



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ESTUDO DA DISPERSÃO DE METAIS PESADOS EM ÁREAS DE
ATERRO SANITÁRIO**

TESE APRESENTADA POR

HEBE SIMONE SOUSA RIPARDO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: 11.09.2000

Comitê de Tese:

José Augusto Martins Corrêa

.....
JOSÉ AUGUSTO MARTINS CORRÊA (Orientador)

Norbert Fenzl
.....
NORBERT FENZL

José Almir Rodrigues Pereira
.....
JOSÉ ALMIR RODRIGUES PEREIRA

AGRADECIMENTOS

Gostaria de tornar expresso meus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições que contribuíram para a realização deste trabalho:

A CAPES pelo suporte financeiro;

Ao Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa, pela orientação e perseverança para a realização deste trabalho;

Ao Júnior, tanto pelo apoio moral quanto pelo auxílio na parte computacional;

Ao técnico em mineração Edson Maia, pela ajuda nas análises e coletas de campo;

As amigas Kátia, Adriana e Ivanilce pelo apoio e incentivo;

Ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, pela oportunidade e para realização do curso de mestrado.

Ao Químico Mc. Natalino, do laboratório de análises químicas do C.G./U.F.PA. pela colaboração e profissionalismo.

À coordenação do Curso de Pós-Graduação, aos professores e servidores pela colaboração;

Aos moradores da área de estudo, pelas informações fornecidas;

A todos aqueles que não foram citados mas que contribuíram de forma direta ou indireta pra a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	iv
RESUMO	01
ABSTRACT	03
1. INTRODUÇÃO	05
2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO	07
3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	09
3.1. CLIMA E VEGETAÇÃO.....	09
3.2. SOLO.....	09
3.3. HIDROGRAFIA E RELEVO.....	10
4. CONTEXTO GEOLÓGICO	11
4.1. GEOLOGIA LOCAL.....	11
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS SOLOS AMAZÔNICOS	16
6. RESÍDUOS SÓLIDOS DA CIDADE DE BELÉM	20
7. POLUIÇÃO EM SOLOS POR METAIS PESADOS	23
7.1. DISTRIBUIÇÃO VERTICAL NOS SOLOS.....	25
8. MATERIAIS E MÉTODOS	28
8.1. FASE DE CAMPO.....	28
8.2. FASE DE LABORATÓRIO.....	28
8.2.1. Análise textural e mineralógica.....	29
8.2.2. Análise química.....	29
8.2.2.1. Preparação das amostras.....	29
8.2.2.2. Umidade.....	30
8.2.2.3. Quantidade de Húmus.....	30
8.2.2.4. pH no solo.....	30
8.2.2.5. Abertura ácida para metais estudados.....	31
8.2.2.6. Abertura ácida para elementos maiores.....	32
8.3. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.....	32
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
9.1. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TEXTURAL DOS SOLOS DO AURÁ.....	33
9.1.1. Análise mineralógica.....	35
9.2. QUANTIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA, UMIDADE E O Ph DOS SOLOS ESTUDADOS.....	36
9.2.1. Quantidade de húmus.....	36
9.2.2. Quantidade de umidade.....	37
9.2.3. pH no solo.....	38
9.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DOS SOLOS ESTUDADOS.....	39
9.3.1. Distribuição vertical dos metais pesados.....	40
9.3.2. Distribuição horizontal dos metais pesados.....	44
10. CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ANEXOS	78
ANEXO I- Mapa de Localização dos Lixões	79
ANEXO II- Tabelas e Histogramas dos fatores de mobilidade dos metais estudados no horizonte A.	80
ANEXO III- Tabelas e Histogramas dos fatores de mobilidade dos metais estudados no horizonte B.	85
ANEXO IV- Tabelas e Histogramas dos fatores de enriquecimento dos metais estudados no horizonte A.	89
ANEXO V- Tabelas e Histogramas dos fatores de enriquecimento dos metais estudados no horizonte B	94
ANEXO VI- Matriz de correlação entre os elementos no horizonte A	98
ANEXO VII- Matriz de correlação entre os elementos no horizonte B	99
ANEXO VIII- Tabelas com os resultados das análises químicas dos metais pesados estudados no horizonte A	100
ANEXO IX- Tabelas com os resultados das análises químicas dos metais pesados estudados no horizonte B	101
ANEXO X - Tabelas com os resultados das análises químicas dos elementos maiores estudados no horizonte A.	102
ANEXO XI- Tabelas com os resultados das análises químicas dos elementos maiores estudados no horizonte B	103
ANEXO XII- Tabelas com os resultados do pH, Húmus e Umidade no horizonte A.	104
ANEXO XIII- Tabelas com os resultados do pH, Húmus e Umidade no horizonte B.	105
ANEXO XIV- Tabelas com os resultados das análises químicas dos perfis	106
ANEXO XV- Histogramas mostrando a dispersão dos metais pesados nos dois horizontes do solo	107

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo (fonte CPRM, 1998).....	08
Figura 2 - Coluna estratigráfica na área de estudo (adaptada de Sauma Filho, 1996).....	12
Figura 3 – Esquema de perfil de solo, mostrando os horizontes. Obs. Nem todos os horizontes podem estar presentes nos perfis (adaptado de Yaron, 1996).....	27
Figura 4 – Fotografia mostrando os diferentes horizontes de solo no perfil amostrado.....	34
Figura 5 – Difratograma mostrando os principais argilominerais do horizonte A nos solos estudados.....	35
Figura 6 – Distribuição da quantidade de húmus nas amostras estudadas do horizonte A.....	36
Figura 7 - Distribuição da quantidade de húmus nas amostras estudadas do horizonte B.....	36
Figura 8 - Distribuição da quantidade de umidade nas amostras estudadas do horizonte A.....	38
Figura 9 - Distribuição da quantidade de umidade nas amostras estudadas do horizonte B.....	38
Figura 10 – Distribuição do pH nas amostras estudadas no horizonte A.....	39
Figura 11 – Distribuição do pH nas amostras estudadas no horizonte B.....	39
Figura 12 – Fotografia do primeiro perfil geológico estudado, mostrando os diferentes horizontes.....	42
Figura 13 – Valores de pH no primeiro perfil.....	42
Figura 14 - Valores de húmus no primeiro perfil.....	42
Figura 15 – Histograma mostrando os teores de metais pesados no primeiro perfil.....	42
Figura 16 - Variação na percentagem de argila com a profundidade.....	42
Figura 17 – Fotografia do segundo perfil geológico estudado.....	43
Figura 18 – Valores de pH no segundo perfil.....	43
Figura 19 – Valores de húmus no segundo perfil.....	43
Figura 20 – Histograma mostrando os teores de metais pesados no segundo perfil.....	43
Figura 21 – Variação na percentagem de argila com a profundidade no segundo perfil.....	43
Figura 22 – Mapa de amostragem com o fator de enriquecimento do Cu no horizonte A.....	47
Figura 23 – Mapa de isotores do Cu no horizonte A. Notar as diversas anomalias relacionadas a fontes antropogênicas.....	48
Figura 24 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Cu no horizonte B.....	49
Figura 25 – Mapa de isotores do Cu no horizonte B. Notar as fortes anomalias próximas ao lixão do Aurá e do antigo lixão Águas Lindas.....	50
Figura 26 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Pb no horizonte A.....	53
Figura 27 – Mapa de isotores do Pb no horizonte B. Notar as duas anomalias relacionadas aos dois lixões do Aurá e Águas Lindas.....	54
Figura 28 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Pb no horizonte B.....	55
Figura 29 – Mapa de isotores do Pb no horizonte B. Notar de 4 áreas anômalas relacionadas a atividades antropogênicas.....	56

Figura 30 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Zn no horizonte A.....	58
Figura 31 – Mapa de isotores do Zn no horizonte A. Notar as áreas onde as concentrações são maiores e a coincidência com atividades antropogênicas.....	59
Figura 32 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Zn no horizonte B.....	60
Figura 33 – Mapa de isotores do Zn no horizonte B. Notar a coincidência com áreas de maior atividade antropogênica.....	61
Figura 34 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Cd no horizonte A.....	64
Figura 35 – Mapa de isotores do Cd no horizonte A. Notar as áreas anômalas coincidentes com atividades antropogênica.....	65
Figura 36 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Ni no horizonte A.....	67
Figura 37 - Mapa de isotores do Ni no horizonte A. Notar as áreas de maior concentração e sua coincidência com atividades antropogênicas.....	68
Figura 38 - Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Ni no horizonte B.....	69
Figura 39 - Mapa de isotores do Ni no horizonte B. Notar a coincidência parcial com o horizonte A e as áreas de atividade antropogênica.....	70

TABELAS

Tabela 1 - Teores médios de metais pesados em aterros sanitários segundo Rousseaux <i>et al.</i> (1989).....	06
Tabela 2 – Classificação de solos segundo Hunt (1972).	17
Tabela 3 – Material originário, relevo e cobertura vegetal dos latossolos amarelos da Amazônia (Vieira & Santos, 1987)	19
Tabela 4 – Composição média do lixo urbano de Belém adaptado de Lima (1997)	21
Tabela 5 – Outras características do Lixo de Belém. adaptado de Lima (1997).	21
Tabela 6 – Quantificação do lixo de Belém, segundo dados populacionais.....	22
Tabela 7 – Valores médios da concentração de metais segundo alguns autores.....	25
Tabela 8 – Característica dos principais horizontes nos solos (adaptado de Yaron et al., 1996).....	27
Tabela 9 – Descrição textural dos horizontes observados nos solos próximos a área estudada.....	33
Tabela 10 – Quantificação das frações areia, silte e argila dos diferentes horizontes nos dois perfis de solos estudados.....	33
Tabela 11 – Composição química média das amostras estudadas no horizonte A.....	40
Tabela 12 – Composição química média das amostras estudadas no horizonte B.....	40

RESUMO

Os solos nas proximidades do aterro sanitário do Aurá, mostram um exemplo típico de enriquecimento de metais pesados por processos antropogênicos. As rochas que dão origem aos solos na região, são principalmente arenitos finos a médios intercalados a siltitos e argilitos, pertencentes a depósitos terciários, mais precisamente rochas da Formação Barreiras de idade Pleistocênica. Para investigar os níveis de enriquecimento e os padrões de dispersão dos metais pesados com efeitos tóxicos, foram realizados estudos geoquímicos e pedológicos na área. Após a coleta sistemática de amostras dos horizontes A e B ao longo das principais estradas de acesso a partir do Km 5 da BR- 316, essas amostras foram analisadas considerando-se os diferentes parâmetros ambientais, ou seja, umidade, pH, minerais argilosos e matéria orgânica. As determinações das concentrações dos metais nos solos foram feitas utilizando-se a espectrometria de absorção atômica (chama). Os metais estudados foram Pb, Zn, Cu, Cd e Ni.

No horizonte A os metais Pb, Ni, mostram-se enriquecidos com fatores médios de 2,5 e 3,6 e no horizonte B com fatores de enriquecimento de 2,7 e 3,2 respectivamente. O Cd, considerando-se os 27 pontos coletados, mostrou um valor médio de 3,7 ppm no horizonte A, portanto, uma média de enriquecimento local 37,7 vezes superior aos valores considerados normais (0,1 ppm); no horizonte B as concentrações ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho, ou seja, em 22 dos 27 pontos amostrados apresentou valores ≤ 1 ppm. O Zn e o Cu apresentam enriquecimento médio no horizonte B de 1,4 e 2 respectivamente e no horizonte A o Cu mostrou um fator de enriquecimento de 2.

A distribuição vertical desses metais foi estudada em dois perfis localizados nas vizinhanças do aterro sanitário. Foi observado o seguinte comportamento: O Cd não apresenta grandes variações verticais, no entanto, este elemento tende a concentrar-se um pouco mais nos horizontes R o que sugere a sua adsorção nos horizontes mais argilosos. O Cu mostrou-se nos perfis com concentrações médias de 8 ppm nos horizontes superiores, e, no horizonte laterítico, a concentração teve um aumento significativo, atingindo 74 ppm. Isso confirma a sua mobilidade intermediária, que é controlada fundamentalmente pela oclusão em óxidos e hidróxidos de Fe e Mn. O Ni teve um enriquecimento considerável, com as concentrações aumentando do topo para a base dos perfis. Sua concentração média no horizonte A é de 12 ppm e no horizonte R de 25 ppm. Isso leva a crer, que esse elemento foi lixiviado dos horizontes superiores e se acumulou na

base do perfil, que é predominantemente argiloso. O Pb semelhantemente ao Ni apresentou valores mais elevados nos horizontes R, com 86 ppm no primeiro perfil e 33 no segundo. O comportamento deste elemento, é em parte controlado pelo pH, haja vista a sua razoável correlação ($r = 0,55$). O Zn varia muito pouco ao longo do perfil, no entanto este elemento apresenta valores mais altos nos horizontes B e laterítico (21 ppm), decrescendo um pouco no horizonte R (19 ppm) no primeiro perfil, e valores de 12 ppm no horizonte B e 10 ppm no horizonte R no segundo perfil.

Quanto a mobilidade dos metais pesados estudados, a boa correlação linear dos metais Pb, Zn, Cu e Ni com os elementos maiores Fe, Mg, Ca, Na e K no horizonte A, demonstra a afinidade destes metais tóxicos com os óxido de ferro e os argilominerais (Clorita e Ilita). No horizonte B, o Cu mostrou boa correlação com o Fe o que indica que possuem comportamento geoquímico similar, concentrando-se preferencialmente na forma de óxidos e hidróxidos de ferro.

A quantidade de húmus não demonstrou nenhuma correlação significativa indicando assim, que este parâmetro não é controlador da mobilidade/fixação dos elementos nos horizontes A e B.

O pH mostrou uma correlação razoável com os seguintes metais: Cu, Ni, Pb e Zn o que está de acordo com o descrito na literatura para solos de diferentes tipos.

Os padrões de dispersão dos metais estudados nos horizontes A e B, mostraram quatro áreas anômalas principais: 1) área correspondente à usina de incineração, já desativada há alguns anos e que também está muito próxima a uma pequena usina de reciclagem de metais, plásticos, borracha e papelão; 2) Pontos coletados praticamente dentro do aterro sanitário do Aurá; 3) Pontos próximos ao já desativado “lixão” de Águas Lindas; 4) Pontos próximos a uma sucataria de reciclados onde provavelmente os metais relacionados comumente a ligas são reciclados neste local. Este fato confirma a hipótese original do trabalho, e portanto pode-se afirmar que os aterros sanitários, quando mal geridos, são causadores de poluição nos solos tanto no seu interior como nas circunvizinhanças.

ABSTRACT

The Aurá landfill receives the domestic and industrial garbage from Belém and Ananindeua. The storage of this material is inadequate and causes threat to the headwaters of Belém. The soils of the area investigated are mainly yellow, non hidromorphic latosols with a thick B-horizon the clay content of which increases with depth. In order to recognize a possible soil contamination in the vicinity of the landfill, the heavy metals Pb, Zn, Cu, Cd and Ni were analyzed using AAS and their dispersion patterns were defined. Additionally, humidity, pH, clay minerals and organic matter content were determined. The main clay minerals are caulinite and illite whereas chlorite occurs subordinately. The soils show acid reaction and present good drainage. Their average textural composition comprises 76% sand, 12% silt and 12% clay fraction. The A- and B-horizons have very similar chemical composition for the major elements averaging SiO₂ 79.6%, Al₂O₃ 11.6%, Fe₂O₃ 1%, MgO 0.03%, CaO 0.1%, Na₂O 0.07%, K₂O 0.05%, H₂O and organic matter 4,9%. The samples of the A-horizon present humus contents varying between 0.2 and 11.6% averaging 3.9%. In the B-horizon the values are between 0.6 and 9.1% averaging 4.3%. The pH values are similar in both horizons showing mean value about 4.3.

The heavy metals present concentrations slightly different in the A- and B-horizons. In the first one, the metals have the following average concentrations: Pb 14 mg/Kg, Ni 14 mg/Kg, Cd 4 mg/Kg, Cu 4 mg/Kg and Zn 12 mg/Kg whereas the concentrations in the B-horizon amount to Cd < 2mg/Kg, Cu 4 mg/Kg, Ni 12 mg/Kg, Pb 16 mg/Kg e Zn 17 mg/Kg. In non contaminated soils, the following concentrations were found: Cu 2 mg/Kg, Pb 6 mg/Kg, Cd 0.1 mg/Kg, and Ni 4 mg/Kg. These values indicate that the A- and B-horizons of the soils of the Aurá landfill area are strongly contaminated showing average enrichments of 1.4 for Zn, 2 for Cu, 2.5 for Pb, 3.6 for Ni and 37.7 for Cd (in the A-horizon, adsorbed to organic matter).

The dispersion patterns for the heavy metals examined show 4 areas with anomalous values: 1) area of plant of incineration out of operation for some years located nearby a small factory which recycles metals, plastics, rubber and pasteboard; 2) area directly within the Aurá landfill; 3) area near the Águas Lindas dump site out of operation and 4) area nearby a scrap-heap where metals are recycled.

1. INTRODUÇÃO

Entre os diversos prejuízos ambientais que os metais pesados presentes no lixo doméstico e industrial representam, temos dois que se destacam: a) eles não são degradáveis no meio ambiente, e b) tem efeito acumulativo na biosfera, particularmente nos vegetais e animais dos primeiros níveis tróficos. Sua natureza tóxica representa um risco potencial à saúde pública. Alguns destes metais são encontrados em quantidades muito reduzidas (traços) nos solos e constituem micronutrientes essenciais para alguns organismos. Entretanto, quando atingem concentrações superiores aos valores considerados naturais, eles tornam-se inibidores ou tóxicos (Grossi, 1989).

As principais fontes de contaminação ambiental por metais pesados segundo Förstner & Wittmann (1983) são:

- * Intemperismo geológico,
- * Processamento industrial de minérios e metais,
- * Metais e componentes metálicos descartados,
- * Lixiviação de metais a partir de depósitos de resíduos sólidos e líquidos,
- * Excrementos de animais e de seres humanos.

O lixo é uma das principais fontes antropogênicas de acumulação de metais pesados na natureza. Os aterros sanitários, principalmente aqueles construídos inadequadamente, provocam uma série de transtornos, entre eles a poluição de solos e a contaminação de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Além do mais, degradam a paisagem e incentivam a proliferação e disseminação de agentes patogênicos e de vetores de doenças, como ratos, baratas, moscas e mosquitos.

Os teores médios de metais pesados em aterros sanitários são mostrados na Tabela 01.

Tabela 01- Teores médios de metais pesados em aterros sanitários segundo Rousseaux *et al.* (1989).

Metais	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Lixo Brasileiro ppm (bruto)	0,2	3,0	167-282	263-369	156	12	68
ppm (seco)	0,5	7,2	372-627	585-820	346	27	150

Oliveira (1996), estudando o Aterro Sanitário do Aurá, constatou a existência de altas concentrações de cádmio, cromo e mercúrio nos solos, sedimentos e água superficial no interior do aterro. Isso sugere, que existe um enorme potencial de risco para a contaminação de solos na área circunvizinha ao aterro supra citado. Essa área é ocupada por conjuntos habitacionais, balneários, escolas e pequenos comércios.

A área escolhida para o aterro sanitário do Aurá, dista aproximadamente 2,5 km dos mananciais de água que abastecem a cidade de Belém, representando assim, um risco enorme de contaminação para a população que se abastece desta água.

A atual preocupação ambiental em torno dos metais nessa região, está baseada no fato de que a principal fonte responsável por sua acumulação (o lixo), aumenta a cada dia, com uma produção mensal de 19.909 toneladas. Esse lixo é formado por resíduos oriundos de lixos domiciliares dos municípios de Belém, Icoaraci, Outeiro e Mosqueiro, 156 toneladas de lixo hospitalar, 54 toneladas de lixo doméstico-hospitalar e 3.341 toneladas de lixo oriundo de varreduras (segundo dados da Secretaria Municipal de Saneamento para o mês de junho de 2000).

O objetivo deste trabalho é avaliar a dispersão dos metais pesados (Cd, Pb, Cu, Zn e Ni) nos solos e o reconhecimento dos principais fatores controladores da sua mobilidade, utilizando as circunvizinhanças do depósito de “lixão” do Aurá, bem como os arredores do já desativado “lixão de Águas Lindas”.

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área do Complexo de "Destino Final dos Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Belém", com cerca de 2 Km², situa-se na localidade de Santana do Aurá, pertencente ao Município de Ananindeua e que dista aproximadamente 13 Km do Município de Belém. O acesso à mesma é feito através de uma estrada secundária, a partir do Km 5 da Rodovia BR-316 (Figura 1). O "lixão do Aurá", como é vulgarmente conhecido, está localizado entre as coordenadas UTM 790.500-W e 791.500 E; 9.844.500-N e 9.842.000-N.

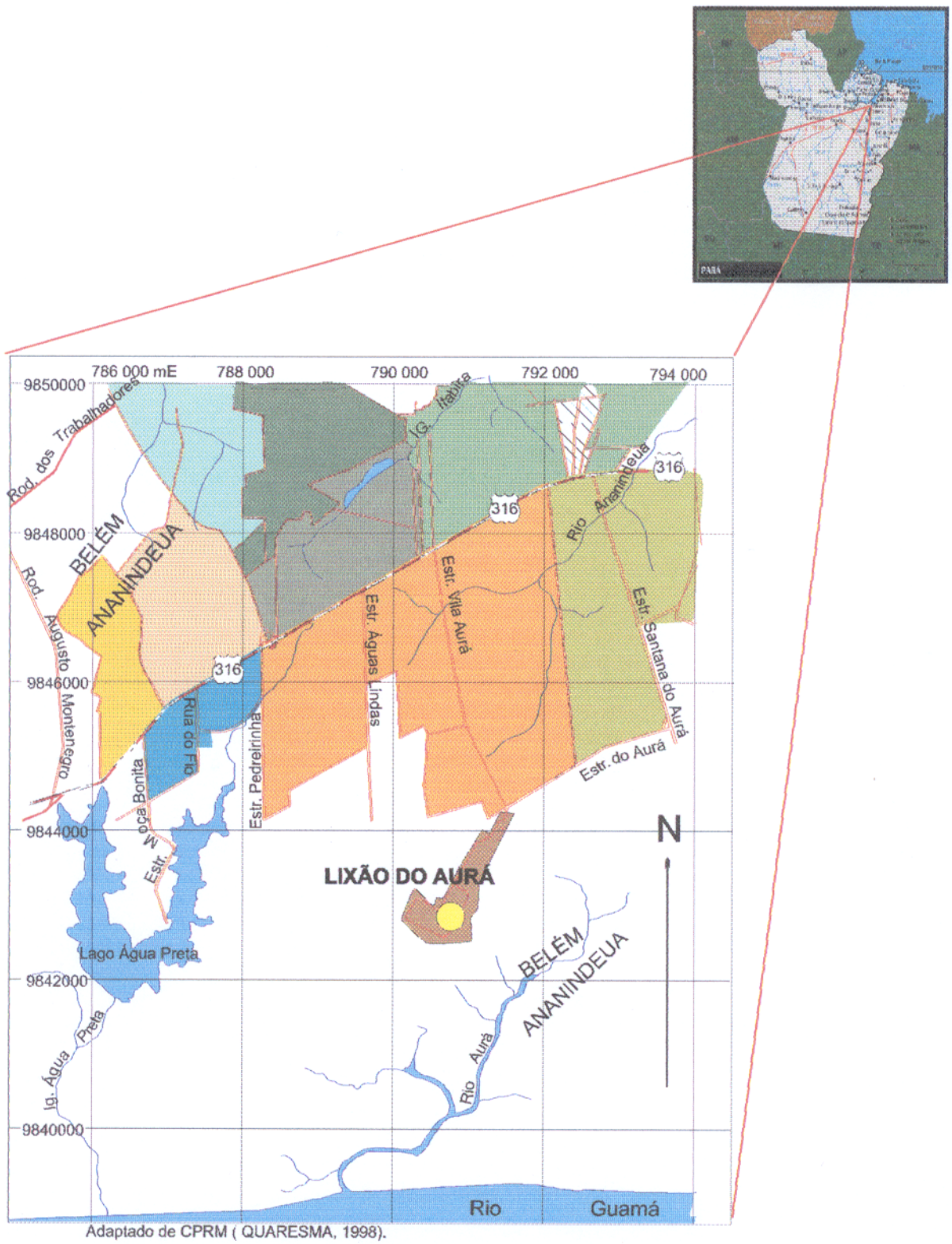


Figura 1- Mapa de localização da área de estudo (Quaresma, 1998).

3. ASPECTOS FISIOGRAFICOS

3.1. CLIMA E VEGETAÇÃO

Segundo Vieira & Santos (1987), o clima de Belém é quente e úmido, com temperaturas médias anuais próximas ou acima de 26° C, apresentando uma amplitude térmica média de 8,2° C. A precipitação média anual situa-se entre 2.500 e 3.000 mm, com cerca de 180 dias de chuva. Apresenta duas estações bem definidas, reguladas pela pluviosidade: 1) a estação chuvosa e 2) a estação seca. A primeira, normalmente iniciada em dezembro, tem duração de cinco meses, sendo março o mês mais chuvoso. A estação seca ocorre de julho a novembro.

O balanço hídrico para a região de Belém indica que de janeiro a junho ocorre um excedente hídrico de 1.250 mm, enquanto que de agosto a novembro ocorre um déficit de 38 mm.

Na área de estudo, diferenciam-se dois tipos principais de cobertura vegetal. Um deles ocorre ao sul, sendo representado por uma vegetação densa, com árvores de médio a grande porte, constituindo uma faixa com cerca de 400 m de largura. O outro tipo de cobertura é representado por uma vegetação do tipo capoeira, dominando a porção leste da área. Diferencia-se ainda uma estreita faixa marginal aos rios, formada pelos manguezais, influenciada pela salinidade das águas do oceano (Tancredi et al., 1980).

3.2. SOLO

No município de Ananindeua o solo predominante é do tipo **latossolo amarelo (oxisols)**, enquanto que, nas margens do rio Guamá e seus afluentes, verifica-se a ocorrência do solo tipo **gley pouco húmico (BRASIL, 1982)**.

Os latossolos amarelos são formados em relevo plano, sob cobertura vegetal de floresta densa. São solos profundos, argilosos, com baixo teor de matéria orgânica. Têm a sua origem relacionada à sedimentos holocênicos, e às vezes, à decomposição de argilitos (Moreira, 1996).

Os solos tipo gley pouco húmico originam-se a partir de sedimentos argilo-sílticos, em relevo plano. São pouco profundos e apresentam baixa permeabilidade.

Os solos que ocorrem na área são principalmente do tipo latossolo amarelo distrófico e solos concrecionários lateríticos indiscriminados distróficos. Localmente os horizontes caracterizam-se por apresentarem espessuras variando de 50 cm a 1 m. O horizonte A, mais superficial, tem coloração preta por ser rico em matéria orgânica, com espessura média em torno de 20 cm, chegando a atingir nas proximidades do “lixão” valores superiores a 50 cm. Os horizontes B e C, nesses solos variam de 90 cm a 1m de espessura. São constituídos essencialmente por sedimentos arenosos/siltosos e argilosos de colorações variadas, havendo predominância de tons alaranjados e avermelhados.

O horizonte R é composto basicamente por siltitos intercalados a arenitos enriquecidos em óxidos e hidróxidos de ferro, resultando numa coloração mosqueada. Não foi possível estimar a espessura deste horizonte, pois não foi possível identificar a base do mesmo.

3.3. HIDROGRAFIA E RELEVO

A área está inserida no denominado Sistema Hídrico do Utinga, que compreende as bacias superficiais e subterrâneas situadas na região dos Lagos Água Preta e Bolonha. Nos limites da área, o Rio Aurá, localizado na extremidade sudeste, constitui a drenagem principal, sendo afluente do rio Guamá, ambos formando uma micro-bacia com drenagens de pequeno porte e pouca extensão, como é o caso dos igarapés Santo Antônio, Pescada, Juvêncio, Jaruca e Santana. A oeste da área, situados à 1.400 metros de distância, localizam-se os mananciais Bolonha e Água Preta, que abastecem o município de Belém. Os mananciais pertencem a uma bacia hidrográfica separada da bacia do Aurá, por um divisor de águas, com cotas em torno de 20 metros, coincidente com a estrada de Águas Lindas.

As cotas mais altas, da ordem de 15 a 20 m, ocorrem a norte da área, enquanto que a sul dominam as cotas inferiores a 5 m. Essas características condicionam o escoamento superficial no sentido do Rio Guamá (BRASIL, 1982).

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1- GEOLOGIA LOCAL

O depósito de lixo do Aurá localiza-se sobre depósitos terciários, mais precisamente sobre as rochas da Formação Barreiras.

O Terciário na região metropolitana da grande Belém é geologicamente representado pela Formação Pirabas de idade Oligo-Miocênica e pelas rochas da Formação Barreiras e Pós-Barreiras. A formação Pirabas é constituída em geral por rochas carbonáticas depositadas durante o Mioceno Inferior (Maury, 1925; Petri, 1957; Ferreira, 1982; Fernades, 1984). Esta formação está dividida em três fácies. A fácies Castelo é caracterizada litologicamente por calcários com coquinas, destacando-se os micritos, biohermitos e dolmicritos. A Fácies Capanema compreende litotipos representados por calcários argilosos (margas), micritos, biomicritos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos (Ferreira, 1982). Finalmente a fácies Baunilha Grande, que é litologicamente composta por argilas negras com vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros contendo fragmentos de crustáceos. Góes *et al.* (1990) propuseram, com base em análises faciológicas, um modelo deposicional preliminar para a formação Pirabas, no qual as rochas dessa Formação teriam sido depositadas em ambiente marinho aberto, de águas quentes, rasas e agitadas contendo canais lagunares ou estuarinos e restritamente mangues em suas adjacências.

Recobrando a formação Pirabas, em contato gradativo, encontram-se as rochas da Formação Barreiras e Pós-Barreiras que correspondem a depósitos terrígenos continentais terciários e quaternários (Góes *et al.*, 1990).

As rochas que compõem a Formação Barreiras e Pós-Barreiras, foram divididas em treze fácies descritivas, definidas principalmente em função da presença ou não de estruturas sedimentares e aspectos de seus aspectos texturais (Rossetti *et al.*, 1989):

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
C E N O Z Ó I C O	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	SEDIMENTOS MODERNOS	Sedimentos recentes quartzosos com matéria orgânica; argilas e siltes
		PLEISTOCENO	PÓS - BARREIRAS	Sedimentos areno-argilosos inconsolidados, quartzosos, siltico - argilosos com arenitos ferruginosos intercalados
	TERCIÁRIO	MIOCENO - PLIOCENO	GRUPO BARREIRAS	Arenitos de granulometria variada, mal selecionados, argilosos, intercalados a siltitos e argilitos de cores variadas, tendo-se ainda níveis de concreções ferruginosas
		OLIGO-MIOCENO	FORMAÇÃO PIRABAS	Calcários e Margas, intercalados com folhelhos cinza-esverdeados e calcários com variado conteúdo fossilífero

Figura 2 - Coluna Estratigráfica na área de estudo (adaptado de Sauma, 1996)

Fácies Argilosa com laminação plano-paralela (AI): Trata-se de uma fácies finalmente laminada, disposta em camadas por vezes lateralmente contínuas. Ocorre sobre a forma de pacotes espessos ou de recobrimentos argilosos de coloração cinza-escura à negra, contendo freqüentemente fósseis vegetais.

Fácies Argilosa maciça (Am): Composta fundamentalmente por argilitos maciços, esbranquiçados com manchas avermelhadas, e, certa porcentagem de areia fina; o conteúdo fossilífero está restrito a raízes vegetais.

Fácies Areno-argilosa, geralmente maciça (AA): Esta fácies é representada por arenitos argilosos mal selecionados com a fração arenosa sendo predominantemente de granulação fina. A espessura é variável, podendo atingir até 6 metros. Em geral não se consegue distinguir estruturação, exceto nas proximidades do litoral onde se pode observar afloramentos apresentando estruturas de dissipação de dunas eólicas.

Fácies Arenosa sem estruturação aparente (Sm): Composta por arenitos de granulação fina a média, com seleção variando de moderada a má. Frequentemente apresentam grânulos e pequenos seixos de quartzo. Onde predomina a granulação média, ocorrem fragmentos de argilitos contendo laminação plano paralela e nos arenitos mais finos, localmente observa-se

muscovita e raros grãos de feldspato. Estes arenitos em geral apresentam coloração branco-rosada a branco-amarelada com espessura variável podendo chegar até 2 metros.

Fácies Arenosa com estratificação cruzada acanalada (Sa): Composta por arenitos mal selecionados, com granulometria que varia de fina a média e estratificação cruzada acanalada. Os *sets* são frequentemente interrompidos por superfícies de reativações. A coloração destes arenitos varia de branca a levemente rosada.

Fácies arenosa com estratificação cruzada tabular (St): Composta por arenitos de coloração branca com freqüentes manchas róseo-avermelhadas. Sua granulação é areia média, são mal selecionados e apresentam estratificação cruzada tabular de médio a pequeno porte. Os *sets* ocorrem, em geral, isolados e chegam a alcançar espessuras de até 70 centímetros.

Fácies areno-argilosa com estruturas *wavy* e *linsen* (Sw): Constituída por arenitos finos, siltitos e argilitos dispostos em lâminas suavemente onduladas e/ou lentes (estruturas *wavy* e *linsen*). Nas porções arenosas observa-se laminação cruzada, resultante da migração de marcas onduladas. A coloração do material varia de branca, nas partes argilosas, a rósea, nas partes arenosas com espessura em média de 50 centímetros.

Fácies arenosa com ôndulas cavalgantes ascendentes (Sc): Esta fácies arenosa fina, caracteriza-se por conter delicadas laminações mergulhando abruptamente, representando a migração e o cavalgamento de marcas onduladas subaquosas. Em geral esta fácies não ultrapassa 50 centímetros de espessura e tem coloração predominantemente branca.

Fácies arenosa grossa a conglomerática (SG): Esta fácies é composta por arenitos grossos e seixos mal selecionados apresentando grãos subangulosos e subarredondados. Uma característica marcante é a presença de fragmentos e lâminas de argilitos, algumas ressaltando planos de estratificações com espessura que varia de 5 a 25 centímetros.

Fácies conglomerática (Cg): Esta fácies é representada por conglomerados mal selecionados, cujos constituintes são suportados por uma matriz areno-argilosa. Os clastos são compostos por quartzo leitoso, rosado e quartzo microcristalino e têm granulometria variando de seixos a matacões distribuídos caoticamente na matriz. A espessura desses sedimentos rudáceos é difícil de se estimada. Em cortes de estradas esta espessura pode alcançar até 6 metros.

Fácies conglomerática com seixos de argila (CA): Este Fácies é representado por conglomerados que mal selecionados, contém clastos de argila de 3 centímetros de comprimento médio, podendo atingir até 10 centímetros. Os clastos são em geral subarredondados e alongados

contendo internamente alguma laminação plano paralela. A espessura é bastante variável podendo alcançar 25 centímetros.

Fácies arenosa com estratificação sigmoidal (Ss): Composta por arenitos mal selecionados com granulometria variando de fina a média. Apresenta-se na forma de lentes ou lobos de 20 centímetros de espessura, contendo internamente estratificação sigmoidal.

Fácies composta por blocos de arenito ferruginoso e/ou seixos de quartzo (BS): Esta fácies ocorre sob a forma de *stone-lines* e *stone-layers*. Ocorrem níveis compostos por blocos de arenito ferruginoso chegando a atingir 40 centímetros de comprimento sendo que no geral não ultrapassam 20 centímetros. Estes blocos são compostos, principalmente, por arenitos com granulometria que varia de fina a grossa, porém em alguns locais, verificam-se níveis constituídos inteiramente por seixos de quartzo subangulosos a subarredondos.

Para um melhor entendimento do posicionamento espacial dessas fácies, as mesmas foram agrupadas em quatro associações: A, B, C e D (Rossetti *et al.* 1989).

Associação A: é representada pela fácies conglomerática (cg), que se sobrepõe em discordância erosiva aos xistos da Formação Santa Luzia. Esta fácies ocorre ora subjacente a sedimentos arenosos finos, intercalados com argilitos laminados (Sm e AI), ora sobreposta a argilitos aparentemente não estruturados (Am), com contato nitidamente erosivo.

Associação B: Observa-se mais comumente no litoral do nordeste do Pará. Esta associação faciológica é composta por intercalações de argilitos com laminação plano paralela (AI) e arenitos com granulometria variando de fina a conglomerática. As fácies arenosas que predominam, são aquelas com estratificação tabular (St) e acanalada (As). Subordinadamente ocorrem estruturas laminadas cavalgantes ascendentes (Se) em camadas de arenitos finos e estruturas do tipo *wavy e linsen* em camadas de arenitos finos intercaladas com pelitos. A fácies arenosa grossa a conglomerática (SG) ocorre disposta em níveis diferentes, não apresentando grande persistência lateral.

Associação C: É representada pelo seguinte agrupamento de fácies: Argilitos maciços (Am), argilitos com laminação plano-paralela (AI) e arenitos não estruturados (Sm).

Associação D: É representada exclusivamente pela fácies areno-argilosa (AA). Este pacote sedimentar acha-se separado do anterior quase sempre por meio de blocos de arenitos ferruginosos e seixos de quartzo (BS).

A análise faciológica dos sedimentos Barreiras na porção nordeste do estado do Pará sugere que a sua deposição ocorreu mediante um sistema de leques aluviais, planície de areia (com freqüentes canalizações), planície de lama, com possível influência marinha em sua porção mais distal. A existência de várias estruturas nesta área e no norte do Maranhão, tais como acamamentos dos tipos *flaser*, *wavy* e *linsen*, acamamento cruzado sigmoidal, superfícies de reativação com *mud drapes* e *mud cracks*, são indicativas da influência de maré durante a sedimentação Barreiras, pelo menos na zona próxima a atual linha de costa (Rossetti *et al.* 1989).

Quanto à idade desta Formação os dados palinológicos reforçam a interpretação estratigráfica de Arai *et al.* (1994), que admite em geral, idade miocênica para a parte inferior do grupo Barreiras; não descartando a possibilidade da deposição ter-se iniciado já no Eomioceno (Arai *et al.*, 1994).

A Formação Barreiras é recoberta pelos sedimentos Pós- Barreiras (Quaternário), que são compostos por sedimentos areno-argilosos inconsolidados, com leitos poucos espessos de seixos e blocos líticos rolados ou pouco movimentados de arenito ferruginoso (Sá¹ apud Rossetti *et al.*, 1990). Incluem também os sedimentos aluvionares holocênicos da faixa costeira e dos vales dos rios e igarapés que cortam a região (Rossetti *et al.*, 1990).

¹ SÁ, J. H. da S. 1969. *Contribuição a geologia dos sedimentos quaternários e terciários da região bragantina*. Estado do Pará. Rio de Janeiro. Bol. Do Instituto de Geociências, 3: 21:36.

5. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SOLOS AMAZÔNICOS

Segundo Vieira & Santos (1987), o solo é definido de várias maneiras e através de seus diferentes propósitos. Os engenheiros definem solo muito amplamente como todo material inconsolidado acima da rocha-fonte; os cientistas de solo restringem o termo “solo” como todo material capaz de suportar as plantas e o distinguem dos “regolitos”, que consideram ser toda a parte que circunda o material inconsolidado da superfície, fértil ou não. Convencionalmente o termo solo subtende ser o material transportado de um pequeno caminho do local onde o solo é formado, enquanto o termo sedimento indica a matéria que foi transportada e redepositada pelo vento, água ou gelo.

O solo é produzido pelo intemperismo, que compreende uma variedade de processos químicos, físicos e biológicos, que agem na decomposição química e desagregação das rochas. Esta decomposição pode ser diretamente da rocha fonte, ou de um sedimento transportado.

A importância relativa dos diferentes processos de intemperismo é fortemente determinada pelo clima. Além dele, a topografia, a composição do material que a rocha é formada e o tempo, governam a composição final do solo.

Várias têm sido as classificações apresentadas aos tipos de solo desde os tempos antigos, quando eram classificados segundo sua produtividade em ricos ou pobres. Em Vieira & Santos (1987) foi proposta a classificação dos solos baseando-se nos materiais que lhe deram origem (classificação petrográfica). Ainda nesta obra, foi proposta a classificação geológica aliada a geográfica. Posteriormente muitas outras classificações foram propostas. A classificação norte-americana que segundo Kabata-Pendias (1995), toma como princípio duas categorias de solo: a) os *pedalfer*, que têm sua classificação determinada pelo clima úmido e são encontrados em regiões com características de altos níveis pluviométricos onde naturalmente a lixiviação no solo é mais extensiva, contudo quase todos os componentes solúveis como carbonato de cálcio permanecem no solo especialmente no horizonte B (o termo *pedalfer* advém do latim e significa: *pedo* (solo) e *al* (*aluminium*) e *fer* (*ferrum*)); b) Os *pedocal* formam-se em climas secos e a presença do carbonato de cálcio torna este solo mais alcalino. Um problema desse esquema simples de classificação é que para ser estritamente aplicado, os solos por ele descrito devem ser formados acima da rocha fonte adequada. Por exemplo, a rocha pobre em ferro e alumínio, semelhante a um calcário ou a um arenito quartzoso, não deixa o ferro e o alumínio como

resíduos. No entanto, os termos *pedalfer* ou *pedocal* podem ser usados genericamente para indicar, respectivamente, solos mais e menos extensivamente lixiviados.

Os solos lateríticos que predominam na área estudada são considerados como um tipo extremo de *pedalfer*. Estes solos se desenvolvem em climas tropicais de altas temperaturas e altos índices pluviométricos, por isso são severamente lixiviados. Até mesmo o quartzo pode ser dissolvido sob essas condições. Solos de florestas tropicais são comumente lateríticos, o que parece sugerir que estes solos possuem um grande potencial agrícola. Surpreendentemente, o oposto é verdadeiro por duas razões: a) o alto caráter de lixiviação dos solos lateríticos, b) mesmo onde a vegetação é densa o próprio solo tem poucos nutrientes solúveis à sua disposição (Kabata-Pendias, 1995).

A laterização ocorre onde a velocidade de decomposição da matéria orgânica é igual a de sua produção, não havendo portanto acumulação orgânica apreciável sobre o solo e de húmus no perfil (Vieira, 1975).

Tabela 2 – Classificação de solos segundo Hunt (1972).

1- <i>Entisols</i>	Solos sem horizontes, exceto talvez a camada agrícola.
2- <i>Vertisols</i>	Solos com os horizontes mais superiores misturados ou invertidos por conter argilas expansíveis.
3- <i>Inceptisols</i>	Solos bastante jovens, que desenvolvem delicados horizontes, e não lixivia os minerais de alteração.
4- <i>Aridisols</i>	Solos dos desertos e regiões semi-áridas, e relativos solos salinos ou alcalinos.
5- <i>Mollisols</i>	Solos de pradarias, ricos em cálcio; solos de florestas desenvolvidos em materiais ricos em cálcio caracterizados por uma espessa camada de superfície rica em matéria orgânica.
6- <i>Spodosols</i>	Solos com um leve horizonte A verde-acinzentado, e horizonte B contendo matéria orgânica e argilas lixiviados do horizonte A.
7- <i>Alfisols</i>	Inclui a maioria dos solos ácidos com argilas enriquecidas do subsolo.
8- <i>Ultisols</i>	Similares aos <i>alfisols</i> , porém com o intemperismo mais avançado, inclui alguns solos lateríticos.
9- <i>Oxisols</i>	Além de serem mais intemperizados que os <i>ultisols</i> ; incluem mais lateritas, apresentam um horizonte óxido, especificamente caracterizado com uma concentração relativa de óxidos livres, argilas pouco ativas e ausência de minerais de fácil intemperização. Estão restritos a regiões tropicais, sobre superfície geomorfológicas muito antigas que permitem este alto grau de intemperização.
10- <i>Histosols</i>	Tipos de solos pantanosos.

Segundo Vieira (1975), os latossolos da Amazônia (*Oxisols*) são solos não hidromórficos que apresentam um horizonte B espesso, onde o teor de argila cresce gradualmente com a profundidade. São solos envelhecidos, normalmente ácidos a fortemente ácidos (com exceção de uns poucos eutróficos), apresentam boa drenagem, apesar de serem muitas vezes argilosos. Neles

o teor de argila pode variar de 15% a 60%, valores esses que possibilitam a sua diferenciação em latossolos de textura média (15 a 35% de argila), de textura argilosa (35 a 60%) e de textura muito argilosa (>60%). Esta argila consiste predominantemente de silicatos de retículo 1:1 e sesquióxidos. Além de quartzo, são poucos os outros silicatos, altamente resistentes ao intemperismo, que são encontrados nos perfis. Óxidos livres de alumínio podem estar ou não presentes, assim como concreções de óxido de ferro, manganês, alumínio e titânio. O conteúdo médio de silte varia no latossolo amarelo de 1 a 22% no horizonte A e de 2 a 25% no B.

Na área estudada, predominam os *latossolos amarelos* com ou sem saturação elevada de alumínio, e formados predominantemente a partir das rochas da formação Barreiras, em relevo plano ou levemente ondulado sob cobertura vegetal da floresta densa e degradada.

São solos profundos, bastante envelhecidos, o que está demonstrado principalmente pelas relações silte/argila. Podem apresentar textura com granulação média a muito argilosos, talvez influenciados pela sub-dominância dos óxidos de ferro na fração argilosa, que inclusive atuam como aglutinantes dos microagregados nos latossolos. Possuem capacidade de troca catiônica com valores médios variando de 5,31 a 11,3 meq/100g no horizonte A e de 2,68 a 4,83 meq/100g no horizonte B.

Apresentam ainda as seguintes características: a) baixo conteúdo de carbono orgânico à semelhança dos *Low Humic Latossol* de ²Sherman & Alexander *apud* Vieira & Santos (1987); b) baixa relação Carbono/argila, variando em média entre 0,033 e 0,1 no horizonte A e entre 0,005 e 0,01 no B dos Latossolos Amarelos álicos textura argilosa; e entre 0,013 e 0,034 no A e entre 0,005 e 0,01 no B dos Latossolos Amarelos distrófico de texturas média e argilosa; c) alto grau de floculação, que normalmente se aproxima de 100%; d) muito baixo arranjo macro-estrutural demonstrado pelo perfil normalmente com aspecto maciço; e) baixo conteúdo de fósforo assimilável e relativamente alto conteúdo de fósforo total. São, portanto, distróficos e normalmente apresentam alta saturação com alumínio (álicos), (Vieira & Santos, 1987).

Devido ao tipo do seu material parental os minerais primários dificilmente se fazem presentes, com exceção do quartzo. Possuem relação silte/argila com média variando entre 0,16 e 0,52 no horizonte A e entre 0,12 e 0,42 no B; Fe₂O₃ livre, nos solos argilosos e muito argilosos variam entre 0,6 e 7,7% no horizonte A e entre 0,7 e 4,5% no B. Os valores mínimos extremos

² SHERMAN, G.M. & ALEXANDER, L.T. 1959. characteristics and genesis of low humic latossol. *Soil Science Society of America Proceeding*. 23 (2): 169-170.

são bem mais baixos do que o valor mínimo de 5% estabelecido como padrão para estes solos. Apresentam cores variando de bruno acinzentado muito escuro no horizonte A e amarelo nos horizontes inferiores, no matiz 10YR, cromas e valores altos no horizonte B.

Tabela 3 - Material originário, relevo e cobertura vegetal dos Latossolos Amarelos da Amazônia (Vieira & Santos, 1987).

ESPECIFICAÇÃO	%
1- MATERIAL ORIGINÁRIO	
a) Quaternário	16
b) Terciário –Quaternário	
Formação Barreiras	28
Formação Solimões	24
c) Terciário (Plioceno)	23
d) Siluriano	
Formação Trombetas	3
e) Cretáceo	
Formação Itapecuru	1
f) Pré-Cambriano	5
	100
2- RELEVO	
a) Plano	41
b) Plano suave ondulado	14
c) Suave ondulado	13
d) Ondulado	25
e) Ondulado forte ondulado	4
f) Forte ondulado	3
	100
3- COBERTURA VEGETAL	
a) Floresta densa	72
b) Floresta aberta	18
c) Savana	9
d) Contacto	1
	100

6. RESÍDUOS SÓLIDOS DA CIDADE DE BELÉM

Lixo é a matéria sólida rejeitada por não mais ser útil, funcional ou estética. A produção dessa matéria verifica-se na atividade vegetativa, social e profissional dos indivíduos.

Dentre os métodos mais comuns de tratamento de resíduos sólidos, considerados adequados do ponto de vista sanitário e ecológico, podem ser citados: a) aterro sanitário - é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente o lixo domiciliar, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de controle da poluição ambiental e proteção ao meio ambiente; b) compostagem - consiste basicamente na homogeneização e estabilização da matéria orgânica, pela ação de bactérias e outros organismos; c) incineração - é um processo térmico que visa a redução do peso e volume do lixo através da combustão controlada. Dentre esses processos, os aterros sanitários são os mais utilizados em quase todo o mundo por se tratar de solução mais econômica, quando comparada aos outros dois processos, que exigem grandes investimentos e não descartam a existência de aterros sanitários em suas proximidades, uma vez que produzem resíduos não reaproveitáveis ou, ainda, por questão de segurança, na ocorrência de paralisação das instalações.

Segundo sua origem os resíduos sólidos podem ser: lixo industrial (orgânico e inorgânico); lixo domiciliar ou doméstico (lixo seco ou limpo e lixo úmido); lixo urbano ou público e lixo de fontes especiais (oriundos de hospitais, usinas nucleares, etc...).

Os principais componentes do lixo de uma cidade são: ciscos, cinzas, restos de alimentos, varredura, cadáveres de animais, dejetos e sucatas. Os principais componentes encontrados no lixo brasileiro que são fontes de metais pesados são: plásticos, pilhas, metais ferrosos, não ferrosos, papel, madeira, borracha, couro, vidro, trapos e finos (fração < 20 mm). Os finos são uma fonte importante de metais pesados no lixo, e, são os principais responsáveis pela concentração de metais pesados nos compostos devido a sua propriedade de aderir a matéria orgânica durante a manipulação do lixo (Oliveira, 1996).

A produção média diária de lixo depende de fatores como padrão de vida, estação do ano, clima, dia da semana, costumes sociais, locais e tipo de alimentação. Justamente por estes fatores, fica complicado se estimar a média de produção diária de cada indivíduo.

Os principais componentes encontrados no lixo brasileiro que são fontes de metais pesados são: plásticos, pilhas, metais, papéis, madeira, borracha, couro, vidro, trapos e finos (fração < 20 mm). Os finos são uma fonte importante de metais pesados no lixo e são os principais responsáveis pela concentração de metais pesados nos compostos, devido a sua propriedade de aderir a matéria orgânica durante a manipulação de lixo (Rousseaux *et al.*, 1989).

A composição física do lixo gerado no município de Belém é apresentada na tabela 4 elaborada de acordo com Lima, (1997). Como se observa na tabela, o teor de matéria orgânica gira em torno de 58 %, enquanto que o teor de recicláveis, incluindo: papel e papelões, plásticos, metais e vidros, é da ordem de 36 %, revelando assim o alto nível de desperdícios desses materiais e uma fonte elevada de contaminação de solo por metais pesados oriundos desses materiais.

Tabela 4 - Composição média do lixo urbano de Belém adaptado de Lima (1997).

Componentes	% em peso (base úmida)
Matéria Orgânica	58
Papel e Papelão	14
Plásticos finos e grossos	18
Metais	2
Têxteis, couro e borracha	4
Vidro, terra e pedra	2
Madeiras	1
Outros	1
TOTAL	100,00

Tabela 5 – Outras características do Lixo de Belém. adaptado de Lima (1997).

Umidade do lixo	63%
Umidade da matéria orgânica	61%
Resíduos secos	37%
Sólidos voláteis c/ umidade	70%
Sólidos fixos	45%
PH	8,11

Para a quantificação total do lixo domiciliar disposto até Outubro de 1997, Lima (1997) utilizou os dados de projeção populacional, bem como os dados básicos de produção *per capita* de resíduos que é de 0,66/habitantes. O valor total calculado foi de 1.035 t/dia de resíduos sólidos. Portanto, a quantificação total de resíduos dispostos no aterro de Belém, desde Outubro de 1990 à Outubro de 1997, totaliza 2.432.923 toneladas, que corresponde a um volume de ocupação de 3.070.051 m³, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Quantificação do lixo de Belém segundo dados populacionais.

ANO	POPULAÇÃO	PESO (Tonelada)			VOLUME M ³		
		Diário	Anual	Acumulado	Diário	Anual	Acumulado
1990 *	1.297.519	856	77.040	77.040	1112	100.154	100.154
91	1.332.840	879	320.830	397.840	1142	417.079	517.233
92	1.368.160	902	329.230	727.100	1172	427.999	945.232
93	1.404.416	926	337.790	1.064.890	1203	439.127	1.384.359
94	1.441.633	951	347.115	1.412.005	1236	451.249	1.835.608
95	1.469.836	970	354.050	1.766.055	1261	460.265	2.295.873
96	1.485.669	980	357.700	2.123.755	1274	465.010	2.760.883
97 **	1.518.039	1017	309.168	2.432.923	1322	309.168	3.070.051

* A partir de OUT/90 - ** Até OUT/97 Fonte: Lima (1997)

7. POLUIÇÃO EM SOLOS POR METAIS PESADOS

A poluição dos solos acontece quando materiais oriundos de fontes naturais ou artificiais são inadvertida ou deliberadamente adicionados aos solos. A poluição de solos é um problema dos mais sérios, porque acontece de duas maneiras: a) lenta e gradativa ou b) abrupta e violenta. Como exemplo do primeiro caso temos os “lixões”, enquanto que o segundo caso poderia ser exemplificado pelo vazamento de óleo que houve nos EUA em 1983, quando uma cidade inteira teve que ser evacuada, pois o óleo derramado nas estradas para evitar poeira continha dioxina, que é um produto reconhecidamente muito tóxico.

Estudos realizados por Kabata-Pendias (1995), confirmaram que o comportamento dos metais traços em solos depende das relações entre os micro e macro cátions e ânions, e dos diferentes componentes das várias fases do solo (sólida, aquosa e gasosa). As características biogeoquímicas dos solos, que afetam o comportamento dos elementos traços são: a) a distribuição heterogênea dos elementos; b) a alteração sazonal e espacial das maiores variáveis do solo; c) a transformação das espécies de elementos; d) a transferência entre as fases; e) bioacumulação.

Os solos de muitas regiões do mundo estão sujeitos a uma série de impactos, entre eles a fertilização mineral, a aplicação de pesticidas e a poluição industrial e depósitos de lixo. Todas essas atividades irão afetar tanto as propriedades químicas quanto às propriedades físicas, e irão comprometer as trocas e conseqüentemente a mobilidade dos elementos traços nos solos.

O impacto dos solos acidificados, alcalinizados, salinizados e pobres em matéria orgânica por metais traços atinge a vegetação (especialmente sobre as colheitas), e se tornaram um sério problema ambiental e de saúde pública.

A remediação de solos poluídos e a adoção de padrões de aceitabilidade permissíveis para os níveis de metais traços em solos são a chave para a proteção da função ecológica dos solos.

O sistema natural de um solo está sobre um forte impacto das condições climáticas. O clima e os agentes do solo influenciam na espécie e na mobilidade dos metais, e, até mesmo controlam a fitodisponibilidade.

O sistema natural de um solo está sobre um grande impacto de condições climáticas. O clima e os agentes do solo influenciam na espécie e na mobilidade dos metais no solo, e, até mesmo controlam a fitodisponibilidade.

Atualmente, os solos contêm metais pesados de várias origens. Os metais litogênicos são aqueles que são herdados diretamente da litosfera. Os metais antropogênicos nos solos são aqueles que são direta ou indiretamente resultado da atividade humana. Metais podogênicos são de origem litogênica e antropogênica, mas sua distribuição nos diversos horizontes e entre as partículas dos solos é modificada devido a transformações minerais e/ou processos pedogenéticos (Kabata-Pendias, 1995). O equilíbrio químico de um solo pode ser caracterizado por reações de dissolução, difusão, sorção e precipitação. Dependendo da variabilidade das características físicas e químicas dos metais, sua afinidade com os componentes dos solos governa sua especiação. Metais facilmente mobilizados, como por exemplo Zn e Cd, existem principalmente ligados a matéria orgânica e espécies trocáveis ou espécies solúveis em água. O Cu e o Mo, por sua vez, predominam ligados à matéria orgânica e espécies trocáveis, mas seu comportamento é fortemente influenciado pelas mudanças nas condições físico-químicas nos solos. Metais menos móveis, como Pb, Ni e Cr, se acumulam em minerais do tipo silicato na fase residual (Kabata-Pendias, 1995).

A poluição difusa por poluentes tóxicos, por sua vez, pode ser responsável pela maior parte das contaminações do meio ambiente. Os contaminantes inorgânicos, em sua maioria os metais traços, podem ser ou de fonte natural ou antropogênica. A tabela periódica inclui mais de 90 elementos, do hidrogênio aos trans-uranianos, deles cerca de 20 podem ser caracterizados como metais e 59% desses elementos metálicos podem ser classificados como metais pesados e são potencialmente tóxicos. Entretanto, somente 17 desses metais são considerados muito tóxicos e disponíveis em lugares em que as concentrações excedem os níveis de toxicidade. Desses 17 metais tóxicos, nove são mobilizados no meio ambiente pelo homem o que excede fortemente o processo geológico natural. Estes elementos estão abaixo relacionados em ordem de prioridade pela *U.S. environmental protection agency*.

1-antimônio, 2- arsênio, 3-berílio, 4- cádmio, 5-cromo, 6-cobre, 7-chumbo, 8-mercúrio, 9-níquel, 10-selênio, 11-prata, 12-tálio, 13-zinco

Em solos, os metais são parte dos constituintes minerais ou existem na maioria das vezes como complexos químicos de diferentes formas. Quando os metais tóxicos são adicionados em solos, água (sedimento), oriundo de um processo natural ou antropogênico, eles se complexam com ligantes. Ligantes são constituintes químicos orgânicos ou inorgânicos que combinam com metais num complexo químico. Da físico-química básica, é sabido que os metais precipitam

como uma troca resultante no pH, potencial redox e outras trocas em suas composições químicas. As maiores causas de precipitação e complexação dos metais são segundo Salomons & Förstner (1984): a) oxidação e redução de componentes como Ferro, Manganês e Sulfetos, b) redução dos metais de alta valência pela interação com a matéria orgânica (Selênio, Prata), c) redução dos sulfatos para sulfetos (ferro, cobre, prata, zinco, mercúrio, níquel, arsênio e selênio).

Tabela 7 – Valores médios da concentração de metais segundo alguns autores.

	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Fe %	Mn (ppm)	Referências
Folhelhos e argilas	45	20	95	0,2	68	4,72	600	Turenkian & Wedepohl (1961)
Arenitos (background)	1-10	7	30	0,01-0,1	2	0,98	10-100	Turenkian & Wedepohl (1961)
Solos (background)	25,8	29,2	59,8	0,62	33,7	3,2	760	Ure & Berrow (1982)
Solos (background da área estudada)	2	6	13	0,1	4	x	x	x
Solos	20	15-25	50-100	-	25	-	500-1000	Aubert & Pinta (1997)
Solos não contaminados	50	50	-	1	50	-	-	Förstner & Wittmann (1983)
Solos contaminados	500	600	-	20	500	-	-	Förstner & Wittmann (1983)

7.1. DISTRIBUIÇÃO VERTICAL NOS SOLOS

Segundo Yaron *et al.* (1996), chama-se perfil do solo a secção vertical que, partindo da superfície aprofunda-se até onde a ação do intemperismo cessa, mostrando na maioria das vezes uma série de camadas dispostas horizontalmente denominadas horizontes, como consequência da intensidade da vida do solo, da desintegração, assim como de transformações físicas e químicas nele operadas. Por conseguinte, o perfil representa o resultado da influência dos vários fatores que concorrem para a formação do solo, refletindo assim o histórico de sua evolução. Desta forma, os horizontes são zonas do solo, aproximadamente paralelas, que possuem propriedades resultantes dos efeitos combinados dos processos genéticos.

As características que podem ser levadas em conta para diferenciação dos horizontes dependem do estado de conhecimento do momento, sendo usados critérios como a textura, cor, consistência, estrutura, atividade biológica, tipo de superfície dos agregados, etc. Em casos

especiais podem ser utilizadas também características não visíveis, como as obtidas por análises físicas, químicas e mineralógicas.

Segundo Kabata-Pendias (1995), a designação dos horizontes está baseada no grau de desvio ou de diferenciação com relação ao material parental, com base na posição que ocupa no perfil e ao processo que originou suas principais características.

O perfil é formado de vários horizontes desenvolvidos como consequência da movimentação de substâncias, cuja intensidade é variável com as condições onde se forma o próprio solo. A natureza e o número de horizontes variam grandemente nas diferentes unidades de solo. Os solos na região do Aurá geralmente não possuem todos esses os horizontes bem caracterizados, entretanto, pelo menos possuem parte deles.

Na caracterização morfológica de um perfil é usada uma nomenclatura especial, na qual as letras maiúsculas servem para caracterizar os horizontes típicos e as mesmas letras com índices numéricos para as subdivisões de cada um. Assim, as letras A, B e C representam os principais horizontes do solo. Enquanto que os horizontes A e B caracterizam o verdadeiro solo (*Solum*), o horizonte C refere-se ao material originário, alterado pela ação do intemperismo. O horizonte O é constituído fundamentalmente por restos de vegetais e outros tipos de matéria orgânica, e, o horizonte E é aquele menos rico em matéria orgânica e algum óxido de ferro. Finalmente a letra R, que segue abaixo, correspondente à rocha inalterada (Tabela 8).

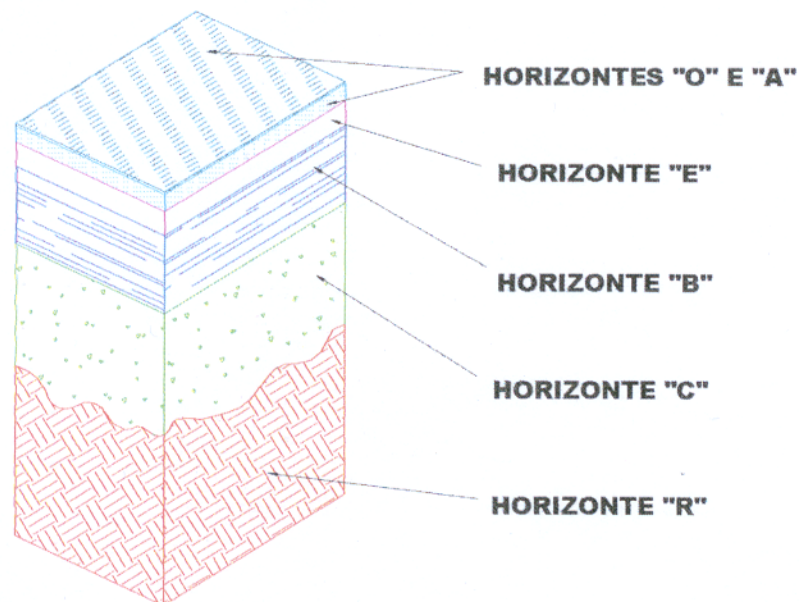


Figura 3 - Esquema de perfil de solo, mostrando os horizontes. Obs. Nem todos os horizontes podem estar presentes nos perfis (adaptado de Yaron *et al.*, 1996).

Tabela 8 – Características dos principais horizontes nos solos (Yaron *et al.*, 1996).

HORIZONTES "O" E "A"	a) Altas concentrações de matéria orgânica; b) O horizonte A contém principalmente misturas entre matéria orgânica e matéria inorgânica de origem mineral; c) O horizonte O consiste de fragmentos de plantas e outros tipos de matéria orgânica e sobrepõe-se ao horizonte A,
HORIZONTE "E"	a) Quando apresenta uma coloração clara; b) Possui relativamente menos matéria orgânica que os horizontes O e A; c) Apresenta menos quantidade de minerais coloridos (óxido de ferro).
HORIZONTE "B"	a) Existem vários tipos de horizonte B, entretanto e mais comum é o Bt, ou seja, o horizonte argiloso (t = tone = argila); b) É enriquecido em Argilominerais.
HORIZONTE "C"	a) Localiza-se diretamente sobre a rocha inalterada; b) Consiste de fragmentos de rocha inalterada; c) Rocha parcialmente alterada.
HORIZONTE "R"	a) É representada pela rocha inalterada.

8. MATERIAIS E MÉTODOS

8.1. FASE DE CAMPO

Inicialmente foi realizado um levantamento logístico da área de estudo, e, a partir da base plani-altimétrica do município de Belém (folha SA. 22 - X - D - II.), na escala de 1:10.000. Em seguida foram definidos os pontos de amostragem nos arredores do "lixão do Aurá", às margens das vias próximas ao mesmo e nas áreas de exploração de minerais da classe II, "covões", onde foram descritos dois perfis geológico-pedológicos.

Os pontos de amostragem (ANEXO I), foram plotados a partir do mapa do município de Ananindeua adaptado de Quaresma (1998).

As amostras foram coletadas aproximadamente até 30 cm de profundidade para representar os horizontes A e B. As amostras foram retiradas com o auxílio de um trado revestido de alumínio, sendo apenas o núcleo do material recolhido. Tal procedimento é justificado para evitar uma eventual contaminação das amostras por metais da própria ferramenta de amostragem. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos previamente limpos.

Em áreas de "covões" próximo ao "lixão" foram estudados dois perfis distintos, e, em cada horizonte dos mesmos foi realizada uma coleta de amostras.

Os trabalhos de campo foram executados no período compreendido entre junho e julho de 1998, correspondendo ao início do período de estiagem, e em alguns pontos cujos teores foram elevados, novas coletas foram realizadas em fevereiro de 1999.

8.2. FASE DE LABORATÓRIO

Posteriormente à fase de campo, as amostras foram levadas aos laboratórios de Sedimentologia, Análises Químicas, Absorção Atômica e de Difração de Raios-X do Centro de Geociências - UFPA.

No laboratório as amostras foram inicialmente secas a 40°C, quarteadas e homogeneizadas.

8.2.1. Análise textural e mineralógica.

No laboratório de Sedimentologia foi realizada a análise granulométrica dos diferentes horizontes de solo. A fração superior a 0,062 mm foi tratada utilizando-se um conjunto de peneiras (0,062, 0,125, 0,250, 0,5, 1 e 2 mm) previamente definido. Após o peneiramento os dados foram tratados através do programa GRANUS que além de construir os histogramas e as curvas acumulativas, calcula também os parâmetros granulométricos segundo Folk, (1974).

A fração menor que 0,062 mm foi submetida a um "banho" de ultrassom e posteriormente decantada em cilindros de Attemberg para que fosse retirada a fração $<2 \mu\text{m}$ (argila). Após a separação da fração argila ($< 2\mu\text{m}$), esta foi concentrada com o auxílio de uma centrífuga e posteriormente seca à 40° C. A partir desta fração, foi retirada uma alíquota de 0,2 grama, que foi desagregada em 10 ml de água destilada com o auxílio de um "banho" de ultra-som. Desta alíquota foram então confeccionadas lâminas de argila orientadas, através da pipetagem de 2 ml da solução sobre uma lâmina de vidro convencional para estudos petrográficos.

A lâmina seca naturalmente foi então submetida à difração de Raio-X, utilizando-se um difratômetro marca Phillips PN 3710, tubo de Cu, 45 Kv e 40 mA, com monocromador de grafite. A varredura foi feita de 3 a 39° 2 θ . Para a identificação dos principais argilominerais presentes, utilizou-se a metodologia clássica, onde são feitos difratogramas em amostras sem tratamento, em amostras saturadas com etileno glicol e em amostras aquecidas à 500° C.

8.2.2. Análise Química.

8.2.2.1. Preparação das Amostras.

Efetuoou-se o destorroamento e peneiramento das amostras a fim de obter a fração $<2 \text{ mm}$ em peneira de nylon. Esta fração foi seca na estufa à 40° C durante 24 horas e posteriormente guardadas em dissecador.

8.2.2.2. Umidade.

A umidade foi determinada segundo o método proposto por Levandowski et al., (1997). Para obter a percentagem de água das amostras de solo, pesou-se um cadinho de porcelana vazio e depois 20 gramas de amostra: $P1 = P_{amostra} + P_{cadinho}$. Posteriormente colocou-se a amostra por 16 horas na estufa à $105^{\circ} C$. Após, a amostra foi levada novamente ao dessecador com sílica gel por 40 minutos para esfriar. Em seguida pesou-se novamente: $P2 = P_{amostra} + P_{cadinho}$. De posse dos dois pesos, a quantidade de água foi determinada procedendo da seguinte forma:

$$\% \text{ Água} = \frac{P1 - P2}{P2 - P_{cadinho}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

8.2.2.3. Quantidade de Húmus.

A quantidade de húmus foi determinada segundo o método proposto por Levandowski et al., (1997). Para determinar a quantidade de húmus usou-se a amostra que foi utilizada para a determinação da quantidade de água colocando-a no forno mufla à $550^{\circ} C$ por 2 horas e 30 minutos. Após este período a amostra foi retirada e colocada novamente no dessecador por mais 40 minutos (para esfriar). A amostra foi novamente pesada: $P3 = P_{amostra} + P_{cadinho}$ e calculou-se a quantidade de húmus procedendo da seguinte maneira:

$$\% \text{ Húmus} = \frac{P2 - P3}{P2 - P_{cadinho}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

8.2.2.4. pH do Solo.

O pH do solo foi determinado segundo o método proposto por Levandowski et al. (1997). Para determinar o pH do solo, calibra-se o aparelho (pH-metro) e posteriormente toma-se 12 gramas da amostra natural, peneirada (fração $< 2 \text{ mm}$) e mistura-se com 25 ml da solução de CaCl_2 a 0,01 molar (segundo Levandowski op cit., reproduzem melhor as condições reais do solo), em um Becker, agitando esta mistura com um bastão de vidro, ambos previamente limpos, deixando a mistura descansar por 1 hora. Lava-se o eletrodo com água destilada, deixando perto dele um Becker com água para limpá-lo entre uma

amostra e outra. Além da leitura do valor do pH foi também registrada a temperatura de cada amostra.

8.2.2.5. Abertura Ácida para os metais estudados.

Primeiramente se pulverizou 5 g de cada amostra no grau de ágata, até ser feito um pó muito fino. Tal trituração foi feita manualmente para evitar contaminação da amostra.

Os cadinhos de teflon e os recipientes nos quais foram acondicionadas as amostras finais foram lavados numa solução a 5% de ácido clorídrico (HCl).

Para a abertura ácida, pesou-se 1 grama de cada amostra num total de 68 amostras.

Posteriormente acrescentaram-se 10 ml de HCl concentrado (48%) em cada amostra, que foram levadas ao banho de areia até a secura total.

Depois de secas, foram adicionados 10 ml de uma mistura de ácido fluorídrico com ácido perclórico na proporção (10:1) respectivamente. A solução foi levada ao banho de areia até a secura total, depois foram acrescentadas mais 7 ml da mesma mistura HF/HClO₄ (10:1) e mais 5 ml de HF:HClO₄, respectivamente, até secar.

Como a massa é relativamente grande (1 grama), foram acrescentados mais 7 ml desta solução (HF:HClO₄) a fim de liberar totalmente a sílica. Após secar, novamente, foram adicionados 10 ml de uma solução de HCl na proporção de (1:1) e levado em banho de areia até que a mesma adquira consistência pastosa.

Após todas as amostras estarem secas, retirou-se as mesmas da capela e foi feita uma diluição das amostras em 15 ml de solução de ácido clorídrico (HCl) a 5%, que é o procedimento usual de rotina do laboratório de análises químicas do Centro de Geociências da UFPA. Após a diluição das amostras, as mesmas foram acondicionadas em frascos de polietileno previamente limpos e levadas para a leitura dos elementos metálicos estudados (Ni, Pb, Zn, Cd e Cu) através da Espectroscopia de Absorção Atômica. Para a determinação da concentração dos elementos, foi construída inicialmente uma curva de calibração, e, com o auxílio desta curva, foi determinada a concentração do metal analisado na amostra.

As amostras da primeira etapa de coleta de campo foram analisadas tanto no laboratório de análises químicas do centro de Geociências da UFPA, quanto na empresa Geosol, no intuito de verificar a reprodutibilidade dos resultados, que foram bastante similares em ambos laboratórios.

8.2.2.6. Abertura ácida para os elementos maiores.

Posteriormente a leitura dos metais traços, a mesma solução foi reutilizada para leitura dos elementos maiores (Mn, Fe, Ca, Mg, K, Na e Al) segundo procedimento do laboratório de análises químicas do centro de Geociências da UFPA.

8.3. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.

As 54 amostras de solo dos horizontes A e B foram tratados utilizando-se estatística básica, sendo determinados média, desvio padrão, variância, valores máximos e mínimos. Os parâmetros estatísticos requerem que os valores aritméticos sejam geralmente transformados (\log_{10}), e assim os novos valores obtidos são geralmente mais próximos, ou seja, a média geométrica fica com valores similares aos da mediana e a assimetria é reduzida.

As interpretações geoquímicas envolvem considerações sobre os seguintes dados: a) curvas de isotores, que foram confeccionados utilizando o sistema de krigagem, onde os teores dos metais traços foram plotados, e, os valores mais altos são escolhidos para delimitar os pontos de maior contaminação; b) as matrizes de correlação são construídas a partir dos valores de r , onde, várias variáveis são interrelacionadas, todas com valores logaritmados, com exceção do pH que já é um valor logarítmico. Nestas matrizes somente os coeficientes de correlações $> 0,7$ são considerados, c) o coeficiente de correlação é calculado pela fórmula:

$$r_{jk} = \frac{\sum (x_{ji} - \bar{X}_j)(x_{ki} - \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum (x_{ji} - \bar{X}_j)^2 \cdot \sum (x_{ki} - \bar{X}_k)^2}}; \quad (\text{Equação 3})$$

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TEXTURAL DOS SOLOS DO AURÁ.

As análises texturais das diferentes frações granulométricas das areias dos horizontes de solo, foram obtidas segundo a classificação textural de Folk (1974). Os dados foram gentilmente cedidos por Silva (1999) como mostram as Tabelas 9 e 10 abaixo. A quantificação das diferentes frações de areia, silte e argila foram obtidas pela média.

Tabela 9 - Descrição textural dos horizontes observados nos solos próximos a área estudada.

HORIZONTE DE SOLO	DESCRIÇÃO
HORIZONTE - A	Areia fina, pobremente selecionada, leptocúrtica com assimetria negativa.
HORIZONTE - B	Areia fina, moderadamente selecionada, leptocúrtica com assimetria negativa.
HORIZONTE LATERÍTICO	Horizonte contendo concreções e lateritas por vezes formando até blocos lateríticos. Possui uma areia fina, moderadamente selecionada, leptocúrtica com assimetria negativa.
HORIZONTE - C	Areia fina, moderadamente selecionada, mesocúrtica com assimetria negativa.
HORIZONTE - R	Areia média, pobremente selecionada, mesocúrtica e aproximadamente simétrica.

Tabela 10 - quantificação das frações areia, silte e argila dos diferentes horizontes nos dois perfis de solos estudados.

AMOSTRAS	% AREIA	% SILTE	% ARGILA	TOTAL
1º perfil- hor. A	85,21	8,86	5,93	100%
1º perfil- hor. B	76,68	10,97	12,35	100%
1º perfil- hor. C/ LATERÍTICO	77,22	7,65	15,13	100%
1º perfil- hor. R	46,55	15,62	37,83	100%
2º perfil- hor. A	89,24	6,95	3,81	100%
2º perfil- hor. B	75,17	13,57	11,26	100%
2º perfil- hor. C/ LATERÍTICO	83,33	8,68	7,99	100%
2º perfil- hor. R	74,04	13,11	12,85	100%



Figura 4 – Fotografia mostrando os diferentes horizontes de solo do perfil amostrado.

9.1.1. Análise mineralógica

A análise mineralógica dos solos estudados mostrou que as frações mais granulares (areia) são constituídas essencialmente de quartzo e em quantidades menores de feldspato (Albita).

A fração argilosa (<2 μm) é composta mineralogicamente por Caolinita >> Clorita >> Ilita e em menores quantidades Gibbssita, Goethita, Plagioclásio (albita) e quartzo, conforme é ilustrado na Figura 5.

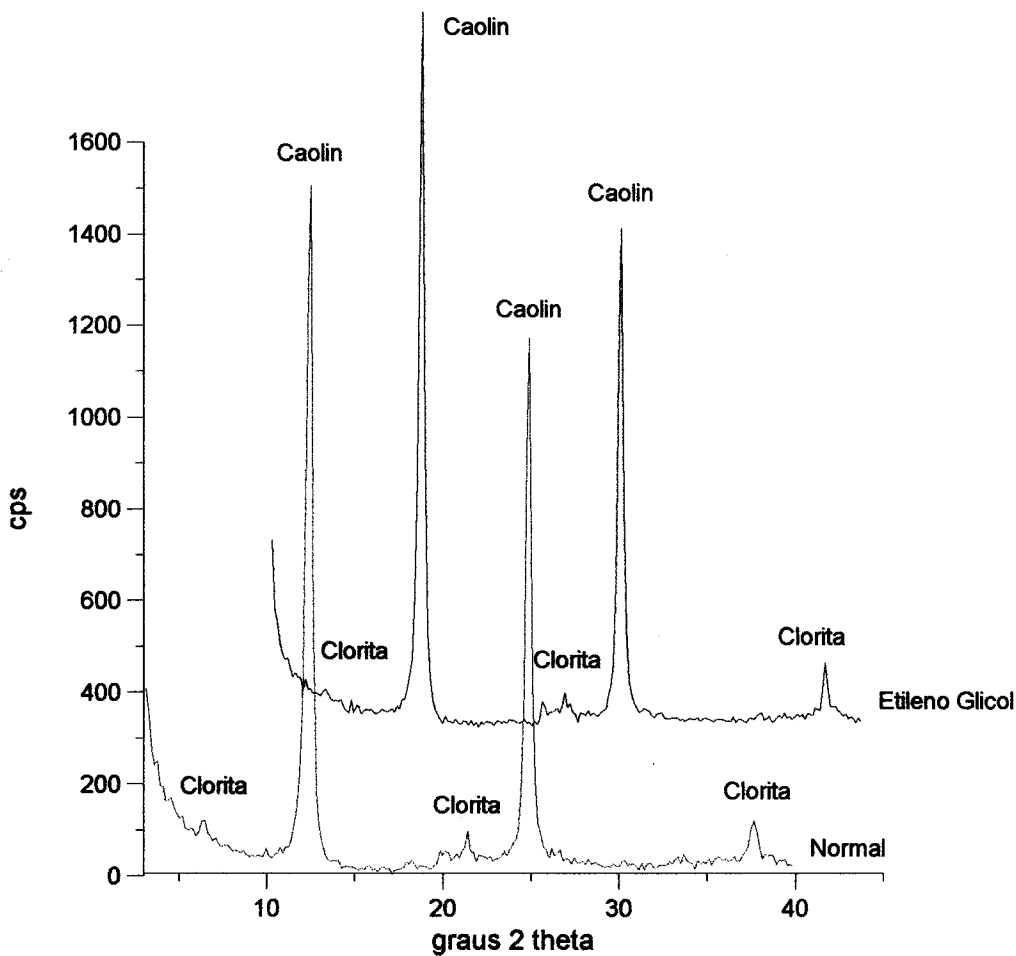


Figura 5 - Difratograma mostrando os principais argilominerais do horizonte A nos solos estudados.

9.2. QUANTIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA, UMIDADE E O PH DOS SOLOS ESTUDADOS

9.2.1. Quantidade de húmus

Em geral as amostras de solos do horizonte A, mostram quantidades de húmus variando entre 0,2% e 11,6% ficando a média em torno de 4,1%; com 39% das amostras apresentando valores de húmus entre 4 e 5 %. No horizonte B os valores variaram de 0,6% a 9,1%, com a média de 4,3, e com 47% das amostras apresentando valor entre 4 a 6% (Figs. 6 e 7).

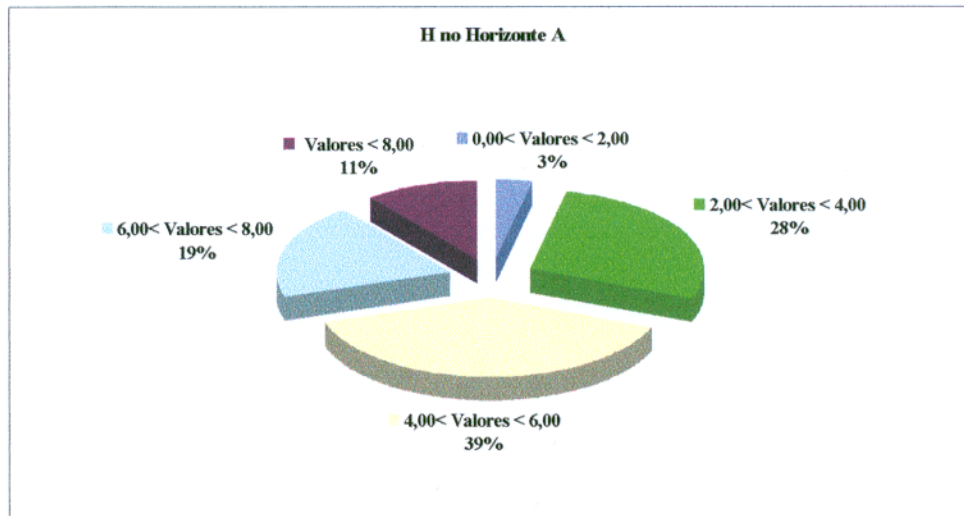


Figura 6 - Distribuição de quantidade de húmus nas amostras estudadas no horizonte A .

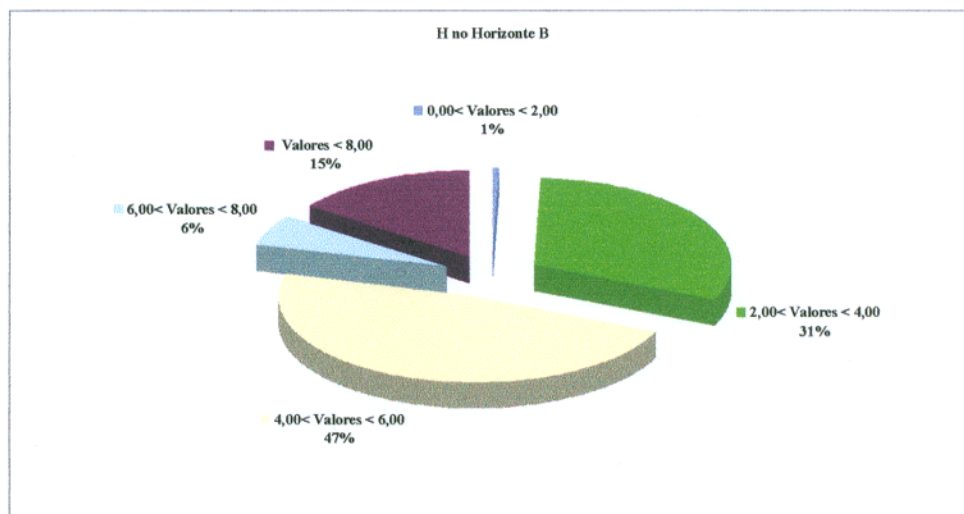


Figura 7 - Distribuição de quantidade de húmus nas amostras estudadas no horizonte A .

A matriz de correlação entre a quantidade de húmus e os metais não mostra nenhuma correlação significativa (ANEXOS VI e VII), o que indica que este parâmetro não controla a mobilidade dos elementos nos horizontes A e B. Essa falta de correlação, pode dever-se, talvez, às concentrações extremamente baixas de húmus nos horizontes estudados, em média 4,1 % no horizonte A e 4,3 % no horizonte B. A baixa concentração de húmus em latossolos é explicada pela elevada taxa de oxidação e lixiviação presentes em solos desenvolvidos sob climas tropicais úmidos. Segundo Yaron et al. (1996), as substâncias orgânicas extraídas dos solos estão geralmente fracionadas com base nas suas solubilidades características e as frações comumente obtidas incluem os ácidos húmicos (solúveis em álcalis, insolúveis em ácidos), os ácidos fúlvicos (solúveis em álcalis e insolúveis em ácidos), ácido himatomelânico (solúvel em álcool, parte dos ácidos húmicos), e humina (insolúvel em álcalis). A fração húmica do solo representa um complexo coloidal que inclui moléculas de cadeia longa ou moléculas tridimensional com junções cruzadas cujos tamanhos e formas em solução são controlados pelo pH e pela presença de sais neutros. Como sob condições ácidas essas moléculas tendem a contrair e se agregar, devido à redução de sua carga. Esse fenômeno, talvez seja o responsável pela falta de correlação entre os metais e a matéria orgânica na área estudada, e, conseqüentemente sugere que os mesmos devem estar ligados a óxidos ou adsorvidos em argilominerais.

9.2.2. Umidade

As amostras de solos estudadas apresentam valores de umidade variando entre 0,05% e 4% ficando a média em torno de 0,77% no horizonte A, com 38 % das amostras apresentando valores maiores que 2 %. No horizonte B os valores ficaram entre 0,4% e 3,9% com média de 1,07%, e com 43 % das amostras apresentando valores entre 2 e 4 %, como mostram as Figuras 8 e 9. Estes valores são muitos baixos em comparação com outros tipos de solos, o que reflete o período de pouca chuva na região.

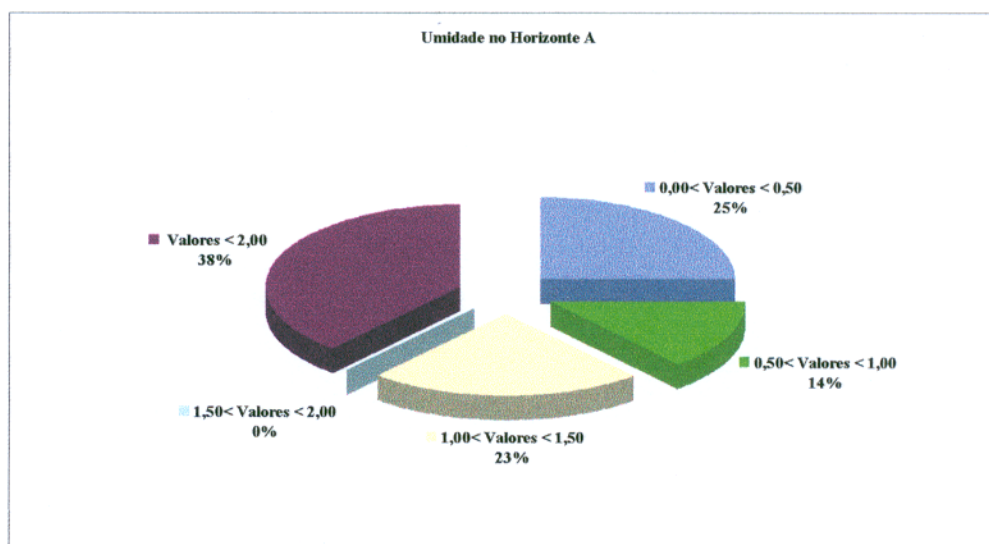


Figura 8 - Distribuição da umidade nas amostras estudadas no horizonte A.

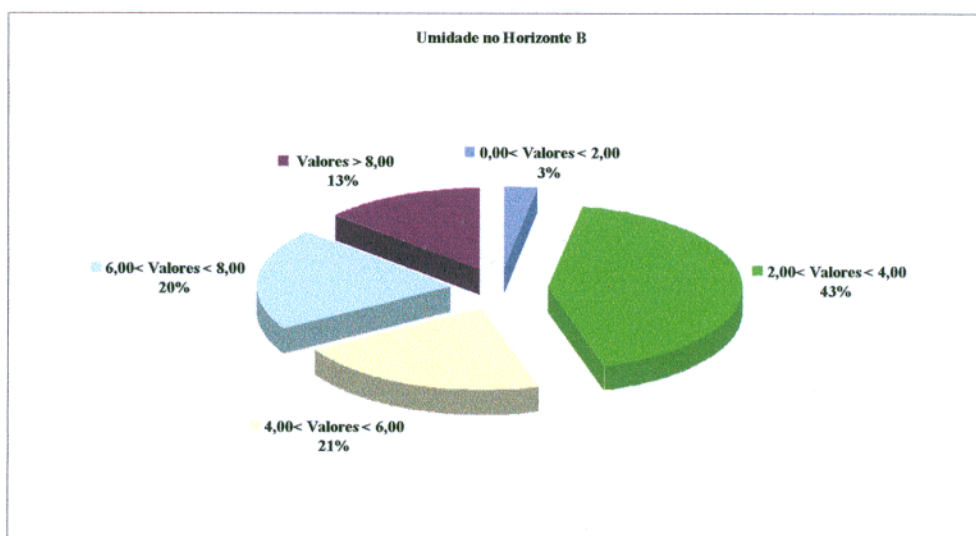


Figura 9 - Distribuição da umidade nas amostras estudadas no horizonte B.

9.2.3. pH do solo

As amostras de solos estudados apresentam valores de pH (CaCl_2) que variam de 3,5 a 6,4 com média de 4,4 no horizonte A, e valores entre 3,2 a 5,7 e média de 4,3 no horizonte B, conforme Figuras 10 e 11. O pH mostrou uma correlação razoável com os seguintes metais: Cu ($r = 0,63$), Ni ($r = 0,55$), Pb ($r = 0,45$), Zn ($r = 0,62$), o que sugere que esse parâmetro controla em

parte a mobilidade dos metais. Em áreas com baixos valores de pH as concentrações dos metais são baixas, o que implica dizer que são mobilizados. Por outro lado, a adsorção catiônica é afetada pelo pH, e, em ambientes ácidos ($\text{pH} < 5,5$) alguns metais pesados não competem com o Ca^{2+} pelas áreas de adsorção nos minerais. Quando o pH se torna superior a 5,5 a adsorção de metais pesados aumenta abruptamente e a reação torna-se irreversível (Yaron et. al. 1996). Estudos realizados por ³Quirk & Posner apud Yaron et al. (1996) em goethitas mostraram que a adsorção de metais pesados como o Pb, Zn e Cd, por esse mineral aumenta quando o pH está entre 5,9 e 6,4.

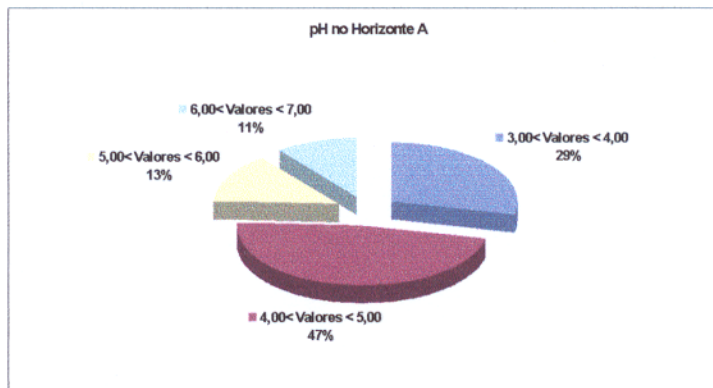


Figura 10 - Distribuição do pH nas amostras estudadas no horizonte A.

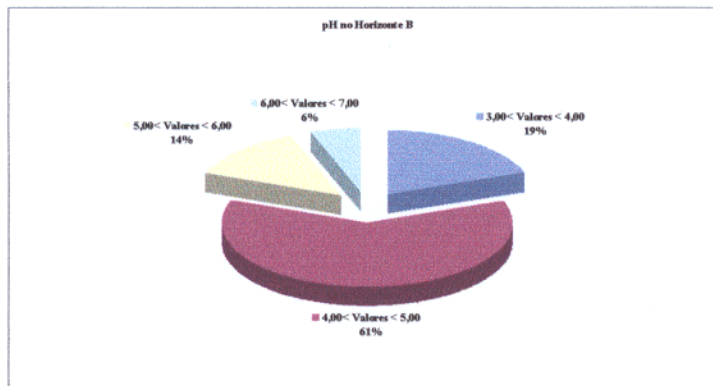


Figura 11 - Distribuição do pH nas amostras estudadas no horizonte B.

9.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DOS SOLOS ESTUDADOS.

A composição média do horizonte A dos solos na área estudada, mostra um enriquecimento em sílica e alumínio e uma forte depleção nos demais elementos maiores (Tabela 11). Esta composição reflete a forte ação lixiviante que é favorecida no clima tropical. Entre

³ QUIRK, J.P. & POSNER, A.M. 1975. Trace element adsorption by soil minerals. In: NICHOLAS, D.J & EGAN, A.R. (eds) **Trace elements in soil plant animal systems**. Academic Press, New York, p 95-107.

outros fatores, o clima tropical úmido favorece, nesse horizonte, a presença de ácidos húmicos e conseqüentemente um pH muito baixo, em média 4,4.

Tabela 11 - Composição química média das amostras estudadas no horizonte A.

Elemento	%-Peso
SiO ₂	85,1
TiO ₂	N.D.
Al ₂ O ₃	7,9
Fe ₂ O ₃	1,9
MnO	N.D.
MgO	0,03
CaO	0,1
Na ₂ O	0,05
K ₂ O	0,05
H ₂ O + Carbono Orgânico	4,9
P ₂ O ₅	N.D.
Totais	100,03

Legenda: N.D.= não detectados

O horizonte B, relativamente ao A, mostra um enriquecimento em alumínio e ferro, sendo que as concentrações dos demais elementos mantêm-se relativamente constante (Tabela 12).

Tabela 12 - Composição química média das amostras estudadas no horizonte B.

Elemento	%
SiO ₂	79,6
TiO ₂	N.D.
Al ₂ O ₃	11,6
Fe ₂ O ₃	3,1
MnO	N.D.
MgO	0,04
CaO	0,1
Na ₂ O	0,07
K ₂ O	0,06
H ₂ O + Carbono Orgânico	5,3
P ₂ O ₅	N.D.
Total	99,9

9.3.1. Distribuição vertical dos metais pesados

Os perfis abaixo descritos estão localizados em duas áreas de “covões” distintas próximas ao aterro sanitário do Aurá. Para que o comportamento vertical dos metais estudados fosse

avaliado, foram dosados os metais traços em cada horizonte dos perfis, chegando-se as seguintes conclusões:

Cobre - O Cobre no primeiro perfil mostra-se mais enriquecido nos horizontes B e R do que nos horizontes A e C. Segundo Yaron et al. (1996), este elemento varia geralmente com a quantidade de húmus presente nos solos. McLaren & Crawford (1973) e McBrid & Boudin (1984), observaram que a maior quantidade de Cu disponível em solos estava relacionado a fração orgânica. No caso dos solos do Aurá, no entanto, é importante notar que este elemento sofreu um acréscimo considerável no horizonte laterítico (Figura 14). Este enriquecimento, ocorre provavelmente devido a oclusão do Cu durante a formação de óxidos e hidróxidos de Fe e Al. A mobilidade do Cu depende fortemente: a) do pH, solos neutros ou alcalinos retêm mais Cu; b) do conteúdo em matéria orgânica; c) da presença de óxidos de ferro, manganês e alumínio; d) da presença de argilominerais (Yaron *et al*, 1996).

No segundo perfil no entanto este elemento sofreu um acréscimo no horizonte C/laterítico, justamente porque o horizonte C amostrado estava muito próximo ao horizonte laterítico. Nos demais horizontes o Cu teve o mesmo comportamento que no primeiro perfil, ou seja, tendo uma pequena variação de teores para os demais horizontes (Figura 19).

Níquel - O Níquel comporta-se igualmente nos dois perfis começando com valores mais baixos no horizonte A, enriquecendo-se no B, voltando a decair no C e finalmente apresenta os teores mais elevados no horizonte R.

Segundo Yaron et al. (1996), em regiões de climas tropicais úmidos a variação da quantidade de Ni nos diferentes horizontes do solo depende principalmente do húmus e da matéria orgânica nele contida, ou seja, este elemento se concentra principalmente nos horizontes mais superficiais, contudo, nos horizontes com baixo teor de húmus e matéria orgânica o Ni tende a se concentrar nos horizontes mais argilosos, que é o caso dos perfis estudados, já que nos solos em geral, este elemento é estável para uma ampla faixa de pH. (Cotton & Wilkinson, 1980).

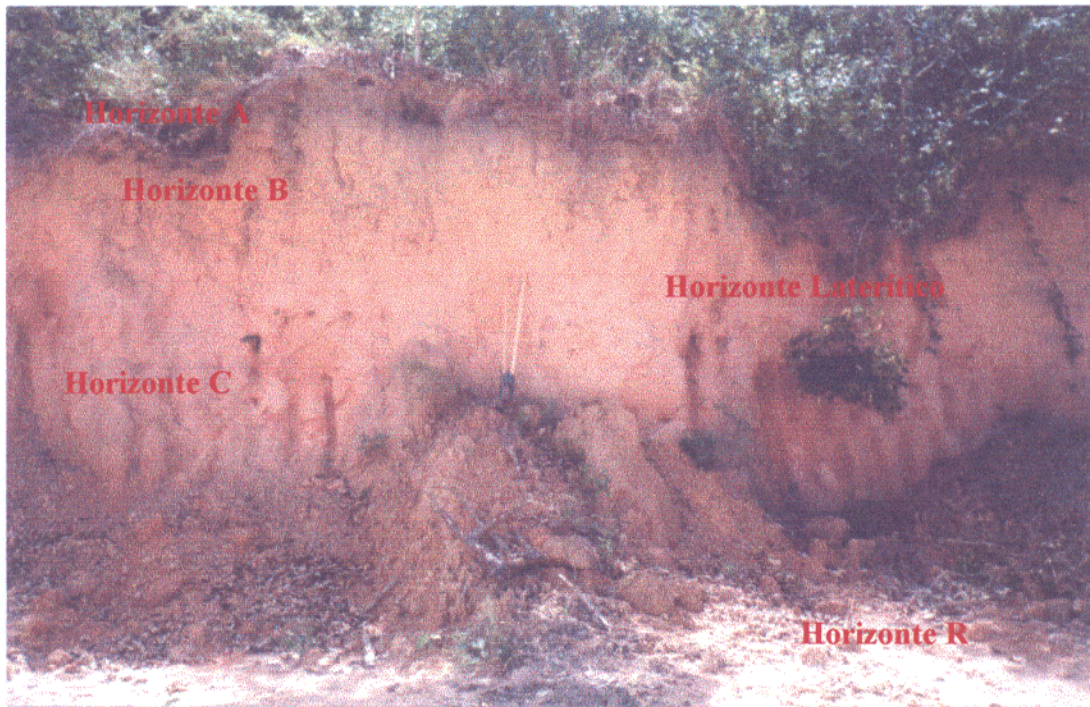


Figura 12 - Fotografia do Primeiro perfil geológico estudado, mostrando os diferentes horizontes.

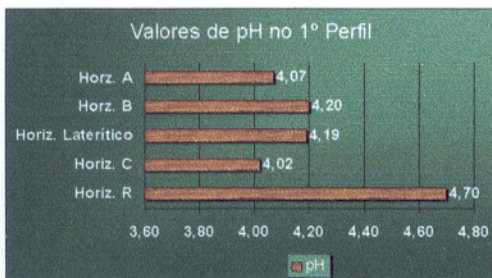


Figura 13 – Valores de pH no 1º Perfil.

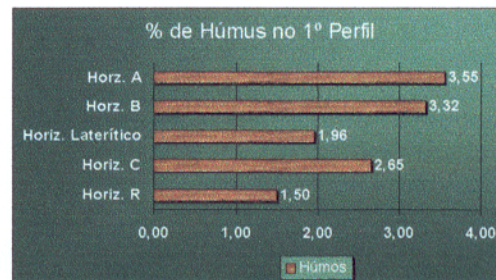


Figura 14 – Valores de Húmus no 1º Perfil

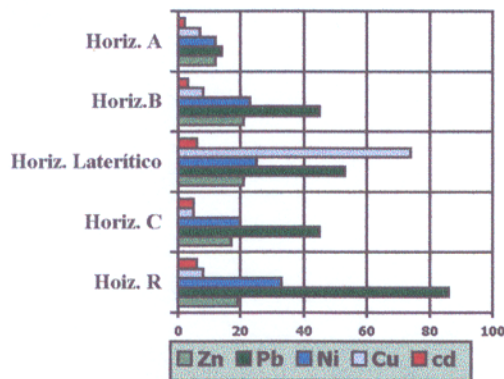


Figura 15 - Histograma mostrando os teores de metais pesados no primeiro perfil.

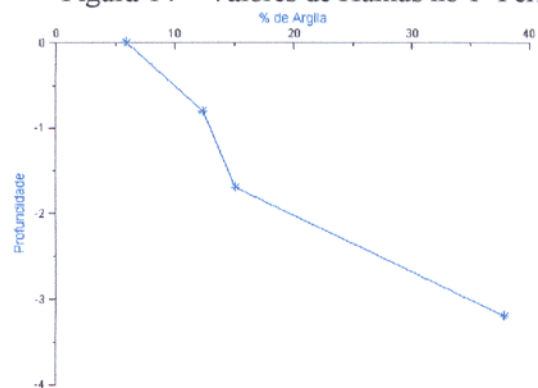


Figura 16 – Variação no conteúdo de Argila com a Profundidade do Perfil.

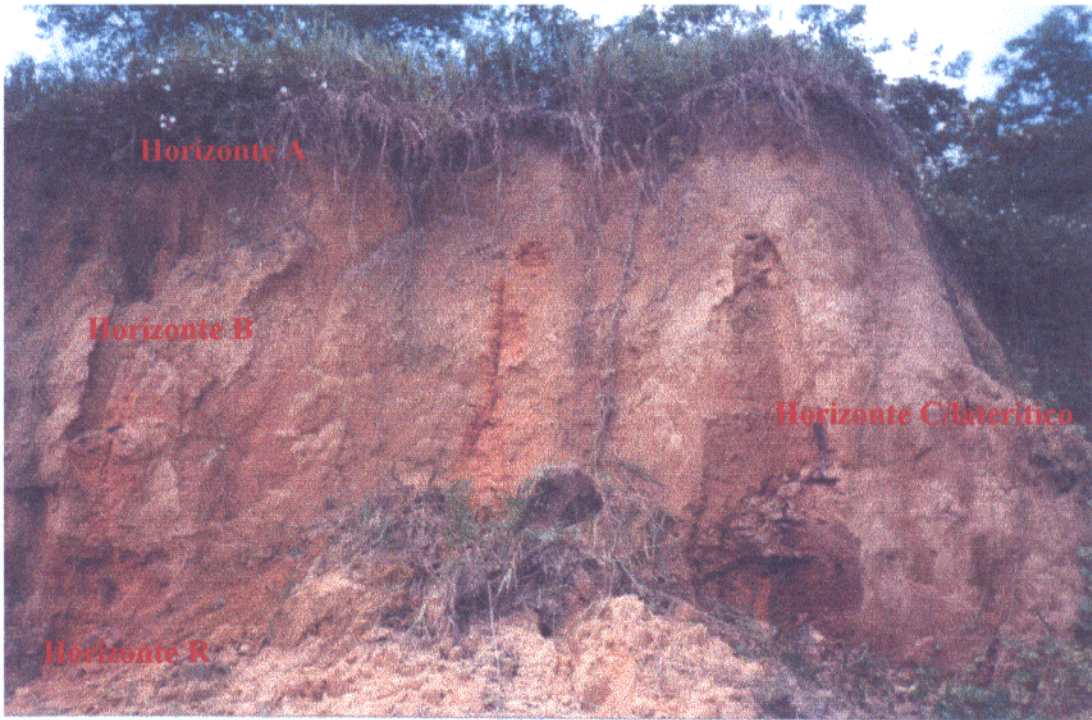


Figura 17 - fotografia do segundo perfil geológico estudado.

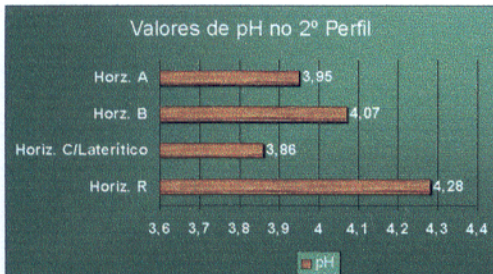


Figura 18 – Valores de pH no 2º Perfil

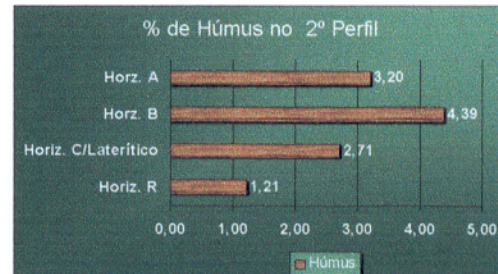


Figura 19 – Valores de Húmus no 2º Perfil

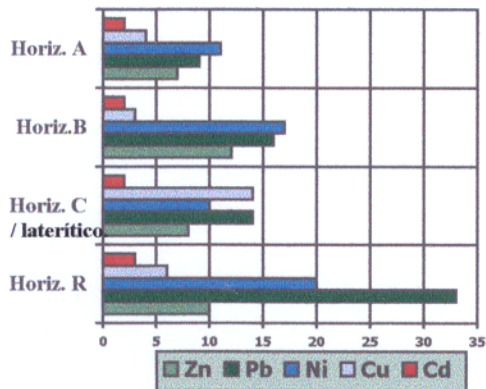


Figura 20 - Histograma mostrando os teores de metais pesados no segundo perfil.

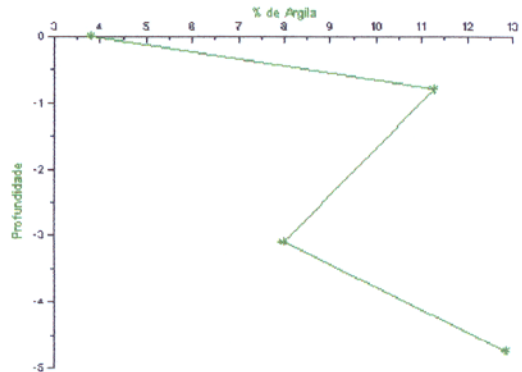


Figura 21 - Variação no conteúdo de Argila com a profundidade do Perfil.

Chumbo - Este elemento apresenta um comportamento similar nos dois perfis estudados, ele inicia com menores valores no horizonte A, sofre um pequeno acréscimo nos horizontes B e C, enriquecendo-se fortemente no horizonte R. As formas de Chumbo nos solos são controladas pelos mecanismos de composição do solo, mineralogia, matéria orgânica e pH. (Yaron et al., 1996). Nos perfis estudados o comportamento do Pb (Figura 15 e 20), pode ser facilmente relacionado ao comportamento do pH (Figura 13 e 18).

Segundo Yaron et al. (1996), em solos tropicais que sofrem altos níveis de lixiviação em decorrência do pH ácido o chumbo tende a ficar aprisionado nos argilominerais que estão nos horizontes mais profundos.

Zinco - Este elemento sofre pequenas variações ao longo dos horizontes estudados nos dois perfis, sendo que ele encontra-se mais enriquecido no horizonte B. Segundo Yaron et al. (1996) o comportamento do Zinco no solo é afetado pelo pH. Quando o pH é acima de 7,0, a disponibilidade do Zinco se torna muito baixa uma vez que seus compostos são muito solúveis somente em ambientes ácidos. O coeficiente de correlação deste elemento, em relação ao pH é de $r = 0,71$, evidenciando assim que no caso dos solos do Aurá o Zn é controlado por este parâmetro (Figura 12 e 17).

Cádmio - O Cádmio no primeiro perfil apresentou teores mais altos que no segundo perfil, no entanto em ambos os casos este elemento enriqueceu-se no horizonte R, sendo que no primeiro caso o horizonte laterítico também apresentou valores semelhantes ao do horizonte R. Segundo Yaron et al. (1996) o Cádmio é razoavelmente móvel, e no perfil do solo é distribuído quase uniformemente. A contaminação por Cádmio induz a um enriquecimento deste elemento nas camadas superiores do solo, admitindo também um enriquecimento na fase trocável, ou seja: a) adsorção do Cádmio por atração eletrostática nos locais de troca das argilas carregadas negativamente por partículas orgânicas e óxidos hidratados como se observa nas figuras 13, 15, 18 e 20; b) co-precipitação com óxidos, hidróxidos e óxidos hidratados de Ferro, Manganês e possivelmente Alumínio.

9.3.2. Distribuição horizontal dos metais pesados

Os metais pesados estudados mostraram uma distribuição espacial influenciada fundamentalmente pela ação antropogênica. Abaixo serão descritos individualmente, segundo as

suas características gerais, bem como com base nos mapas geoquímicos/pedoquímicos da área estudada a sua distribuição horizontal.

Cobre

Encontra-se na natureza principalmente em jazimentos de sulfetos polimetálicos como a calcopirita, crupita, malaquita, calcocita, bornita azurita e cobre nativo. Os complexos de cobre são conhecidos em três estados de oxidação: Cu^{1+} , Cu^{2+} e Cu^{3+} (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Suas propriedades de maleabilidade, ductibilidade, condutividade, resistência à corrosão, qualidade das ligas e boa aparência tornam seu uso bastante requisitado na indústria elétrica, na fabricação de condutores e cabos elétricos, construção, solda e na indústria automobilística. Seus usos também incluem arame, circuitos impressos, medalhas, painéis, caldeiras, tubos, registros (válvulas e torneiras), hélices para navios, sino-carrilhão, maçanetas, latões, parafusos, chapas, tubos e arruelas (Duarte, 1977).

Em ambientes aquáticos o cobre pode existir na forma particulada, coloidal e solúvel. A fase dissolvida pode conter tanto o íon livre como o cobre complexado com ligantes orgânicos e inorgânicos (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Em solos o valor médio de 20 ppm, entretanto existem variações que ocorrem devido aos diferentes componentes da rocha-fonte na qual o solo é formado. Os solos de regiões úmidas têm uma grande variação de concentrações deste metal, os limites de valores mais altos e mais baixos são muito extensos, 200-250 ppm (Yaron et al., 1996).

Sobre seu possível efeito tóxico no homem, alguns pesquisadores constataram que para produzir intoxicações, seriam necessárias concentrações superiores a 20 ppm. Entretanto, vários pesquisadores concluíram ser impalatável, uma água que tenha cobre na concentração superior a 5 ppm.

Para o homem, o cobre é um potente veneno para as hemácias, danificando suas membranas celulares e inibindo uma grande variedade de enzimas. O envenenamento por ingestão de sais de cobre, por exemplo, o $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ provoca náuseas, vômitos, taquicardia e sede muito forte (Louria, 1984).

Nos solos estudados o fator de enriquecimento foi calculado pela fórmula: $\text{Fe} = \text{Ca} / \text{Bk}$, onde Ca é a concentração da amostra e Bk é o *background regional* da área estudada que é de 2

ppm. O Cobre mostra-se enriquecido em todas as amostras do horizonte A. Em seis das vinte e sete amostras estudadas, observam-se valores três vezes superiores ao valor do *background regional*. Esta anomalia pode ser visualizada na Figura 23. Os pontos anômalos estão plotados na Figura 22. O mapa de isotores do Cu para o horizonte A, mostra uma distribuição controlada fundamentalmente pela ação antropogênica, como é indicado pela amostra AU-24-A, localizada próxima ao já desativado “lixão” de Águas Lindas e as amostras AU-01-A e AU-02-A que estão bem próximas ao “lixão” do Aurá. A suspeita de que os aterros sanitários contribuem para a poluição dos solos nas suas vizinhanças é nesse caso confirmada. O fator de enriquecimento médio no horizonte A é de 2,1 e no horizonte B é de 2. No interior do aterro, as concentrações de metais pesados no horizonte A e B são muito elevadas como mostrou Oliveira (1996), entretanto estão abaixo dos valores observados em aterros europeus (Calmano & Förstner, 1996). Os valores mais elevados foram observados na amostra AU-14-A, que está localizada em frente à antiga usina de incineração e também próxima a uma mini-usina de reciclagem. O ponto AU-09-A, localizado à sudeste da usina de incineração, demonstra uma provável contaminação aérea durante o tempo em que funcionou a usina de incineração, ou ainda pelas queimas que ocorrem freqüentemente dentro das células do “lixão”, já que os ventos dominantes daquela região oscilam entre o norte e o sudeste, com predominância para leste (Lima, 1997). No ponto AU-17-A, localizada as margens da rodovia que dá acesso ao “lixão”, a fonte de contaminação está provavelmente ligada a uma sucataria de reciclados que está localizada bem próximo ao local amostrado.

No horizonte B, dos 27 pontos amostrados somente dois pontos (23-B e 26-B), localizados na estrada de Águas Lindas mostraram valores próximos aos valores de *background regional*, 22 pontos estão razoavelmente enriquecidos. Três pontos estão fortemente enriquecidos, o AU-08-B, que está localizado atrás do “lixão” Aurá; o ponto AU-18-B, que está muito próximo a uma sucataria de reciclados e finalmente o ponto AU-21-A, que está muito próximo ao antigo “lixão” de Águas Lindas.

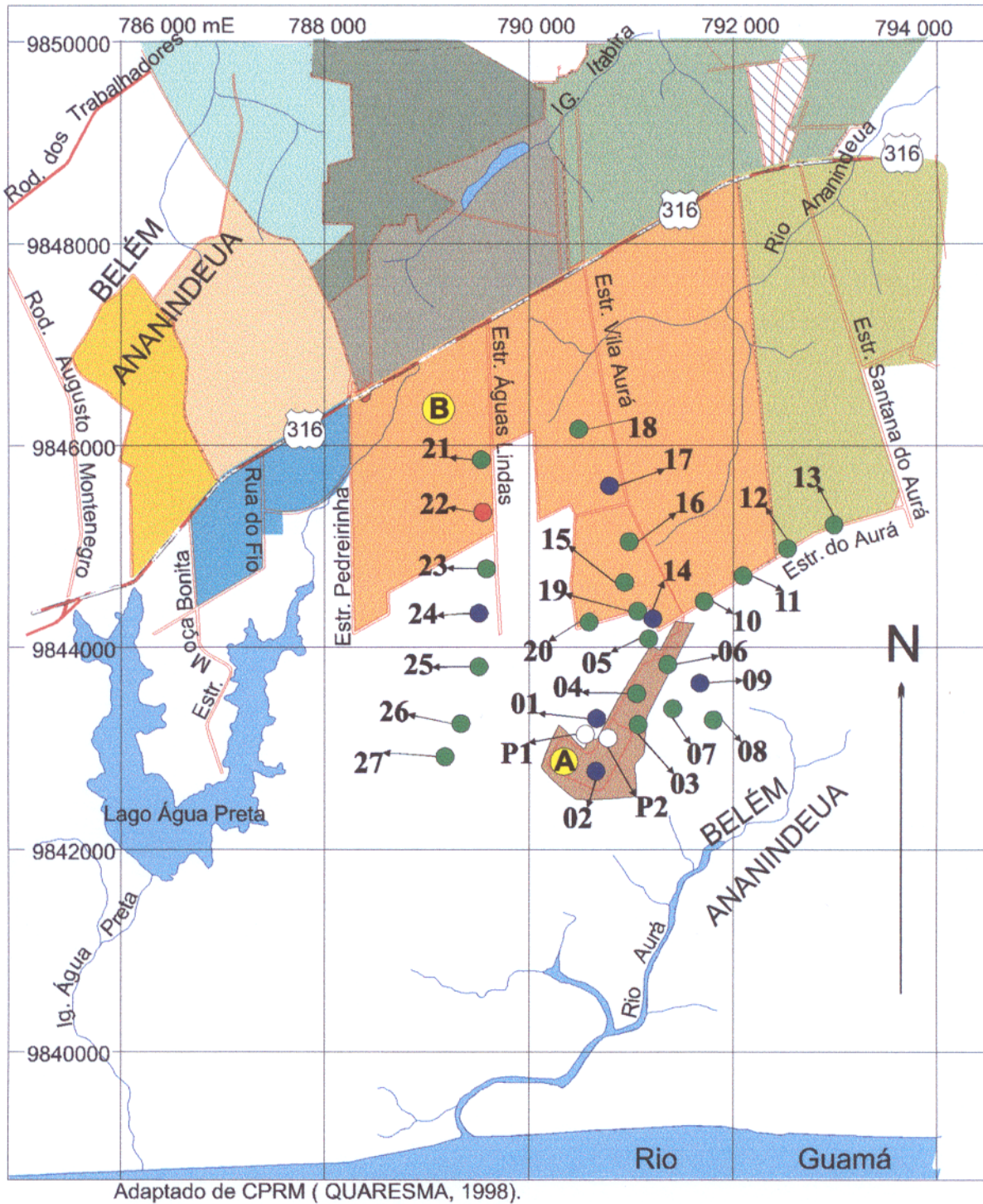


Figura 22 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Cu no Horizonte A.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento = 1
- Pontos com Fatores de Enriquecimento no intervalo: $1 < e < 3$
- Pontos com Fatores de Enriquecimento ≥ 3

Cu ppm

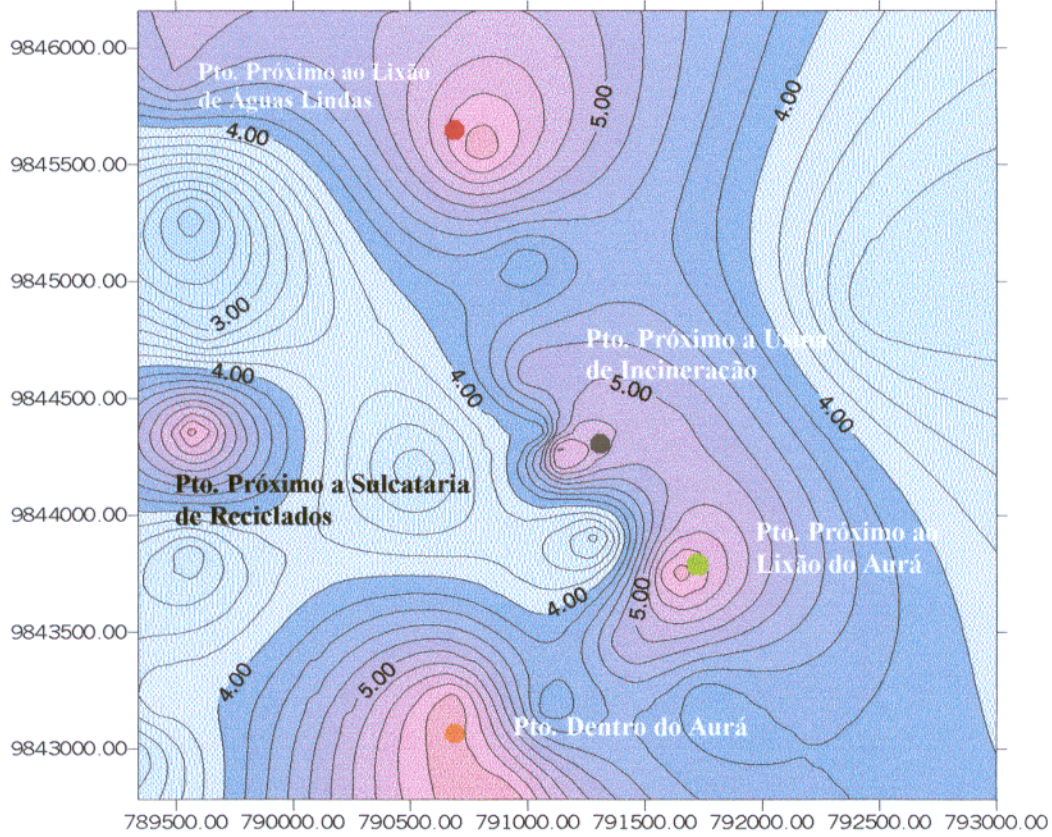


Figura 23 – Mapa de isotores do Cu no horizonte A. Notar as diversas anomalias relacionadas a fontes antropogênicas.

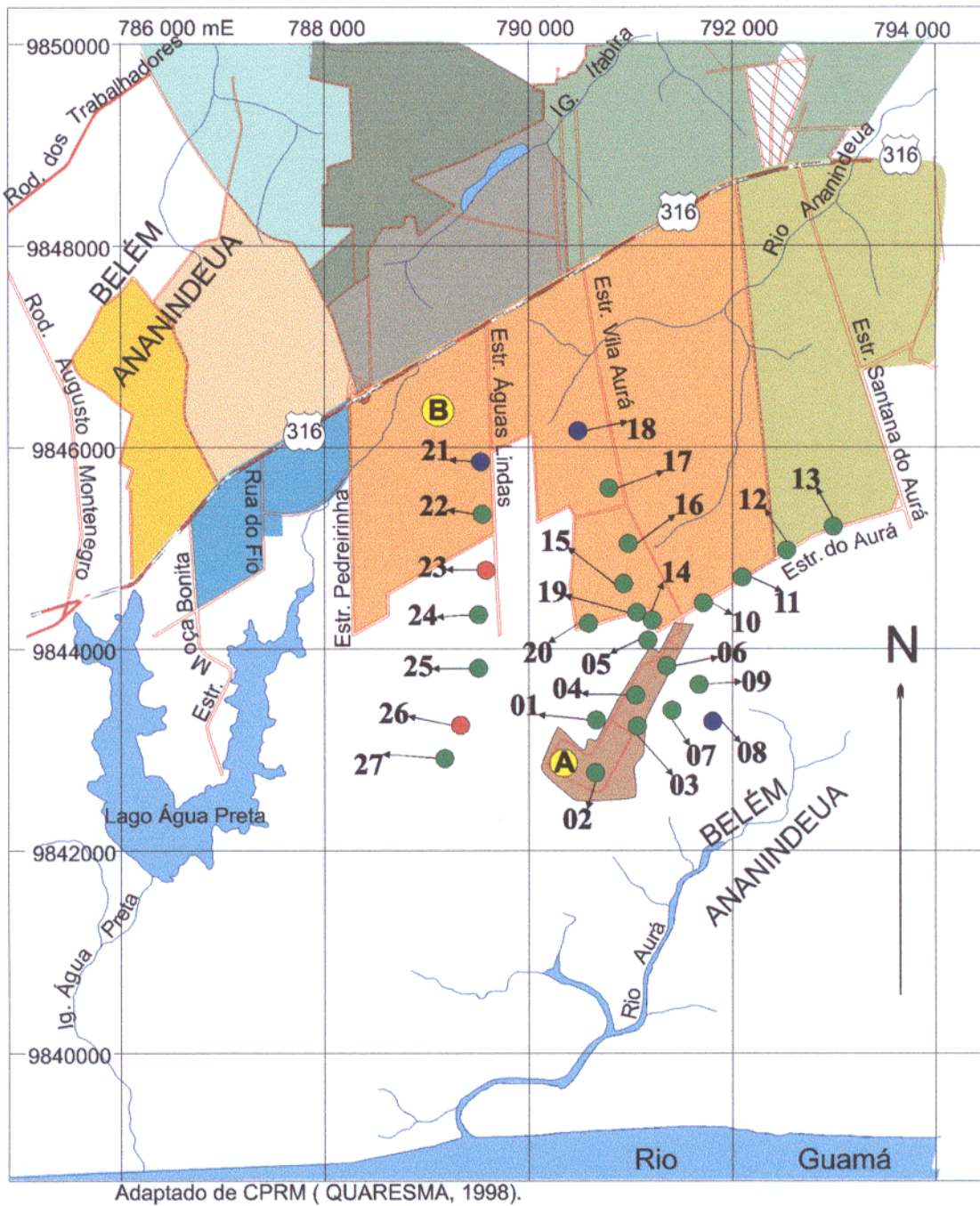


Figura 24 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Cu no Horizonte B.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento = 1
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento no intervalo: $1 < e < 3$
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento ≥ 3
- e = enriquecimento

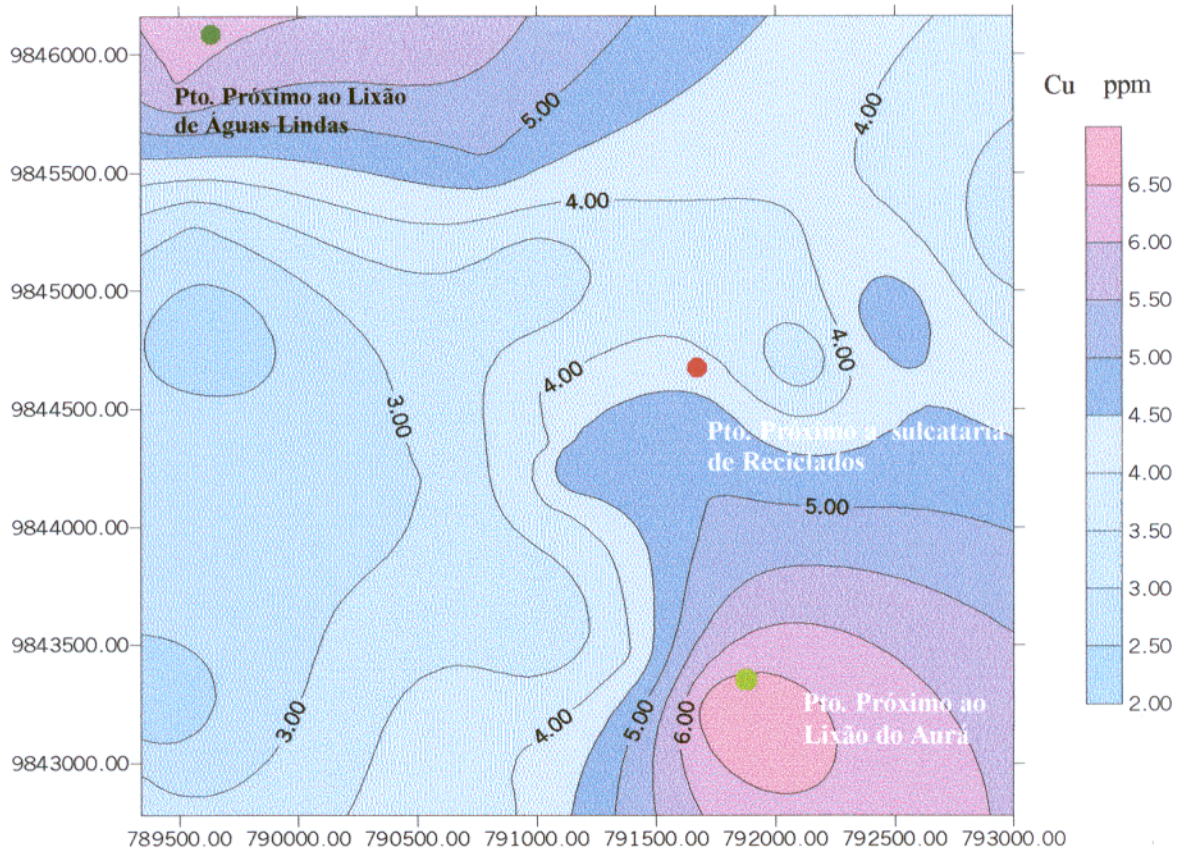


Figura 25 – Mapa de isotores do Cu no horizonte B. Notar as fortes anomalias próximas ao “lixão” do Aurá e ao antigo “lixão” das Águas Lindas.

Chumbo

O chumbo é um metal cinzento-azulado, brilhante, dúctil, maleável e trabalhável a frio. É um dos metais mais primitivos usados pelo homem e seu uso tem persistido através dos séculos. É estável nos estados de oxidação Pb^0 , Pb^{2+} , Pb^{4+} . (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Raramente ocorre em seu estado natural, mas sim em combinação com outros elementos, formando numerosos sulfetos, sulfossais, fosfatos, arseniats e silicatos. Seus mais importantes minérios são a galena (PbS), a anglesita ($PbSO_4$) e a piromorfita ($Pb_5Cl(PO_4)_3$). (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Atualmente o chumbo é um dos metais de maior uso industrial. É empregado principalmente em baterias de automóveis, como aditivo antidetonante, em tintas de impressão, embalagens, fabricação de munição para armas, solda, na indústria metalúrgica, indústria de vidro, vitrificação de peças cerâmicas, entre outros (Duarte, 1977).

A contaminação de chumbo no meio ambiente é principalmente de origem antropogênica e em menor escala de origem natural. A produção de minerais metálicos não ferrosos é uma importante fonte antropogênica deste metal. As principais fontes das emissões naturais são as partículas finas transportadas pelo vento. Sua tendência é seguir um crescimento lento, já registrado nos anos anteriores, pela diversidade de usos e crescimento demográfico, aumentando a demanda de derivados deste metal. (Moore & Ramamoorthy, 1984).

O chumbo é liberado com facilidade dos minerais durante o intemperismo e transportado na forma de compostos solúveis (Mellor, 1967). Uma vez chegando ao solo, permanece indefinidamente e só uma pequena parte é transportada pela chuva, por isso deve-se considerar o solo um dos principais depósitos deste contaminante, apresentando concentrações que variam de 2 a 2.000 ppm.

Segundo Figueiredo (1990), os sais de chumbo são muitos tóxicos e afetam principalmente o sistema hematológico, o sistema nervoso central e o renal. Saturismo é o nome dado a intoxicação crônica causada pelo chumbo. O plumbismo é uma doença causada por envenenamento agudo pelo chumbo e de difícil diagnose. Provoca danos no cérebro e sérios problemas comportamentais. Uma das conseqüências mais comuns do envenenamento à longo prazo por chumbo é a infecção dos rins.

A toxidez dos compostos de chumbo é devido a um complexo estado de solubilidade em várias estruturas do organismo, células e organelas. É um veneno com efeitos marcadamente não específicos, justamente porque afeta no homem órgãos diferentes, motivo porque seus efeitos podem até não ser relacionados a ele. Células de muitos tecidos o absorvem como: células vermelhas do sangue, rins, ossos, cabelos, nervos, fígado e vasos sangüíneos (Duarte, 1977).

No caso dos solos do Aurá o Pb contribui com valores anômalos na maioria dos pontos estudados no horizonte A. Nos pontos (AU-03-A) e (AU-04-A) que estão dentro do “lixão” do Aurá, sua concentração é de 34 e 26 ppm respectivamente. No ponto (AU-21-A), que fica muito próximo ao “lixão” de Águas Lindas, apresenta uma concentração de 25 ppm (Figura 26). A

concentração de Pb em solos não contaminados varia entre valores $< 1,0$ ppm a 20 ppm (⁴Nriagu *apud* Yaron et al., 1996). Os valores considerados como limite em solo para a Comunidade Européia variam de 50 a 300 ppm (Calmano & Förstner, 1996), estando portanto, os valores de Pb nos arredores do “lixão” do Aurá, muito abaixo desses limites. Entretanto, considerando-se a rocha que dá origem aos solos na região estudada, arenitos/siltitos, tem-se um forte enriquecimento, muito provavelmente causado pela atividade antropogênia, já que a rocha original possui muito pouco Pb (valore de background = 6 ppm). O fator de enriquecimento médio do Pb no horizonte A é de 2,5, porém nos pontos de maior concentração este fator atinge até 4,3. No horizonte A, verifica-se a partir da Figura 27, que as principais anomalias estão relacionadas aos dois “lixões” existentes na área, e que a distribuição horizontal é restrita a essas áreas.

No horizonte B tal qual no A, este elemento apresenta-se enriquecido na maioria dos pontos estudados, porém com maiores concentrações nos seguintes pontos: (AU-03-B), (AU-09-B), (AU-15-B) e (AU-21-B), como pode ser observado na Figura 28. A média do fator de enriquecimento do Pb no horizonte B é de 2,7, semelhante a observada no horizonte A. Nos pontos (AU-01-B) e (AU-12-B) verifica-se valores de 3,5 e 3,7 respectivamente, chegando a atingir 4,8 nos pontos AU-09-B e AU-21-B. No horizonte B, verifica-se quatro áreas anômalas, relacionadas principalmente a atividades antropogênicas (Figura 29).

⁴ NRIAGU, J.D. 1978. *The biogeochemistry of lead in the environment*. Elsevier, amsterdam, 247p.

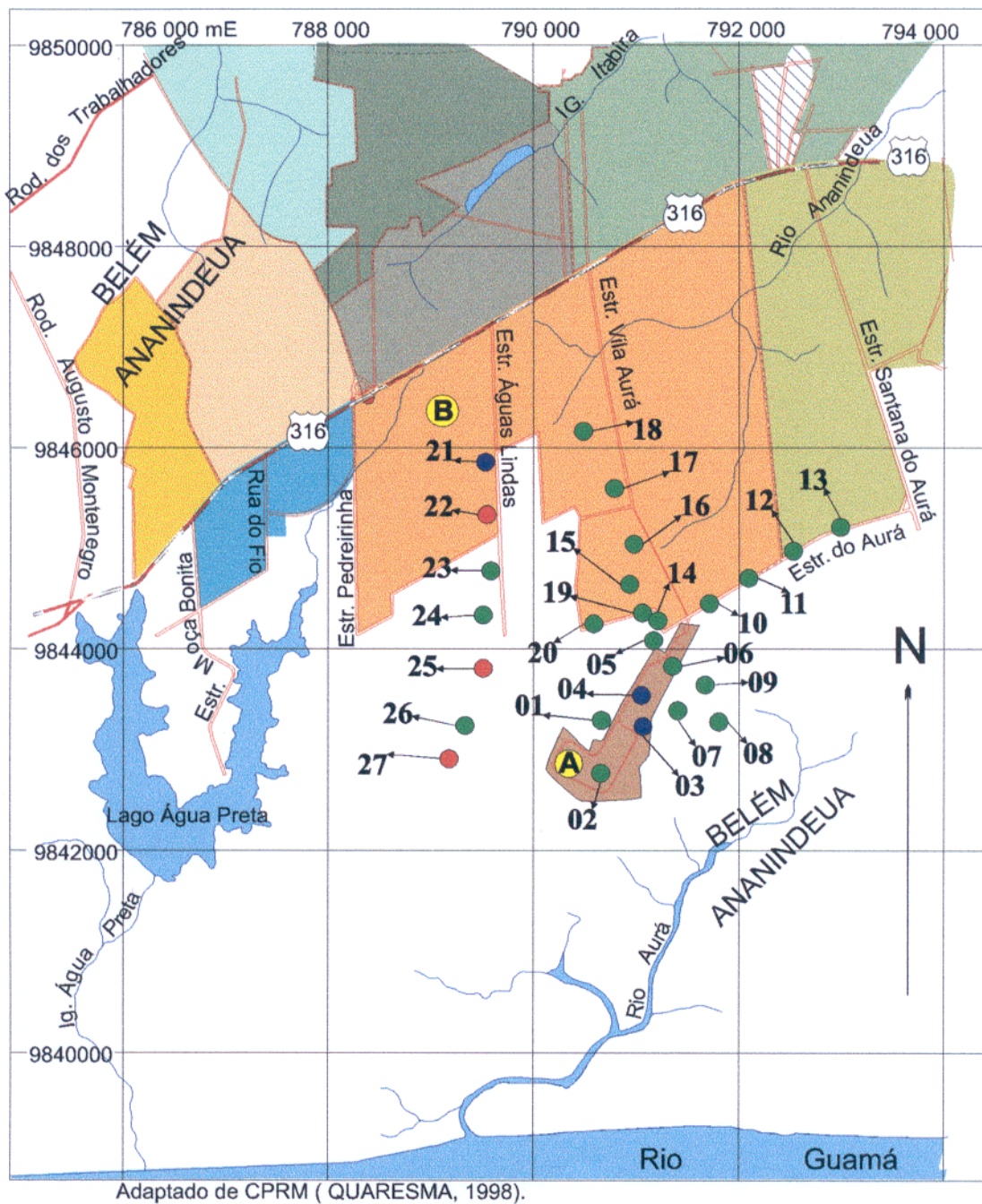


Figura 26 – Mapa mostrando a distribuição do fator enriquecimento do Pb no Horizonte A.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento ≤ 1
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento no intervalo: $1 < e < 4,2$
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento $\geq 4,2$
- e = enriquecimento

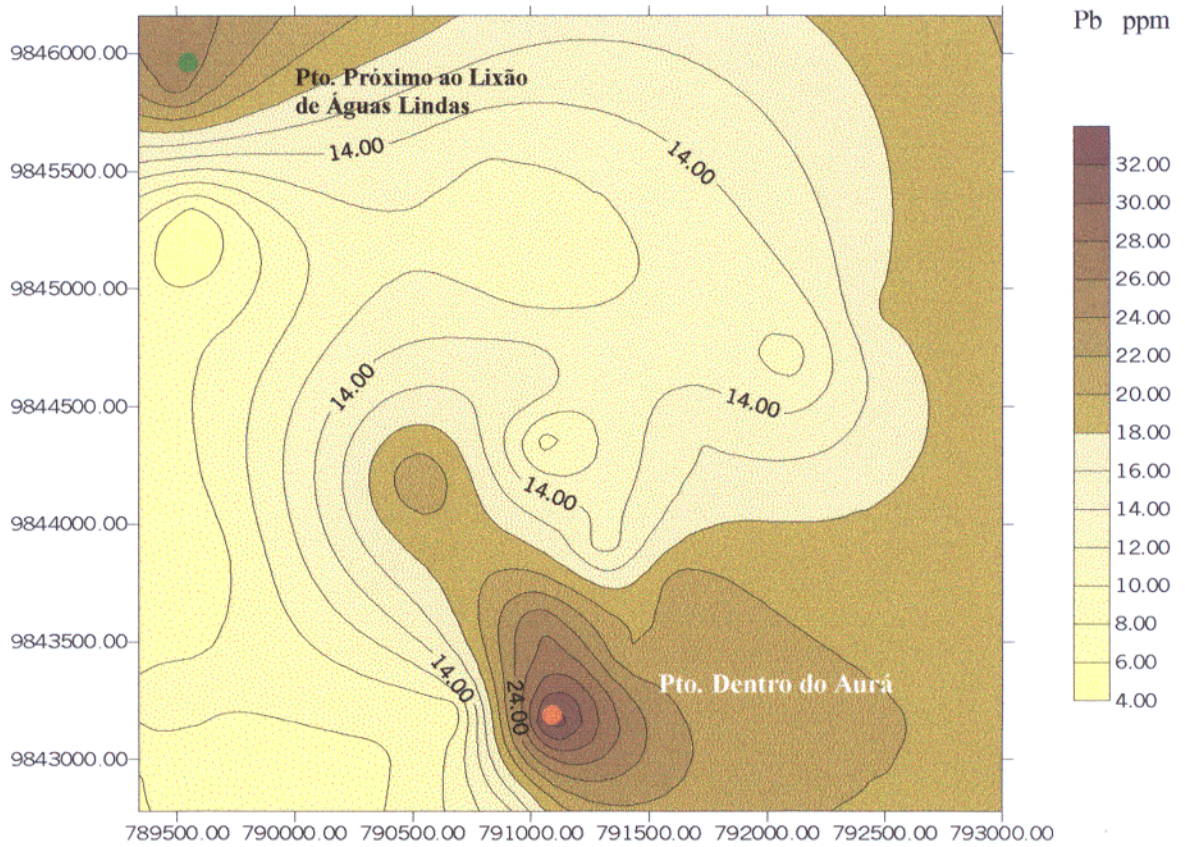


Figura 27 - Mapa de isoteor de Pb no horizonte A. Notar as duas anomalias relacionadas aos dois lixões presentes na área estuda.

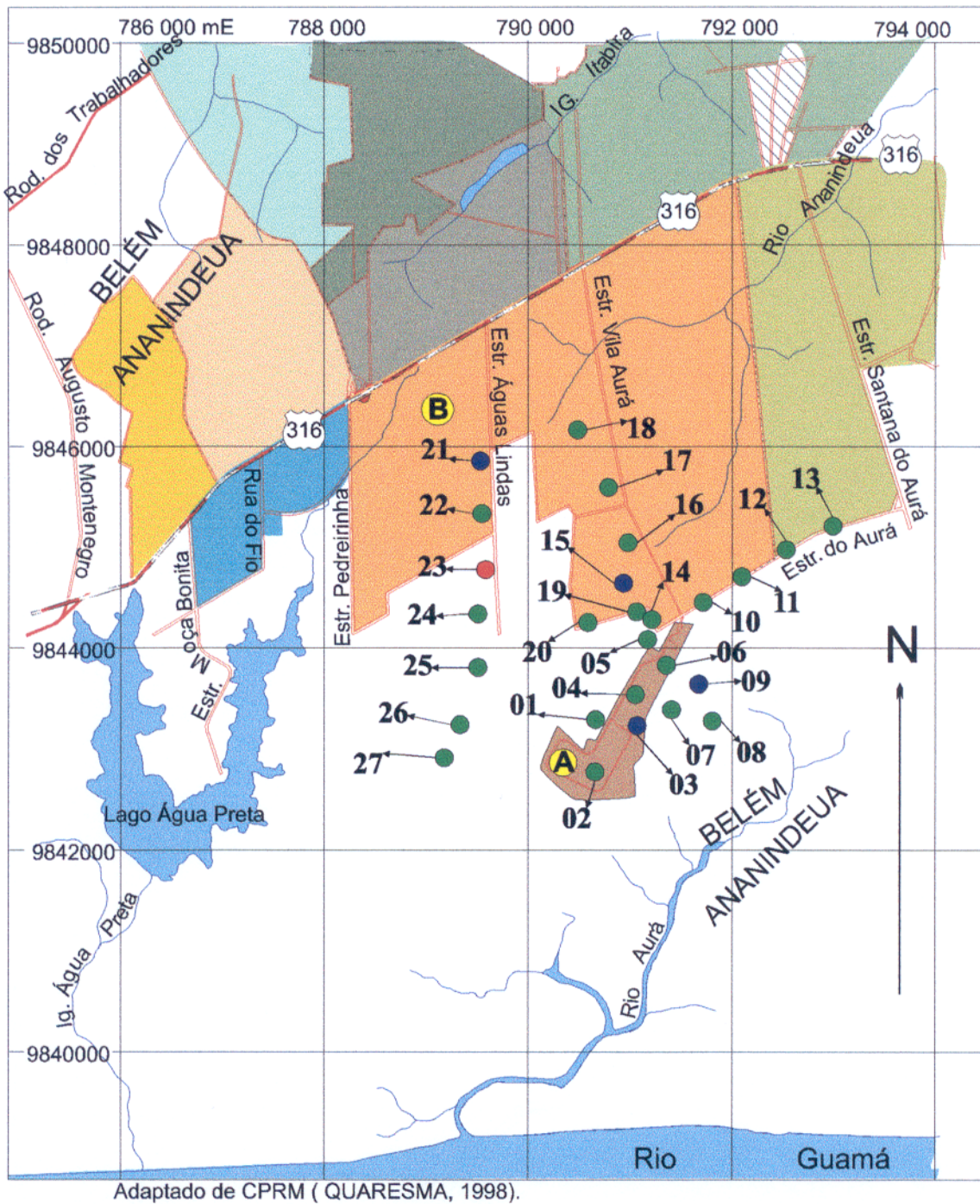


Figura 28 – Mapa mostrando a distribuição do fator enriquecimento do Pb no Horizonte B.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento ≤ 1
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento no intervalo: $1 < e < 4,2$
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento $\geq 4,2$
- e = enriquecimento

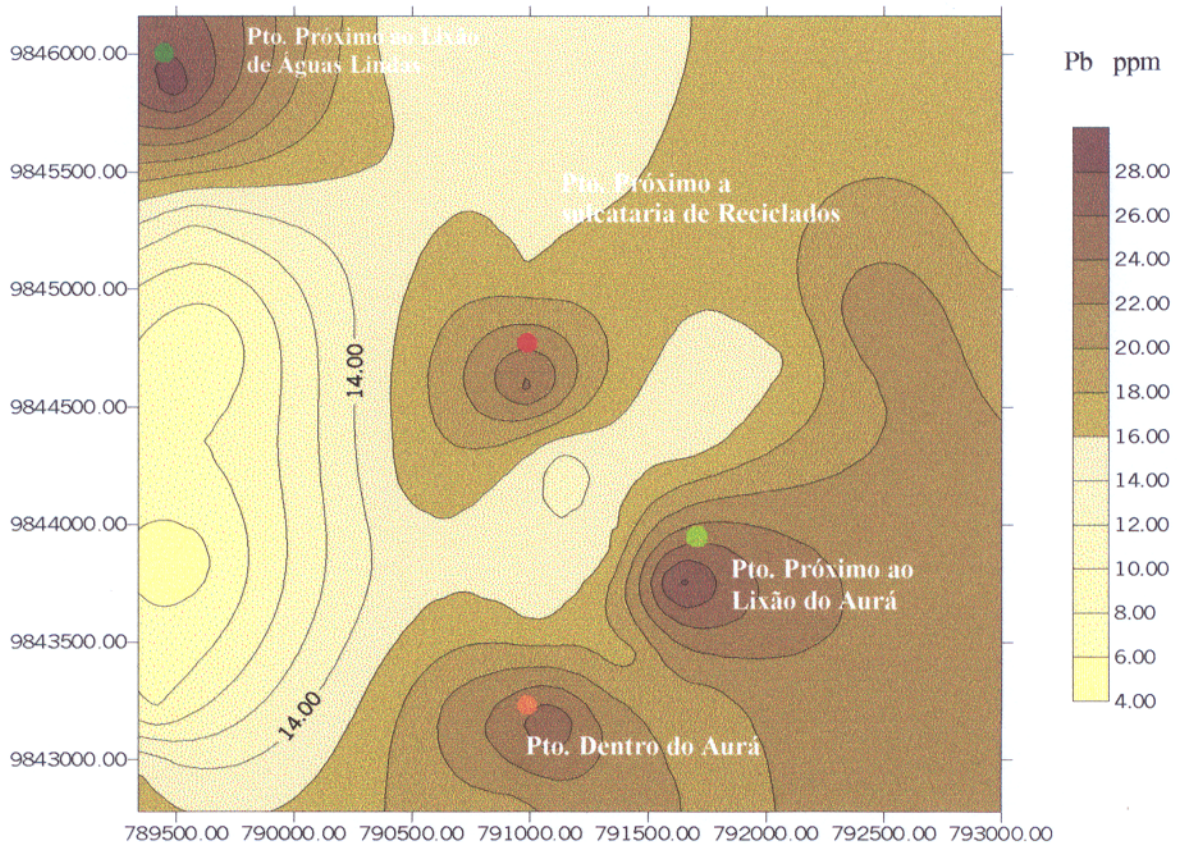


Figura 29 - Mapa de isoteor do Pb no horizonte B. Notar a presença de 4 áreas anômalas, relacionadas a atividades antropogênicas.

Zinco

Seu maior uso é na galvanização de ferro e produtos de aço, seguidos das ligas à base de zinco utilizadas na indústria automobilística, no fabrico de chapas, placas de revestimento e peças. Mais da metade do óxido de zinco produzido é empregado como catalisador na vulcanização da borracha e em tintas (pigmentos brancos), papéis de fotocópia e produtos agrícolas (Duarte, 1977).

Das emissões antropogênicas de zinco a nível mundial, a combustão de madeira contribui com uma parcela expressiva (23,9%) em relação ao total, mostrando ser uma fonte importante

deste metal, juntamente com a incineração do lixo (11,8%) e a produção de ferro e aço (11,1%) (Albert, 1988).

As concentrações de zinco nos solos são muito grandes. Os mais baixos e mais altos limites estão na ordem de 900 ppm. A média de sua concentração é de 50 a 100 ppm sendo que a faixa limite de Zn em solos aceita pela Comunidade Européia e de 150 a 300 ppm (Calmano & Förstner, 1996). As variações são causadas, principalmente, pelas diferentes concentrações nas rochas das quais os solos são formados. Regiões tropicais têm geralmente as mesmas concentrações de zinco de clima de outras regiões (Yaron et al., 1996).

O zinco é essencial para o homem e é um constituinte importante de várias enzimas, por outro lado, distúrbios gastrointestinais podem ocorrer se alta concentração de sais solúvel de zinco for ingerida (Ribeiro, 1979).

Nos solos estudados o Zn está anômalo em vários pontos do horizonte A, se compararmos seu maior valor que é de 24 ppm no ponto (AU-18-A), ao *background* da área que é de 13 ppm, e seu fator de enriquecimento apresentará o valor de 1,8 (Figura 30).

Apesar deste elemento encontrar-se disponível em solos ácidos, os valores anômalos encontrados, ou seja, mais do que 4 ppm acima do *background* da área, não podem ser considerados como valores eminentemente poluidores. Segundo Aubert & Pinta (1997), solos eutróficos marrom, em Nova Caledonia, que também estão localizados em regiões tropicais úmidas sob solos compostos basicamente por caolinita, e que apresentam valores entre 25-30 ppm de zinco, são solos pobres em Zn. No horizonte A, o mapa de isoteor aponta quatro áreas onde a concentração do Zn é maior, todas elas, coincidentemente com os metais anteriormente discutidos, estão relacionadas a atividades antropogênicas (Figura 31).

No horizonte B, a média do fator de enriquecimento é de 1,4, portanto maior que do Horizonte A que não existe (1,0). O mapa de isoteor de Zn no horizonte B, mostra uma coincidência com o horizonte A. A maior concentração desse horizonte foi detectada no ponto (AU-02-B), dentro do "lixão" do Aurá, onde se verificou um valor de 30 ppm e fator de enriquecimento de 2,3 (Figura 32).

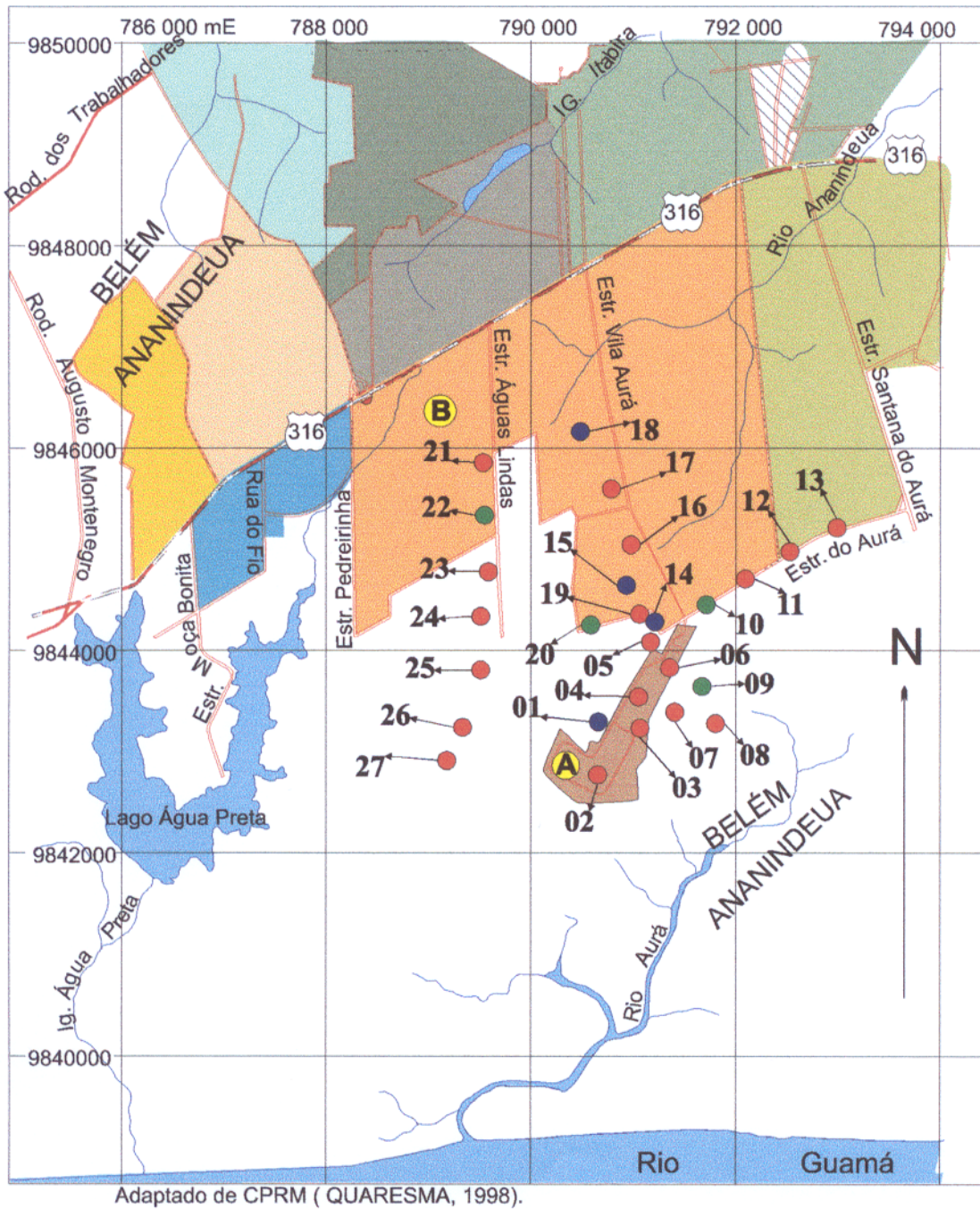


Figura 30 – Mapa mostrando a distribuição do fator enriquecimento do Zn no Horizonte A.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento ≤ 1
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento no intervalo: $1 < e < 1,4$
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento $\geq 1,4$
- e= enriquecimento

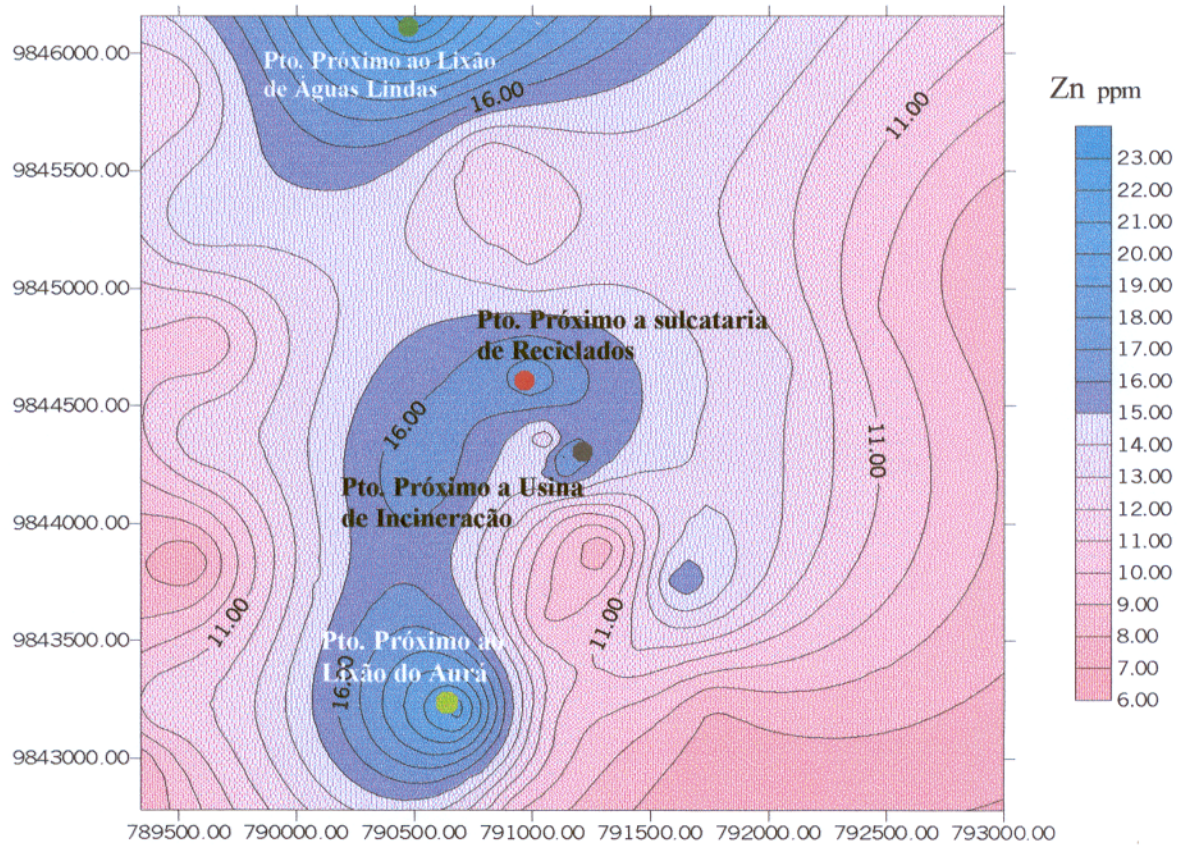


Figura 31 – Mapa de isoteores de Zn no horizonte A. Notar as áreas onde as concentrações são maiores e a coincidências com atividades antropogênicas.

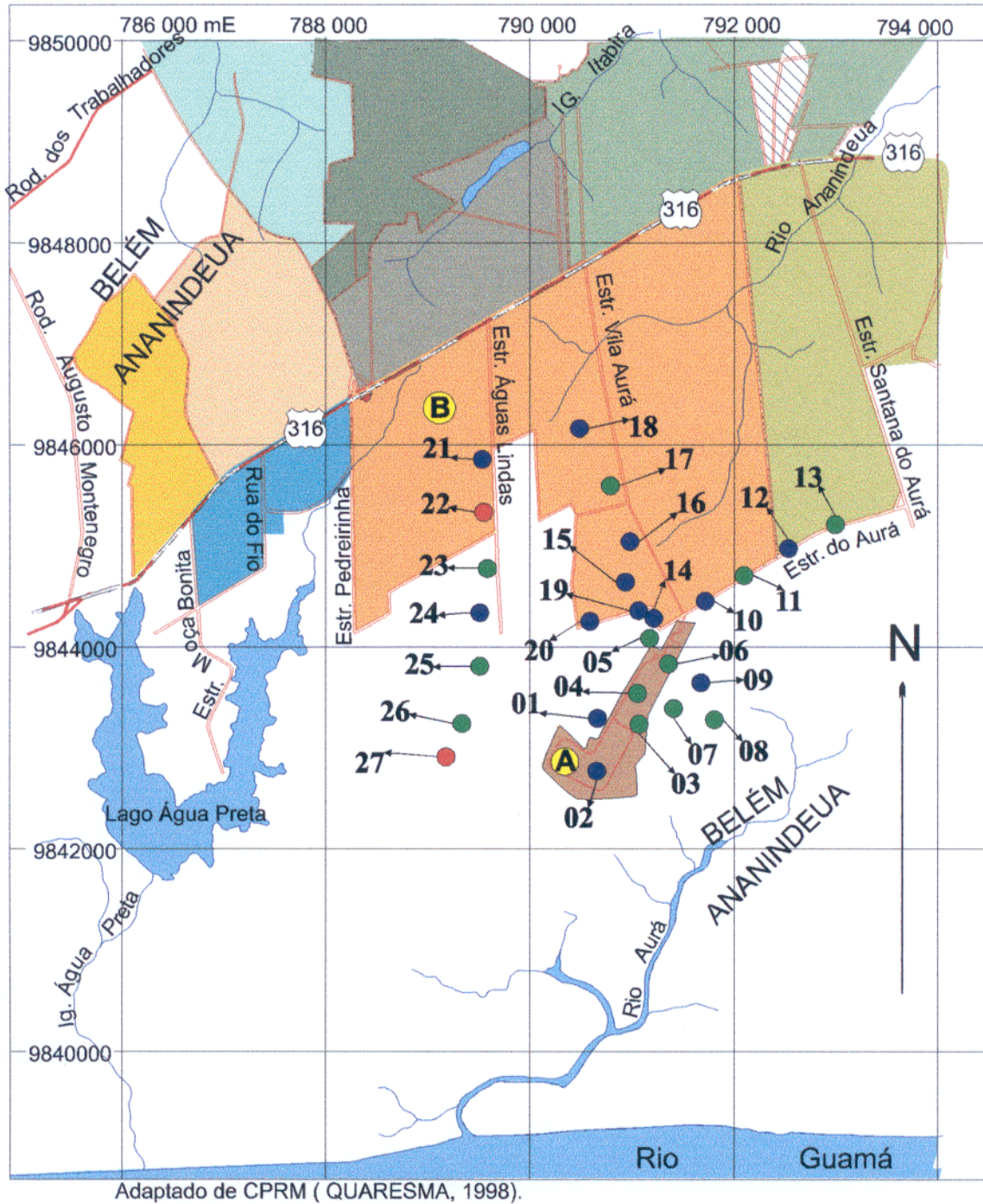


Figura 32 – Mapa mostrando a distribuição do fator enriquecimento do Zn no Horizonte B.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento ≤ 1
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento no intervalo: $1 < e < 1,4$
 - Pontos com Fatores de Enriquecimento $\geq 1,4$
- e = enriquecimento

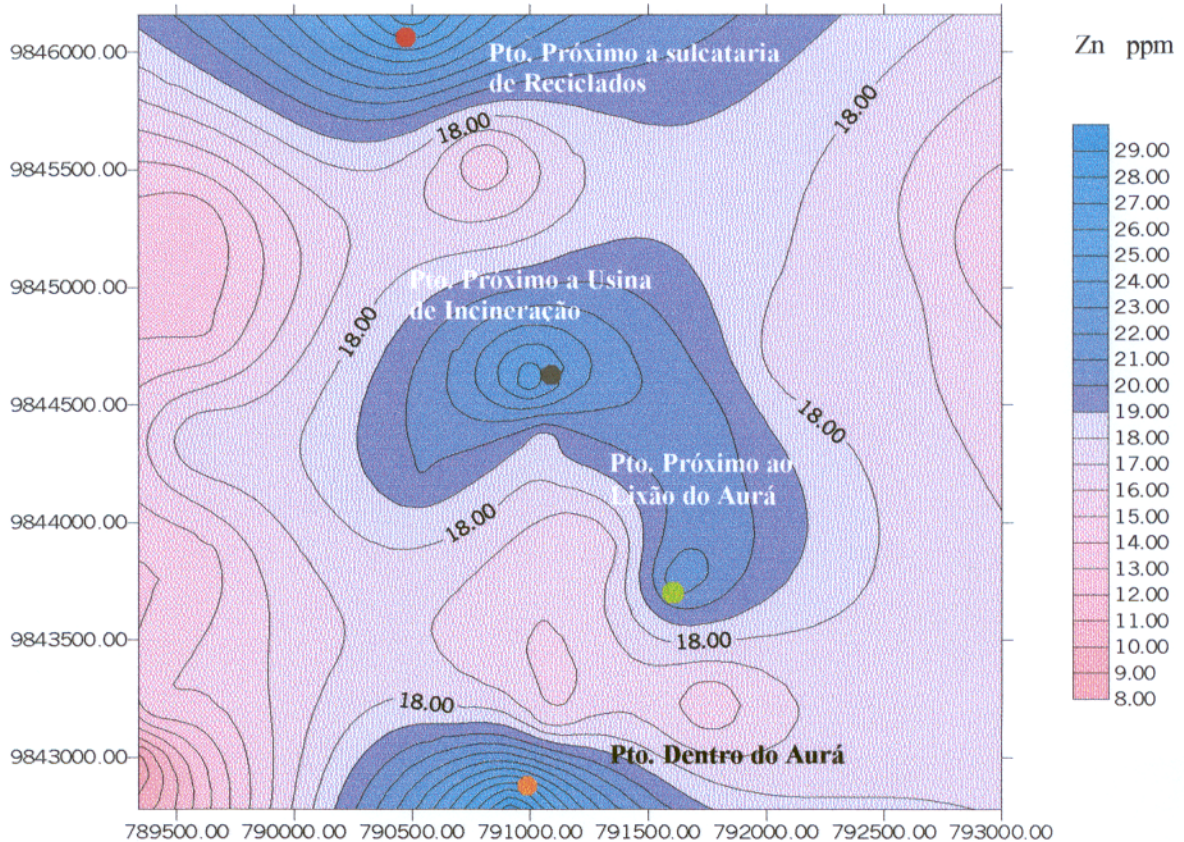


Figura 33– Mapa de isotores de Zn no horizonte B. Notar a coincidência com as áreas de maiores atividades antropogênicas.

Cádmio

O cádmio em ambientes naturais possui estado de oxidação Cd^{2+} . É comumente encontrado associado na forma de carbonatos e sulfetos (Barros, 1992). O metabolismo do cádmio é semelhante ao do zinco, chegando mesmo a competir com este em muitas reações enzimáticas vitais. Está presente como um constituinte menor e inevitável em quase todos os compostos de zinco, os quais contêm em geral 0,1 a 0,3% de cádmio, quando relacionado com o chumbo e o cobre pode aparecer em concentrações maiores (Albert, 1988).

O cádmio é relativamente raro e sua abundância nas rochas pode ser comparada à do mercúrio. Talvez devido a sua instabilidade nos compostos orgânicos, o cádmio somente é encontrado na natureza em sua forma inorgânica (Hem, 1985).

O cádmio, proveniente do intemperismo e erosão das rochas, é insignificante se comparado com ao que resulta da atividade do homem. O seu aumento no ambiente tem ocorrido como resultado do seu uso industrial, através da produção de metais como cobre, zinco e chumbo (Moore & Ramamoorthy, 1984).

O cádmio é um componente de ligas, usada na manufatura de condutores elétricos, galvanoplastia (como impureza de zinco), na vitrificação de peças cerâmica, vidros, pigmentos vermelho- amarelo, como estabilizadores em plásticos, baterias, semicondutores, na indústria de fotografias, de borracha, próteses dentárias, proteção anticorrosiva, porcas e parafusos (Louria, 1984; Peruzzo & Canto, 1993).

Os sais de cádmio apresentam uma solubilidade muito variável em água, já que o sulfato e o nitrato são relativamente solúveis, enquanto que os óxidos, hidróxidos e carbonatos são praticamente insolúveis em águas. O resíduo de cádmio, em sedimentos de águas natural é altamente variável, desde < 0,1 ppm (peso seco), até > 3.000 ppm. (Albert, 1988).

A concentração normal de cádmio nos solos é usualmente bem abaixo de 1 ppm, mantendo-se entre 0,01 e 0,5 ppm. Os valores limites de Cd em solos segunda a União Européia é de 1 a 3 ppm (Calmano & Förstner, 1996). As principais variações de seu conteúdo no solo devem-se a composição da rocha mãe, ao uso de fertilizantes/agrotóxicos e a contaminação atmosférica. O cádmio, assim como o chumbo, transfere-se de um lugar para o outro através de processos físicos como o vento e a erosão e através de processos biológicos (Albert, 1988).

Segundo Figueiredo (1990), o cádmio no homem é absorvido e concentra-se principalmente nos rins e no fígado. É irritante e nefrológico, podendo provocar intoxicação aguda e subaguda ou crônica. Efeitos genéticos carcinogênicos e teratogênicos também foram observados nos experimentos com animais.

O cádmio por ser acumulativo é extremamente perigoso. Em mamíferos, peixes e provavelmente outros animais, ocorrem um envenenamento crônico e progressivo, porque quase não há excreção do metal. Devido a sua acumulação no organismo e de possuir uma longa meia vida (10-30 anos) a ingestão de pequenas quantidades de peixes contaminados, por longo período, pode levar à intoxicação por cádmio (Louria, 1984).

Do ponto de vista nutricional o cádmio não tem uma função biológica reconhecida. Ele, assim como o zinco, compete com certos ligantes biológicos “in vivo” (Moore & Ramamorthy,

1984). Para que se possa avaliar seus riscos à saúde humana é necessário conhecer o metabolismo de sua absorção, distribuição e eliminação no organismo humano, bem como sua presença no meio ambiente.

Nos solos do Aurá este elemento foi tratado somente no horizonte A, pois seus valores no horizonte B foram inferiores ao limite de detecção do aparelho (1 ppm).

No horizonte A o Cd apresenta-se enriquecido com fator médio de 37,7 vezes, o que sugere portanto, um alto nível de contaminação para este elemento, considerando-se um valor de *background* de 0,1 ppm. O Cd apresentou valores <2 em 11 dos pontos estudados, porém, nos outros 16 pontos os valores chegaram a atingir 7 ppm nos pontos (AU-03-A), localizado dentro do Aurá; e (AU-13-A), ponto que está localizado as margens da estrada do Aurá (Figura 34).

A Figura 35, mostra a distribuição das concentrações do Cd no horizonte A, nela se percebe a existência de cinco áreas anômalas, com concentrações superiores a 4 ppm. Todas as áreas observadas, exceto a relacionada ao ponto AU-13, coincidem com áreas onde há atividade antropogênica relacionada com o “lixão” do Aurá.

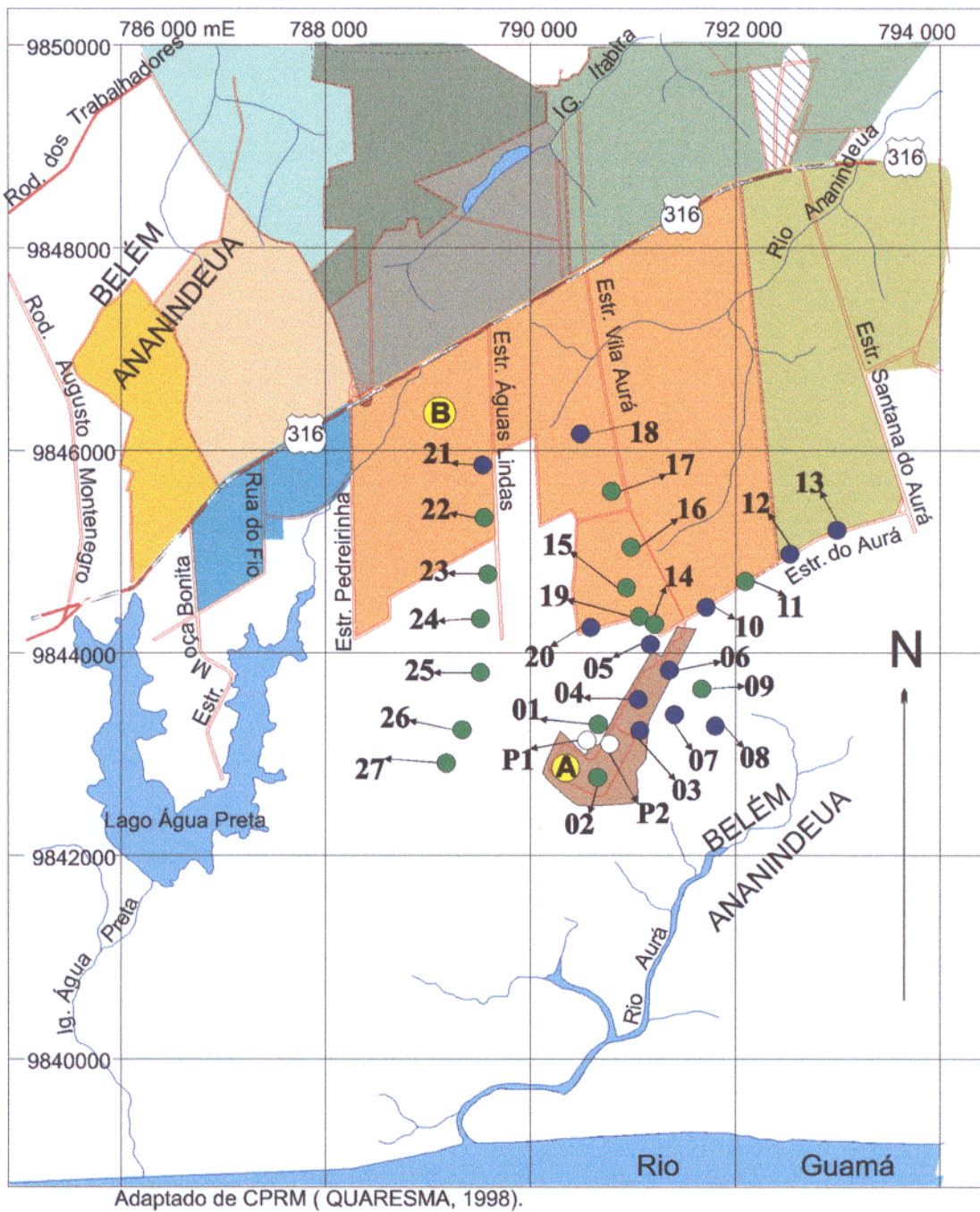


Figura 34 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Cd no Horizonte A.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento < 40
- Pontos com Fatores de Enriquecimento ≥ 40

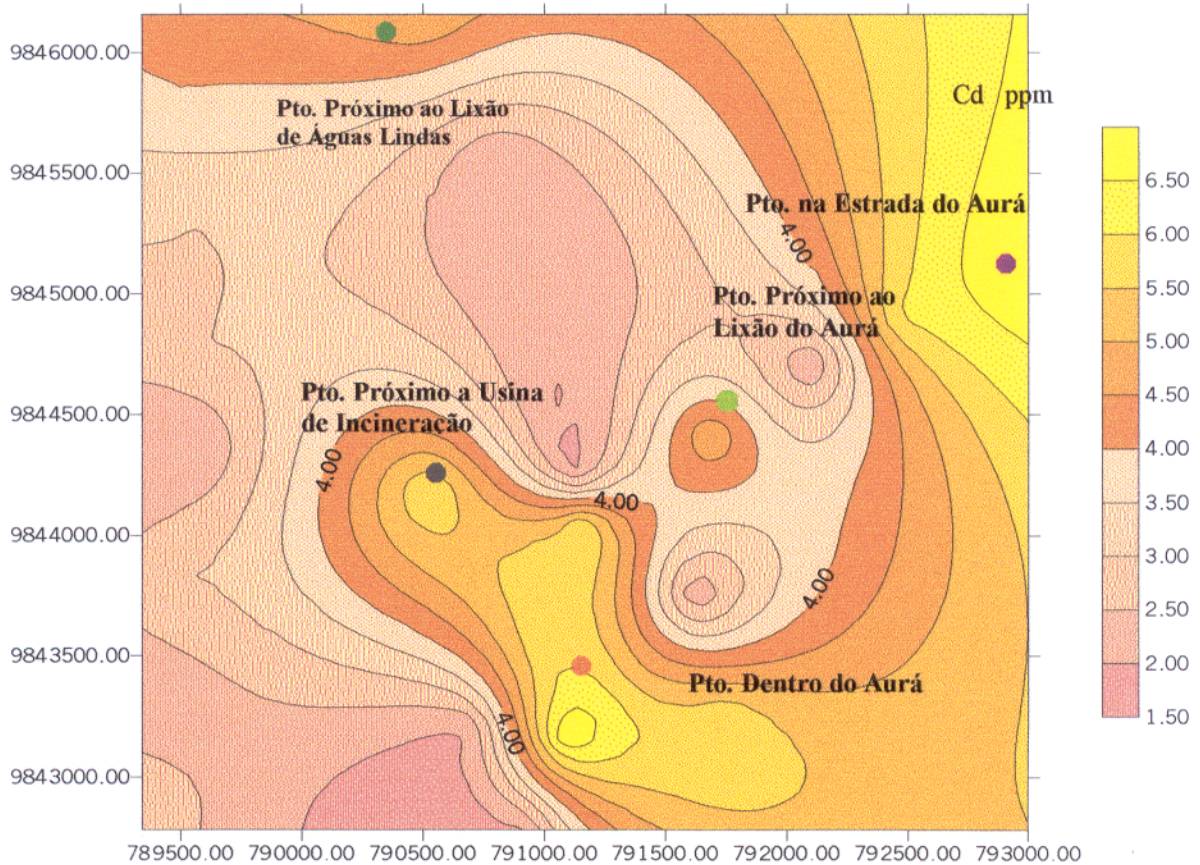


Figura 35 – Mapa de isotores do Cd no horizonte A. Notar as áreas anômalas coincidentes com atividades antropogênicas.

Níquel

O níquel é um metal branco prateado, duro, resistente e pouco sensível à corrosão, que se funde a 1.450°C . Encontra-se em estados de oxidação entre 1^{-} a 4^{+} , sendo 2^{+} seu estado mais comum; provêm de sulfetos como a pentlandita, calcopirita e a pirrotita e de minérios silicatados como a garnierita. As propriedades físicas do níquel como resistência à corrosão, alta resistência e durabilidade sobre uma ampla série de temperatura e eletricidade e a habilidade de se ligar a outros metais na formação de ligas são as principais vantagens em quase todos os usos deste metal (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Mais de 75% do níquel produzido é consumido na produção de ligas metálicas, compondo mais de 3.000 diferentes tipos de ligas. É usado em manufatura de vagões, indústria química, incluindo a manufatura de fertilizantes e maquinaria para processamento de alimentos, refinaria

de petróleo, arquitetura, maquinaria pesada, componentes magnéticos e equipamentos elétricos. Pode ser também usado em fitas magnéticas, corantes de tintas, plásticos acrílicos, moedas, latão para leite, talheres, ouro branco, cadinhos, baterias recarregáveis e catalisadores para polimerização (Mance, 1990).

As emissões globais de níquel antropogênico estão principalmente relacionadas com a produção primária de metais a saber: cobre, chumbo, zinco e níquel, além da produção secundária de metais, produção Ferro- aço, aplicação industrial, combustão do carvão, óleo, gasolina, madeira, incineração do lixo e a produção de fertilizantes com fósforo (Mance, 1990).

De todos os compostos de níquel, o mais tóxico é o níquel carbonílico, criado pela sua reação com o monóxido de carbono. O níquel elementar é altamente ativo na superfície e assim adere às partículas do ar, podendo constituir uma maior fonte de níquel para a população urbana. É um potente carcinogênico no trato respiratório (pulmonar, nasal e laringe). Seu efeito adverso mais freqüente no homem é a dermatite. O Ni^{2+} forma complexos estáveis com ligantes orgânicos e inorgânicos (Mance, 1990).

O total de níquel contido nos solos está dentro de um largo limite (0,1 a 1520 ppm). O limite estabelecido pela comunidade Européia para o Ni em solos é de 30 a 75 ppm (Calmano & Förstner, 1996). O mais alto e o mais baixo limite estão na escala de traços (em diferentes tipos de solo e de diversos climas). Estas variações ocorrem: a) em relação às rochas que formam os solos e conseqüentemente aos diversos tipos de clima, b) em relação ao maior clima e zonas ecológicas (Yaron et al., 1996).

Na área estudada o Ni apresenta-se com valor de enriquecimento médio de 3,6 no horizonte A, considerando-se um valor de *background* de 4 ppm. Em todas os pontos coletados esse elemento encontra-se enriquecido, como mostra a Figura 36, sendo que em 13 dos 27 pontos amostrados, esse elemento apresenta valores > 14 ppm, valores muito baixos, considerando-se os valores máximos admitidos para solos pela Comunidade Européia. Nesse horizonte 3 áreas anômalas foram detectadas (Figura 31), estas áreas anômalas, coincidentemente com os demais metais estudados estão intimamente relacionadas a atividades antropogênicas relacionadas á disposição de resíduos na área.

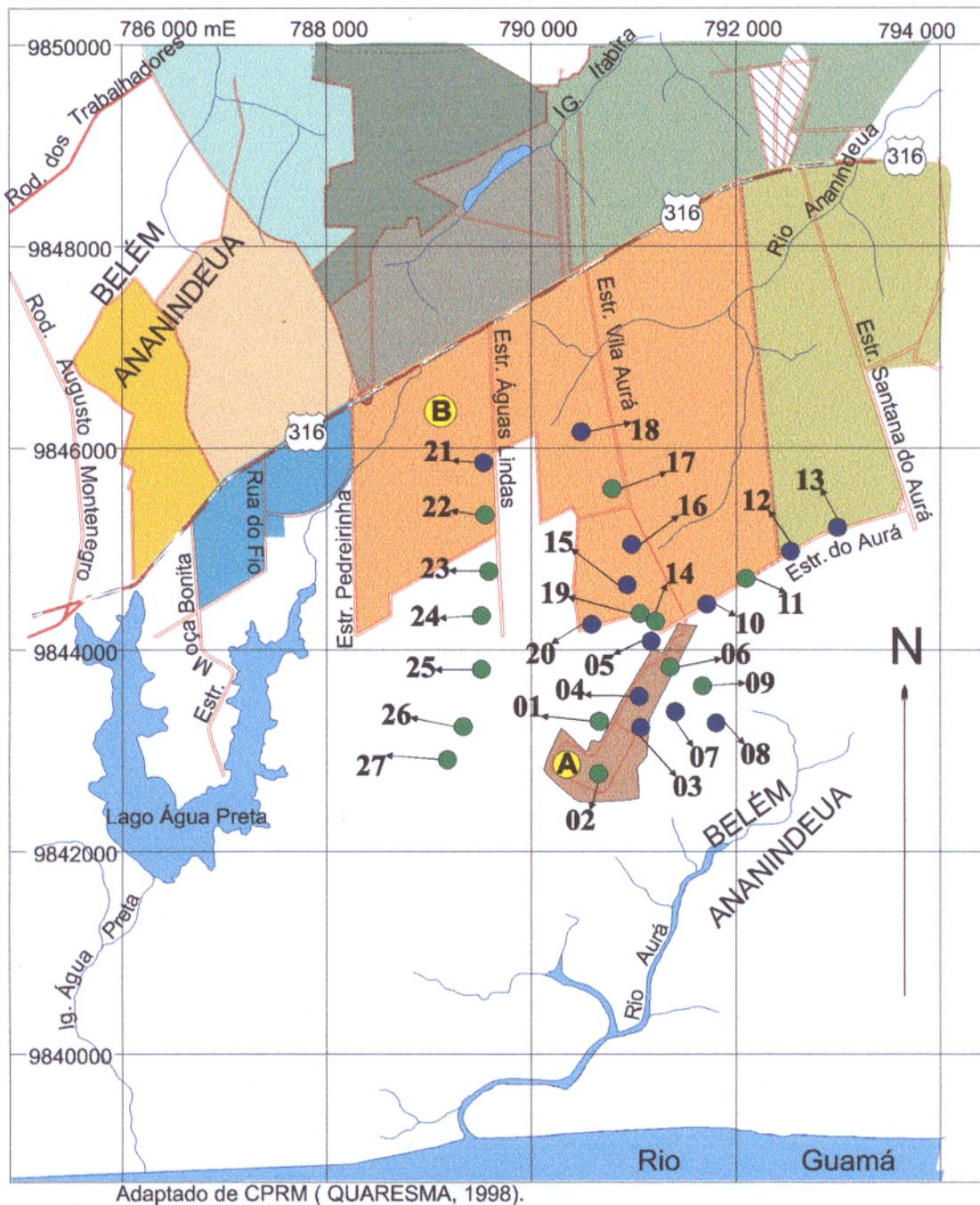


Figura 36 – Mapa de mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Ni no Horizonte A.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento $< 3,8$
- Pontos com Fatores de Enriquecimento $\geq 3,8$

No horizonte B todas as amostra encontram-se, semelhantemente ao horizonte A, com valores acima do normal para arenitos (2 ppm), possuindo um fator de enriquecimento médio de 3,2 vezes, mostrando claramente três área anômalas (Figura 39), a primeira anomalia se localiza próximo ao “lixão” de Águas Lindas, a segunda atrás do “lixão” do Aurá no ponto AU-09- B e a terceira está próxima ao “lixão” de Águas Lindas coincidindo assim com as anomalias causadas por fontes antropogênicas discutidas anteriormente.

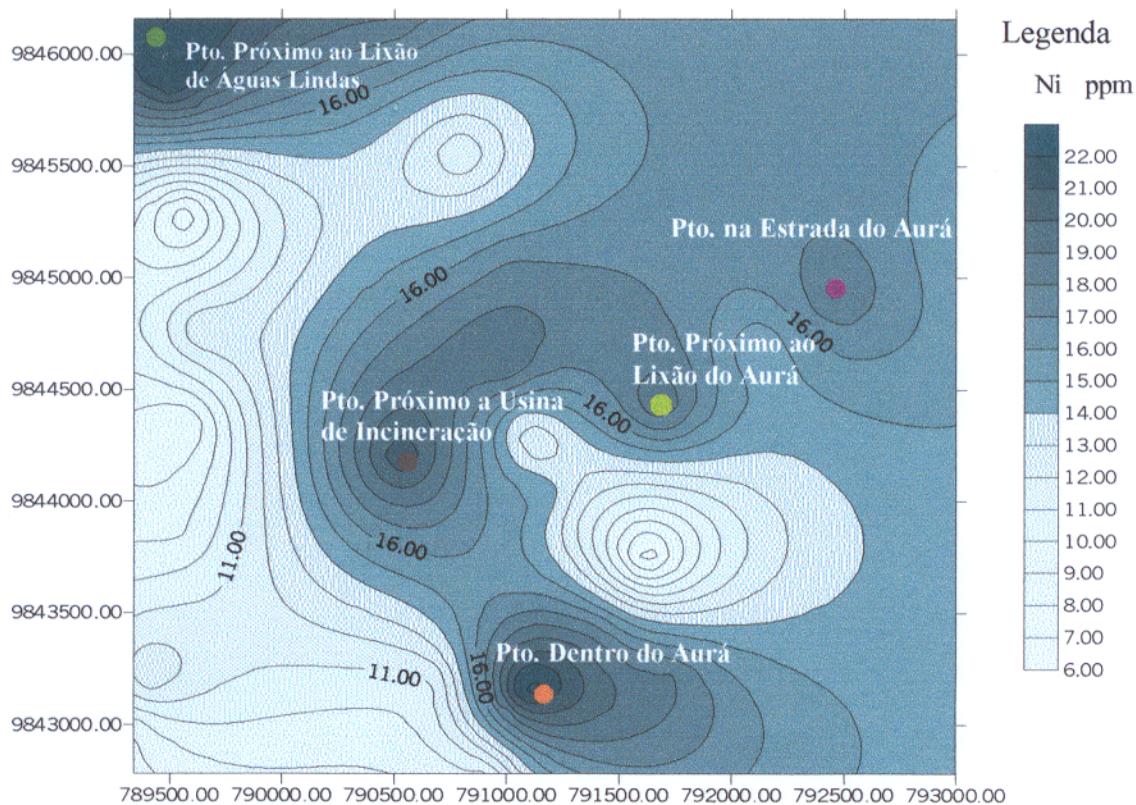


Figura 37 – Mapa de isotores de Ni no horizonte A. Notar as áreas de maior concentração e sua coincidência com atividades antropogênicas.

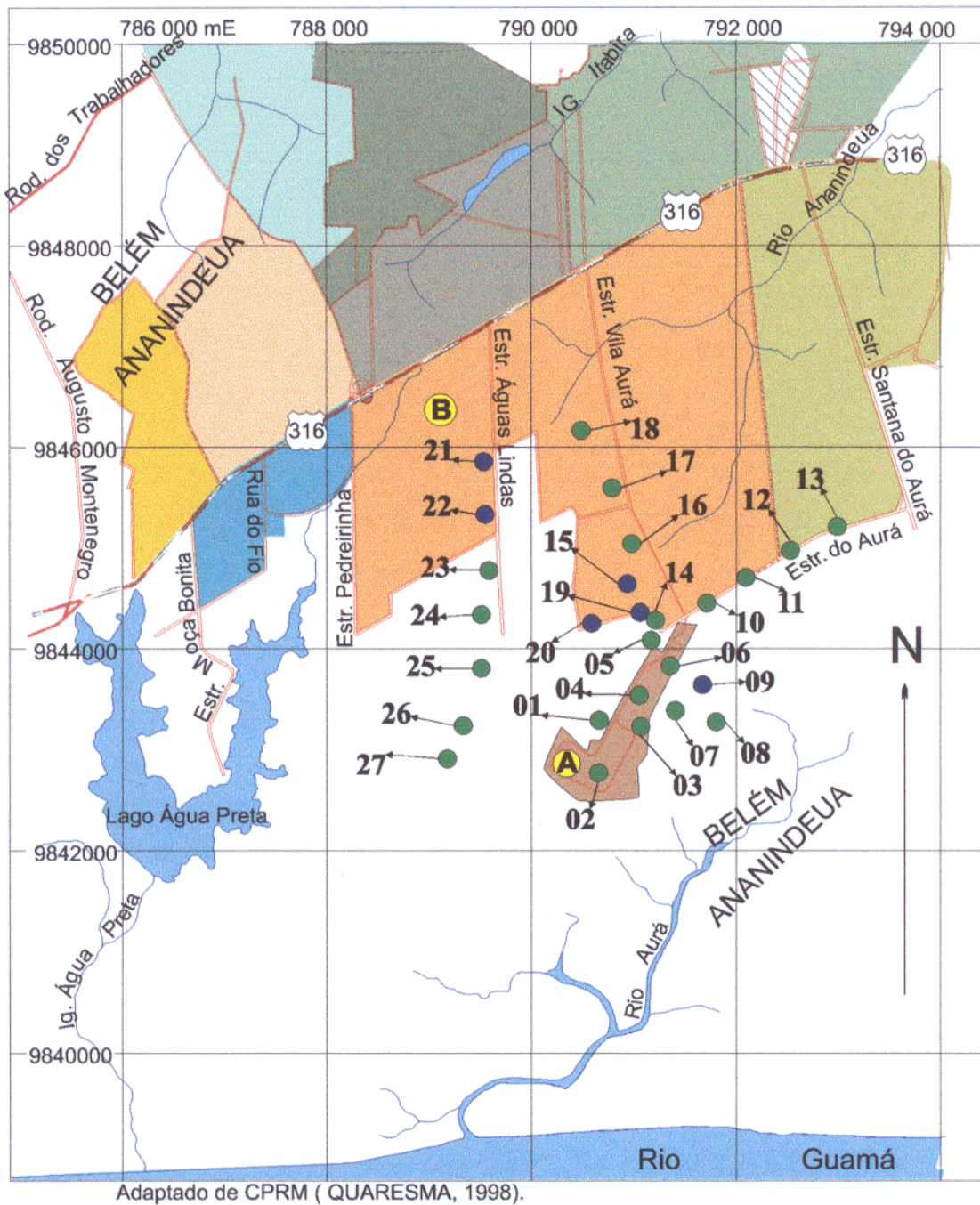


Figura 38 – Mapa mostrando a distribuição do fator de enriquecimento do Ni no Horizonte B.

Legenda:

- Pontos com Fatores de Enriquecimento < 3,8
- Pontos com Fatores de Enriquecimento ≥ 3,8

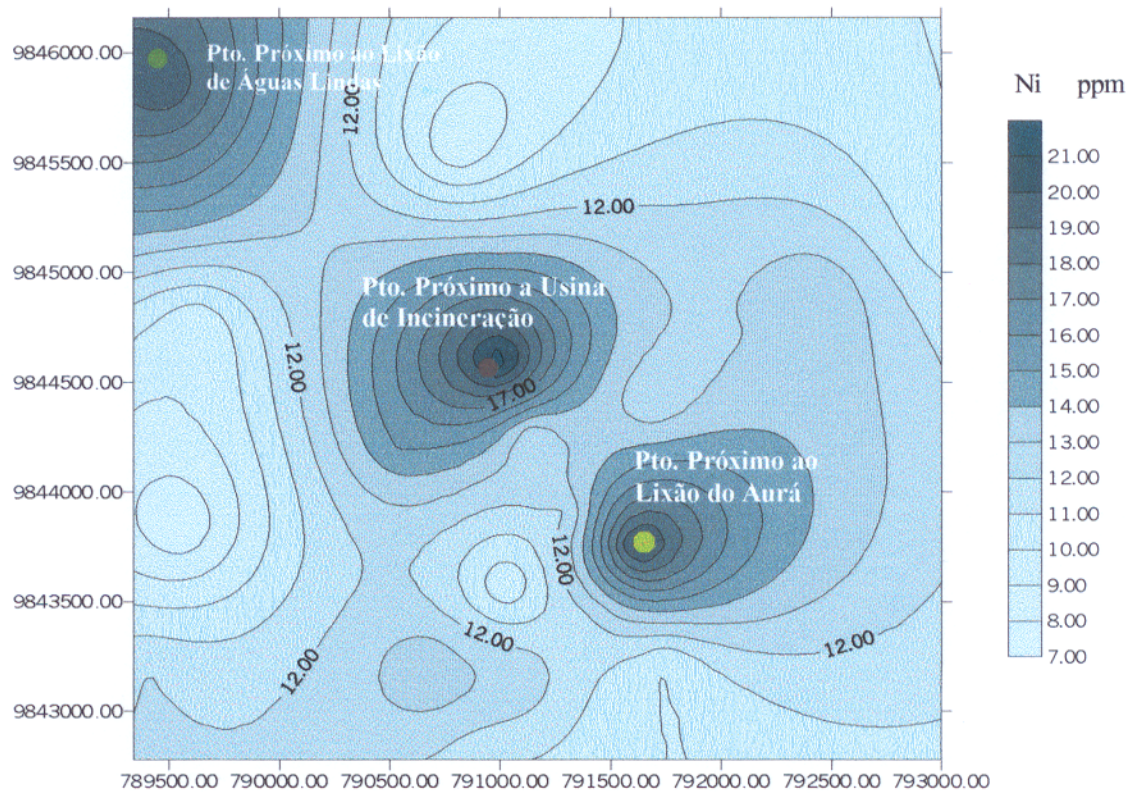


Figura 39 – Mapa de isoteor de Ni no horizonte B. Notar a coincidência parcial com o horizonte A e áreas de atividade antropogênica.

10. CONCLUSÃO

Os solos na vizinhança do “lixão” do Aurá estão enriquecidos em metais pesados por processos tipicamente antropogênicos. A contaminação origina-se em fontes pontuais, em consequência principalmente da disposição de resíduos domésticos e industriais, e, atividades relacionadas ao reaproveitamento dos resíduos em pequenas “fabriquetas” de reciclagem de metais.

Naquela região, a utilização do solo para agricultura familiar, representa um enorme risco para a saúde pública, uma vez que os teores de metais nos solos são relativamente elevados. Em particular o Cd, por sua enorme toxidez e elevado fator de enriquecimento médio (37,7 vezes), é extremamente perigoso. É sabido que esse elemento, quando ingerido por mamíferos, produz um envenenamento crônico e progressivo. Devido a sua bioacumulação e de possuir meia vida de 10 a 30 anos, sua ingestão mesmo em de pequenas quantidades, por longo período, pode levar à morte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, L. A. 1988. **Curso básico de toxicologia ambiental**. México, Ed. Limusa. 311p.
- ALLAWAY, W. H. 1974. Interactions of trace elements. **Geochemistry and environment Washington Nacional Academy of Sciences 2: 111-115.**
- ARAÍ, M; TRUCKENBRODT, W.H.W.; NOGUEIRA, A.C.R.; GÓES, A.M. 1994. Novos dados sobre estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. IN: SIMP. GEOL. AMAZ., 4, Belém. **Boletim de Resumos**. p. 185-187.
- AUBERT, H. & PINTA, M. 1997. **Trace elements in soils**. Amsterdam-Netherlands, Elsevier Scientific Publishin Company. 395p.
- BARROS, H. L. C. 1992. **Química inorgânica: uma introdução**. Ouro Preto. UFOP. p. 450-463.
- BRASIL. Conselho Interministerial do Programa Grande Carajás. 1982. **Programa Grande Carajás, aspectos físicos, demográficos e fundiários**. Rio de Janeiro.
- CALMANO, W. & FÖRSTNER, U. 1996. **Sediments and toxic substances: environmental effects and ecotoxicity**. Berlin Heidelberg, Sptinger Verlag. 335p.
- COTTON, F. A. & WILKINSON, G. 1980. **Advanced inorganic chemistry**. New York, Wiley. 314p.
- DUARTE, R. de G. 1977. Coleta e tratamento de resíduos líquidos de pequenas comunidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 9., Belo Horizonte. Belo Horizonte. **Anais**. SBES. p. 72-77.

- FERNANDES, J.M.G. 1984. Paleoeologia da formação Pirabas, Estado do Pará. IN: CONG. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro. **Anais. SBG. V.1, p. 330-340.**
- FERREIRA, M. 1982. **Relatório de Estágio de Campo III: Área Belém/Outeiro.** Belém, Universidade Federal do Pará. UFPA. Centro de Geociências. Departamento de Geologia. Vol. 01, 247 p. (Relatório Interno).
- FIGUEIREDO, E. M. 1990. Concentrações anômalas de metais pesados nas águas de alguns poços de Natal. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal. **Anais. CDM. V. 2, p. 807-815.**
- FOLK, R.L. 1974. **Petrology of sedimentary rocks.** Austin, Hemphill Publishing. 184p.
- FÖRSTNER, U. 1995. **Umweltschutz Technik.** Berlin Heidelberg-New York, Sptinger Verlag. 572p.
- FÖRSTNER, W. & WITTMANN, G. T. W. 1983. **Metal pollution in the aquatic enviroment.** Berlin. Springer-Verlag. 486p.
- GÓES, A. M.; ROSSETI, D. F.; NOGUEIRA, A.C.R.; TOLEDO, P.M. 1990. Modelo Depositional Preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. **Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi-Série Ciências da Terra., 2: 3-15.**
- GROSSI, M. G. de L. 1989. **Avaliação do nível de concentração de alguns metais pesados em resíduos ou produtos resultantes da disposição ou tratamento de resíduo sólido municipal.** São Paulo, Universidade de São Paulo. Instituto de Química. 123p. (Dissertação de Mestrado).
- HEM, J. D. 1985. **Study and interpretation of chemical characteristics of natural water.** U. Washington, V.S. Governente Printing Office, S. Geology Survey Watersupply, (Paper 2254).

- HUNT, C.B. 1972. **Geology of soils: their evolution, classification and uses**. San Francisco, W. H. Freeman and Company. 344p.
- HUTZINGER, O. 1980. **The handbook of environmental chemistry**. Berlin, Springer – Verlag. V. 1, part. A, 280 p.; v.3, part. A, 274 p.
- KABATA-PENDIAS, A. 1995. Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. In: SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U.; MADER, P. (eds). **Heavy Metal: problems and solutions**. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. p 3-18.
- LEWANDOWSKI, J.; LEITSCHU, S.; KOß, V. 1997. **Eine Einführung in Analytik und Bewertung**. Berlin. Springer Verlag. 339p.
- LIMA, L. M. Q. 1997. **Projeto de tratamento de resíduos sólidos**. Belém, SESAN-PA.
- LOURIA, D. B. 1984. Envenenamento por metais traços. IN: WINGAARDEN J. B., M.D. **Tratado de Medicina Interna**. 16.ed. Interamericana. p. 2251-2260.
- MANCE, G. 1990. **Pollution threat of heavy metals in aquatic environments**. New York, Elsevier applied science. 372p.
- MAURY, C. J. 1925. **Fósseis Terciários do Brasil, com descrições de novas formações cretáceas**. Rio de Janeiro. Serviço de Geologia e Mineralogia do Brasil. 35p. (Mon. Div. Geol. e Min., 4).
- McBRIDE, M.B. 1981. Long-term reactions of copper (II) in a contaminated calcareous soil. IN: LONGMAN, J.F.; ROBSON, A.D.; GRAHAM, R.D. (eds). **Copper in soils and plants**. New York, Academic Press. p.25-45.

- McBRIDE, M.B. & BOULDIN, D. R. 1984. Long-term reactions of copper (II) in a contaminated calcareous soil. **Soil Sci. Soc. Am J** 48: 56-59.
- McLAREN, R.G. & CRAWFORD, B.V. 1973. Studies on soil copper I. The formation of copper in soils. **Jour. Soil Sci.** 24:172-180.
- MELLOR, J. W. 1967. **Química Inorgânica Moderna**. Porto Alegre, Globo. 528p.
- MOORE, J. W. & RAMAMOORTHY, S. 1984. **Heavy metals in natural waters**. New York, Springer-Verlag. 265p.
- MOREIRA, E. 1996. **Belém e sua expressão geográfica**. Belém, Imprensa universitária. 212p.
- OLIVEIRA, A. H. P. 1996. **Metais Pesados nos Arredores de Depósitos de Lixo Belém-Pará**. Belém, Universidade federal do Pará. Centro de Geociências. 111p. (Dissertação de Mestrado).
- PERUZZO, T. M. & CANTO, E. L. do. 1993. **Química: na abordagem do cotidiano**. São Paulo, Moderna. V. 1, 472p.
- PETRI, S. 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. SP. **Bol. Fac. Ciênc. Letr. Universidade de São Paulo**. 216: 79.
- PINHEIRO, R. V. L. 1987. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (PA)**. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 164p. (Dissertação de Mestrado).
- QUARESMA, J. B. 1998. Diagnóstico para o tratamento de resíduos sólidos da cidade de Ananindeua: In CPRM-projeto: **Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e adjacências**. Belém. (Relatório Técnico-formato digital).

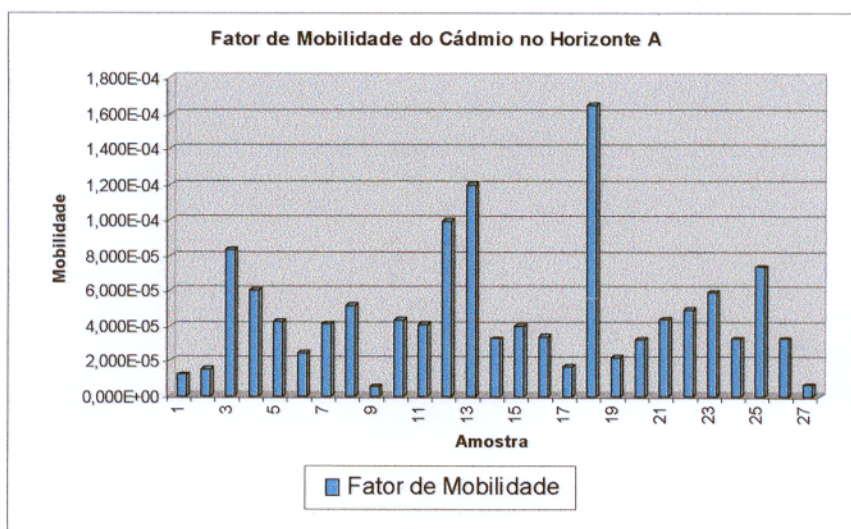
- RIBEIRO, R. F. 1979. **Um estudo sobre os metais pesados nos sedimentos recentes da Bala de Aratu (BA).** Bahia, Universidade Federal da Bahia. 84p. (Dissertação de Mestrado).
- RIBEIRO, H.M.C. 1992. **Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos Lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém- Pa).** 205p. (Dissertação de Mestrado).
- ROSSETI, D.F.; GÓES, A.M; TRUCKENBRODT, W.H.W. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, NE do Estado do Pará. **Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi-Série Ciências da Terra.** Belém, 1: 25-74.
- ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W.H.W. 1990. A Influência Marinha dos Sedimentos Barreiras. **Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi-Série Ciências da Terra,** 2:17-29.
- ROUSSEAU, P.; CASTILHOS, Jr., A. B. de; VERMANDE, P.; NAVARRO, A. 1989. Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. IN: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15, Belém. **Anais.** Belém, ABES. V. 2, p. 509-522.
- SALOMONS, W. & FORSTNER, U. 1984. **Metals in the Hydrocycle.** Berlin, Springer-Verlag Heidelberg. 349 p.
- SAUMA FILHO, M. 1996. **As águas subterrâneas de Belém e adjacências: Influência da Formação Pirabas e Parâmetros Físico-Químicos para Medidas de Qualidade.** Belém. Universidade Federal do Pará. 250p. (Dissertação de Mestrado).

- SILVA, E.P.S. 1999. **Caracterização mineralógica e química de solos próximos a depósitos de lixo no município de Ananindeua-PA**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- TANCREDI, A. C. F. N. S.; REIS, C. N. dos; SERRA, C. H.; TUMA, S.; LOBATO, J.R.B. 1980. **Projeto Reconhecimento dos Recursos Naturais da Região Metropolitana de Belém**. Belém, IDESP. 9p.
- TURENKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. 1961. Distribution of element on some major units of the earth's crust. **Bull. Geol. Soc. Am.** 72: 175-192.
- URE, A. M. & BERROUW, M. L. 1982. The chemical constituents in soils. In: BOWEN, H.J.M. (ed) **Environmental chemistry**. London, Royal chemical society.
- VIEIRA, L. S. 1975. **Manual da ciência do solo**. São Paulo, Agronômica Ceres. 464p.
- VIEIRA, L. S. & SANTOS, P. C. T. C. dos 1987. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo, Agronômica Ceres. 416p.
- YARON, B.; CALVET, R.; PROST, R. 1996. **Soil Pollution-Processes and Dynamics**. Berlin, Spriger Verlag. 333p.

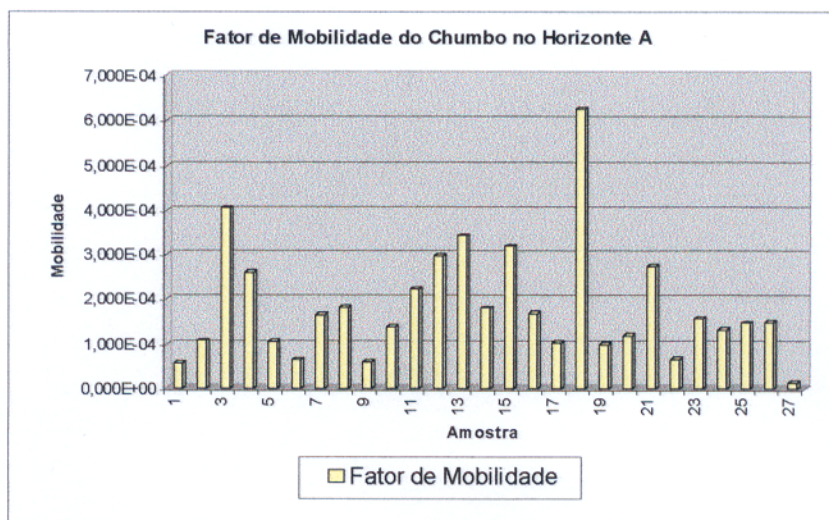
ANEXOS

ANEXO II - Tabelas e Histogramas dos fatores de mobilidade dos metais estudados no horizonte A.

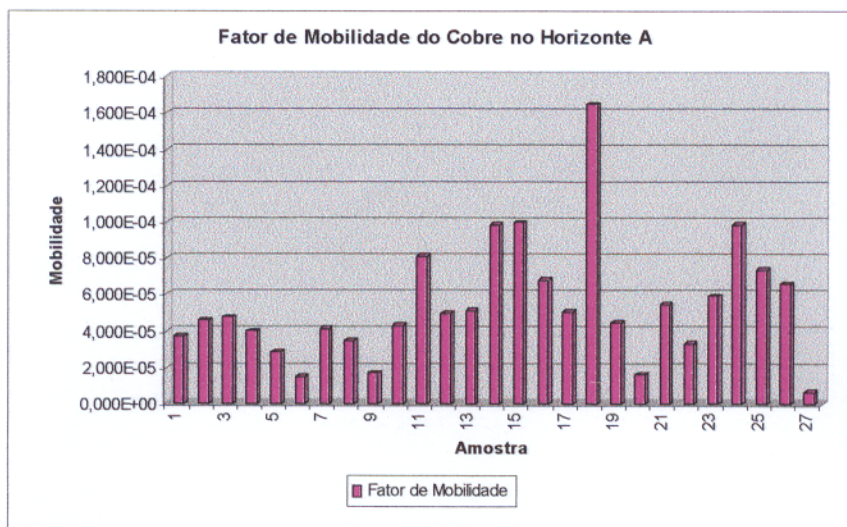
Fator de Mobilidade do Cádmiio no Horizonte A			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - A	2	162.858	0,00001228
02 - A	2	130.718	0,00001530
03 - A	7	84.104	0,00008323
04 - A	6	100.010	0,00005999
05 - A	6	141.093	0,00004253
06 - A	5	202.622	0,00002468
07 - A	5	121.176	0,00004126
08 - A	6	115.777	0,00005182
09 - A	2	357.825	0,00000559
10 - A	5	116.195	0,00004303
11 - A	2	49.399	0,00004049
12 - A	6	60.367	0,00009939
13 - A	7	58.598	0,00011946
14 - A	2	61.047	0,00003276
15 - A	2	50.261	0,00003979
16 - A	2	59.256	0,00003375
17 - A	2	118.605	0,00001686
18 - A	5	30.348	0,00016476
19 - A	2	90.202	0,00002217
20 - A	6	186.849	0,00003211
21 - A	4	91.480	0,00004373
22 - A	3	60.883	0,00004927
23 - A	3	50.949	0,00005888
24 - A	2	61.041	0,00003276
25 - A	3	40.776	0,00007357
26 - A	2	61.047	0,00003276
27 - A	3	477.823	0,00000628



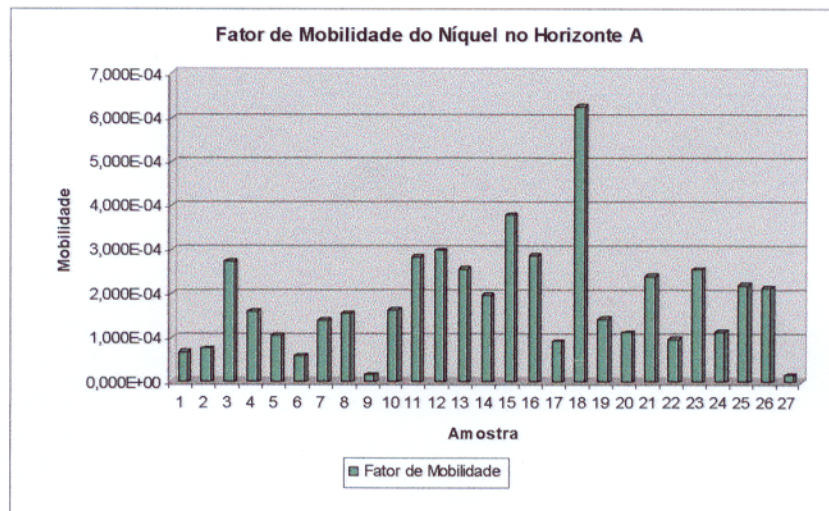
Fator de Mobilidade do Chumbo no Horizonte A			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - A	9	162.858	0,00005526
02 - A	14	130.718	0,00010710
03 - A	34	84.104	0,00040426
04 - A	26	100.010	0,00025997
05 - A	15	141.093	0,00010631
06 - A	13	202.622	0,00006416
07 - A	20	121.176	0,00016505
08 - A	21	115.777	0,00018138
09 - A	21	357.825	0,00005869
10 - A	16	116.195	0,00013770
11 - A	11	49.399	0,00022268
12 - A	18	60.367	0,00029818
13 - A	20	58.598	0,00034131
14 - A	11	61.047	0,00018019
15 - A	16	50.261	0,00031834
16 - A	10	59.256	0,00016876
17 - A	12	118.605	0,00010118
18 - A	19	30.348	0,00062607
19 - A	9	90.202	0,00009978
20 - A	22	186.849	0,00011774
21 - A	25	91.480	0,00027328
22 - A	4	60.883	0,00006570
23 - A	8	50.949	0,00015702
24 - A	8	61.041	0,00013106
25 - A	6	40.776	0,00014715
26 - A	9	61.047	0,00014743
27 - A	6	477.823	0,00001256



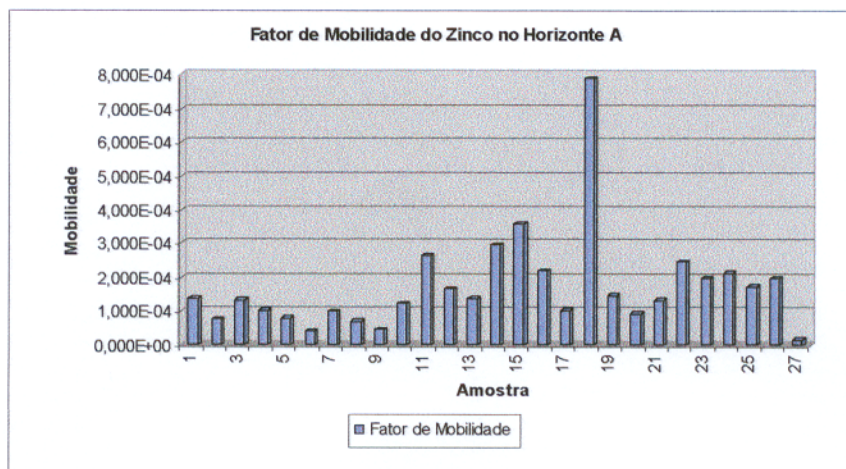
Fator de Mobilidade do Cobre no Horizonte A			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - A	6	162.858	0,00003684
02 - A	6	130.718	0,00004590
03 - A	4	84.104	0,00004756
04 - A	4	100.010	0,00004000
05 - A	4	141.093	0,00002835
06 - A	3	202.622	0,00001481
07 - A	5	121.176	0,00004126
08 - A	4	115.777	0,00003455
09 - A	6	357.825	0,00001677
10 - A	5	116.195	0,00004303
11 - A	4	49.399	0,00008097
12 - A	3	60.367	0,00004970
13 - A	3	58.598	0,00005120
14 - A	6	61.047	0,00009828
15 - A	5	50.261	0,00009948
16 - A	4	59.256	0,00006750
17 - A	6	118.605	0,00005059
18 - A	5	30.348	0,00016476
19 - A	4	90.202	0,00004434
20 - A	3	186.849	0,00001606
21 - A	5	91.480	0,00005466
22 - A	2	60.883	0,00003285
23 - A	3	0.949	0,00005888
24 - A	6	61.041	0,00009829
25 - A	3	40.776	0,00007357
26 - A	4	61.047	0,00006552
27 - A	3	477.823	0,00000628



Fator de Mobilidade do Níquel no Horizonte A			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - A	11	162.858	0,00006754
02 - A	10	130.718	0,00007650
03 - A	23	84.104	0,00027347
04 - A	16	100.010	0,00015998
05 - A	15	141.093	0,00010631
06 - A	12	202.622	0,00005922
07 - A	17	121.176	0,00014029
08 - A	18	115.777	0,00015547
09 - A	6	357.825	0,00001677
10 - A	19	116.195	0,00016352
11 - A	14	49.399	0,00028341
12 - A	18	60.367	0,00029818
13 - A	15	58.598	0,00025598
14 - A	12	61.047	0,00019657
15 - A	19	50.261	0,00037803
16 - A	17	59.256	0,00028689
17 - A	11	118.605	0,00009274
18 - A	19	30.348	0,00062607
19 - A	13	90.202	0,00014412
20 - A	21	186.849	0,00011239
21 - A	22	91.480	0,00024049
22 - A	6	60.883	0,00009855
23 - A	13	0.949	0,00025516
24 - A	7	61.041	0,00011468
25 - A	9	40.776	0,00022072
26 - A	13	61.047	0,00021295
27 - A	8	477.823	0,00001674

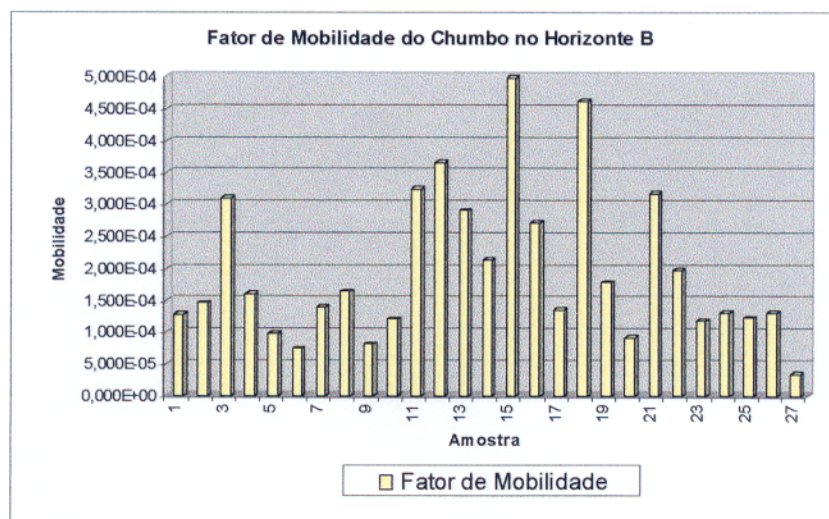


Fator de Mobilidade do Zinco no Horizonte A			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - A	22	162.858	0,00013509
02 - A	10	130.718	0,00007650
03 - A	11	84.104	0,00013079
04 - A	10	100.010	0,00009999
05 - A	11	141.093	0,00007796
06 - A	8	202.622	0,00003948
07 - A	12	121.176	0,00009903
08 - A	8	115.777	0,00006910
09 - A	16	357.825	0,00004471
10 - A	14	116.195	0,00012049
11 - A	13	49.399	0,00026316
12 - A	10	60.367	0,00016565
13 - A	8	58.598	0,00013652
14 - A	18	61.047	0,00029485
15 - A	18	50.261	0,00035813
16 - A	13	59.256	0,00021939
17 - A	12	118.605	0,00010118
18 - A	24	30.348	0,00079083
19 - A	13	90.202	0,00014412
20 - A	17	186.849	0,00009098
21 - A	12	91.480	0,00013118
22 - A	15	60.883	0,00024637
23 - A	10	50.949	0,00019627
24 - A	13	61.041	0,00021297
25 - A	7	40.776	0,00017167
26 - A	12	61.047	0,00019657
27 - A	8	477.823	0,00001674

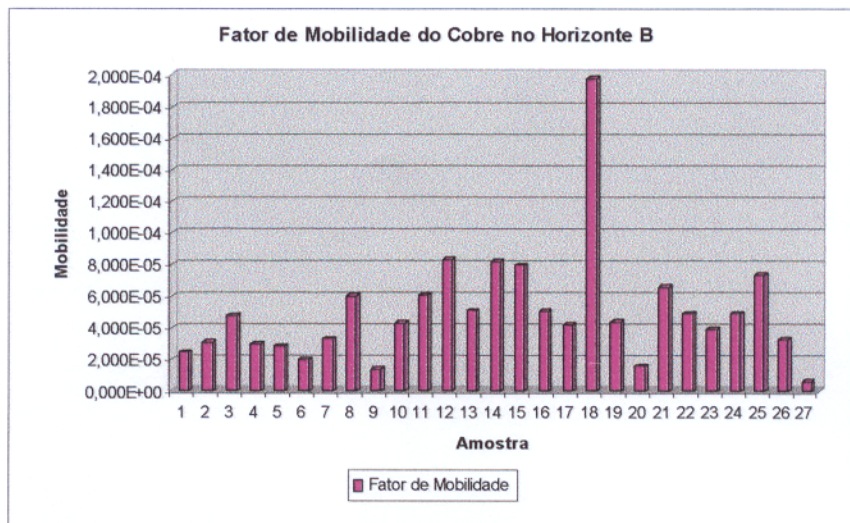


ANEXO III- Tabelas e Histogramas dos fatores de mobilidade dos metais estudados no horizonte B.

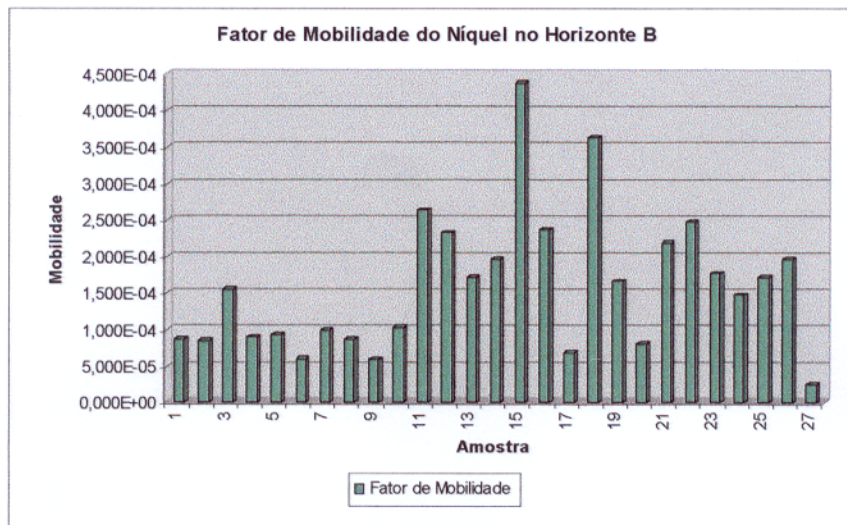
Fator de Mobilidade do Chumbo no Horizonte B			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - B	21	162.858	0,00012895
02 - B	19	130.718	0,00014535
03 - B	26	84.104	0,00030914
04 - B	16	100.010	0,00015998
05 - B	14	141.093	0,00009923
06 - B	15	202.622	0,00007403
07 - B	17	121.176	0,00014029
08 - B	19	115.777	0,00016411
09 - B	29	357.825	0,00008105
10 - B	14	116.195	0,00012049
11 - B	16	49.399	0,00032389
12 - B	22	60.367	0,00036444
13 - B	17	58.598	0,00029011
14 - B	13	61.047	0,00021295
15 - B	25	50.261	0,00049740
16 - B	16	59.256	0,00027001
17 - B	16	118.605	0,00013490
18 - B	14	30.348	0,00046132
19 - B	16	90.202	0,00017738
20 - B	17	186.849	0,00009098
21 - B	29	91.480	0,00031701
22 - B	12	60.883	0,00019710
23 - B	6	50.949	0,00011776
24 - B	8	61.041	0,00013106
25 - B	5	40.776	0,00012262
26 - B	8	61.047	0,00013105
27 - B	16	477.823	0,00003349



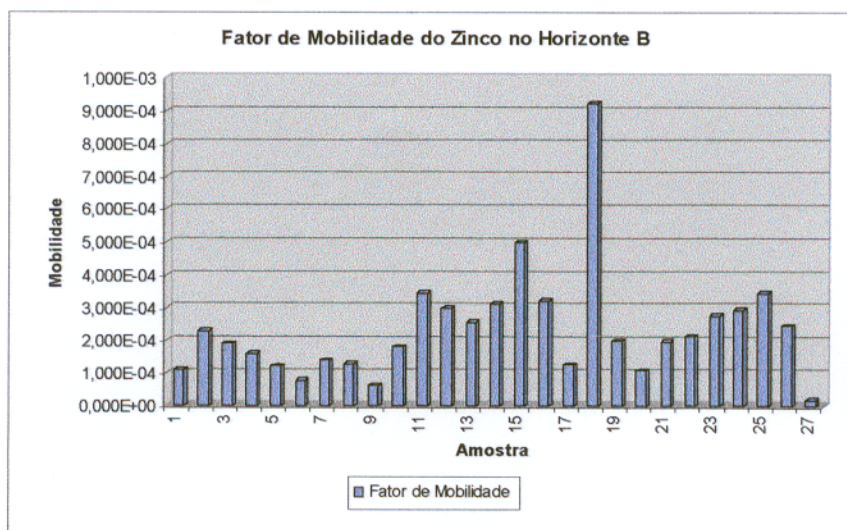
Fator de Mobilidade do Cobre no Horizonte B			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - B	4	162.858	0,00002456
02 - B	4	130.718	0,00003060
03 - B	4	84.104	0,00004756
04 - B	3	100.010	0,00003000
05 - B	4	141.093	0,00002835
06 - B	4	202.622	0,00001974
07 - B	4	121.176	0,00003301
08 - B	7	115.777	0,00006046
09 - B	5	357.825	0,00001397
10 - B	5	116.195	0,00004303
11 - B	3	49.399	0,00006073
12 - B	5	60.367	0,00008283
13 - B	3	58.598	0,00005120
14 - B	5	61.047	0,00008190
15 - B	4	50.261	0,00007958
16 - B	3	59.256	0,00005063
17 - B	5	118.605	0,00004216
18 - B	6	30.348	0,00019771
19 - B	4	90.202	0,00004434
20 - B	3	186.849	0,00001606
21 - B	6	91.480	0,00006559
22 - B	3	60.883	0,00004927
23 - B	2	50.949	0,00003925
24 - B	3	61.041	0,00004915
25 - B	3	40.776	0,00007357
26 - B	2	61.047	0,00003276
27 - B	3	477.823	0,00000628



Fator de Mobilidade do Níquel no Horizonte B			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - B	14	162.858	0,00008596
02 - B	11	130.718	0,00008415
03 - B	13	84.104	0,00015457
04 - B	9	100.010	0,00008999
05 - B	13	141.093	0,00009214
06 - B	12	202.622	0,00005922
07 - B	12	121.176	0,00009903
08 - B	10	115.777	0,00008637
09 - B	21	357.825	0,00005869
10 - B	12	116.195	0,00010327
11 - B	13	49.399	0,00026316
12 - B	14	60.367	0,00023191
13 - B	10	58.598	0,00017065
14 - B	12	61.047	0,00019657
15 - B	22	50.261	0,00043772
16 - B	14	59.256	0,00023626
17 - B	8	118.605	0,00006745
18 - B	11	30.348	0,00036246
19 - B	15	90.202	0,00016629
20 - B	15	186.849	0,00008028
21 - B	20	91.480	0,00021863
22 - B	15	60.883	0,00024637
23 - B	9	50.949	0,00017665
24 - B	9	61.041	0,00014744
25 - B	7	40.776	0,00017167
26 - B	12	61.047	0,00019657
27 - B	12	477.823	0,00002511

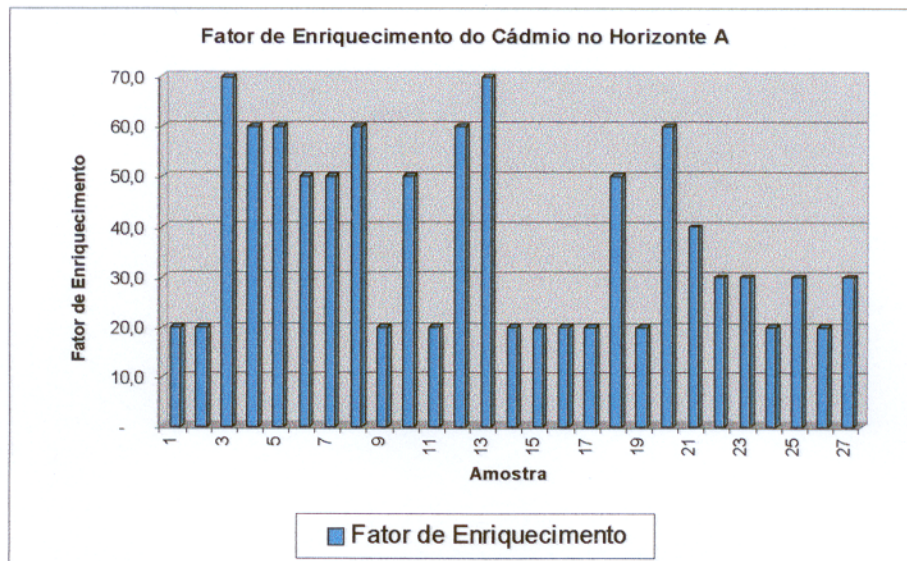


Fator de Mobilidade do Zinco no Horizonte B			
Amostra	Concentração	Concentração de Al	Fator de Mobilidade
01 - B	18	162.858	0,00011053
02 - B	30	130.718	0,00022950
03 - B	16	84.104	0,00019024
04 - B	16	100.010	0,00015998
05 - B	17	141.093	0,00012049
06 - B	16	202.622	0,00007896
07 - B	17	121.176	0,00014029
08 - B	15	115.777	0,00012956
09 - B	22	357.825	0,00006148
10 - B	21	116.195	0,00018073
11 - B	17	49.399	0,00034414
12 - B	18	60.367	0,00029818
13 - B	15	58.598	0,00025598
14 - B	19	61.047	0,00031124
15 - B	25	50.261	0,00049740
16 - B	19	59.256	0,00032064
17 - B	15	118.605	0,00012647
18 - B	28	30.348	0,00092263
19 - B	18	90.202	0,00019955
20 - B	20	186.849	0,00010704
21 - B	18	91.480	0,00019676
22 - B	13	60.883	0,00021352
23 - B	14	50.949	0,00027478
24 - B	18	61.041	0,00029488
25 - B	14	40.776	0,00034334
26 - B	15	61.047	0,00024571
27 - B	8	477.823	0,00001674



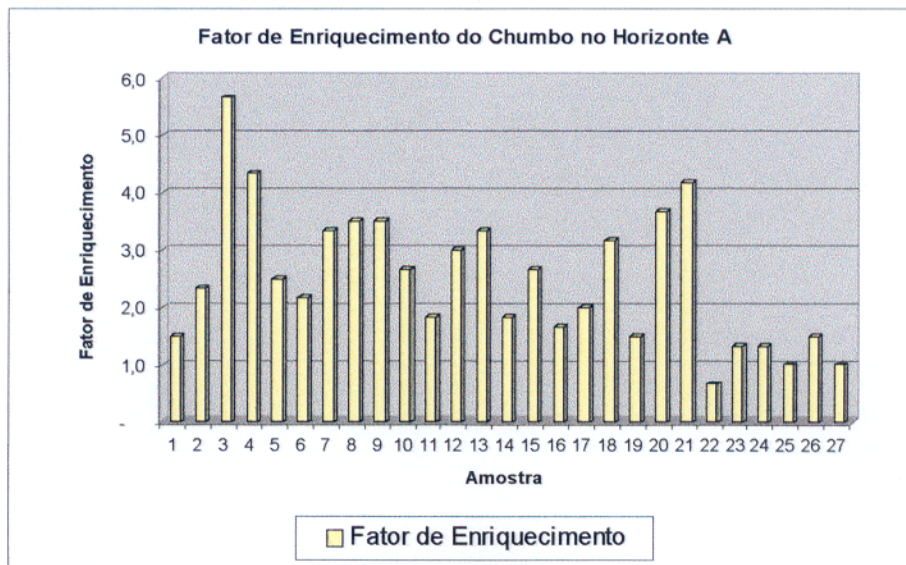
ANEXO IV- Tabelas e Histogramas dos fatores de enriquecimento dos metais estudados no horizonte A.

Fator de Enriquecimento do Cádmio no Horizonte A			
Amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - A	2	0,1	20,0
02 - A	2	0,1	20,0
03 - A	7	0,1	70,0
04 - A	6	0,1	60,0
05 - A	6	0,1	60,0
06 - A	5	0,1	50,0
07 - A	5	0,1	50,0
08 - A	6	0,1	60,0
09 - A	2	0,1	20,0
10 - A	5	0,1	50,0
11 - A	2	0,1	20,0
12 - A	6	0,1	60,0
13 - A	7	0,1	70,0
14 - A	2	0,1	20,0
15 - A	2	0,1	20,0
16 - A	2	0,1	20,0
17 - A	2	0,1	20,0
18 - A	5	0,1	50,0
19 - A	2	0,1	20,0
20 - A	6	0,1	60,0
21 - A	4	0,1	40,0
22 - A	3	0,1	30,0
23 - A	3	0,1	30,0
24 - A	2	0,1	20,0
25 - A	3	0,1	30,0
26 - A	2	0,1	20,0
27 - A	3	0,1	30,0



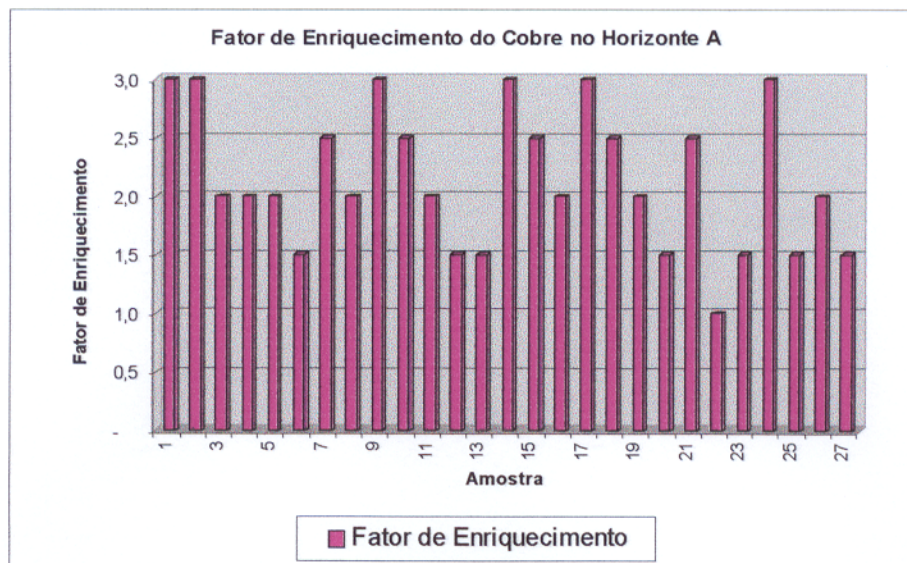
Fator de Enriquecimento do Chumbo no Horizonte A

Amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - A	9	6,0	1,5
02 - A	14	6,0	2,3
03 - A	34	6,0	5,7
04 - A	26	6,0	4,3
05 - A	15	6,0	2,5
06 - A	13	6,0	2,2
07 - A	20	6,0	3,3
08 - A	21	6,0	3,5
09 - A	21	6,0	3,5
10 - A	16	6,0	2,7
11 - A	11	6,0	1,8
12 - A	18	6,0	3,0
13 - A	20	6,0	3,3
14 - A	11	6,0	1,8
15 - A	16	6,0	2,7
16 - A	10	6,0	1,7
17 - A	12	6,0	2,0
18 - A	19	6,0	3,2
19 - A	9	6,0	1,5
20 - A	22	6,0	3,7
21 - A	25	6,0	4,2
22 - A	4	6,0	0,7
23 - A	8	6,0	1,3
24 - A	8	6,0	1,3
25 - A	6	6,0	1,0
26 - A	9	6,0	1,5
27 - A	6	6,0	1,0



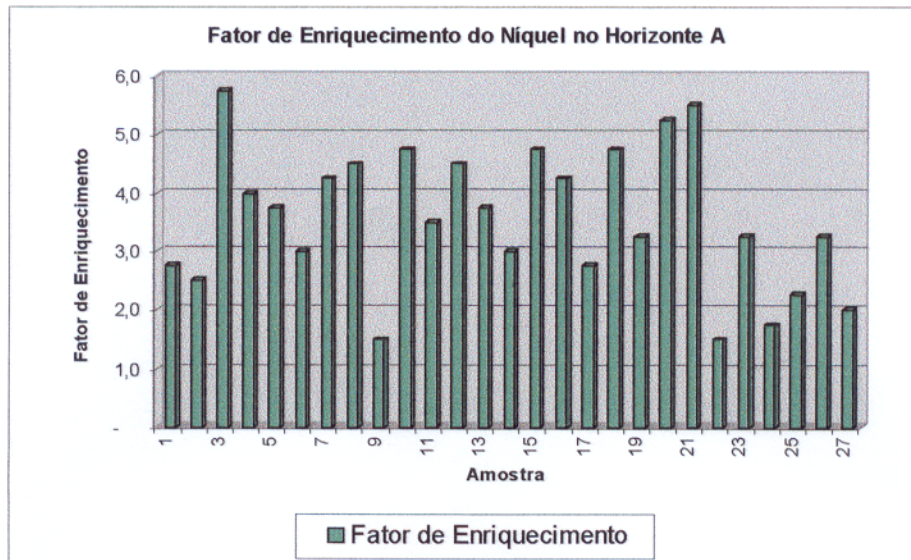
Fator de Enriquecimento do Cobre no Horizonte A

Amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - A	6	2,0	3,0
02 - A	6	2,0	3,0
03 - A	4	2,0	2,0
04 - A	4	2,0	2,0
05 - A	4	2,0	2,0
06 - A	3	2,0	1,5
07 - A	5	2,0	2,5
08 - A	4	2,0	2,0
09 - A	6	2,0	3,0
10 - A	5	2,0	2,5
11 - A	4	2,0	2,0
12 - A	3	2,0	1,5
13 - A	3	2,0	1,5
14 - A	6	2,0	3,0
15 - A	5	2,0	2,5
16 - A	4	2,0	2,0
17 - A	6	2,0	3,0
18 - A	5	2,0	2,5
19 - A	4	2,0	2,0
20 - A	3	2,0	1,5
21 - A	5	2,0	2,5
22 - A	2	2,0	1,0
23 - A	3	2,0	1,5
24 - A	6	2,0	3,0
25 - A	3	2,0	1,5
26 - A	4	2,0	2,0
27 - A	3	2,0	1,5

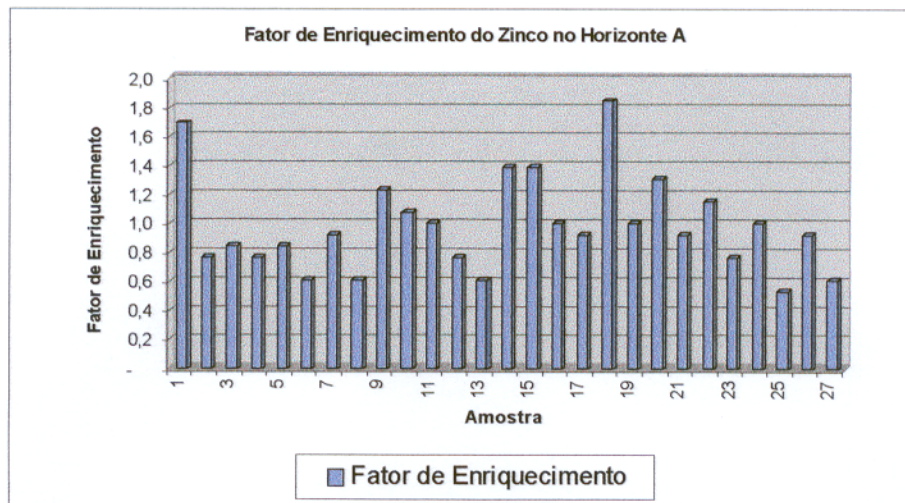


Fator de Enriquecimento do Níquel no Horizonte A

Amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - A	11	4,0	2,8
02 - A	10	4,0	2,5
03 - A	23	4,0	5,8
04 - A	16	4,0	4,0
05 - A	15	4,0	3,8
06 - A	12	4,0	3,0
07 - A	17	4,0	4,3
08 - A	18	4,0	4,5
09 - A	6	4,0	1,5
10 - A	19	4,0	4,8
11 - A	14	4,0	3,5
12 - A	18	4,0	4,5
13 - A	15	4,0	3,8
14 - A	12	4,0	3,0
15 - A	19	4,0	4,8
16 - A	17	4,0	4,3
17 - A	11	4,0	2,8
18 - A	19	4,0	4,8
19 - A	13	4,0	3,3
20 - A	21	4,0	5,3
21 - A	22	4,0	5,5
22 - A	6	4,0	1,5
23 - A	13	4,0	3,3
24 - A	7	4,0	1,8
25 - A	9	4,0	2,3
26 - A	13	4,0	3,3
27 - A	8	4,0	2,0

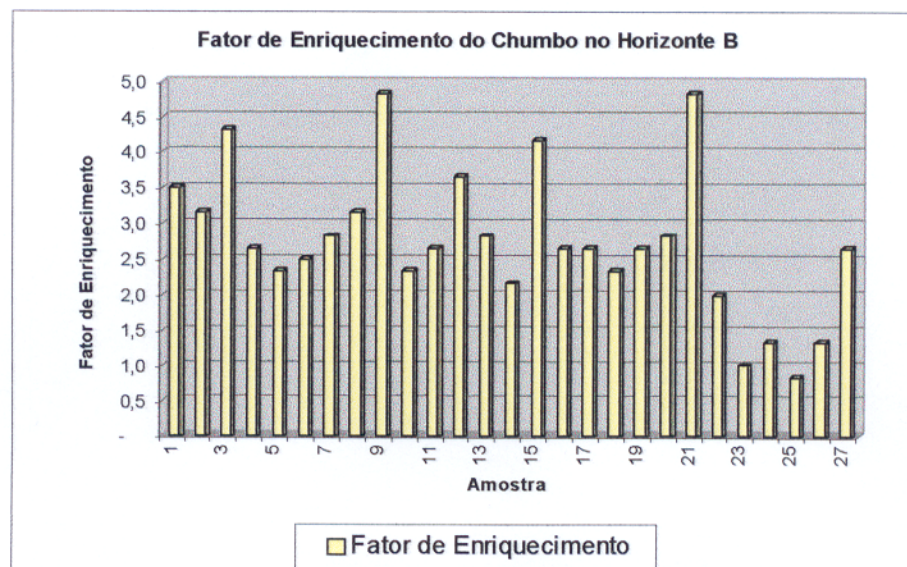


Fator de Enriquecimento do Zinco no Horizonte A			
Amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - A	22	13,0	1,7
02 - A	10	13,0	0,8
03 - A	11	13,0	0,8
04 - A	10	13,0	0,8
05 - A	11	13,0	0,8
06 - A	8	13,0	0,6
07 - A	12	13,0	0,9
08 - A	8	13,0	0,6
09 - A	16	13,0	1,2
10 - A	14	13,0	1,1
11 - A	13	13,0	1,0
12 - A	10	13,0	0,8
13 - A	8	13,0	0,6
14 - A	18	13,0	1,4
15 - A	18	13,0	1,4
16 - A	13	13,0	1,0
17 - A	12	13,0	0,9
18 - A	24	13,0	1,8
19 - A	13	13,0	1,0
20 - A	17	13,0	1,3
21 - A	12	13,0	0,9
22 - A	15	13,0	1,2
23 - A	10	13,0	0,8
24 - A	13	13,0	1,0
25 - A	7	13,0	0,5
26 - A	12	13,0	0,9
27 - A	8	13,0	0,6

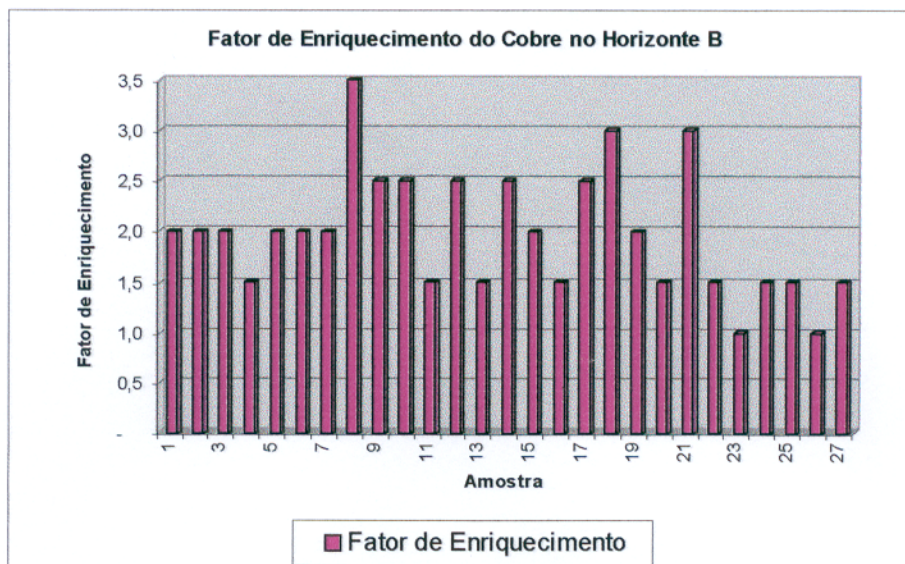


ANEXO V- Tabelas e Histogramas dos fatores de enriquecimento dos metais estudados no horizonte B.

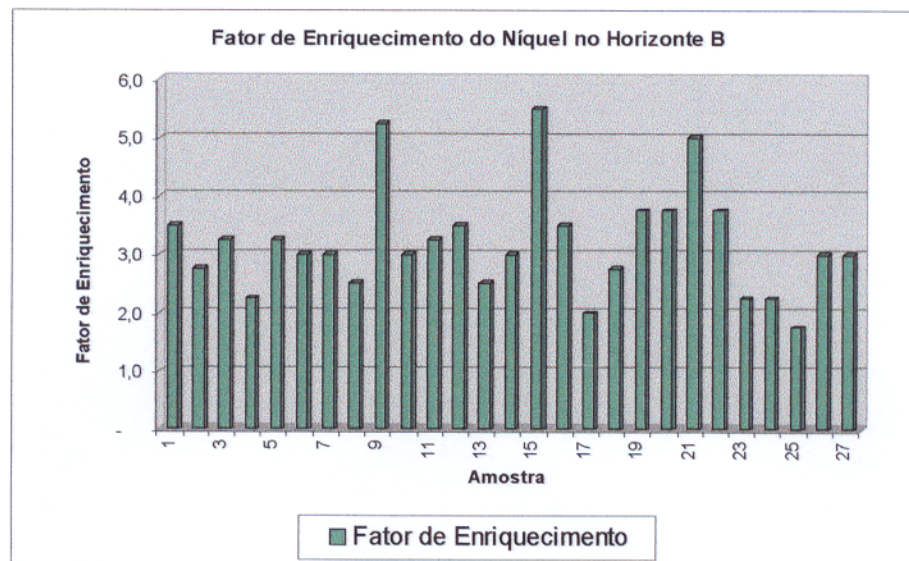
Fator de Enriquecimento do Chumbo no Horizonte B			
Amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - B	21	6,0	3,5
02 - B	19	6,0	3,2
03 - B	26	6,0	4,3
04 - B	16	6,0	2,7
05 - B	14	6,0	2,3
06 - B	15	6,0	2,5
07 - B	17	6,0	2,8
08 - B	19	6,0	3,2
09 - B	29	6,0	4,8
10 - B	14	6,0	2,3
11 - B	16	6,0	2,7
12 - B	22	6,0	3,7
13 - B	17	6,0	2,8
14 - B	13	6,0	2,2
15 - B	25	6,0	4,2
16 - B	16	6,0	2,7
17 - B	16	6,0	2,7
18 - B	14	6,0	2,3
19 - B	16	6,0	2,7
20 - B	17	6,0	2,8
21 - B	29	6,0	4,8
22 - B	12	6,0	2,0
23 - B	6	6,0	1,0
24 - B	8	6,0	1,3
25 - B	5	6,0	0,8
26 - B	8	6,0	1,3
27 - B	16	6,0	2,7



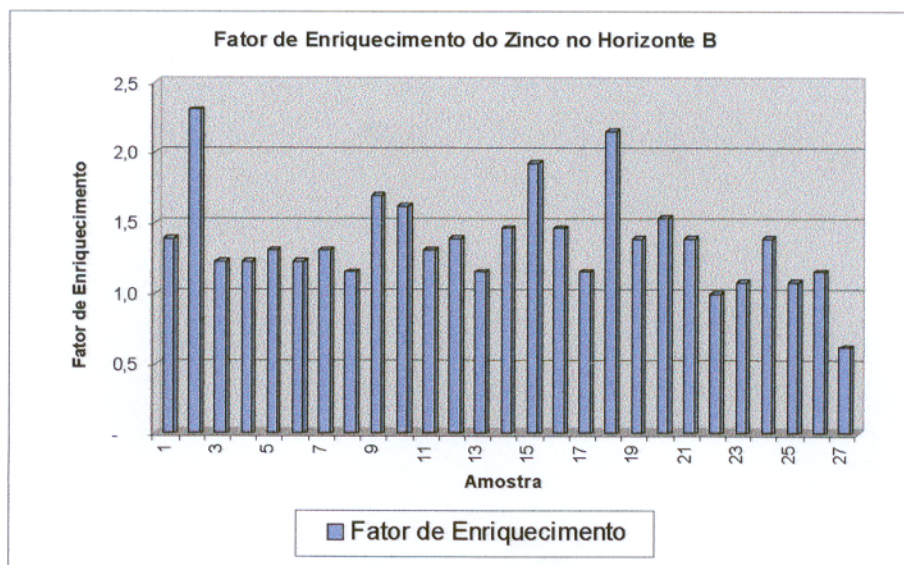
Fator de Enriquecimento do Cobre no Horizonte B			
amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - B	4	2,0	2,0
02 - B	4	2,0	2,0
03 - B	4	2,0	2,0
04 - B	3	2,0	1,5
05 - B	4	2,0	2,0
06 - B	4	2,0	2,0
07 - B	4	2,0	2,0
08 - B	7	2,0	3,5
09 - B	5	2,0	2,5
10 - B	5	2,0	2,5
11 - B	3	2,0	1,5
12 - B	5	2,0	2,5
13 - B	3	2,0	1,5
14 - B	5	2,0	2,5
15 - B	4	2,0	2,0
16 - B	3	2,0	1,5
17 - B	5	2,0	2,5
18 - B	6	2,0	3,0
19 - B	4	2,0	2,0
20 - B	3	2,0	1,5
21 - B	6	2,0	3,0
22 - B	3	2,0	1,5
23 - B	2	2,0	1,0
24 - B	3	2,0	1,5
25 - B	3	2,0	1,5
26 - B	2	2,0	1,0
27 - B	3	2,0	1,5



Fator de Enriquecimento do Níquel no Horizonte B			
Amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - B	14	4,0	3,5
02 - B	11	4,0	2,8
03 - B	13	4,0	3,3
04 - B	9	4,0	2,3
05 - B	13	4,0	3,3
06 - B	12	4,0	3,0
07 - B	12	4,0	3,0
08 - B	10	4,0	2,5
09 - B	21	4,0	5,3
10 - B	12	4,0	3,0
11 - B	13	4,0	3,3
12 - B	14	4,0	3,5
13 - B	10	4,0	2,5
14 - B	12	4,0	3,0
15 - B	22	4,0	5,5
16 - B	14	4,0	3,5
17 - B	8	4,0	2,0
18 - B	11	4,0	2,8
19 - B	15	4,0	3,8
20 - B	15	4,0	3,8
21 - B	20	4,0	5,0
22 - B	15	4,0	3,8
23 - B	9	4,0	2,3
24 - B	9	4,0	2,3
25 - B	7	4,0	1,8
26 - B	12	4,0	3,0
27 - B	12	4,0	3,0



Fator de Enriquecimento do Zinco no Horizonte B			
Amostra	Concentração	Clark	Fator de Enriquecimento
01 - B	18	13,0	1,4
02 - B	30	13,0	2,3
03 - B	16	13,0	1,2
04 - B	16	13,0	1,2
05 - B	17	13,0	1,3
06 - B	16	13,0	1,2
07 - B	17	13,0	1,3
08 - B	15	13,0	1,2
09 - B	22	13,0	1,7
10 - B	21	13,0	1,6
11 - B	17	13,0	1,3
12 - B	18	13,0	1,4
13 - B	15	13,0	1,2
14 - B	19	13,0	1,5
15 - B	25	13,0	1,9
16 - B	19	13,0	1,5
17 - B	15	13,0	1,2
18 - B	28	13,0	2,2
19 - B	18	13,0	1,4
20 - B	20	13,0	1,5
21 - B	18	13,0	1,4
22 - B	13	13,0	1,0
23 - B	14	13,0	1,1
24 - B	18	13,0	1,4
25 - B	14	13,0	1,1
26 - B	15	13,0	1,2
27 - B	8	13,0	0,6



ANEXO VI - Matriz de correlação entre os elementos no horizonte A.

	pH	h	U	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe	Ca	Mg	K	Na	Al
pH	1.0000														
h	0.1413	1.0000													
U	-0.1279	-0.4927	1.0000												
Cd	0.2188	0.1879	-0.0388	1.0000											
Cu	0.6268	0.4283	-0.4091	0.0175	1.0000										
Ni	0.5547	0.2685	-0.1837	0.6422	0.5549	1.0000									
Pb	0.4526	0.4464	-0.3363	0.6806	0.6340	0.8538	1.0000								
Zn	0.6241	0.4021	-0.1289	0.1929	0.7525	0.6873	0.5998	1.0000							
Mn	0.1019	0.4701	-0.3252	-0.1600	0.4590	0.0513	0.1630	0.2451	1.0000						
Fe	0.6609	0.4075	-0.2874	0.4076	0.7782	0.7250	0.7879	0.7959	0.3950	1.0000					
Ca	0.8638	0.3469	-0.1937	0.3868	0.7391	0.7276	0.6579	0.8105	0.2241	0.8769	1.0000				
Mg	0.7151	0.3799	-0.2353	0.4477	0.7525	0.8323	0.7844	0.8312	0.2772	0.9319	0.9398	1.0000			
K	0.7109	0.4323	-0.2822	0.4519	0.7879	0.8136	0.8319	0.7729	0.2892	0.9039	0.8840	0.9281	1.0000		
Na	0.6269	0.4855	-0.2812	0.4656	0.7468	0.8344	0.8166	0.8520	0.3334	0.9419	0.8777	0.9617	0.9026	1.0000	
Al	0.0216	-0.2191	0.0875	-0.0248	-0.1328	-0.1327	-0.1948	-0.1143	-0.1454	-0.1048	0.0282	-0.0264	0.0093	-0.1700	1.0000

ANEXO VII - Matriz de correlação entre os elementos no horizonte B.

	pH	h	U	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe	Ca	Mg	K	Na	Al
pH	1.0000														
h	0.0403	1.0000													
U	0.1216	-0.1039	1.0000												
Cd	0.4856	0.0718	0.4028	1.0000											
Cu	0.6190	0.3199	-0.0298	0.1907	1.0000										
Ni	0.6877	0.4444	0.0347	0.4418	0.6487	1.0000									
Pb	0.5763	0.4787	-0.1431	0.1700	0.7857	0.8852	1.0000								
Zn	0.7520	0.5012	-0.0254	0.4932	0.7077	0.8560	0.7863	1.0000							
Mn	0.0052	0.6386	-0.3497	-0.1378	0.5887	0.3222	0.5664	0.4649	1.0000						
Fe	0.6440	0.4122	-0.1588	0.3989	0.7742	0.7946	0.8812	0.7729	0.5015	1.0000					
Ca	0.7157	0.4128	0.0298	0.5787	0.6182	0.7265	0.6230	0.8022	0.2661	0.7883	1.0000				
Mg	0.5979	0.5463	-0.1236	0.5422	0.6500	0.7289	0.6939	0.8169	0.5016	0.8579	0.9226	1.0000			
K	0.6144	0.3485	-0.3102	0.4108	0.6421	0.7599	0.8086	0.7568	0.4258	0.9250	0.7464	0.8139	1.0000		
Na	-0.0402	0.1344	0.0142	-0.0122	0.0602	0.0881	0.1322	0.0576	0.2110	0.1568	-0.0701	0.0986	0.0933	1.0000	
Al	0.6923	0.4943	-0.0889	0.5234	0.6440	0.8680	0.8161	0.8420	0.3589	0.9104	0.8254	0.8823	0.8824	0.0957	1.0000

ANEXO VIII - Tabelas com os resultados das análises químicas dos metais pesados estudados no horizonte A.

Pto.	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
AU-01A	2,0	6,0	11,0	9,0	22,0
AU-02A	2,0	6,0	10,0	14,0	10,0
AU-03A	7,0	4,0	23,0	34,0	11,0
AU-04A	6,0	4,0	16,0	26,0	10,0
AU-05A	6,0	4,0	15,0	15,0	11,0
AU-06A	5,0	3,0	12,0	13,0	8,0
AU-07A	5,0	5,0	17,0	20,0	12,0
AU-08A	6,0	4,0	18,0	21,0	8,0
AU-09A	2,0	6,0	6,0	21,0	16,0
AU-10A	5,0	5,0	19,0	16,0	14,0
AU-11A	2,0	4,0	14,0	11,0	13,0
AU-12A	6,0	3,0	18,0	18,0	10,0
AU-13A	7,0	3,0	15,0	20,0	8,0
AU-14A	2,0	6,0	12,0	11,0	18,0
AU-15A	2,0	5,0	19,0	16,0	18,0
AU-16A	2,0	4,0	17,0	10,0	13,0
AU-17A	2,0	6,0	11,0	12,0	12,0
AU-18A	5,0	5,0	19,0	19,0	24,0
AU-19A	2,0	4,0	13,0	9,0	13,0
AU-20A	6,0	3,0	21,0	22,0	17,0
AU-21A	4,0	5,0	22,0	25,0	12,0
AU-22A	3,0	2,0	6,0	4,0	15,0
AU-23A	3,0	3,0	13,0	8,0	10,0
AU-24A	2,0	6,0	7,0	8,0	13,0
AU-25A	3,0	3,0	9,0	6,0	7,0
AU-26A	2,0	4,0	13,0	9,0	12,0
AU-27A	3,0	3,0	8,0	6,0	8,0

ANEXO IX - Tabelas com os resultados das análises químicas dos metais pesados estudados no horizonte B.

Pto.	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
AU-01B	<1,0	4,0	14,0	21,0	18,0
AU-02B	<1,0	4,0	11,0	19,0	30,0
AU-03B	<1,0	4,0	13,0	26,0	16,0
AU-04B	<1,0	3,0	9,0	16,0	16,0
AU-05B	<1,0	4,0	13,0	14,0	17,0
AU-06B	<1,0	4,0	12,0	15,0	16,0
AU-07B	<1,0	4,0	12,0	17,0	17,0
AU-08B	<1,0	7,0	10,0	19,0	15,0
AU-09B	<1,0	5,0	21,0	29,0	22,0
AU-10B	<1,0	5,0	12,0	14,0	21,0
AU-11B	<1,0	3,0	13,0	16,0	17,0
AU-12B	<1,0	5,0	14,0	22,0	18,0
AU-13B	<1,0	3,0	10,0	17,0	15,0
AU-14B	<1,0	5,0	12,0	13,0	19,0
AU-15B	<1,0	4,0	22,0	25,0	25,0
AU-16B	<1,0	3,0	14,0	16,0	19,0
AU-17B	<1,0	5,0	8,0	16,0	15,0
AU-18B	<1,0	6,0	11,0	14,0	28,0
AU-19B	<1,0	4,0	15,0	16,0	18,0
AU-20B	<1,0	3,0	15,0	17,0	20,0
AU-21B	<1,0	6,0	20,0	29,0	18,0
AU-22B	<1,0	3,0	15,0	12,0	13,0
AU-23B	<1,0	2,0	9,0	6,0	14,0
AU-24B	<1,0	3,0	9,0	8,0	18,0
AU-25B	<1,0	3,0	7,0	5,0	14,0
AU-26B	<1,0	2,0	12,0	8,0	15,0
AU-27B	<1,0	3,0	12,0	16,0	8,0

ANEXO X - Tabelas com os resultados das análises químicas dos elementos maiores estudados no horizonte A.

Pto.	Mn	Fe	Ca	Mg	Zn	Na	Al
AU-01A	114	59.086	1.445	522	803	859	147.427
AU-02A	-	9.921	443	206	380	373	66.586
AU-03A	4	10.157	1.000	416	488	616	107.089
AU-04A	-	39.503	654	290	724	554	105.093
AU-05A	29	22.882	866	366	452	624	138.299
AU-06A	-	6.981	916	246	512	475	53.518
AU-07A	31	27.766	950	402	1.169	670	68.283
AU-08A	96	39.366	531	461	396	807	112.390
AU-09A	46	91.389	737	382	760	554	150.265
AU-10A	-	10.107	706	196	380	422	68.596
AU-11A	8	22.589	659	384	400	668	105.935
AU-12A	-	15.775	780	270	446	527	97.951
AU-13A	-	11.268	654	260	1.003	403	51.844
AU-14A	-	7.679	950	282	449	633	60.696
AU-15A	36	7.924	415	267	557	621	91.452
AU-16A	20	6.766	683	269	815	451	58.999
AU-17A	25	37.194	3.697	432	476	550	67.131
AU-18A	-	8.953	1.648	252	657	430	49.259
AU-19A	-	4.174	536	141	342	279	37.856
AU-20A	-	5.447	533	388	351	562	135.411
AU-21A	-	37.588	1.256	279	1.502	388	162.923
AU-22A	-	6.527	501	74	76	281	10.176
AU-23A	-	4.513	563	168	188	162	61.182
AU-24A	75	10.451	1.471	254	560	279	40.800
AU-25A	-	2.080	1.161	199	188	177	30.539
AU-26A	-	6.855	478	239	183	245	40.706
AU-27A	-	2.973	769	149	391	116	20.367

ANEXO XI - Tabelas com os resultados das análises químicas dos elementos maiores estudados no horizonte B.

Pto.	Mn	Fe	Ca	Mg	Zn	Na	Al
AU-01B	170	58.273	395	457	681	557	162.858
AU-02B	109	26.213	1.133	394	2.285	534	130.718
AU-03B	104	134.000	3.548	889	1.040	366	84.104
AU-04B	58	41.491	427	308	766	485	100.010
AU-05B	57	22.189	1.911	654	428	412	141.093
AU-06B	159	31.870	1.123	596	998	726	202.622
AU-07B	113	21.785	757	390	685	504	121.176
AU-08B	61	34.272	411	256	886	1.543	115.777
AU-09B	297	159.000	1.673	1.006	1.837	742	357.825
AU-10B	82	23.584	921	385	528	429	116.195
AU-11B	3	11.471	568	171	449	742	49.399
AU-12B	50	8.683	465	126	56	687	60.367
AU-13B	31	6.893	376	130	239	620	58.598
AU-14B	60	14.024	1.033	284	228	815	61.047
AU-15B	28	5.661	806	168	382	621	50.261
AU-16B	22	2.757	476	240	364	847	59.256
AU-17B	97	63.566	2.436	547	943	2.930	118.605
AU-18B	90	13.433	3.955	754	228	1.913	30.348
AU-19B	46	10.167	668	251	358	890	90.202
AU-20B	100	10.378	547	536	419	436	186.849
AU-21B	-	78.055	650	113	1.278	315	91.480
AU-22B	-	5.116	1.889	243	284	376	60.883
AU-23B	-	4.515	728	114	454	1.022	50.949
AU-24B	-	3.076	396	162	117	339	61.041
AU-25B	-	3.371	4.465	767	192	156	40.776
AU-26B	-	3.174	839	219	156	312	61.047
AU-27B	-	40.667	900	301	782	246	477.823

ANEXO XII - Tabelas com os resultados do pH, Húmus e Umidade no horizonte A.

Pto.	Húmus	pH	Umidade
AU-01 ^A	7,3	3,7	0,6
AU-02 ^A	2,2	4,3	0,4
AU-03 ^A	4,7	4,0	0,0
AU-04 ^A	4,4	3,9	0,1
AU-05 ^A	3,6	3,8	0,1
AU-06 ^A	3,3	4,1	0,3
AU-07 ^A	5,6	4,3	0,5
AU-08 ^A	3,6	3,8	0,4
AU-09 ^A	11,6	3,6	0,2
AU-10 ^A	3,3	4,6	0,3
AU-11 ^A	3,7	4,2	0,4
AU-12 ^A	4,3	3,7	4,0
AU-13 ^A	4,5	4,4	0,4
AU-14 ^A	5,1	4,3	0,5
AU-15 ^A	7,6	4,0	0,2
AU-16 ^A	3,4	4,5	0,5
AU-17 ^A	6,5	6,4	0,0
AU-18 ^A	5,3	5,1	0,5
AU-19 ^A	4,4	4,1	0,4
AU-20 ^A	4,8	3,8	0,4
AU-21 ^A	0,7	6,1	1,3
AU-22 ^A	1,3	4,5	4,0
AU-23 ^A	2,0	4,4	1,3
AU-24 ^A	3,1	5,8	1,1
AU-25 ^A	2,7	5,1	0,9
AU-26 ^A	0,3	3,5	1,2
AU-27 ^A	1,3	4,4	0,8

ANEXO XIII - Tabelas com os resultados do pH, Húmus e Umidade no horizonte B.

Pto.	Húmus	pH	Umidade
AU-01B	5,3	3,9	1,0
AU-02B	3,1	4,2	0,6
AU-03B	4,4	4,0	0,8
AU-04B	3,4	3,9	0,4
AU-05B	4,6	4,0	0,8
AU-06B	4,0	4,3	0,6
AU-07B	3,8	4,2	0,4
AU-08B	3,9	4,0	0,6
AU-09B	9,1	3,8	2,0
AU-10B	4,2	4,3	0,9
AU-11B	4,1	4,3	0,7
AU-12B	4,3	4,0	3,9
AU-13B	8,2	4,0	0,7
AU-14B	5,3	4,5	0,9
AU-15B	6,8	4,1	1,1
AU-16B	4,6	4,1	0,8
AU-17B	5,2	5,0	0,9
AU-18B	4,1	4,6	0,8
AU-19B	4,4	4,3	0,7
AU-20B	4,5	3,9	0,7
AU-21B	0,6	6,5	1,3
AU-22B	3,1	5,2	1,1
AU-23B	2,7	4,1	1,5
AU-24B	3,2	5,7	1,9
AU-25B	2,4	4,6	2,0
AU-26B	3,0	3,8	1,2
AU-27B	3,3	3,2	0,8

ANEXO XIV - Tabelas com os resultados das análises químicas dos perfis.

	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe	Ca	Mg	K	Na	Al
1° pt horiz. A	2	7	12	14	12	37	13264	467	168	308	211	61047
1° pt horiz. B	3	8	23	45	21	32	38137	407	116	545	267	112099
1° pt horiz. laterí.	6	74	25	53	21	0	39735	536	223	836	344	121585
1° pt horiz. C	5	5	20	45	17	0	13225	340	102	702	225	132481
1° pt horiz. R	6	8	33	86	19	0	8653	312	274	1337	373	30536
2° pt horiz. A	2	4	11	9	7	1	9851	323	146	604	433	40702
2° pt horiz. B	2	3	17	16	12	36	23488	330	188	175	261	111675
2° pt horiz. C	2	14	10	14	8	11	18687	1202	311	638	134	81478
2° pt horiz. R	3	6	20	33	10	30	9640	419	180	1709	368	122204

ANEXO XV - Histogramas mostrando a dispersão dos metais pesados nos dois horizontes do solo

