm>.

BRASIL. Decreto Nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas.

BRASIL. Decreto Nº 73.030, de 30 de dezembro de 1973. Cria no âmbito do Ministério do Interior, a Secretaria especial do Meio Ambiente – SEMA, e dá outras providências.

BRASIL. Decreto-Lei Nº 221, de 28 de fevereiro de 1967. Dispõe sobre a proteção e estímulo à pesca e dá outras providências.

BRASIL. Decreto-Lei Nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Decreta o Código de Mineração.

BRASIL. Decreto-Lei Nº 289, de 28 de fevereiro de 1967. Cria o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal e dá outras providências. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/del/del289.htm.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.

COSTA, M.T. & BRANCO, J. J. R. 1961. Introdução. In: Branco JJR (Ed.) Roteiro para a excursão Belo Horizonte - Brasília. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, v. 15, p.1-119.

- COUTO, J. G. P. & BEZ, L. 1981. A Glaciação Jequitaiá. Um guia estratigráfico para o Precambriano Superior. *Revista Brasileira de Geociências*, 11:17-21.
- DARDENNE, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil central. In:SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife. *Anais*, v.2, p 597-610.
- ELEUTÉRIO, L. 1997. Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira da Bacia do Rio Doce, MG, no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo. Ouro Preto. 154p. (Dissertação de Mestrado, departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto).
- FEAM & COPAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente e Conselho Estadual de Política ambiental. 1989 a 2000. Processos de licenciamento e fiscalização (Sistema FEAM). Belo Horizonte.
- GROSSI SAD, J.H., CARDOS, R.N., COSTA, M.T.da, 1971. Formações cretácicas em Minas Gerais: uma revisão. *Rev.Bras.Geoc.*, 1:1-13.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000. São Paulo.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 5º Distrito, Minas Gerais.
- INSTITUTO DA POTASSA E DO FOSFATO. Manual internacional de fertilidade do solo, tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2ª edição revisada e ampliada. Piracicaba, POTAFOS, 1998. 177p.
- MADEIRA, C. V. & BORGHI, L. 1999. Estrutura dos Depósitos Sedimentares Quaternários da Bacia Hidrográfica do Rio Santana, Miguel Pereira, Estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. Vol. 22.
- MELLO, C. L. 1992. Fácies Sedimentares, Arquitetura Depositional e Relações Morfoestratigráficas em um Sistema de Leques Aluviais Holocênicos: Aloformação Manso -

médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ).Rio de Janeiro. 138p. (Dissertação de Mestrado, Dept. de Geologia - IGEO/UFRJ).

MENDES, J. C. 1984. Elementos de Estratigrafia. T.A. Queiroz/Edusp. São Paulo. 566p.

MORAES, M.A.S. & RAJA GABAGLIA, G.P. 1986. Arenitos eólicos intercalados em seqüências fluviais: critérios para o reconhecimento. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 34. Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia, SBG. v. 1, p. 246-261.

MOURA, J. R. S. 1994. Geomorfologia do Quaternário. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA,S.B. (eds.) Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro.Bertrand Brasil. p.335-364.

N.N.: Risk assessment for contaminated sites in Europe, vol. 1; Scientific bases. LQM Press Nottingham, 1998.

OLIVEIRA, A. I. de Assis. 2000. Avaliação de Impacto Ambiental x Estudo de Impacto Ambiental. *Revista de Direito Ambiental, São Paulo: Revista dos Tribunais*, v.5, n.17, p. 141 - 153, Jan/Mar, 2000.

OLIVEIRA, C. V., KER, J. C., CURI, N., FONTES, L. E. F. 2001. Elementos maiores e traços:indicadores do grau de evolução e de ambientes pedogênicos ao norte de Minas Gerais. *Rev. Bras. Ci. Solo*. (no prelo).

OLIVEIRA, P. E., 1992. A Palynological Record of Late Quaternary Vegetational and Climatic Change in Southeastern Brazil. Tese de Doutorado, Ohio State University, 242pp.

PFLUG, R. & RENGGER, F. E. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Cráton Sanfranciscano. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 27, Aracaju, *Anais*, v.2, p. 5-19.

PROJETO GEORADAR, 2006. Avaliação de metodologia de análises de compostos orgânicos e legislação aplicável. Belo Horizonte, dezembro de 2006.

- RADAMBRASIL. 1982. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, RJ. Folha SD.23, Brasília v. 29, 660p.
- RADAMBRASIL, P. 1983. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, RJ. Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória. 780p.
- RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S. B., CÔRREA, G. F., 1995. Pedologia: Base para distinção de ambientes. NEPUT-Viçosa. 304p.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 03/90, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre a qualidade do ar definições e padrões.
- RIMANN, E. 1917. A kimberlita no Brasil. *Anais da Escola de Minas. Ouro Preto*, v. 15, p.27-32.
- SÃO PAULO. Decreto-Lei Nº 8468. Aprova o regulamento da Lei Nº 997 de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial da União. 8 de setembro de 1976.
- SÃO PAULO. Lei Nº 118, de 29 de junho de 1973. Autoriza a constituição de uma sociedade por ações, sob denominação de CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle da Poluição das Águas, e dá providências correlatas.
- SGARBI GNC, SGARBI PBA, CAMPOS JEG, DARDENNE MA & PENHA UC. 2001. Bacia Sanfranciscana: O Registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco. In: PINTO CP & MARTINS NETO MA (Ed.). Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. SBG MG, Belo Horizonte, p. 93-138
- SIEGRIST, R. L. 1990. Development and implentation of soil quality and clean-up criteria for contaminated sites; in: Contaminated Soil '90 (F. Arendt et al, ed.); Kluwer; Dordecht, 1990.
- USEPA -United States Environmental Protection Agency-Method. 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. IN: SW-846:Test methods for evaluation solid

waste, physical and chemical methods; Office of Solid Waste, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1998. 1-20.

VALLE, C. E. Qualidade Ambiental. O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. São Paulo, Livraria pioneira Editora, 1995.

VIEIRA, L. S. Manual de ciência do solo com ênfase aos solos tropicais, 2ª ed., São Paulo: Ed. Agronômica Ceres Ltda, 1988, p. 375.

7.1. Bibliografia não citada

ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; RAIJ, B.van. & SANTOS, W.R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 19:463-468, 1995.

ALMEIDA, I. T. de. 1999. A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. 186p.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B. et al. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. *Rev. Bras. Ci Solo*, v22, p.345-353, 1998.

ARAÚJO, W.S. et al. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solo do Brasil. *Rev. Bras. Ci Solo*, v26, p.17-27, 2002.

BAGGIO, H. F. 2002. Alterações na Paisagem Natural e Agrícola do município de Buritizeiro - MG: Implicações do Plantio Generalizado de Pinus e Eucalipto no Meio Físico, Biológico e Sócio-econômico. Belo Horizonte - MG. UFMG, IGC.Dep. Geografia, p. 154 (tese de Mestrado).

BERBERT-BORN, M. L. C. 1998. Geoquímica dos sedimentos superficiais de lagoas da região cársticas de Sete-Lagoas Santa – MG, e os indícios de interferência antrópicas. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de mestrado. 201p.

- BORGHI, L.F. 1993. Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas (Pridoli-Devoniano Inferior) em afloramentos do bordo Leste da bacia do Paraná, Estado do Paraná, Brasil. Rio de Janeiro. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 227p. (Tese de Mestrado, inédito).
- CAMPOS, J. E. G., DARDENNE, M. A., 1997. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Rev. Bras. de Geoc.* Volume 27.
- CARVALHO, F. G. DE, JABLONSKI, A., TEIXEIRA, E. C. 2000. Estudo das partículas totais em suspensão e metais associados em áreas urbanas. *Rev. Química Nova* 23(5).
- DANG, Y.P.; CHABRA, R. & VERMA, K.S. Effect of Cd, Ni, Pb and Zn on growth and chemical composition of onions and fenugreek. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 21:717-735, 1990.
- GONÇALVES, A. C. A., FOLEGATTI, M. V., MATA, J. D. V. 2001. Análises exploratória e geostatística da variabilidade de propriedades físicas de um latossolo-vermelho. *Rev. Acta Scientiarum*, Maringá, v. 23, nº5, p.1149-1157.
- HORN, H. A & SGARBI, G.N. C. 1993. Investigações sobre a contaminação dos sedimentos e da água do rio São Francisco e seus afluentes no Estado de Minas Gerais.
- LAST, F. "Consequencias para el medio ambiente de las emisiones orginadas por los combustibles fosiles. In: Cruz (coord), cit., 1990, p. 23-47.
- MUÑOZ, S. I. S. 2002. Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos níveis de metais pesados. Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Tese de doutorado.
- OLIVEIRA, A. I. A. 1999. O Licenciamento Ambiental. São Paulo, Ed.: Iglu editora. 262p.

- OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; VASCONCELLOS, C.A. & ALVES, M. Relação entre o zinco "disponível", por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:827-836,1999.
- OLIVEIRA, R. C. 2002. *Avaliação do movimento de Cádmio, Chumbo e Zinco em solo tratado com resíduo-calcário*. Universidade Federal de Lavras. Dissertação de Mestrado. 94p.
- PEREIRA, A. M. & SOARES, B. R. – 1991 Cidades Norte Mineiras: Entre o urbano e o rural – Universidade Federal de Uberlândia – UFU.
- SHUMAN, L.M. Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. *Soil Sci.*, 146:192-198, 1988.
- SOUSA, H. A. 1998. Estudo da contaminação ambiental na área do aterro sanitário da BR-040, da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte-MG. Departamento de geologia da Escola de Minas da Universidade Federal e Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. 167p.
- ZAMBRANO, A. P. 2006. Estudo da redução de pelotas auto-redutoras de Cromita. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. 147p.

ANEXOS

ANEXO I

TABELAS COM RESULTADOS GEOQUÍMICOS DAS AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA PESQUISADA

TABELA I.1 – Análises Geoquímicas – Metais Totais

TABELA I.2 – Análises Geoquímicas de fertilidade de solos

TABELA I.3 – Análises Geoquímicas – Metais Solúveis

ANEXO II

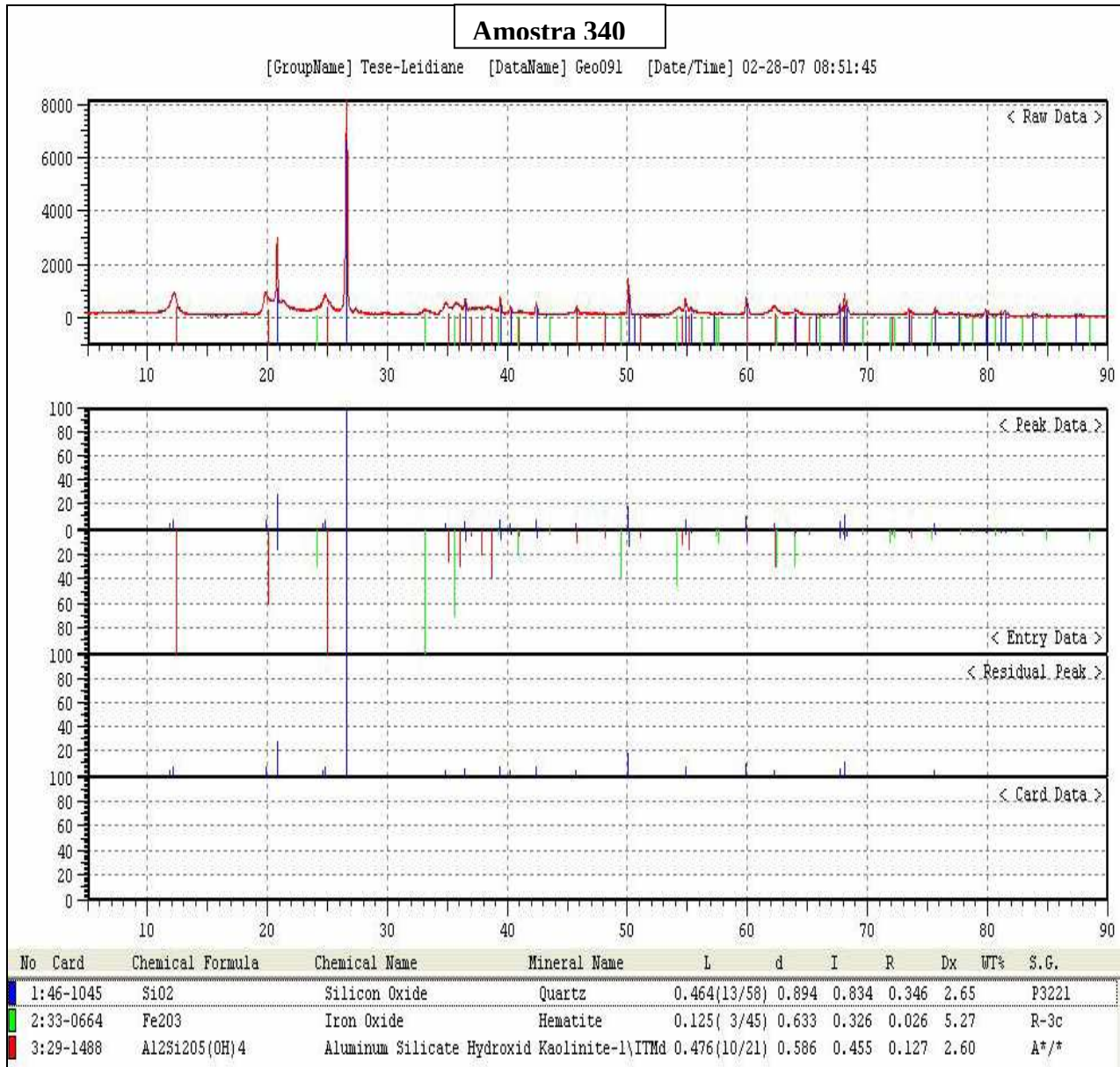
RESULTADOS DE DIFRATOMETRIA E ESPECTROMETRIA DE RAIOS X

Anexo II.1 – Gráficos com resultados de DRX

Anexos II.2 – Gráficos com resultados de EDX

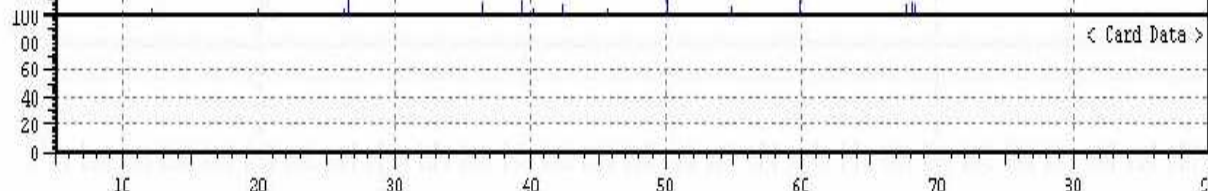
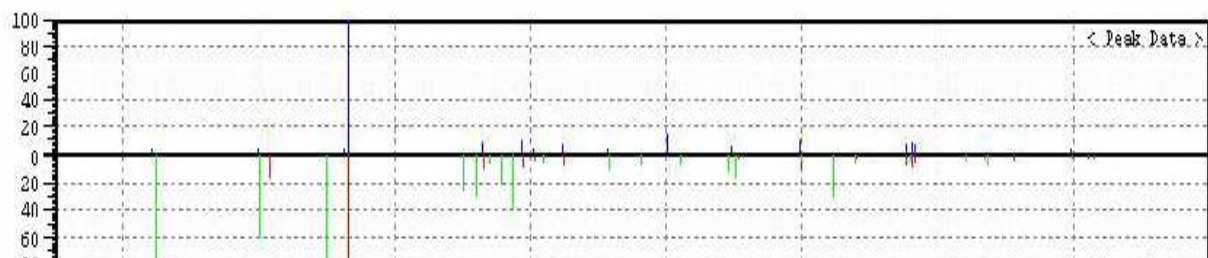
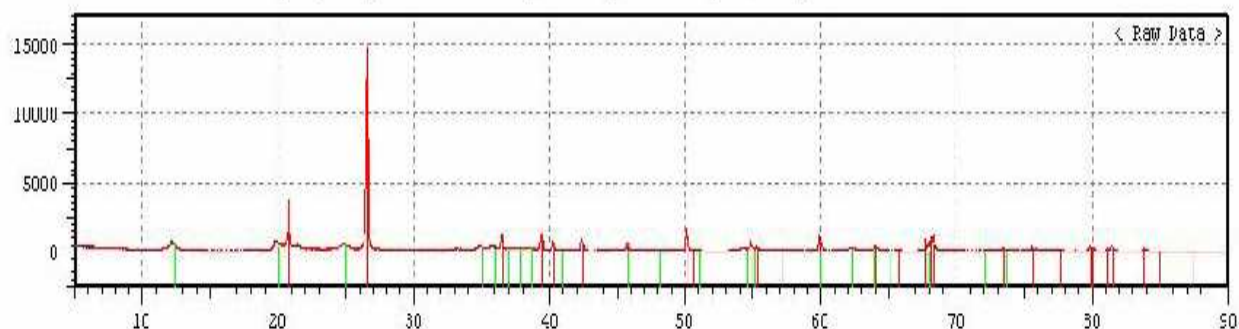
Anexos II.2.1 – Resultados qualitativos e quantitativos de EDX

Anexo II.1 – Gráficos de DRX



Amostra 342

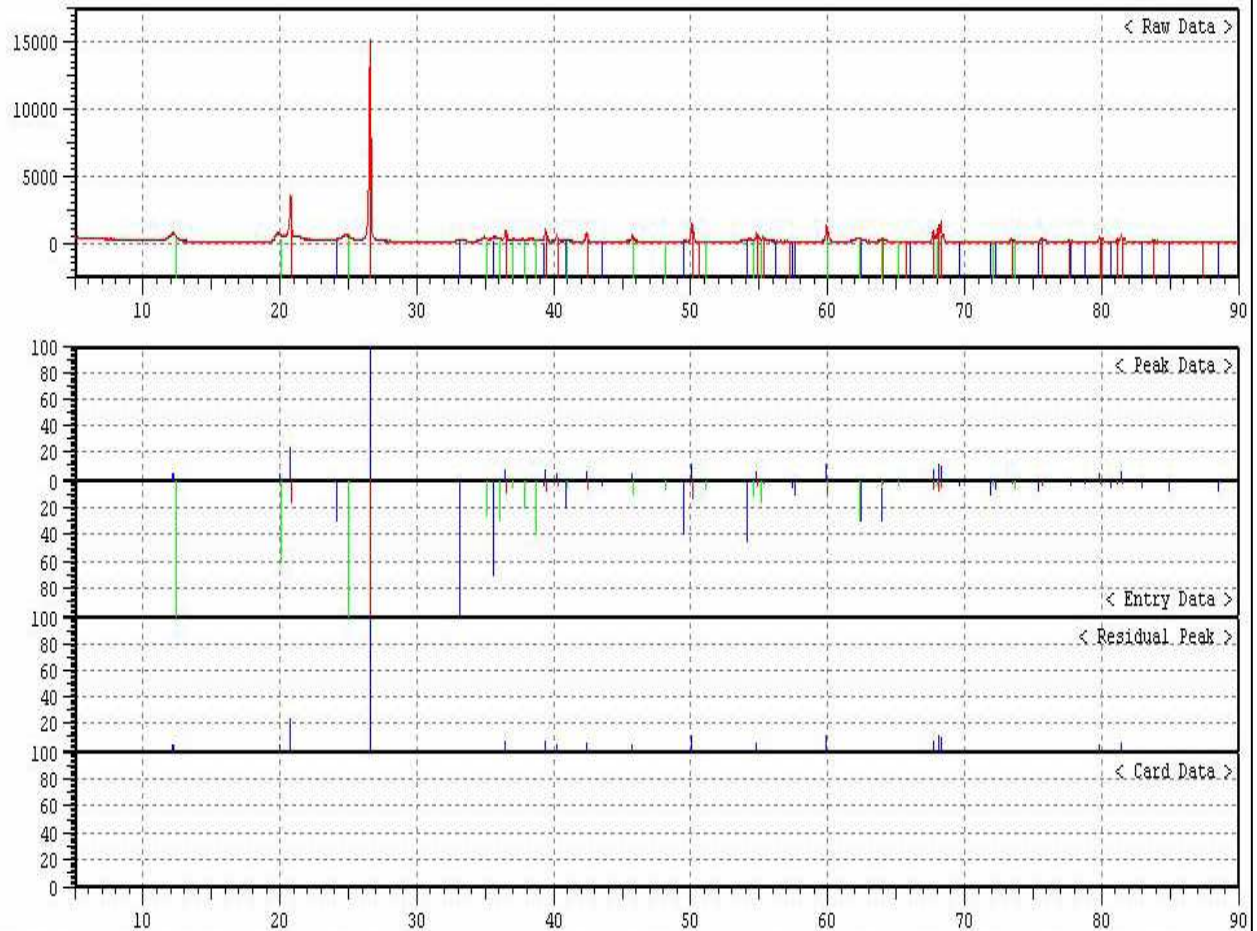
[Group Name] Test L: idiana [Data Name] Cco392 [Date/Time] 02 28 07 10:17:44



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name	L	C	I	R	Ox	WT%	S.G.
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz	0.500(14/58)	0.880	1.906	0.398	2.65	F322	
2	29-1483	Al ₂ (Si _{2.35} OH) ₄	Aluminum Silicate Hydroxide	Keolinite-1/TMD	0.333(7/21)	0.592	0.267	0.033	2.60	A*/	

Amostra 348

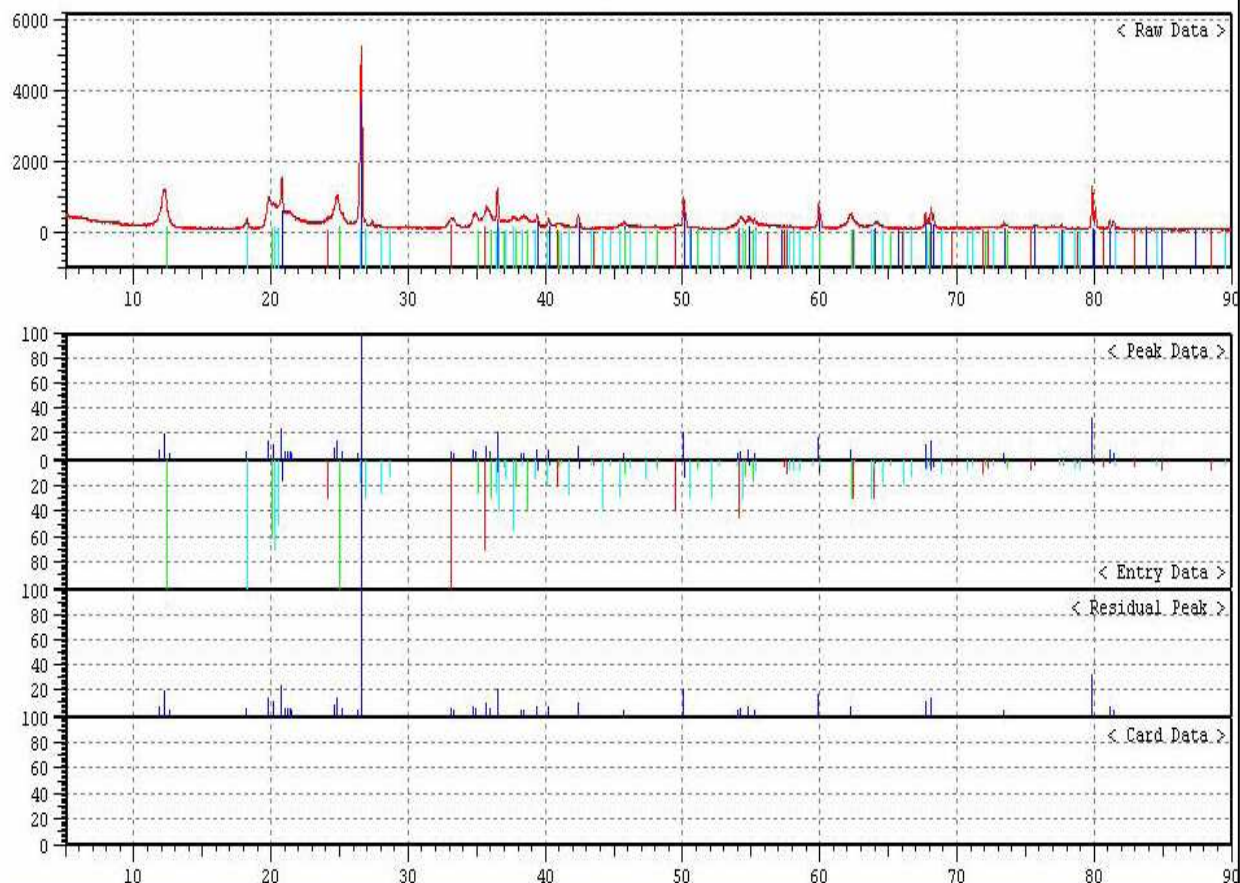
[GroupName] Tese-Leidiane [DataName] Geo093 [Date/Time] 02-28-07 11:43:32



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name	L	d	I	R	Dx	WT%	S.G.
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz	0.536(15/58)	0.868	0.837	0.389	2.65		P3221
2	33-0664	Fe ₂ O ₃	Iron Oxide	Hematite	0.022(1/45)	0.000	0.000	0.000	5.27		R-3c
3	29-1488	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Aluminum Silicate Hydroxid	Kaolinite-1\ITMd	0.333(7/21)	0.628	0.270	0.056	2.60		A*/*

Amostra-353

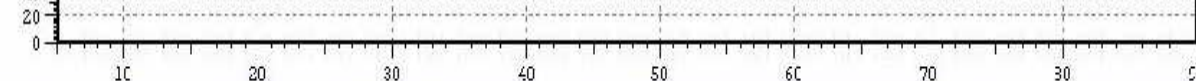
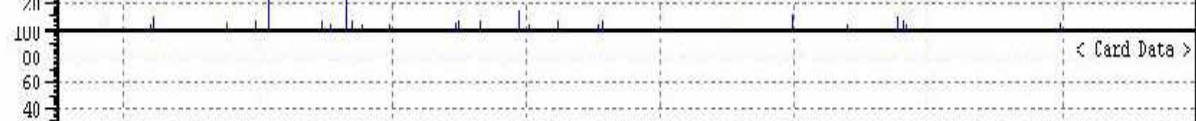
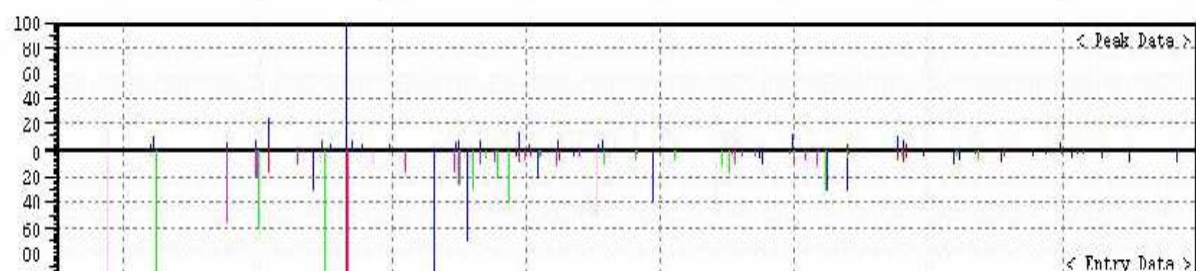
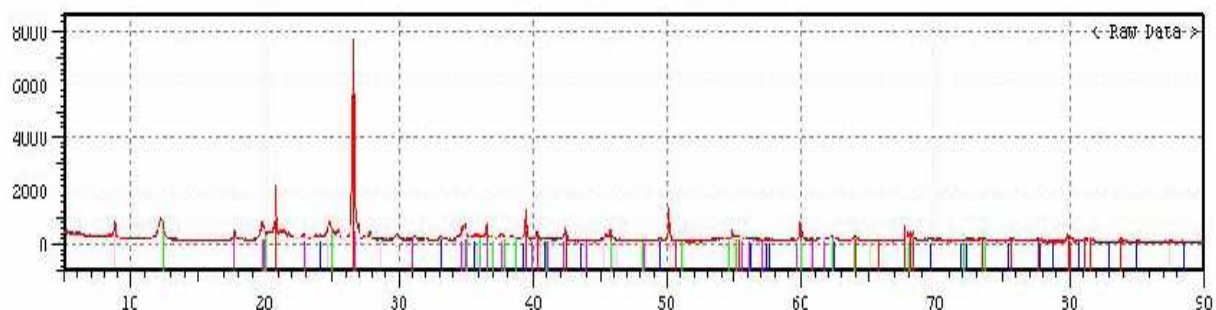
[GroupName] Tese-Leidiane [DataName] Geo094 [Date/Time] 02-28-07 14:35:08



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name	L	d	I	R	Dx	WT%	S.G.
1:33-0664		Fe2O3	Iron Oxide	Hematite	0.000(0/45)	0.000	0.000	0.000	5.27		R-3c
2:46-1045		SiO2	Silicon Oxide	Quartz	0.000(0/58)	0.000	0.000	0.000	2.65		P3221
3:33-0018		Al(OH)3	Aluminum Hydroxide	Gibbsite	0.309(17/56)	0.667	0.294	0.061	2.44		P21/n
4:29-1488		Al2Si2O5(OH)4	Aluminum Silicate Hydroxid	Kaolinite-1\ITMd	0.714(15/21)	0.624	0.419	0.187	2.60		A*/*

Amostra -357

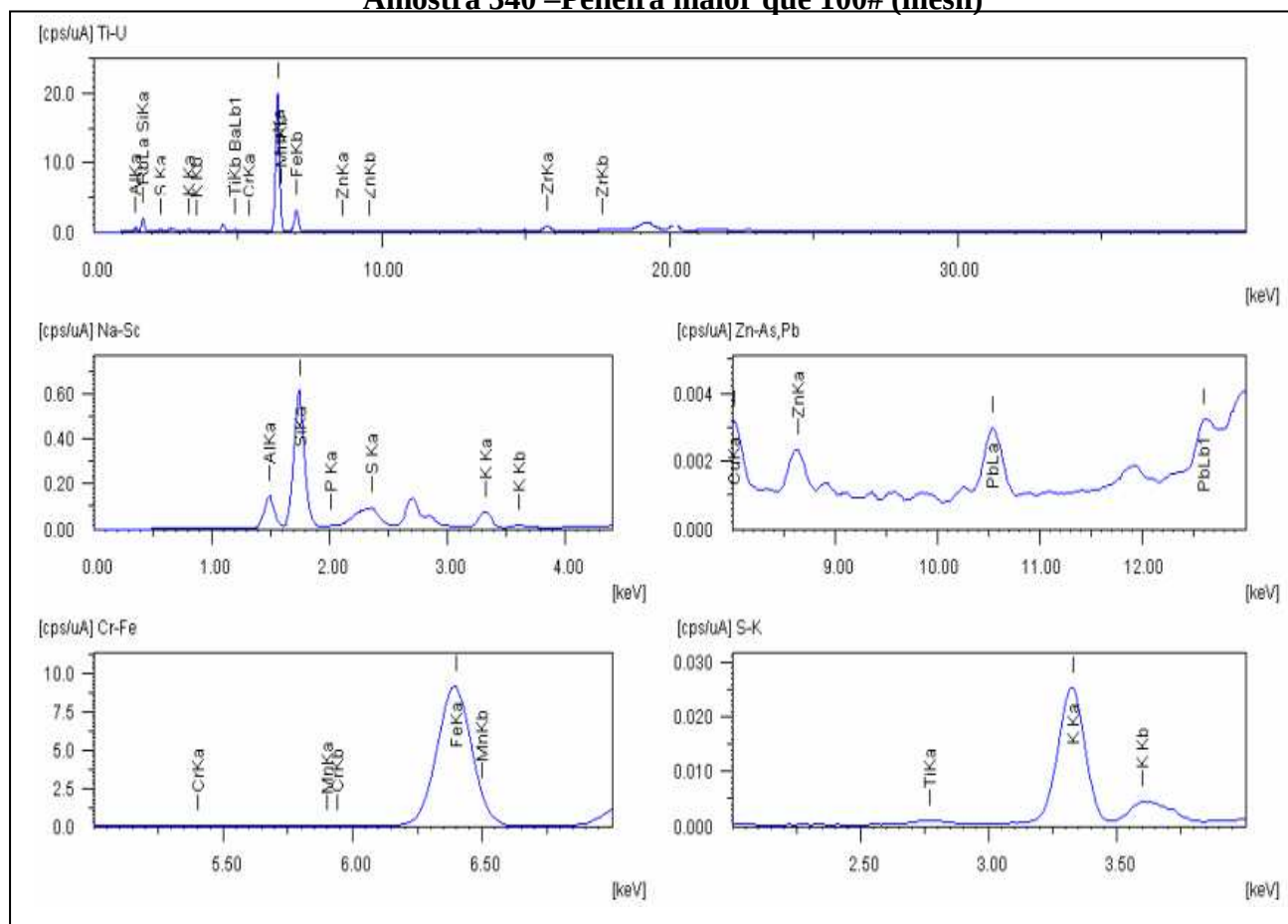
[Group Name] Teste Laidiano [Data Name] Coo395 [Date/Time] 22 28 07 13:09:20



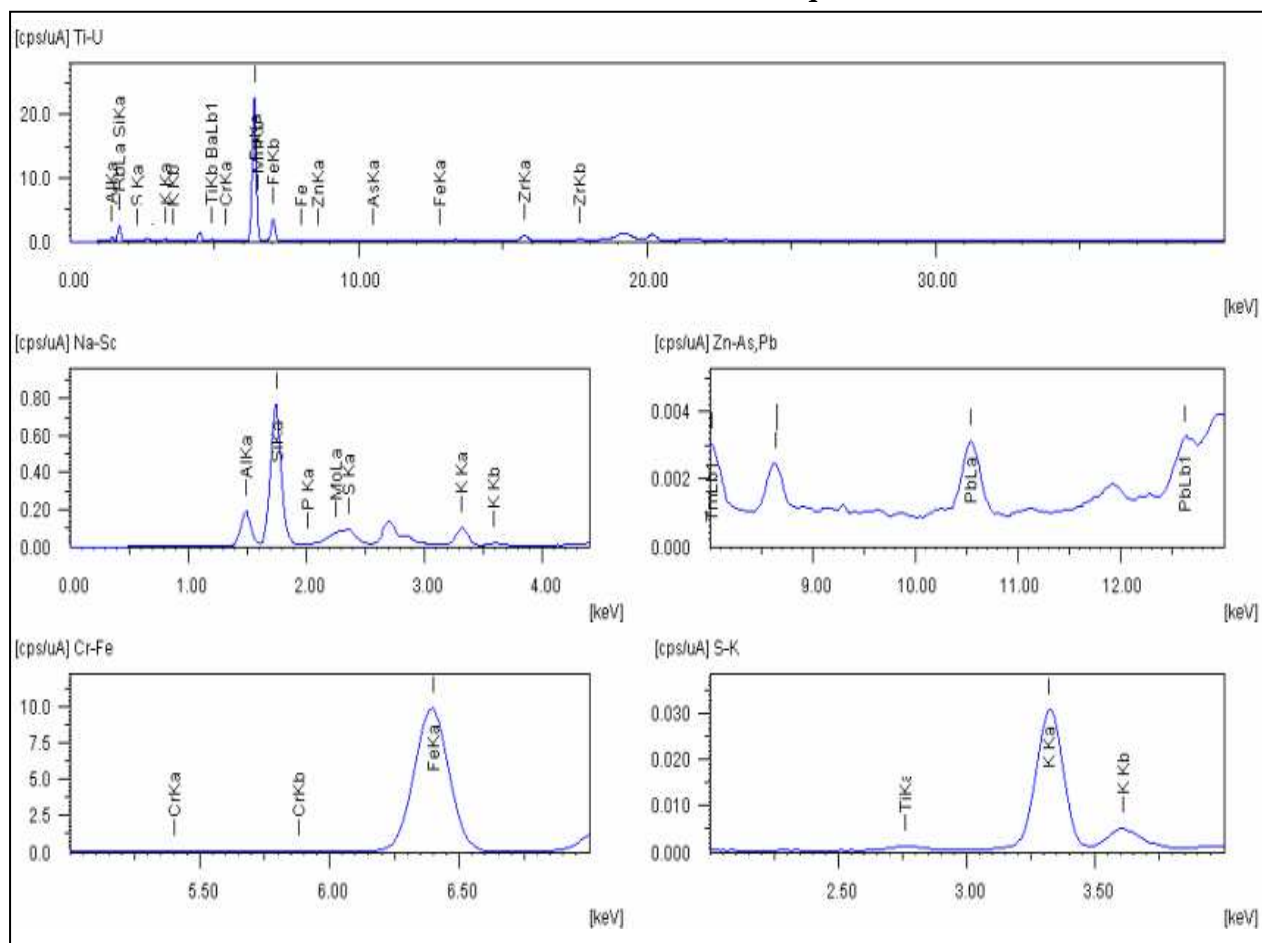
No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name	L	C	I	R	Dx	WT%	S.G.
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz	0.000 (0/58)	0.000	1.000	0.000	2.65	F322	
2	33-0664	Fe ₂ O ₃	Iron Oxide	Hematite	0.000 (0/45)	0.000	0.000	0.000	5.27	R-3c	
3	7-0042	(K,Na)(Al,Mg,Fe)2(Al	Potassium Aluminum Silicate	Muscovite-3,1T	0.000 (0/28)	0.000	0.000	0.000	2.82	P312	
4	29-1403	Al ₂ (Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Aluminum Silicate Hydroxide	Keolinite-1,1T	0.476 (10/21)	0.590	0.300	0.109	2.60	A*/*	

Anexo II.2 – Gráficos de EDX

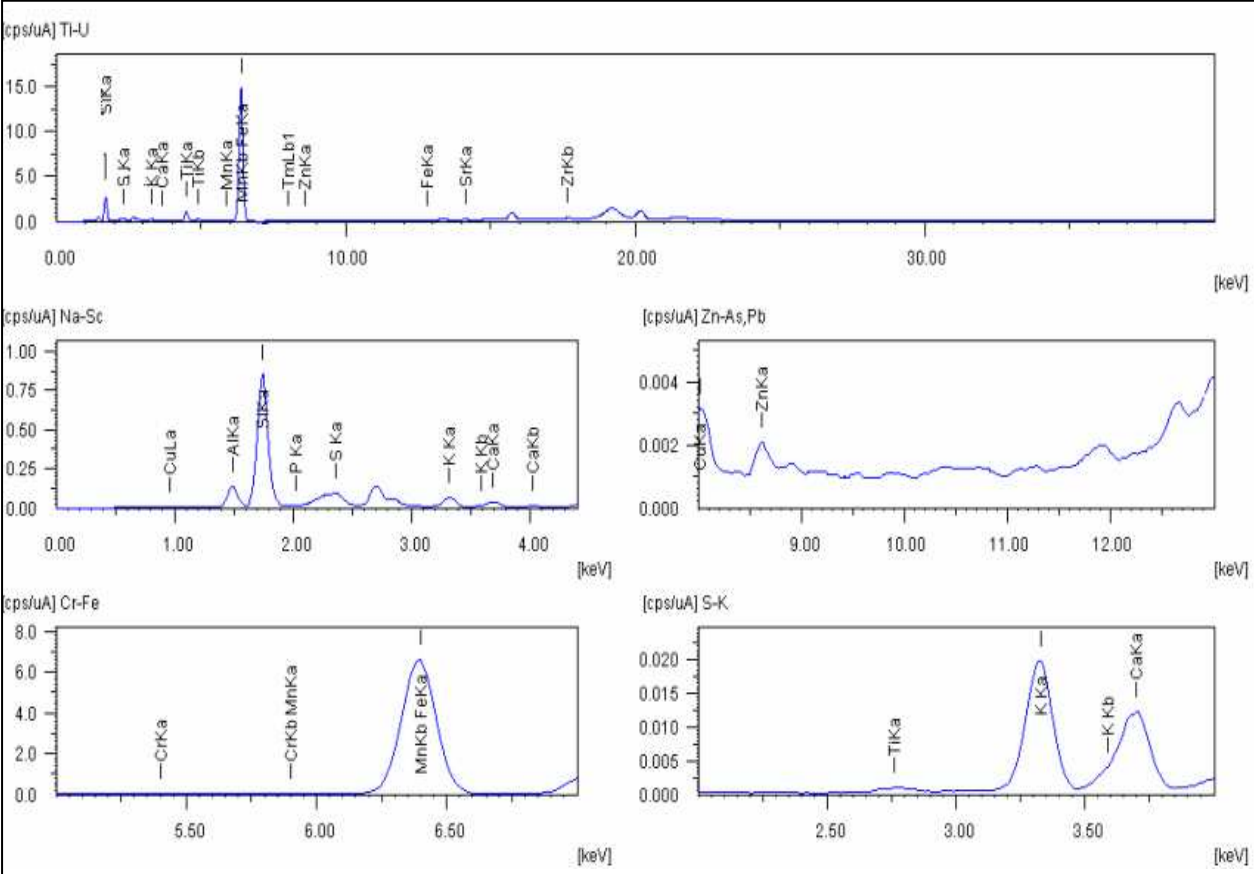
Amostra 340 –Peneira maior que 100# (mesh)



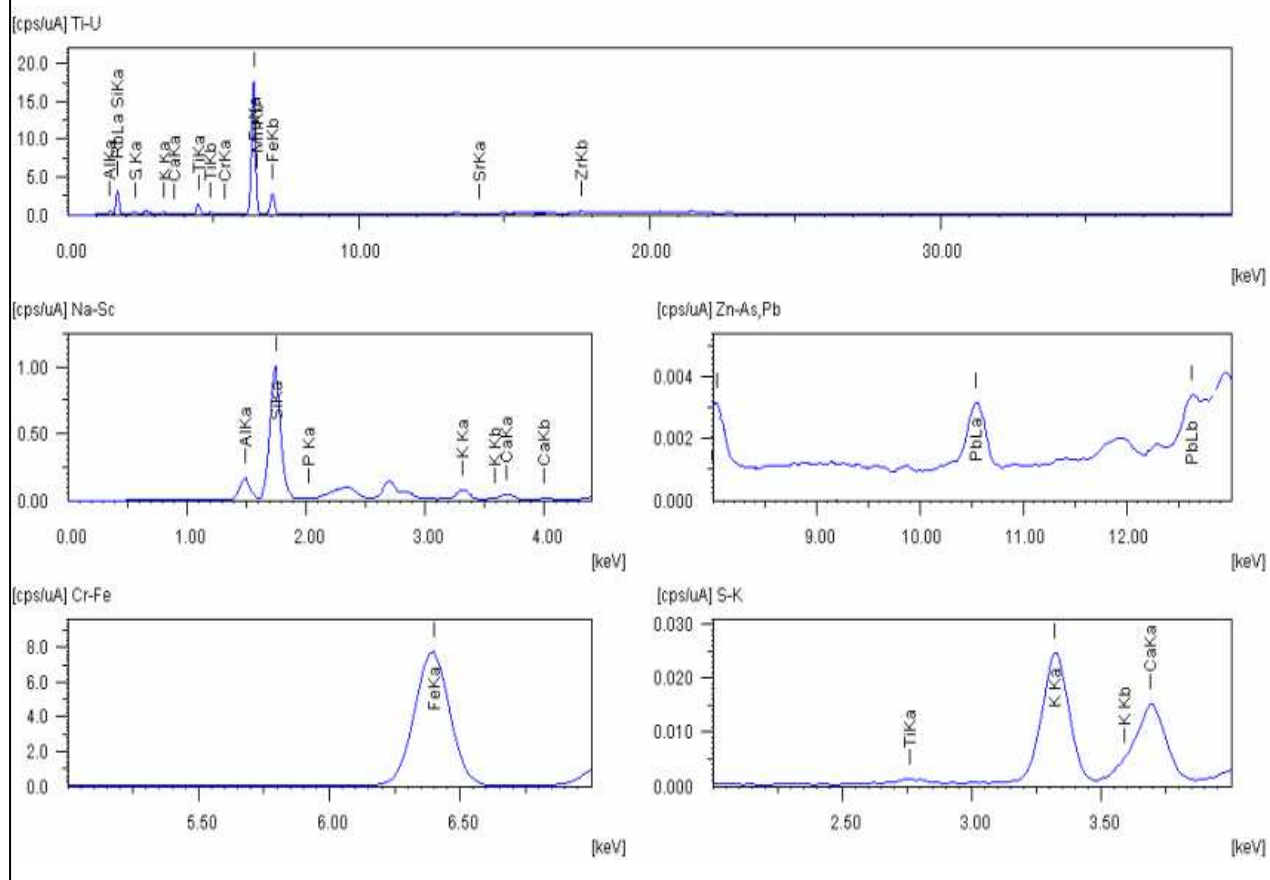
Amostra 340 – Peneira menor que 100#



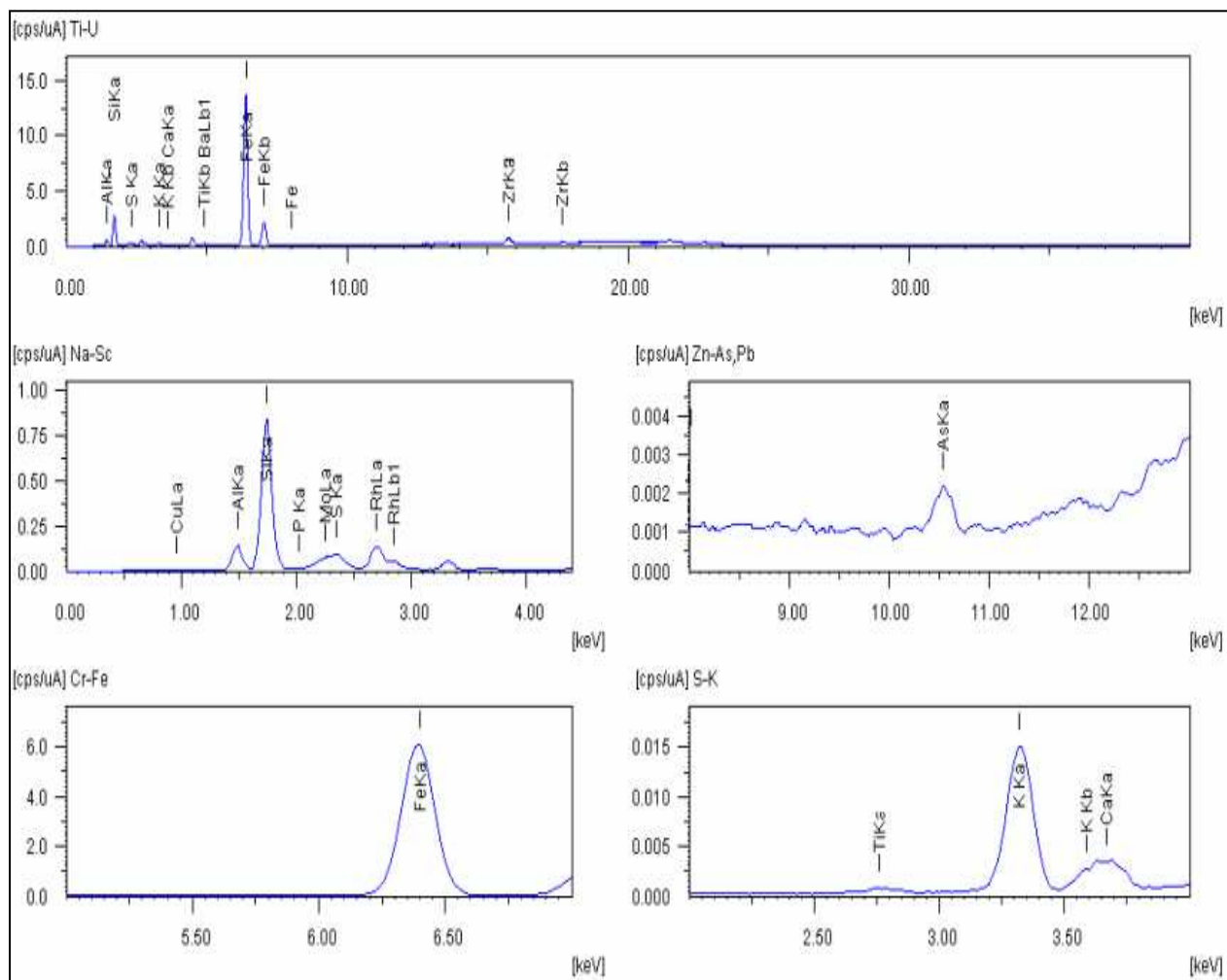
Amostra 342 – Peneira maior que 100#



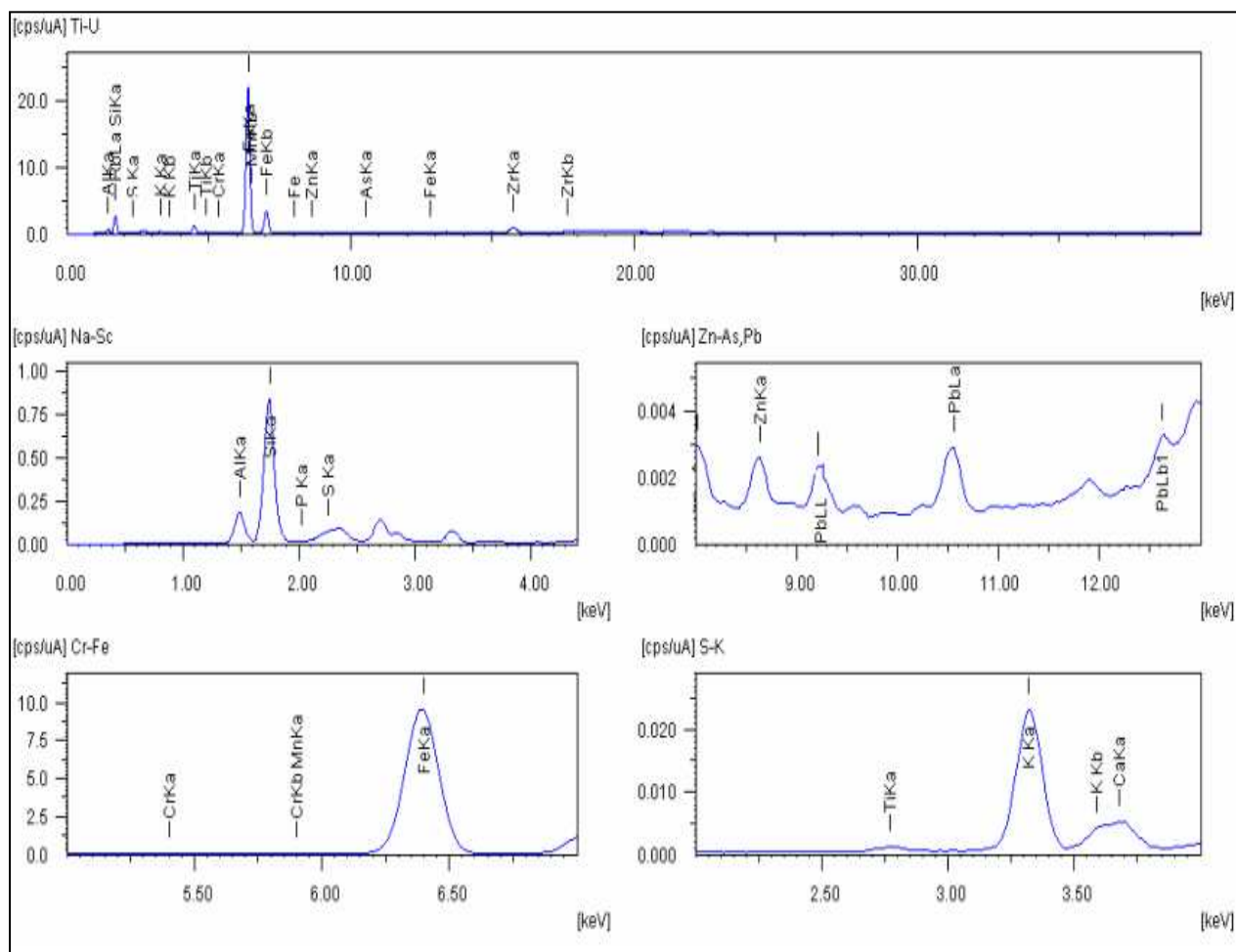
Amostra 342 – Peneira menor que 100#



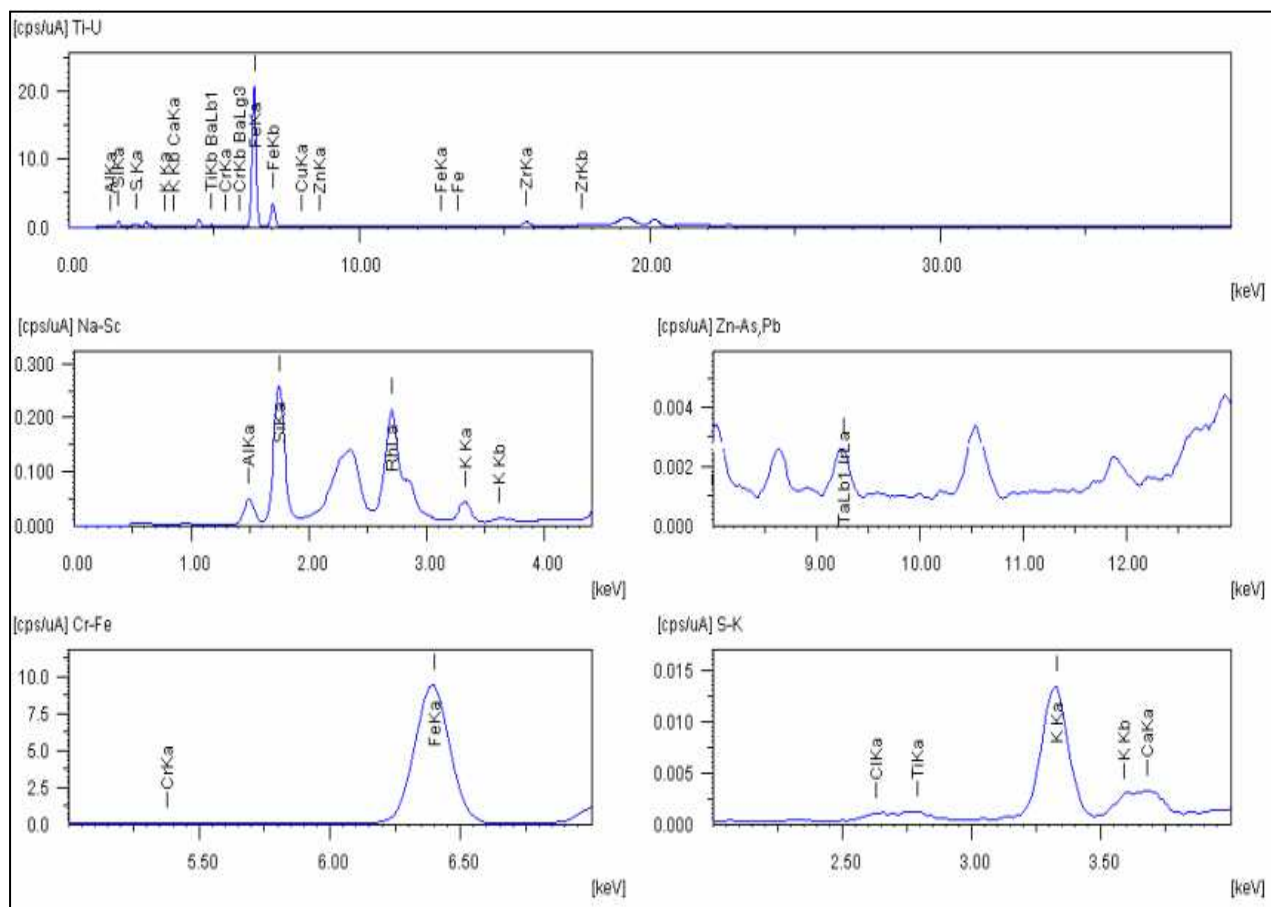
Amostra 343 – Peneira maior que 100#



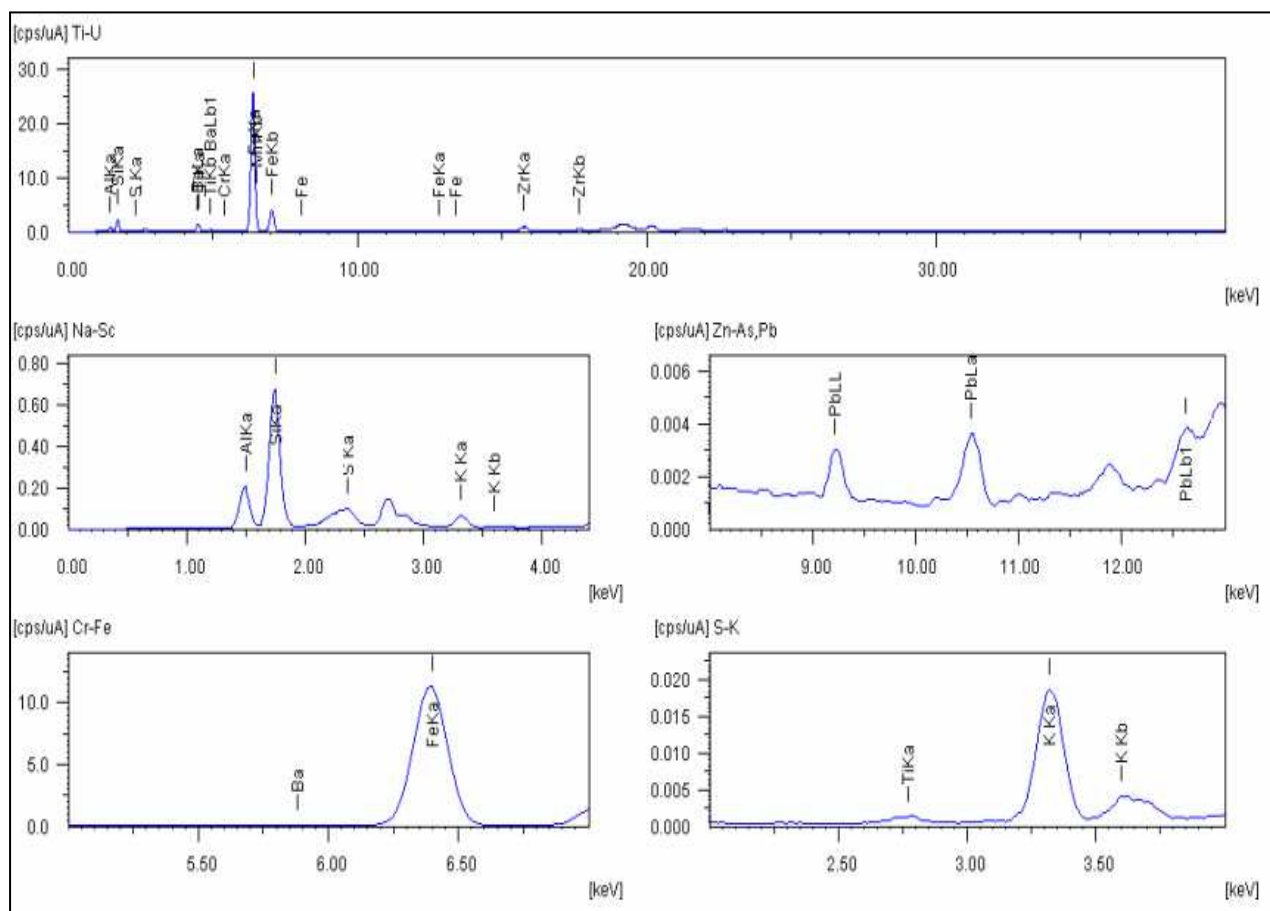
Amostra 343 – Peneira menor que 100#



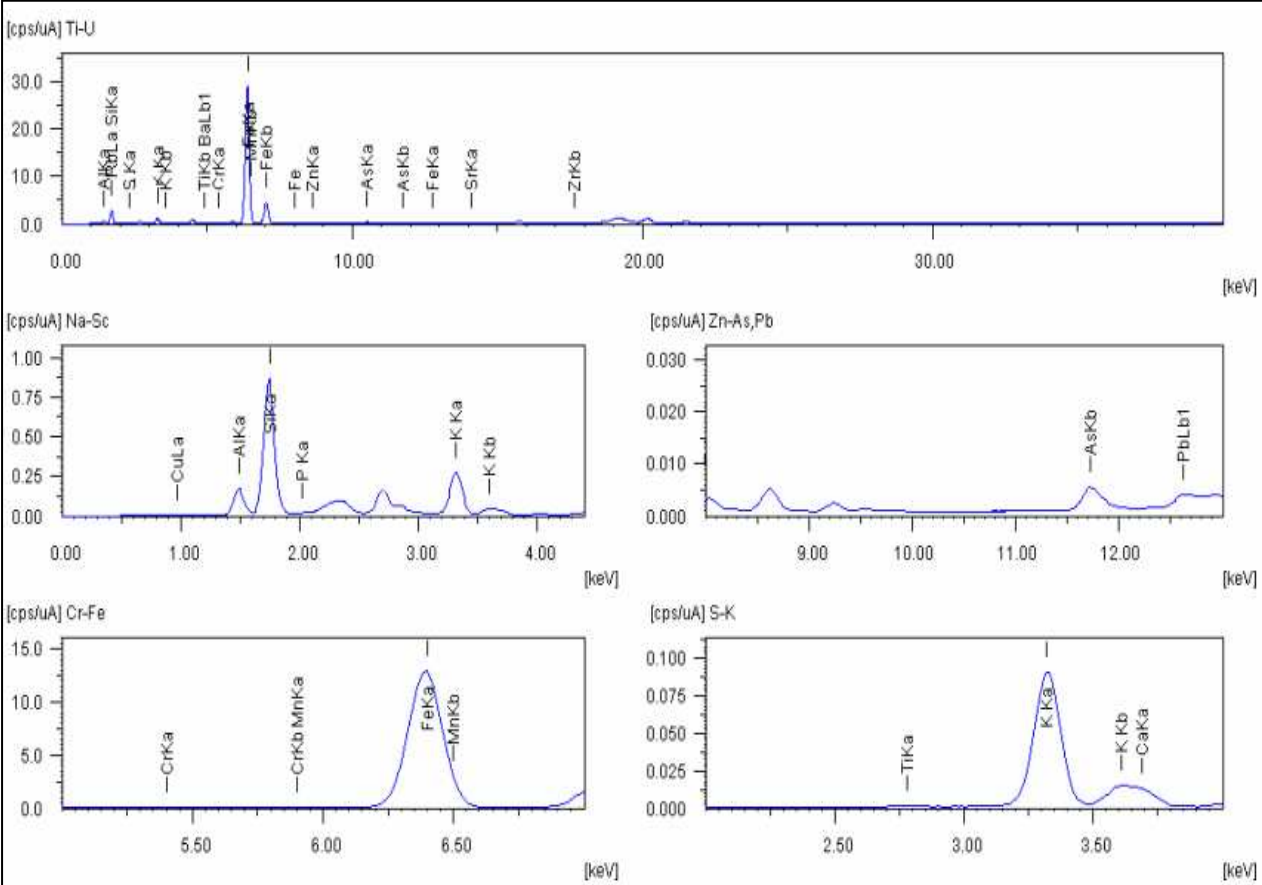
Amostra 353 – Peneira maior que 100#



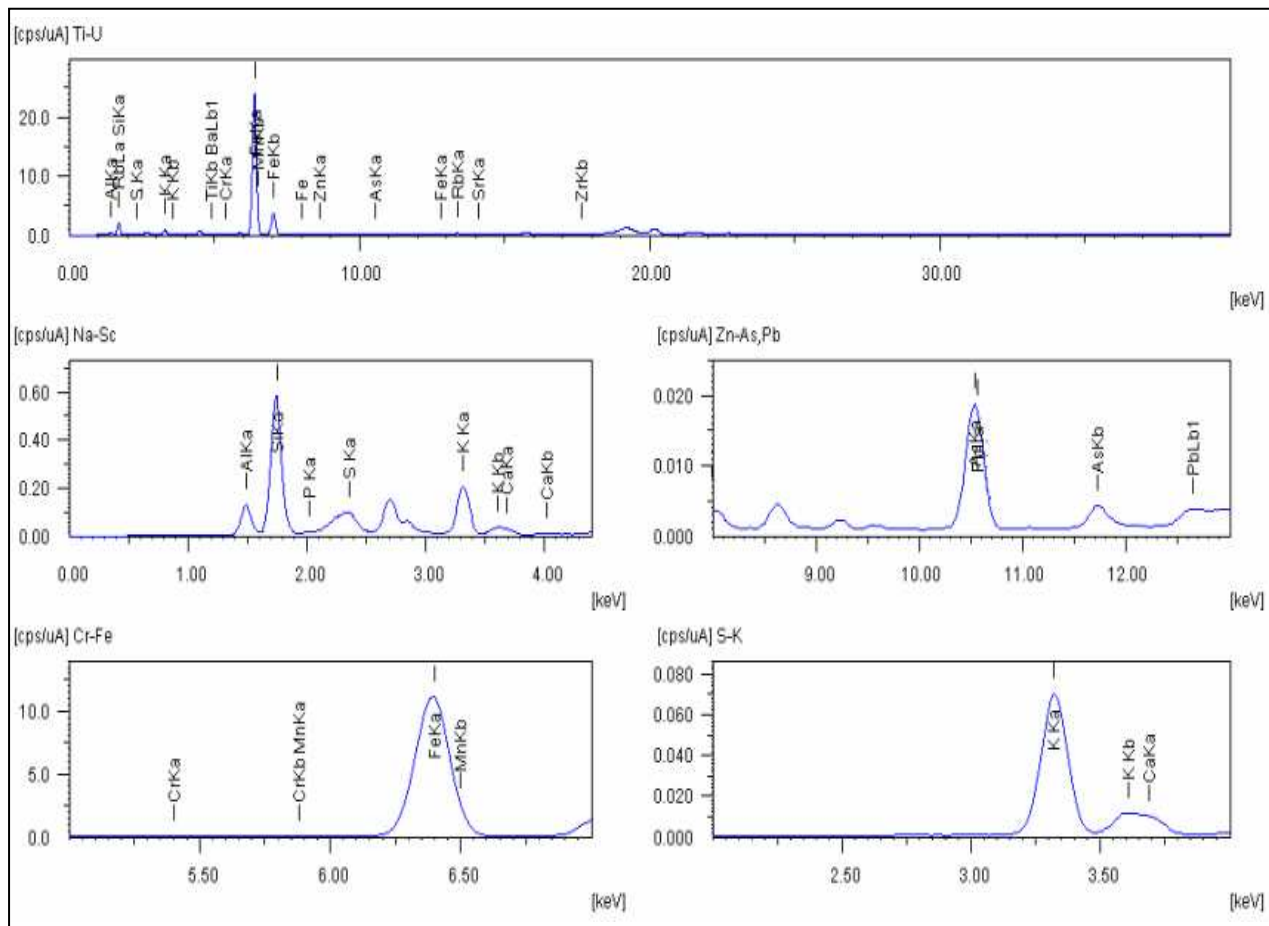
Amostra 353 – Peneira menor que 100#



Amostra 357 – Peneira maior que 100#



Amostra 357 – Peneira menor que 100#



Anexo II.2.1 – Resultados qualitativos e quantitativos de EDX

Amostra 340 – Peneira maior que 100#

Measurement Condition							
Instrument : EDX-720		Atmosphere : vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	45-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 200	40
Na-Sc	Rh 15	400-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 200	39
Zn-As,Pb	Rh 50	405-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 200	39
Cr-Fe	Rh 50	66-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 200	39
S-K	Rh 15	730-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 200	39
Qualitative Result							
Element : Al, Rb, Si, S, Rh, K, Ba, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, Ir, Y, Zr, Nb, P Mo, Cu, Pb, Ga, Sr, Ni, As, Tm							
Quantitative Result							
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)	
Fe	36.425 %		(0.037)	Quan-FP	FeKa	72.0463	
Si	33.958 %		(0.048)	Quan-FP	SiKa	6.2955	
Al	18.913 %		(0.059)	Quan-FP	AlKa	1.4040	
Ti	3.334 %		(0.015)	Quan-FP	TiKa	6.9381	
K	3.255 %		(0.016)	Quan-FP	K Ka	0.3008	
S	1.938 %		(0.011)	Quan-FP	S Ka	0.8633	
Ba	1.243 %		(0.048)	Quan-FP	BaLa	0.8238	

Amostra 340 – Peneira menor que 100#

Measurement Condition							
Instrument : EDX-720		Atmosphere : vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	44-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 200	40
Na-Sc	Rh 15	347-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 200	39
Zn-As,Pb	Rh 50	447-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 200	41
Cr-Fe	Rh 50	68-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 200	39
S-K	Rh 15	647-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 200	40
Qualitative Result							
Element : Al, Rb, Si, S, Rh, K, Ba, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Y, Zr, Nb, P Mo, Tm, Ho, Pb, Ga, Sr, Ni							
Quantitative Result							
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)	
Si	36.409 %		(0.049)	Quan-FP	SiKa	8.0133	
Fe	32.784 %		(0.032)	Quan-FP	FeKa	76.8760	
Al	20.436 %		(0.059)	Quan-FP	AlKa	1.8675	
Ti	3.512 %		(0.014)	Quan-FP	TiKa	8.4453	
K	3.436 %		(0.016)	Quan-FP	K Ka	0.3692	
S	1.552 %		(0.010)	Quan-FP	S Ka	0.8015	
Ba	1.133 %		(0.046)	Quan-FP	BaLa	0.8676	

Amostra 342 – Peneira maior que 100#

Measurement Condition							
Instrument : EDX-720		Atmosphere : Vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	45-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 200	39
Na-Sc	Rh 15	439-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 200	39
Zn-As,Pb	Rh 50	391-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 200	40
Cr-Fe	Rh 50	66-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 200	39
S-K	Rh 15	887-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 200	40
Qualitative Result							
Element : Tm, Al, Rb, Si, S, Rh, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Cu P, Mo, Ba, Ga, Cr, As							
Quantitative Result							
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)	
Si	45.586 %		(0.052)	Quan-FP	SiKa	8.8783	
Fe	26.743 %		(0.033)	Quan-FP	FeKa	51.4502	
Al	16.581 %		(0.050)	Quan-FP	AlKa	1.3350	
Ti	3.930 %		(0.016)	Quan-FP	TiKa	7.2086	
K	2.786 %		(0.014)	Quan-FP	K Ka	0.2311	
S	1.823 %		(0.011)	Quan-FP	S Ka	0.7289	
Ca	1.112 %		(0.007)	Quan-FP	CaKa	0.3823	

Amostra 342 – Peneira menor que 100#

Measurement Condition							
Instrument : EDX-720		Atmosphere : Vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	42-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 200	39
Na-Sc	Rh 15	378-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 200	40
Zn-As,Pb	Rh 50	391-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 200	39
Cr-Fe	Rh 50	64-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 200	39
S-K	Rh 15	756-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 199	40
Qualitative Result							
Element : Al, Rb, Si, S, Rh, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Sr, Y, Zr, Nb P, Ta, Ba, Ir, Pb, Th, Tm							
Quantitative Result							
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)	
Si	45.402 %		(0.051)	Quan-FP	SiKa	10.4761	
Fe	26.751 %		(0.030)	Quan-FP	FeKa	60.9203	
Al	17.150 %		(0.050)	Quan-FP	AlKa	1.6457	
Ti	4.323 %		(0.016)	Quan-FP	TiKa	9.4541	
K	2.844 %		(0.014)	Quan-FP	K Ka	0.2826	
S	1.504 %		(0.021)	Quan-FP	S Ka	1.2651	
Ca	1.135 %		(0.007)	Quan-FP	CaKa	0.4662	

Amostra 343 – Peneira maior que 100#

Measurement Condition							
Instrument : EDX-720		Atmosphere : Vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kv	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	45-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 99	39
Na-Sc	Rh 15	470-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 99	39
Zn-As,Pb	Rh 50	378-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 100	39
Cr-Fe	Rh 50	64-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 100	39
S-K	Rh 15	990-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 100	41
Qualitative Result							
Element : Al, Rb, Si, S, Rh, K, Ca, Ba, Ti, Fe, Y, Zr, Cu, P, Mo, Tm, As W, Zn							
Quantitative Result							
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)	
Si	47.188 %		(0.075)	Quan-FP	SiKa	8.7018	
Fe	26.286 %		(0.047)	Quan-FP	FeKa	48.8128	
Al	17.363 %		(0.072)	Quan-FP	AlKa	1.3381	
Ti	2.585 %		(0.020)	Quan-FP	TiKa	4.6127	
S	2.379 %		(0.016)	Quan-FP	S Ka	0.8969	
K	2.323 %		(0.018)	Quan-FP	K Ka	0.1810	
Ba	1.189 %		(0.065)	Quan-FP	BaLa	0.6750	
P	0.300 %		(0.020)	Quan-FP	P Ka	0.0531	

Amostra 343 – Peneira menor que 100#

Measurement Condition							
Instrument : EDX-720		Atmosphere : Vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kv	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	41-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 199	39
Na-Sc	Rh 15	359-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 200	39
Zn-As,Pb	Rh 50	405-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 200	39
Cr-Fe	Rh 50	64-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 200	38
S-K	Rh 15	647-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 200	39
Qualitative Result							
Element : Al, Rb, Si, S, Rh, K, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Y, Zr, Nb, P, Ba Tm, Ho, Pb, Ga, Th, Sr, Ca							
Quantitative Result							
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)	
Si	40.086 %		(0.051)	Quan-FP	SiKa	8.7912	
Fe	31.320 %		(0.032)	Quan-FP	FeKa	74.4237	
Al	19.738 %		(0.056)	Quan-FP	AlKa	1.8189	
Ti	3.613 %		(0.014)	Quan-FP	TiKa	8.4776	
K	2.646 %		(0.015)	Quan-FP	K Ka	0.2714	
S	1.629 %		(0.011)	Quan-FP	S Ka	0.7974	

Amostra 353 – Peneira maior que 100#

Measurement Condition							
Instrument : EDX-720		Atmosphere : Vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	45-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	40
Na-Sc	Rh 15	414-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39
Zn-As,Pb	Rh 50	405-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 100	40
Cr-Fe	Rh 50	69-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 100	41
S-K	Rh 15	756-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 100	40
Qualitative Result							
Element : Al, Si, S, Rh, K, Ca, Ba, Ti, Cr, Fe, Cu, Zn, Y, Zr, Ta, Ir, Th Rb, Sr, Nb, Ho, As, Cl							
Quantitative Result							
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)	
Fe	56.288 %		(0.077)	Quan-FP	FeKa	76.2292	
Si	19.788 %		(0.063)	Quan-FP	SiKa	2.5879	
Al	10.294 %		(0.081)	Quan-FP	AlKa	0.4515	
Ti	3.970 %		(0.025)	Quan-FP	TiKa	6.7635	
S	3.213 %		(0.045)	Quan-FP	S Ka	2.0749	
Ba	2.539 %		(0.082)	Quan-FP	BaLa	1.3787	
K	2.052 %		(0.020)	Quan-FP	K Ka	0.1527	

Amostra 353 – Peneira menor que 100#

Measurement Condition							
Instrument : EDX-720		Atmosphere : Vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	39-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	39
Na-Sc	Rh 15	331-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 99	39
Zn-As,Pb	Rh 50	391-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 99	40
Cr-Fe	Rh 50	62-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 100	39
S-K	Rh 15	597-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 100	40
Qualitative Result							
Element : Al, Si, S, Rh, Ba, Ti, Cr, Mn, Fe, Y, Zr, Mo, K, Tm, Pb, Rb, Sr Nb, Ho, Zn, Ga							
Quantitative Result							
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)	
Fe	36.774 %		(0.050)	Quan-FP	FeKa	89.2826	
Si	32.554 %		(0.068)	Quan-FP	SiKa	7.0168	
Al	22.160 %		(0.088)	Quan-FP	AlKa	1.9834	
Ti	3.506 %		(0.020)	Quan-FP	TiKa	9.1317	
K	1.947 %		(0.018)	Quan-FP	K Ka	0.2201	
Ba	1.397 %		(0.065)	Quan-FP	BaLa	1.1588	
S	1.026 %		(0.013)	Quan-FP	S Ka	0.5491	

Amostra 357 – Peneira maior que 100#

Measurement Condition								
Instrument : EDX-720		Atmosphere : Vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No		
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)	
Ti-U	Rh 50	39-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	39	
Na-Sc	Rh 15	307-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	40	
Zn-As,Pb	Rh 50	439-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 100	39	
Cr-Fe	Rh 50	69-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 100	40	
S-K	Rh 15	538-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 99	39	
Qualitative Result								
Element : Al, Rb, Si, S , Rh, K , Ba, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Sr, Y , Zr, Cu P , Ta, Ir, Pb, Th, Nb, Ca								
Quantitative Result								
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)		
Fe	37.044 %		(0.044)	Quan-FP	FeKa	101.9603		
Si	33.289 %		(0.064)	Quan-FP	SiKa	9.0011		
Al	16.267 %		(0.074)	Quan-FP	AlKa	1.6974		
K	7.991 %		(0.034)	Quan-FP	K Ka	1.0725		
Ti	2.094 %		(0.016)	Quan-FP	TiKa	5.8232		
S	1.134 %		(0.023)	Quan-FP	S Ka	1.3021		
Ba	0.951 %		(0.051)	Quan-FP	BaLa	0.8420		
Mn	0.467 %		(0.007)	Quan-FP	MnKa	0.8953		

Amostra 357 – Peneira menor que 100#

Measurement Condition								
Instrument : EDX-720			Atmosphere : Vac.		Collimator : 10(mm)		Spin : No	
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)	
Ti-U	Rh 50	44-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	39	
Na-Sc	Rh 15	378-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39	
Zn-As,Pb	Rh 50	428-Auto	Ag	0 - 40	8.5 - 13.0	Live - 100	39	
Cr-Fe	Rh 50	68-Auto	Ti	0 - 40	5.2 - 6.6	Live - 99	39	
S-K	Rh 15	694-Auto	Al	0 - 20	2.1 - 3.4	Live - 100	40	
Qualitative Result								
Element : Al, Rb, Si, S , Rh, K , Ba, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Sr, Y , Zr, P Ca, Ta, Ir, Pb, Nb, Tm, Ho								
Quantitative Result								
Analyte	Result		Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)		
Fe	40.819 %		(0.053)	Quan-FP	FeKa	88.5530		
Si	28.644 %		(0.061)	Quan-FP	SiKa	6.0607		
Al	15.792 %		(0.076)	Quan-FP	AlKa	1.2582		
K	7.671 %		(0.032)	Quan-FP	K Ka	0.8392		
Ti	2.129 %		(0.017)	Quan-FP	TiKa	4.7986		
S	1.926 %		(0.014)	Quan-FP	S Ka	1.0320		
Ba	1.068 %		(0.054)	Quan-FP	BaLa	0.7658		
Ca	0.507 %		(0.010)	Quan-FP	CaKa	0.2071		
Mn	0.492 %		(0.009)	Quan-FP	MnKa	0.7498		

ANEXO III

COORDENADAS DOS PONTOS AMOSTRADOS E FOTOS DA ÁREA PESQUISADA

Anexo III.1 – Coordenadas dos pontos amostrados

Anexos III.2 – Fotos da área

Anexo III.1 – Coordenadas dos pontos amostrados

Pto da fáb.	526900,00	8057489,00
V337	526549,00	8057399,00
V338	525763,00	8056893,00
V339	525095,00	8056614,00
V340	524743,00	8056793,00
V341	524147,00	8053248,00
V342	526768,00	8057489,00
V343	526848,00	8056445,00
V344	531187,00	8060145,00
V345	528845,00	8053112,00
V346	530594,00	8059169,00
V348	528620,00	8054107,00
V349	528354,00	8055153,00
V350	528075,00	8056034,00
V351	526243,00	8058470,00
V352	525737,00	8059337,00
V353	525213,00	8060238,00
V354	524813,00	8060933,00
V356	527765,00	8058306,00
V357	528510,00	8058719,00
V359	531324,00	8059188,00
V360	526509,00	8056000,00
V361	524000,00	8061000,00
V362	526000,00	8061000,00
V363	527000,00	8061000,00
V364	528000,00	8061000,00
V365	528891,00	8061104,00
V366	530000,00	8061000,00
V367	523000,00	8061000,00
V368	524500,00	8059200,00
V369	526700,00	8059200,00
V370	527709,00	8059200,00
V371	528729,00	8059136,00
V372	529750,00	8059200,00
V373	523700,00	8059200,00
V374	524400,00	8058500,00
V375	525350,00	8058500,00
V376	527979,00	8058707,00

V377	530740,00	8058869,00
V378	523700,00	8057500,00
V379	525750,00	8057500,00
V380	524696,00	8057383,00
V381	527850,00	8057500,00
V383	530900,00	8057500,00
V384	523500,00	8056000,00
V385	524502,00	8055943,00
V386	525500,00	8056000,00
V387	529200,00	8056000,00
V388	530100,00	8056000,00
V389	523500,00	8055000,00
V390	524400,00	8055000,00
V391	525400,00	8055000,00
V392	526500,00	8055000,00
V394	529271,00	8054960,00
V395	530850,00	8055000,00
V396	533844,00	8062106,00
V397	519416,00	8057238,00
V398	527351,00	8056420,00

Anexo III.2 – Fotos da área

