

Avaliação dos Níveis de Metais Pesados em Solos e Sedimentos do Grupo Barreiras sob Depósito de Resíduos Sólidos Urbanos - Caso de Canabrava - Salvador – Bahia



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 199

Avaliação dos Níveis de Metais Pesados em Solos e Sedimentos do Grupo Barreiras sob Depósito de Resíduos Sólidos Urbanos - Caso de Canabrava - Salvador – Bahia

*Silvia Cristiane Rivas Pereira Kucharski
Ronaldo Montenegro Barbosa
Fábio Carvalho Nunes
Francisco Jorge de Oliveira Brito
Enio Fraga da Silva*

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2011

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ
CEP: 22460-000
Fone: (021) 2179 4500
Fax: (021) 2274 5291
Home page: www.cnps.embrapa.br
E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Daniel Vidal Pérez

Secretário-Executivo: Jacqueline Silva Rezende Mattos

Membros: Ademar Barros da Silva, Cláudia Regina Delaia, Maurício Rizzato Coelho, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Ana Paula Dias Tureta, Fabiano de Carvalho Balieiro, Quitéria Sônia Cordeiro dos Santos.

Supervisão editorial: Jacqueline Silva Rezende Mattos

Revisão de texto: André Luiz da Silva Lopes

Normalização bibliográfica: Ricardo Arcanjo de Lima

Edição eletrônica: Jacqueline Silva Rezende Mattos

Foto da capa: Fonte Google Earth

1ª edição

E-book (2011)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Solos**

K95a Kucharski, Sílvia Cristiane Rivas Pereira.

Avaliação dos níveis de metais pesados em solos e sedimentos do grupo Barreiras sob depósitos de resíduos sólidos urbanos – caso de Canabrava – Salvador - Bahia / Sílvia Cristiane Rivas Pereira Kucharski ... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011.

57 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 199).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: < <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes> > .

Título da página da Web (acesso em 21 dez. 2011).

1. Solo. 2. Chorume. 3. Metais pesados. I. Barbosa, Ronaldo Montenegro. II. Nunes, Fábio Carvalho. III. Brito, Francisco Jorge de Oliveira. IV. Silva, Enio Fraga da V. Título. VI. Série.

CDD (21.ed.) 631.4

© Embrapa 2011

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	17
Resultados e Discussão	22
Conclusões	48
Referências	50

Avaliação dos níveis de metais pesados em solos e sedimentos do Grupo Barreiras sob depósito de resíduos sólidos urbanos - caso de Canabrava - Salvador – Bahia

Silvia Cristiane Rivas Pereira Kucharski¹

Ronaldo Montenegro Barbosa²

Fábio Carvalho Nunes³

Francisco Jorge de Oliveira Brito¹

Enio Fraga da Silva⁴

Resumo

O “Lixão de Canabrava” situado a 10 km do centro de Salvador, Estado da Bahia – Brasil recebeu por mais de 30 anos os resíduos da cidade. Cerca de 8.000.000 m³ de lixo foram depositados em uma área de 66 hectares compreendida entre a Planta A (15 anos de deposição) e Planta B (30 anos de deposição), sem que houvesse uma metodologia, planejamento e monitoramento adequados. A decomposição e transformação da matéria orgânica desses materiais geraram um líquido escuro, de cheiro forte, conhecido como chorume, rico em matéria orgânica, contendo metais pesados e outros elementos químicos. O estudo realizado em 7 perfis, situados no interior da Planta A (SCB1), na encosta da Planta A (SCB2, SCB3 e SCB4), na Planta B (CCL) e dois perfis, em tese, sem presença de lixo (SCB5 e CCB) indicou que o chorume produzido na área tem provocado diversas mudanças

¹ Mestre em Geoquímica e Meio Ambiente da UFBA. E-mail: sckucharski@gmail.com.

² Professor do Departamento de Geoquímica do Instituto de Geociências da UFBA. E-mail: ronaldo@ufba.br

³ Prof. Dr. do Instituto Federal Baiano. Campus de Santa Inês - Km 73 da BR 420 (Rodovia Santa Inês - Ubaíra) - Zona Rural - Santa Inês – BA. CEP: 45.320-000. E-mail: fcnunes76@gmail.com

⁴ Pesquisador da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico. CEP 22460-000 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: enio@cnpes.embrapa.br.

físicas e químicas nos solos e sedimentos oriundos do Grupo Barreiras. Tais modificações foram observadas através das características naturais desses solos, que indicou elevação do pH, aumento de cátions básicos e alta porcentagem de saturação por bases, além disso, com as extrações parciais e totais realizadas nas amostras, pôde-se evidenciar concentrações bastante elevadas de metais pesados na maioria dos solos, principalmente arsênio, cromo, ferro e manganês. Esses metais oriundos da decomposição dos resíduos e dos solos e sedimentos transformados pelo chorume estão sendo lixiviados para o lençol freático, rios e lagos próximos, já que os solos em questão apresentam textura arenosa e baixa capacidade de troca catiônica. Avalia-se também que esse estudo possa servir para identificar graus de contaminação em solos e como procedimento para monitoramento de aterros sanitários.

Palavras-chave: solo, chorume, Grupo Barreiras, metais pesados.

Evaluation of levels of heavy metals in soils and sediments Barreiras Group under deposit of urban solid waste – “Canabrava”- Salvador – Bahia”

Abstract

“Municipal waste of Canabrava” situated 10 km from the center of Salvador city in Bahia - Brazil, received over 30 years the residues of the city. About 8.000.000 m³ of waste was deposited on an area of 66 ha understood between the Plant A (15 years de deposition) and Plant B (30 years de deposition), without that it had a methodology, adequate planning and keeping. The decomposition and transformation of the organic substance of these materials had generated a dark liquid, of smell fort, known as leachate, rich in organic substance, contend metals heavy and other chemical elements. The study carried through in 7 profiles, situated in the interior of Plant A (SCB1), in the hillside of the Plant A (SCB2, SCB3 and SCB4), in Plant B (CCL) and two profiles, in thesis, without waste presence (SCB5 and CCB) it indicated that the leachate produced in the area has provoked diverse physical and chemical changes in soils and deriving sediments of the Barreiras Group. Such modifications had been observed through the natural characteristics of these soils, that rise of pH indicated, increase of basic cations and high percentage of saturation for bases, moreover, with carried through the partial and total extractions in the samples can be evidenced sufficiently high heavy metal concentrations in the majority of soils, mainly Arsenio, chromium, iron and manganese. This metals driving of the decompositions of residues and of soils and sediments transformed by leachate are been leached for the near freatic sheet, rivers and lakes, already

that the soils in question show arenaceous texture and down capacity cationic exchange. Value also, that this study can to serve for identify degree of contamination in soils and used as procedure for keeping of sanitary landfill.

Key words: Soil, leachate, Barreiras Group, heavy metals.

Introdução

Os resíduos sempre foram um problema para a humanidade, principalmente quando acumulados, e livrar-se deles, sem comprometer o meio ambiente, é um grande desafio para a administração pública. Desde o passado, a preocupação com as sobras geradas pelas atividades cotidianas fazia com que o homem enterrasse seus resíduos ou mesmo os colocasse em áreas afastadas. Como a sua composição era predominantemente orgânica, o simples fato de enterrar evitava o aparecimento de vetores, emissão de odores, além de contribuir para a fertilização do solo.

Com o aumento populacional e o avanço tecnológico, o homem adquiriu novos hábitos; o suprimento das necessidades básicas deu lugar ao consumismo desenfreado, promovendo a utilização intensiva de matérias primas e a produção, em larga escala, de embalagens. Assim, no mundo globalizado são produzidas diariamente toneladas de lixo e a disposição inadequada preocupa pelo alto potencial poluidor e pela falta de locais adequados para descarte desses resíduos.

No Brasil, principalmente em cidades do interior, é comum observar a presença de lixões, onde os resíduos produzidos pela população local são lançados diretamente no solo, sem qualquer planejamento por parte das autoridades competentes (PEREIRA et al., 2005a). A decomposição desses resíduos gera uma grande quantidade de chorume, líquido escuro de cheiro forte, resultado da percolação da água contida ou aportada das precipitações pelos resíduos, através de complexos mecanismos biológicos e físico-químicos (BARBOSA et al., 2001). Esses resíduos e a geração do chorume apresentam, devido suas concentrações, contaminantes potenciais, entre eles metais pesados que podem estar sendo disponibilizados e contaminando solos e aquíferos.

O “Lixão de Canabrava”, construído em meados da década de 70 e fechado em 1999, recebeu os resíduos da cidade de Salvador, dentre eles hospitalares, industriais, comerciais, domiciliares e outros, chegando a 8.000.000 m³ de lixo depositado em uma área de aproximadamente 66 hectares (BACAICOA, 2001). O material, substrato do depósito, utilizado

para cobertura do lixo, foi emprestado dos solos e sedimentos do Grupo Barreiras, que ao entrar em contato com o chorume passou por transformações físicas e químicas, ora concentrando, ora mobilizando elementos químicos em diferentes profundidades (BARBOSA et al., 2004).

Atualmente o “Lixão de Canabrava” conta com a presença de equipamentos e instalações urbanas diversas, sendo transformado em parque socioambiental e utilizado para atividades de lazer da comunidade do entorno. Por outro lado, para seu êxito ambiental, é necessário um conhecimento detalhado do substrato, através da caracterização dos solos e verificação de suas reais potencialidades para o desenvolvimento de projetos como esse, atendendo a comunidade e evitando possíveis entraves, no futuro, de natureza ambiental.

O trabalho aqui desenvolvido tem como objetivo caracterizar a contribuição nos solos e sedimentos pelos percolados originados no depósito de resíduo urbano de Canabrava, analisando o comportamento dos metais pesados, sua relação com a matéria orgânica do chorume e os processos de transformação e/ou degradação sofridos nos solos pela presença desses materiais, contribuindo para um melhor aproveitamento social do espaço aterrado sobre o “Lixão de Canabrava”.

Caracterização do Meio Físico

Criado em meados dos anos 70, o lixão de Canabrava apresenta uma área de 66 hectares dividida entre as Planta A (15 anos de deposição) e Planta B (30 anos de deposição). Estas plantas estão subdivididas em células de recepção onde foram depositados todos os tipos de resíduos da cidade de Salvador e arredores.

Inicialmente os resíduos foram colocados na depressão mais acentuada do local, entulhando as nascentes do rio Mocambo (Planta B) e posteriormente as nascentes do rio Coroado (Planta A). Atualmente, o lixão ainda recebe resíduos de serviço de saúde (RSS), em célula contígua a Planta A, e apresenta uma estação transbordo, onde através de caçambas os resíduos seguem para o Aterro Metropolitano Centro.

Localização e acesso

A área de estudo está inserida no perímetro urbano de Salvador, Estado da Bahia – Brasil, aproximadamente a 10 km do centro entre as coordenadas UTM 8.571.000 m e 8.572.000 m de latitude Sul e 561.600 m e 562.800 m de longitude Oeste, mais precisamente no bairro Nossa Senhora da Vitória (antiga Canabrava) (Figura 1). Com a presença de lagoas e nascentes, hoje totalmente eutrofizadas (Mocambo e Coroado), o “Lixão de Canabrava” apresenta três vias de acesso.

A avenida Luiz Viana Filho (Paralela) é uma das vias mais utilizadas, segue-se, posteriormente, a avenida São Marcos, sentido Horto Florestal, Mata dos Oitis, tomando-se à direita pela via Regional em direção ao Estádio Manoel Barradas (Barradão), passando-o, observa-se, aproximadamente 300 m à direita, a entrada das instalações do depósito.



Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo – Salvador - “Lixão de Canabrava” (CONDER, 2003).

Clima

O clima da área em questão é semelhante ao da cidade do Salvador, classificado segundo Köppen como do tipo Af, tropical chuvoso de floresta; e úmido (B2rA'a') segundo a classificação de Thorntwaite e Matther (SEI, 1998).

A temperatura média anual é da ordem de 25,3°C, com um calor constante durante todo ano. As médias máximas ocorrem nos meses de janeiro a março com cerca de 28,1°C, coincidindo com o verão; e as médias mínimas durante os meses de julho a setembro, período do inverno, com o limite de 22,5°C (Figura 2). A amplitude térmica anual é baixa com valor de 5,6°C.

As chuvas são bem distribuídas durante todo o ano, a precipitação média anual é pouco superior a 2.098,9 mm, portanto sem estação seca (SEI, 1998). Os maiores índices pluviométricos são encontrados nos meses de abril a julho com médias de 280 mm, enquanto nos meses de outubro a fevereiro, registram-se os menores valores de precipitação; sendo raros, os meses em que a altura pluviométrica é inferior a 100 mm (Figura 3). Entretanto, de acordo com Ribeiro (1991), nota-se, zonalmente, a existência de anos com intensa pluviosidade, podendo ser superiores a 3.000 mm, como observado nos anos de 1964 e 1989.

A umidade relativa do ar é elevada, variando entre 75 e 90%. Estudos sobre evaporação indicam uma média anual de 1.375 mm, com média máxima mensal de 150 mm em janeiro. A insolação apresenta taxas máximas e mínimas, respectivamente nos meses de janeiro e abril, com média de 5,8 horas de sol/dia.

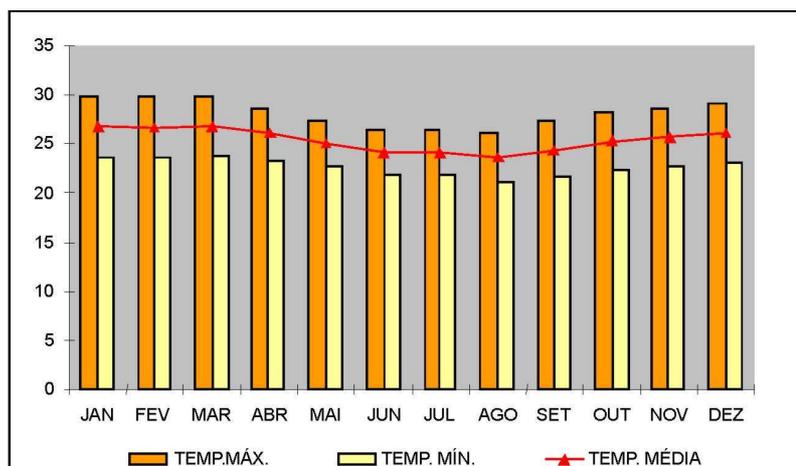


Figura 2 - Balanço da temperatura de Salvador no período de 1961 -1990 (INMET).

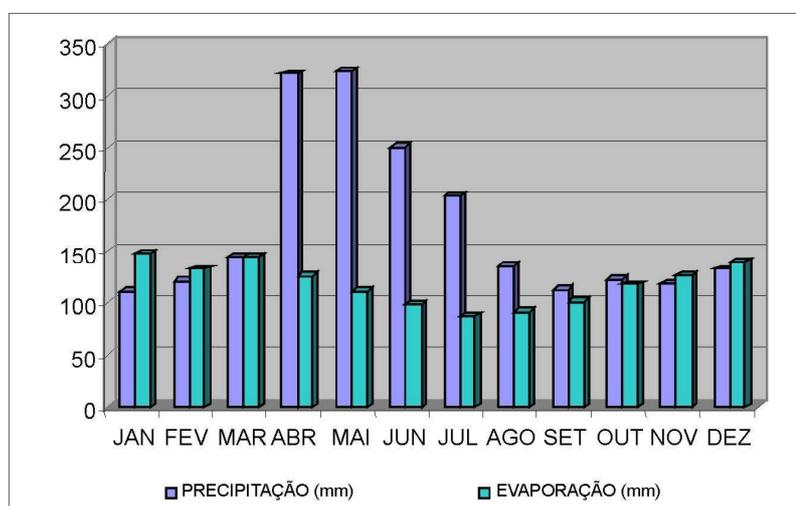


Figura 3 - Precipitação e evaporação média mensal da cidade de Salvador no período de 1961 – 1990 (INMET).

Apesar de sua latitude, a cidade de Salvador apresenta certo conforto térmico, condicionado pelas brisas marinhas que sopram do oceano com velocidade média de 2,3 m/s, segundo a Escala Beaufort. Os ventos predominantes são os Alísios do quadrante E, soprando na direção SE nos período do outono e inverno, e na direção NE em épocas de primavera e verão (MATOS, 2000).

Geologia

Segundo Lima et al. (1995), foram encontrados, de acordo com estudos geotécnicos e geológicos realizados na área, três unidades geológicas diferentes, enquadradas no Embasamento Cristalino, nas Coberturas Detríticas do Terciário e nos Depósitos Colúvio-Aluvionares do Quaternário.

O Embasamento Cristalino, de idade Pré-Cambriana, é formado pelas rochas do Complexo Jequié, de composição básica, apresentando predominância de plagioclásios e feldspatos potássicos, pouco ou nenhum quartzo e um percentual elevado de minerais máficos bastante alterados. Sua presença pode ser observada nas encostas e nos fundos dos vales. Nessas rochas é possível observar foliações e fraturas (5 a 7 por metro) preenchidas com material argiloso. De acordo com Bacaicoa (2001), no embasamento, observam-se

estruturas de falhamento com direções N-S e NE-SW (principal), e NE-SW (secundária), promovendo mudanças bruscas nas direções dos rios e, por vezes, encaixando-os e geneticamente os configurando como subsequentes.

Nos cortes de jazida de material de empréstimo para recobrimento do lixo é possível observar o Grupo Barreiras, unidade sedimentar terrestre, de origem fluvial, que ocorre ao longo do litoral brasileiro, desde o estado do Pará até o Rio de Janeiro. De composição arenosa e sem níveis argilosos definidos, esse grupo datado do período Terciário, ocorre recobrimdo as rochas granulíticas do Complexo Jequié; litologicamente falando, consiste principalmente, de arenitos argilosos, de coloração vermelha, violeta, branca e amarelada, com intercalações de siltitos e argilas variegadas, além de lentes conglomeráticas e caulínicas. São geralmente friáveis, sendo comum a presença de concreções ferruginosas (BRASIL, 1999).

De acordo com Bacaicoa (2001), esse material é utilizado para o recobrimento do lixo apresentando espessura de até 15 m e granulometria que varia de fina a muito grossa. Em sua composição é possível observar grãos de feldspatos alterados dispersos em uma massa quartzosa, cimentados pelo ferro, principalmente nas partes mais elevadas do pacote.

Nos fundos dos vales, preenchendo as áreas de depressões, encontram-se os depósitos colúvio-aluvionares pouco espessos, de composição argilo-arenosa e com pouca quantidade de matéria orgânica.

Geomorfologia

O “Lixão de Canabrava” encontra-se em uma faixa de transição entre os Tabuleiros Prélitorâneos a oeste, representada pelo Embasamento Cristalino, coberto parcialmente pelo Grupo Barreiras e os Planaltos Rebaixados, onde o Embasamento encontra-se alterado. Os sedimentos do Grupo Barreiras encontrados nas partes mais elevadas, apresentam textura arenosa ou areno-argilosa, com coloração marrom avermelhada e amarelada. O relevo mostra-se bastante movimentado, com bordas abruptas e grande declividade. O desnível entre os topos dos morros e fundo dos vales varia entre 40 e 80 m. Os vales apresentam formato em “V” com largura entre 20 e 60 m, bem encaixado e de fundo chato. Esses se encontram assoreados por colúvios e alúvios e também pela presença de um material fino mais argiloso transportado das áreas mais elevadas, favorecendo a formação de lagoas e baixadas alagadiças (BACAICOA, 2001).

O assoreamento dos vales e a instabilidade das encostas são acelerados pelas atividades antrópicas, o que aliado aos movimentos de massas de terra, erosão regressiva e pelo fator clima favorecem a modificação do relevo.

De acordo com Matos (2000), as encostas dos vales são geralmente convexas ou retilíneas, havendo uma ruptura de declive no terço superior, correspondente ao limite entre a rocha do Embasamento Cristalino alterado na porção inferior e o material de cobertura.

Cortes realizados no Embasamento Cristalino demonstram certa estabilidade, o mesmo não ocorrendo no Grupo Barreiras onde a instabilidade é alta e os riscos de desmoronamento são duplicados em épocas de alta precipitação pluviométrica.

A rede de drenagem do tipo dendrítico/retangular é formada pelas sub-bacias dos rios Mocambo e Trobogy, com os riachos principais apresentando um fluxo de direção NE-SW e NW-SE, mas que devido ao controle litológico do embasamento apresentam mudanças de direção e confluência formando ângulos de 90°.

Vegetação

As espécies vegetais encontradas na área são classificadas como do tipo pertencente à Floresta Ombrófila Densa. O termo ombrófila criado por Ellember, Mueller-Dumbois surgiu em substituição a pluvial, de origem latina, ambos com o mesmo significado “amigo das chuvas” (BRASIL, 1999). Esse tipo de vegetação além de ser predominante em regiões de alta precipitação pluviométrica, como é o caso de Salvador, são caracterizados por apresentar uma grande variedade de espécies e aspectos peculiares, como a presença de folhas largas, vegetação exuberante e alturas entre 20 a 30 m, com os indivíduos ora espaçados, ora agrupados.

Com a instalação do “lixão”, essa vegetação foi fortemente alterada, de um lado, pela própria presença do aterro e de outro pelo intenso processo de urbanização que se desenvolveu no local (Figura 4).

Atualmente, ainda é possível observar em alguns locais, espécies em estágio de regeneração como, por exemplo, no vale que separa o Hospital São Rafael da comunidade de Canabrava ou até mesmo nos arredores do conjunto Trobogy e nas margens da Avenida Paralela (BACAICOA, 2001).

Nas margens das lagoas eutrofizadas, nota-se a presença de mata secundária formada pelo processo de sucessão (Figura 5), bem como, a presença de gramíneas que aparecem no início dos cursos dos rios e sobre depósito, recobrimdo-o. Além disso, é possível notar também a presença de eucaliptos.



Figura 4 - Processo de ocupação instalado no entorno do Lixão de Canabrava.

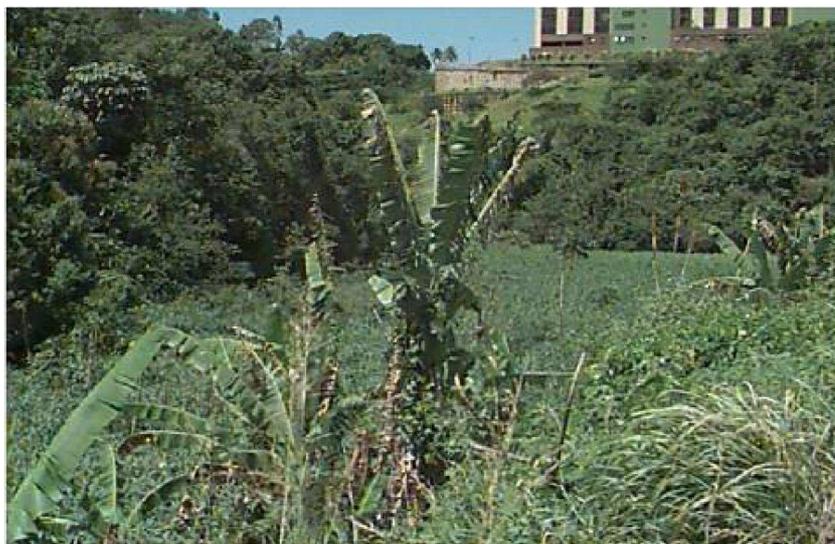


Figura 5 - Mata secundária e atividade agrícola no entorno do Lixão de Canabrava, início do rio Mocambo.

Solos

Em Canabrava, os solos desenvolvidos sobre o Grupo Barreiras apresentam coloração marrom avermelhada a amarelada, com textura arenosa ou areno-argilosa, sendo constante uma forte variação granulométrica (RIBEIRO, 1991). Já os encontrados sobre o embasamento cristalino, *"in situ"*, têm uma consistência rija, variando de meio-compacta a compacta, com granulometria arenosa, siltico-arenosas ou argilo-arenosas (MATOS, 2000).

A percolação do contaminante depende da permeabilidade do solo, e esta depende do tamanho dos grãos que o constituem (textura), da disposição desses grãos estruturando o solo e do grau de saturação por água absorvida ou capilar.

De acordo com Matos (2000), o coeficiente de permeabilidade obtido através de ensaios de permeabilidade feito em dois perfis de solos da área de Canabrava demonstrou valores variando entre $1 \times 10^{-6} \text{ cm.s}^{-1}$ a $1 \times 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$, indicando um solo composto de areia muito fina misturado a material argiloso. O solo ideal para implantação de um aterro sanitário seria impermeável ($K = 10^{-7} \text{ cm.s}^{-1}$) e com lençol freático bastante profundo.

A ocupação desordenada da área e a instalação do lixão promoveram processos erosivos bastante significativos, como o entulhamento das nascentes, instabilidade dos taludes e assoreamento das lagoas e riachos ocorrentes na área.

Hidrogeologia

O aquífero do lixão de Canabrava é freático predominando inicialmente um fluxo vertical nos níveis mais arenosos do Grupo Barreiras e nos areno-argilosos do Embasamento Cristalino. Quando as águas encontram o lençol, esse fluxo se torna horizontal onde, então, é incorporado e dirigido para áreas de descargas.

No Grupo Barreiras, onde o material é mais arenoso, os aquíferos são do tipo granular, enquanto que no Embasamento Cristalino alterado são do tipo granular/fissural. A partir da rocha sã o mesmo passa a se comportar apenas como fissural, diminuindo o armazenamento das águas devido à baixa porosidade do aquífero (BACAICOA, 2001).

A recarga do aquífero é feita parcialmente pelas águas pluviais ou através dos líquidos percolados do aterro. Com a instalação do “lixão”, essa recarga sofreu um aumento significativo promovido pela alta permeabilidade que favorece a infiltração e a falta de escoamento superficial.

A área central de Canabrava funciona como um divisor de águas superficiais, condicionando fluxos subterrâneos em todas as direções. É possível definir três principais direções de fluxo: apresentando direção leste-oeste, a primeira condiciona todo o fluxo das células para a via Regional; a segunda direciona o fluxo da Planta B (mais antiga) para o rio Mocambo, no limite norte da área, onde se formou uma grande lagoa; e a terceira, a partir da estrada de Canabrava e da área de jazida, condiciona o movimento de água para o sul, em direção à drenagem do rio Trobogy (BACAICOA, 2001).

Chorume

O chorume de Canabrava apresenta características peculiares devido à deposição dos resíduos diretamente sobre o substrato sem uma metodologia adequada. Como os solos da área são originados de sedimentos areno-argilosos do Grupo Barreiras e das rochas do Embasamento Cristalino, a mistura desses materiais diferentes, sujeitos à percolação e lixiviação pelas águas pluviais, favoreceu a formação de um chorume com características particulares, produzido por complexas reações químicas e bioquímicas entre os componentes iônicos dos diferentes materiais.

Assim o chorume gerado no lixão apresenta significativas variações nos valores de alguns parâmetros analisados por BACAICOA et al. (2000), quando comparados com valores apontados por Christensen et al. (2001) para outros depósitos do mundo (Quadro 1), a exemplo dos valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), cujos mínimos e máximos coincidem com resíduos mais antigos e mais novos, respectivamente.

Como a composição do chorume sofre influência da composição e idade dos resíduos (BAIG, 1997), da idade e gestão do depósito, etc, essas variações ocorreram, porque em Canabrava, os períodos de deposição dos resíduos, sem recobrimento e/ou com recobrimento e aterramento, promoveram o desenvolvimento de fases com variadas taxas de mineralizações, devido às condições oxidantes do meio.

Quadro 1- Comparativo de alguns elementos de chorume de literatura com o de Canabrava.

Parâmetro	Variação	
	Depósito de Canabrava (BACAICOA et al., 2000)	Diversas Localidades (CHRISTENSEN et al., 2001)
pH	5,4 – 8,6	4,5 – 9,0
DQO (mg/L)	1.300 – 43.900	140 – 90.000
DBO	500 – 1000	0,02 – 57.000
DBO/DQO	0,09 – 0,2	0,02 – 0,8
Ferro (mg/L)	1,0 – 45	3,0 – 5.500
Chumbo	0,01 – 0,33	0,001 – 5,0
Cobre	0,1 – 0,3	0,005 – 10,0
Manganês (mg/L)	< 0,2 – 0,3	0,03 – 1.400

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram desenvolvidos em etapas pré-campo, campo, laboratório, tratamento e interpretação dos dados e conclusão da dissertação. Em todos os estágios citados realizou-se o levantamento bibliográfico.

Pré-campo

Nesta etapa foi realizada uma análise da bibliografia e seleção de materiais de referências, como cartas, mapas e fotos a fim de proporcionar um melhor conhecimento da área e do objeto de estudo.

Os pontos amostrados e estudados foram escolhidos através de foto-interpretação com análise de imagens.

Campo

Na etapa de campo foram aproveitados alguns cortes em encostas já existentes, assim como, a abertura de trincheiras para estudo dos perfis dos solos e as transformações ocorridas nos mesmos pela presença do chorume.

Foram escolhidos 7 perfis, situados no interior da Planta A (SCB1), na encosta da Planta A (SCB2, SCB3 e SCB4), na Planta B (CCL) e dois perfis, em tese, sem presença de lixo (SCB5 e CCB) (Figura 6).



Figura 6 – Mapa de amostragem indicando localização dos pontos amostrados.

No intuito de melhor compreender as transições entre os horizontes e/ou fácies, bem como os processos físico-químicos atuantes no meio, foram coletadas amostras para as análises químicas, físicas, mineralógicas e de metais pesados.

Os perfis da encosta da planta A foram amostrados em pontos específicos. Estes pontos foram escolhidos de acordo com a mudança de coloração do solo ou estado de friabilidade do material. Pela dificuldade de acesso ao topo da encosta, os perfis não foram coletados sequencialmente na verticalidade, dividindo-se a encosta em três perfis aqui denominados pontos 1, 2 e 3 (SCB 2, SCB 3 e SCB 4, respectivamente) de onde foram coletadas 2 ou 3 amostras.

Amostragem

Após abertura das trincheiras e limpeza dos perfis e cortes em encostas, foram coletadas amostras individuais, com mais ou menos 1 Kg, utilizando-se uma pá. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados.

Para a análise de metais pesados, cuidados extras foram tomados na coleta do material. As amostras foram coletadas utilizando-se materiais plásticos. Esse procedimento foi adotado no intuito de não haver qualquer contaminação por fatores externos ao objeto de estudo.

Laboratório

As análises físicas, químicas e mineralógicas foram realizadas nos laboratórios do DNOCS e Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da UFBA, utilizando-se o Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (1979 e 1997). As análises dos metais pesados foram realizadas no LEM (Laboratório de Estudos Biogeoquímicos de Manguezais) no Instituto supracitado.

- **Preparação das amostras**

As amostras deformadas depois de protocoladas foram colocadas em tabuleiro de madeira de 40 x 60 x 08 cm espalhando e destorroando-as com as mãos, deixando em local seco e ventilado até uma completa dessecação por ar. Após esse procedimento foi realizada a pesagem das amostras. Feito isso, realizou-se novamente o destorroamento e passagem em peneira de 2 mm repetindo as operações de destorroamento e peneiramento de toda a amostra; separou-se a fração retida na peneira de 2 mm (calhaus e cascalhos) e colocando-se a TFSA (Terra fina seca ao ar) em saco plástico com devida identificação.

Após a preparação das amostras, as mesmas encontravam-se prontas para a execução das análises físicas, químicas e mineralógicas. Para realização das análises dos metais pesados, cada amostra foi passada em peneira de 250 mesh.

- **Análises Físicas**

Composição granulométrica - Essa análise foi realizada em amostras de TFSA (terra fina seca ao ar), sendo a matéria orgânica eliminada pelo ataque com água oxigenada 30 volumes. O teor de argila foi obtido através do método da pipeta de Robison, após dispersão com NaOH 1N. As frações areia grossa e fina foram obtidas por tamisação, em peneiras de 0,2 e 0,053 mm, e o silte pelo tempo de queda, conforme a Lei de Stocks.

Densidade Aparente e Densidade Real - a densidade aparente foi determinada pelo método do anel volumétrico (Kopeck), a densidade real pelo método do picnômetro na TFSA (terra fina seca ao ar), calculando-se a porosidade total.

Macro e Microporosidade - A determinação da macroporosidade e da microporosidade foi

obtida em amostras indeformadas, coletadas em anel volumétrico de 100 cm³, utilizando-se mesa de tensão a 0,06 atmosfera (OLIVEIRA, 1968). A porosidade total foi obtida através da determinação da densidade aparente e real procedendo-se o cálculo: porosidade total = densidade real - densidade aparente/densidade real, sendo a microporosidade determinada pela relação entre a diferença entre o peso da amostra após ser submetida à mesa de tensão e o peso da amostra seca a 105° C sobre o volume do cilindro, e a macroporosidade calculada pela diferença entre porosidade total calculada e microporosidade

- **Análises Químicas tradicionais de solos**

Cálcio e Magnésio trocáveis - foram extraídos cálcio e magnésio trocáveis através de solução de KCl 1:10, sendo determinados, posteriormente, por titulação com EDTA 0,0125 M.

Potássio e Sódio trocáveis - foram determinados por fotometria de chama, utilizando HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N como extrator.

Alumínio Extraível - extraído com solução de KCl na proporção 1:20 e determinado por titulação da acidez com NaOH 0,1 N.

Acidez extraível (H⁺ + Al⁺⁺⁺) - foi obtido pelo método volumétrico em solução de acetato de cálcio 1N a pH 7, sendo determinada por titulação com NaOH a 0,1 N, tendo como indicador fenolftaleína a 0,5%.

Valor S - foi calculado pela soma de bases (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ + Na⁺ + K⁺).

CTC ou T (Capacidade de troca de cátions) - através da soma de bases mais hidrogênio e alumínio extraíveis (acidez extraível);

Valor V (Saturação de bases) - Calculada através da fórmula $V = 100XS/T$.

O hidrogênio extraível foi determinado pela diferença entre acidez extraível e alumínio extraível.

Carbono Orgânico - a determinação do carbono orgânico foi feita pela oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio 0,4 N em meio sulfúrico e titulação por sulfato ferroso amoniacal 0,1 N. A percentagem de matéria orgânica foi calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico em percentagem por 1,724, fator que considera o conteúdo médio de carbono na matéria orgânica.

pH em água e KCl - para determinação do pH em água e KCl utilizou-se o potenciômetro em suspensão sólido/líquido na proporção 1:2,5.

- **Análises para extração de metais pesados**

Para extração dos elementos As, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Fe, Mn, Zn e Co, foram utilizados os métodos determinados pela United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1996; 1998). A quantidade de metais presente nos extratos foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica com chama convencional.

Abertura Total

O método utilizado para essa extração foi o 3052 (USEPA, 1996) que consiste na digestão ácida de matrizes de silício, matrizes orgânicas e outras matrizes complexantes utilizando o aparelho de microondas. Para o procedimento pesou-se de cada amostra 0,25 g (Figura 7),

adicionando 10 ml de ácido nítrico (HNO_3) e 2 ml de ácido clorídrico (HCl) agitando e deixando reagir por 30 minutos. Após esse período, 3 ml de ácido fluorídrico 40% (HF), foi adicionado, levando-se ao aparelho de microondas por aproximadamente 13 minutos (Figuras 8 e 9).

As amostras, após serem retiradas do aparelho de microondas e estarem em temperatura adequada para abertura dos recipientes, receberam 5 ml de H_3BO_3 4% sendo agitadas (Figura 10), transferidas para balão volumétrico de 50 ml, avolumadas e acondicionadas em frasco PVC.

Como a capacidade do aparelho de microondas é de 6 recipientes por rodada, foi utilizado, em cada uma delas, um branco e uma duplicata escolhida aleatoriamente, adotando-se os mesmos procedimentos em todas as amostras estudadas. Os padrões utilizados na abertura total foram: o padrão de basalto e o padrão do Canadá.



Figura 7 – Procedimento de pesagem das amostras.



Figura 8 - Amostras recebendo o ácido fluorídrico (HF) 40%.



Figura 9 – Amostras levadas ao microondas.



Figura 10 - Amostras recebendo H_3BO_3 4%.

Abertura Parcial

Para abertura parcial das amostras foi utilizado o método 3051A (USEPA, 1998). Este método é aplicado em sedimentos, lodos, solos e óleos para extração parcial de elementos através da digestão ácida em microondas.

Para o procedimento pesou-se 1,0 g de amostra de solo, adicionou 9 ml de ácido clorídrico (HCl) e 3 ml de ácido nítrico (HNO_3) agitando e deixando reagir por 30 minutos. Após esse período, levou-se ao aparelho de microondas por aproximadamente 13 minutos, retirando-se em seguida e deixando esfriar. Com a abertura dos recipientes, processou-se a filtragem transferindo para os balões volumétricos de 50 ml (Figura 11) e acondicionando em frascos de PVC.

Após os procedimentos adotados, as concentrações dos metais foram determinadas utilizando o espectrofotômetro de absorção atômica com chama, da marca Varian 220 FS (Figura 12), do Laboratório de Estudos Biogeoquímicos de manguezais da UFBA (LEM-UFBA).



Figura 11 - Amostras avolumadas em balões de 50 ml.



Figura 12 - Espectrofotômetro de absorção atômica do LEM.

- **Análises Mineralógicas**

Para caracterização mineralógica da fração argila, as amostras dos perfis foram analisadas sob condições naturais. Foram preparadas lâminas orientadas que foram analisadas em aparelho de Raios-X. A preparação iniciou-se com a separação da fração argila com NH_4OH 1N. Após essa separação, uma pequena quantidade de argila em estado pastoso foi colocada sobre uma lâmina de vidro. Com outra lâmina, friccionou-se o material até formar uma fina película sobre a lâmina, secando-se à temperatura ambiente, e, logo após, as lâminas foram levadas ao difratômetro nos laboratórios do IGUFBA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com as análises realizadas nos solos e sedimentos do Lixão de Canabrava foram agrupados e correlacionados por meio de gráficos e tabelas. Inicialmente foram apresentadas as características físicas e químicas de cada perfil, enfatizando os fatores que afetam a disponibilidade ou retenção dos metais pesados, e abordando os processos de degradação e transformação sofridos nos solos e sedimentos pela influência do chorume. A seguir, as concentrações parciais e totais de cada metal foram analisados e confrontados com os valores orientadores estipulados pela CETESB (2006).

Para finalizar, uma discussão sobre o comportamento dos metais com base na idade dos resíduos foi realizada.

- **Análises Físicas e Químicas**

Os dados apresentados a seguir refletem as características físicas e químicas de cada perfil de Canabrava, motivando uma discussão sobre a influência do chorume nas características naturais do solo.

Composição granulométrica

A granulometria permite caracterizar e classificar, texturalmente, os diferentes materiais constituintes do solo. Esse estudo possibilita a realização de interpretações sobre a estrutura e distribuição espacial das partículas, fornecendo dados indicativos sobre os processos de transporte, deposição e alteração *in situ* (CARVALHO, 2001).

De acordo com os dados obtidos na análise granulométrica dos solos, do lixão de Canabrava, pôde-se observar uma predominância de partículas grossas em todos os perfis analisados (Tabela 1). No ponto 3, perfil SCB 4, ocorre a maior quantidade dessa fração, 900g.Kg^{-1} entre areia grossa e fina. Nesse perfil também é encontrado o menor teor de argila (50g.Kg^{-1}) o que lhe concerne a classificação textural de areia. Nessa textura, a capacidade de retenção de água é reduzida devido ao grande espaçamento entre as partículas granulométricas, sendo rápida a passagem de ar e água, facilitando a drenagem e, conseqüentemente, movimentação de possíveis substâncias contaminantes.

De acordo com a variação nos teores de argila e silte, outras classificações são apresentadas, como no perfil SCB 1 coletado no interior da planta A, onde predominam as frações areia fina e silte, promovendo uma textura franca, e ainda, nos perfis SCB 2 e SCB 3, onde a textura passa de franco argilo arenoso para areia franca, respectivamente.

O perfil CCL coletado na planta B apresenta em quase toda sua extensão a classificação textural franco arenoso aparecendo na camada inferior à textura areia. De acordo com Brito (2005), essa passagem é acompanhada de um aumento da friabilidade, justificada pela perda do ferro, em forma de goethita, e das argilas, caracterizando um processo de podzolização.

Os perfis que apresentaram maiores teores de argila foram o SCB 5 e CCB, que não receberam lixo, com variações entre 350g.Kg^{-1} a 430g.Kg^{-1} no SCB5 e 190g.Kg^{-1} a 560g.Kg^{-1} no CCB. Os teores de areia grossa e fina são próximos, ambos diminuindo com a profundidade, o mesmo não acontecendo para o silte e a argila. Pelo fato de terem sido conservados, o SCB 5 e CCB ainda apresentam características físicas típicas de solos do Grupo Barreiras.

Tabela 1 – Resultados das análises físicas dos solos estudados.

Amostra	Prof. (cm)	Cor	Composição granulométrica (g.Kg ⁻¹)				Classificação textural	Massa específica (g/cm ³)		Porosidade natural
			Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila		Aparente	Real	
Solo com lixo – Planta A										
SCB 1-1	0-20	2,5YR 6/4 (marrom avermelhado claro)	160	310	310	220	franco	1,28	2,53	49
SCB 1-2	40-60	2,5YR 6/4 (marrom avermelhado claro)	110	400	310	180	franco	1,34	2,40	44
SCB 1-3	120-140	2,5 YR 6/4 (marrom avermelhado claro)	100	210	460	230	franco	1,28	2,35	45
SCB 1-4	200-220	2,5 YR 6/4 (marrom avermelhado claro)	230	290	290	190	franco	1,34	2,27	40
Solos da encosta - Planta A										
Ponto 1										
SCB 2-1	200-240	5YR 6/4 (marrom avermelhado claro)	450	250	60	240	franco argilo arenoso	1,49	2,4	37
SCB 2-2	260-280	5YR 7/4 (rosa)	200	350	130	320	franco argilo arenoso	1,55	2,53	38
Ponto 2										
SCB 3-1	280-300	5YR 8/3 (rosa)	540	310	60	90	areia franca	1,48	2,59	42
SCB 3-2 externa	320-380	5YR 6/6 (amarelo avermelhado)	600	150	120	130	franco arenoso	1,52	2,53	39
SCB 3-2 interna	320-380	10YR 7/6 (amarelo)	520	300	70	110	areia franca	1,55	2,53	38
Ponto 3										
SCB 4-1	380-400	10YR 8/3 (marrom muito pálido)	800	100	50	50	areia	1,46	2,98	51
Solo com lixo – Planta B										
CCL 22	10+	Material dentro do resíduo (cinza escuro)	320	330	160	190	franco arenoso	1,46	2,78	46
CCL 21	0-65	5Y 7/1 (Cinza claro)	310	410	120	160	franco arenoso	1,46	2,70	47
CCL 20	65-86	5YR 6/6 (amarelo avermelhado)	300	330	100	270	franco argilo arenoso	1,42	2,66	46
CCL 19	86-138	10YR 8/4 (marrom muito pálido)	430	230	110	230	franco arenoso	1,40	2,68	46
CCL 18	138-178	10YR 8/4 (marrom muito pálido)	450	260	90	200	franco arenoso	1,43	2,68	46
CCL 17	178-208	5Y 8/4 (amarelo pálido)	360	300	130	210	franco arenoso	1,40	2,66	46
CCL 16	208-258	5YR 6/8 (amarelo avermelhado)	550	180	80	190	franco arenoso	1,40	2,66	46
CCL 15	258-278	-	720	90	60	130	franco arenoso	1,45	2,70	47
CCL 15a	258-278	-	500	210	110	180	franco arenoso	1,40	2,66	46
CCL 14	278-296	10YR 8/4 (marrom muito pálido)	580	170	80	170	franco arenoso	1,42	2,66	46
CCL 13	296-319	7,5 YR 6/6 (amarelo avermelhado)	440	210	110	240	franco arenoso	1,42	2,70	46
CCL 11	319-342	5YR 8/3 (rosa)	580	140	70	210	franco arenoso	1,42	2,68	46
CCL1	342-362+	10YR 8/4 (marrom muito pálido)	810	60	40	90	areia	1,59	2,78	47
Solo sem lixo – Planta A										
SCB 5-1	0-20	7,5YR 6/4 (marrom claro)	260	250	140	350	argila arenosa	1,3	2,35	44
SCB 5-2	90-110	7,5YR 6/6 (amarelo avermelhado)	170	190	210	430	argila	1,31	2,27	42
Solo sem lixo - Estádio Manoel Barradas										
CCB 1	100-140	10YR 6/8 (amarelo amarronzado)	380	250	30	340	argila arenosa	1,46	2,66	43
CCB 2	160-180	10YR 7/6 (amarelo)	260	290	70	380	argila arenosa	1,42	2,68	43
CCB 3	200-240	10YR 8/4 marrom muito pálido)	80	280	90	550	argila	1,51	2,66	43
CCB 4	260-280	5YR 6/4 (marrom avermelhado claro)	100	230	110	560	argila	1,51	2,61	45
CCB 5	300-340	10R 6/4 (vermelho pálido)	140	600	70	190	franco arenoso	1,62	2,74	47

Tabela 2 - Resultados das análises químicas dos solos estudados.

Amostra	Prof. (cm)	pH		Complexo sortivo (cmol _e /Kg solo)									C g Kg ⁻¹	M.O. g.Kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺ + Al ⁺³	T	Al ⁺³	V%		
Solo com lixo – Planta A														
SCB 1-1	0-20	6,8	5,5	9,70	1,00	0,62	0,31	11,63	0,50	12,13	0,10	96	7,90	13,50
SCB 1-2	40-60	6,5	5,6	2,50	2,00	0,38	0,10	4,98	0,40	5,38	0,10	93	5,10	8,70
SCB 1-3	120-140	6,7	5,8	1,50	0,20	1,41	0,29	3,40	0,40	3,80	0,10	89	1,80	3,00
SCB 1-4	200-220	4,0	3,5	1,00	0,20	0,02	0,25	1,47	1,30	2,77	1,20	53	2,40	4,10
Solos da encosta – Planta A														
Ponto 1														
SCB 2-1	200-240	5,5	4,7	1,00	0,10	0,03	0,06	1,19	0,30	1,49	0,10	80	8,40	14,40
SCB 2-2	260-280	5,3	4,6	0,80	0,20	0,02	0,05	1,07	0,20	1,27	0,10	84	5,10	8,70
Ponto 2														
SCB 3-1	280-300	6,6	6,0	0,20	0,30	0,02	0,07	0,59	0,10	0,69	0,10	86	6,30	10,80
SCB 3-2 externa	320-380	7,7	6,1	1,00	0,10	0,01	0,02	1,13	0,40	1,53	0,10	74	4,20	7,20
SCB 3-2 interna	320-380	6,8	5,9	0,90	0,10	0,01	0,03	1,04	0,10	1,14	0,10	91	4,50	7,70
Ponto 3														
SCB 4-1	380-400	5,6	4,4	1,00	0,20	0,02	0,04	1,26	0,60	1,86	0,10	68	4,80	8,20
Solo com lixo – Planta B														
CCL 22	10+	6,1	5,3	9,50	2,90	0,24	0,11	12,75	2,00	14,75	0,00	87	0,55	0,95
CCL 21	0-65	5,7	4,6	1,00	0,50	0,07	0,03	1,60	4,50	6,10	0,10	26	0,30	0,52
CCL 20	65-86	6,9	5,8	2,70	0,10	0,07	0,04	2,91	4,40	7,31	0,10	40	0,06	0,10
CCL 19	86-138	7,0	5,9	1,00	0,50	0,06	0,03	1,59	4,50	6,09	0,10	26	0,44	0,76
CCL 18	138-178	6,3	5,5	1,30	0,10	0,05	0,04	1,40	4,40	5,80	0,10	24	1,60	2,75
CCL 17	178-208	6,3	5,6	0,80	0,50	0,09	0,04	1,43	4,80	6,23	0,10	23	0,10	0,18
CCL 16	208-258	6,5	5,8	1,20	0,10	0,05	0,03	1,38	4,80	6,18	0,10	22	0,42	0,72
CCL 15	258-278	8,1	6,9	1,30	0,20	0,05	0,02	1,57	3,80	5,37	0,10	29	1,46	2,52
CCL 15a	258-278	6,8	5,9	0,40	0,30	0,08	0,03	0,81	3,80	4,61	0,10	17	0,39	0,67
CCL 14	278-296	6,4	5,5	0,60	0,10	0,07	0,04	0,81	4,10	4,91	0,10	16	0,34	0,59
CCL 13	296-319	6,6	5,8	1,00	0,20	0,21	0,06	1,38	3,60	4,98	0,10	28	0,84	1,44
CCL 11	319-342	6,3	5,5	0,30	0,20	0,13	0,04	0,67	4,20	4,87	0,10	14	0,66	1,14
CCL 1	342-362+	5,8	4,9	0,50	0,30	0,05	0,03	0,88	4,40	5,28	0,10	17	0,61	1,04
Solo sem lixo – Planta A														
SCB 5-1	0-20	4,3	3,8	1,00	0,10	0,02	0,04	1,16	1,70	2,86	1,10	41	9,10	15,60
SCB 5-2	90-110	4,2	3,7	1,30	0,20	0,02	0,04	1,56	2,90	4,46	0,90	35	6,70	11,50
Solo sem lixo - Estádio Manoel Barradas														
CCB 1	100-140	3,9	3,3	1,10	0,40	0,02	0,01	1,53	3,30	4,83	0,70	32	3,00	5,16
CCB 2	160-180	4,0	3,3	1,50	1,00	0,03	0,01	2,54	2,20	4,74	0,60	54	1,80	3,10
CCB 3	200-240	4,2	2,9	1,50	1,50	0,05	0,03	3,08	3,30	6,38	0,60	48	1,98	3,41
CCB 4	260-280	3,8	2,9	2,50	0,50	0,08	0,04	3,12	3,20	6,32	2,30	49	1,80	3,10
CCB 5	300-340	8,7	5,6	2,00	0,20	0,05	0,03	2,28	1,20	3,48	0,30	66	3,48	5,98

Como já foi dito, a textura é um parâmetro bastante relevante quando se estuda o comportamento dos metais em um perfil de solo. Solos com textura fina tendem a apresentar maior CTC e, portanto, maior capacidade de adsorver os elementos pesados. Os solos em questão, além de apresentar textura arenosa que permite maior permeabilidade e lixiviação dos elementos, tendem a ser mais susceptíveis a erosão o que compromete e muito a estabilidade dos taludes. Segundo Azevedo e Dalmolin (2004), os solos arenosos não devem ser utilizados para descarte de lixos e resíduos tóxicos, pois tendem a deixar passar elementos químicos para o lençol freático influenciando o fluxo e a qualidade da água subsuperficial.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é uma das propriedades mais notáveis da solução do solo. Sua obtenção é imprescindível no conhecimento do comportamento dos metais pesados, pois é responsável pela disponibilidade ou retenção de inúmeros elementos.

Bacaícoia (2001), estudando o chorume de Canabrava, obteve os seguintes valores de pH no ano de 1999: 7,7 na célula C1; 8,1 na célula C2 e 7,9 na célula C3, pertencentes à planta A, onde os resíduos apresentam idade aproximada de 15 anos de deposição. Essa tendência à alcalinidade está associada ao tempo de decomposição dos resíduos que se encontram na fase metanogênica onde há a elevação do pH.

Os solos e sedimentos encontrados em Canabrava, por pertencerem ao Grupo Barreiras, deveriam apresentar em princípio pH ácido a moderadamente ácido, já que apresentam baixa saturação por bases, sendo geralmente distróficos ($V < 50\%$) ou álicos ($m > 50\%$). Como previsto, dos solos analisados na tabela 3, os perfis SCB 5 e CCB encontram-se na faixa de pH pertencente a solos do Grupo Barreiras. Os demais, por encontrar-se em contato com o lixo, sofrem certa variação e o pH tende a alcalinidade.

De acordo com a classificação adotada pela Embrapa (Quadro 2), o perfil SCB 1 apresenta pH praticamente neutro nas primeiras camadas do solo caindo bruscamente a 200 cm de profundidade. Esse fato é atribuído ao aumento do íon alumínio proporcionando acidez ao meio. Nesse valor de pH em água ($pH < 5,5$), pode-se esperar em alguns solos a ocorrência de Al trocável em níveis tóxicos. Em condições naturais, geralmente o pH aumenta em profundidade, o mesmo não ocorrendo no perfil em questão.

Quadro 2 – Classes de acidez ou alcalinidade adotada pela Embrapa Solos.

Classes	pH (solo/água 1:2,5)
Extremamente ácido	< 4,3
Fortemente ácido	4,3 - 5,3
Moderadamente ácido	5,4 - 6,5
Praticamente Neutro	6,6 - 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 - 8,3
Fortemente alcalino	> 8,3

Fonte: Embrapa (2006).

A presença de chorume no ponto 2 (perfil SCB 3) deixa o pH entre praticamente neutro a moderadamente alcalino. Nesse perfil localizado na encosta da planta A foi encontrado evidências de chorume ainda percolando. Com a limpeza do perfil na época da amostragem, o solo encontrava-se bastante úmido e exalava um forte odor (Figura 13).



Figura 13 – Ponto 2 (SCB 3) – Solo de Canabrava contaminado pelo choroume aumentando o pH do meio.

Em outros pontos ainda na encosta, os perfis SCB 2 e SCB 4 apresentaram pH moderadamente ácido. No perfil CCL oriundo da planta B, onde os resíduos são mais velhos, o pH varia entre moderadamente ácido a moderadamente alcalino (tabela 4), chamando atenção ao ponto CCL 15 que apresenta o pH bastante elevado (8,1). Segundo Brito (2005), o fato é explicado em função dos resíduos serem mais antigos (30 anos), concentrando altos teores de sais na matéria orgânica.

A diferença entre o pH em KCl e o pH em água resulta no delta pH do solo. Esse parâmetro indica a predominância ou não de cargas negativas, nos solos aqui analisados, de um modo geral, o delta pH mostrou-se negativo indicando maior capacidade na adsorção de cátions que de ânions.

Em relação à disponibilidade ou retenção dos metais, espera-se que com o aumento do pH, mais cargas negativas apareçam nas extremidades e nas superfícies das partículas de argila, resultando consequentemente em aumento da CTC do solo e, portanto, maior retenção de metais pesados. Além disso, com o aumento do pH, geralmente há a precipitação de formas insolúveis como hidróxidos, carbonatos e complexos orgânicos.

A tendência à alcalinidade, influenciada pelo choroume, na maioria dos perfis analisados, promove o aumento de sítios de adsorção dos minerais e matéria orgânica, dando uma maior capacidade de retenção de íons. No entanto, em alguns pontos, nota-se que, mesmo com o aumento do pH, não houve variação da CTC, chegando até mesmo diminuir, a exemplo do CCL 15, não havendo explicação até o presente momento para esse fato bastante curioso.

Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

Juntamente com o pH, a capacidade de troca catiônica é um parâmetro indicativo do comportamento dos metais no solo. Geralmente, quanto maior a CTC mais sítios de troca estarão disponíveis para adsorver metais.

As análises dos perfis de Canabrava demonstram algumas variações a depender da localização do perfil e ao longo do mesmo. Os solos localizados na encosta da planta A (SCB 2, SCB 3 e SCB 4) e o solo sem lixo (SCB 5) foram os que apresentaram as menores capacidades de troca, bem como, baixa soma de bases. No entanto, para os solos localizados na encosta, devido à baixa CTC e os baixos valores de $H^+ + Al^{+++}$, a soma das bases superou os cátions ácidos, indicando um solo eutrófico ($V > 50\%$).

O caráter eutrófico ($V > 50\%$) ou distrófico ($V < 50\%$) de um solo é medido pelo seu percentual de saturação por bases e diz respeito a sua fertilidade. Esse atributo utilizado aqui apenas para evidenciar as modificações que o chorume promoveu nos solos de Canabrava, não quer de modo algum indicar que os solos de Canabrava são férteis e aptos para uso na agricultura, principalmente por se tratar de um lixão e não ser esse o objetivo do trabalho, mas sim, mostrar que uma das características do solo foi alterada, nesse caso, o caráter distrófico do solo.

O CCB apesar de não sofrer influência do chorume, apresentou variação nos níveis de cátions básicos oscilando entre valores considerados baixos a médio o que se refletiu também, na soma das bases e capacidade de troca catiônica.

O perfil SCB 1 apresentou altos teores de cálcio em superfície, diminuindo na medida em que houve o aprofundamento no perfil (9,7; 2,5; 1,5; 1,0 cmol_c/Kg, respectivamente). O teor de magnésio tem seu valor mais expressivo entre 40 e 60 cm de profundidade. A Soma das bases (S), devido aos altos teores de cálcio (9,7 cmol_c/Kg) e magnésio (1,0 e 2,0 cmol_c/Kg) encontrados em superfície, é considerada alta, diminuindo em profundidade. Por essa razão a capacidade de troca catiônica também é alta, tornando-se baixa com a profundidade, chegando a 2,77 cmol_c/Kg a 200 cm, devido ao aumento de H⁺ e Al, com diminuição dos cátions básicos. De acordo com os valores da saturação por bases ou valor V, o perfil em questão apresenta-se eutrófico em todas as camadas analisadas, havendo uma diminuição com a profundidade.

No perfil da planta B (CCL), a CTC varia de baixa a média, exceto no topo do perfil (CCL 22), onde há maior contato com os resíduos. Nesse local, a soma das bases e a CTC são altas, devido principalmente, aos teores de cálcio presentes, deixando o solo eutrófico (87%). Nos demais, a percentagem de saturação por bases é menor que 50% indicando um solo distrófico.

O caráter eutrófico, demonstrado pela maioria dos perfis, acontece devido à decomposição dos resíduos que liberam grande carga de elementos para o meio, principalmente cátions básicos, que competem com outros íons pela superfície das argilas e matéria orgânica. Como a capacidade de troca desses solos é baixa, e a concentração de cátions básicos é maior que dos cátions ácidos, a percentagem de saturação por bases, ou valor V, tende a ser superior a 50%, deixando o solo eutrófico. Na planta A (SCB1) e na planta B (CCL), os elevados valores de cálcio presentes acontece pela disposição de rejeitos de construção civil, depositados durante muito tempo em Canabrava. Pereira et al. (2005b), fazendo uma comparação entre os solos do lixão de Canabrava e solos típicos do Grupo Barreiras, observaram que o chorume originado em Canabrava desencadeou diversas modificações nas características naturais dos solos, tais como: elevação do pH, da percentagem de saturação por bases (V%), baixos teores de alumínio extraível, além de alterações na CTC e percentagem de matéria orgânica.

Matéria orgânica

Dos solos analisados, o CCL é o perfil onde foram encontrados os menores valores de matéria orgânica, esse fato pode ser explicado devido ao tempo de deposição dos resíduos (aproximadamente 30 anos). Nesse perfil as maiores concentrações obtidas foram entre 138 a 178 cm de profundidade e entre 258 a 278cm (CCL 15).

Segundo a Classificação quantitativa para carbono e matéria orgânica no Brasil (TOMÉ Jr., 1977) (Quadro 12), os teores de carbono e matéria orgânica no perfil SCB 1 são considerados baixos, apresentando os maiores valores no nível superficial, onde há maior concentração de resíduos em decomposição. Dos solos da encosta (SCB 2, SCB 3 e SCB 4)

todos se encontram com baixos níveis de matéria orgânica, até mesmo no SCB 3-2 (parte interna) onde foi encontrado o chorume percolando.

Quadro 3 – Classificação quantitativa para carbono e matéria orgânica no Brasil.

Classificação	Carbono (g. Kg ⁻¹)	Matéria Orgânica (g. Kg ⁻¹)
Baixo	< 9,0	< 15,0
Médio	9,0 a 14,0	15,0 a 25,0
Alto	> 14,0	> 25,0

Fonte: Tomé Jr. (1997).

O solo que não recebeu lixo (SCB 5) foi o que apresentou os maiores níveis de matéria orgânica (15,60 e 11,50 g.Kg⁻¹). Esse fato pode estar atrelado à presença de raízes na massa do solo e a matéria orgânica natural do solo. Por outro lado, CCB apresentou baixo conteúdo variando entre 3,10 a 5,98 g.Kg⁻¹.

Mineralogia das argilas

A argila de qualquer solo é, via de regra, composta de uma mistura de diversos minerais coloidais. No solo, a mistura pode variar de um horizonte para outro. Isso acontece, porque o tipo de argila resultante vai depender não só das influências climáticas e condições de perfil, como também da natureza do material originário (BRADY, 1989).

Possibilitando a identificação e caracterização dos compostos cristalinos presentes no solo, a difratometria de Raios-X é a mais poderosa ferramenta para estudos desses minerais. Amostras da Planta A e do perfil sem lixo de Canabrava (SCB 5) foram passadas em aparelho de raio X e identificados picos dos seguintes minerais: caulinita em associação com anatásio, quartzo e óxidos de ferro como a hematita e a goethita (Figuras 14, 15, 16, 17 e 18).

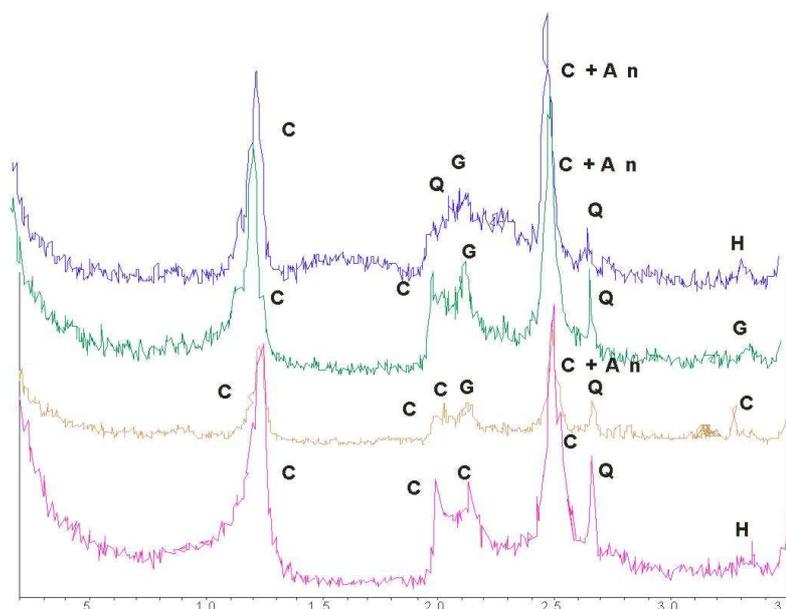


Figura 14 - Difratoograma de Raio X – Perfil SCB 1-1/ 1-2/1-3/1-4.

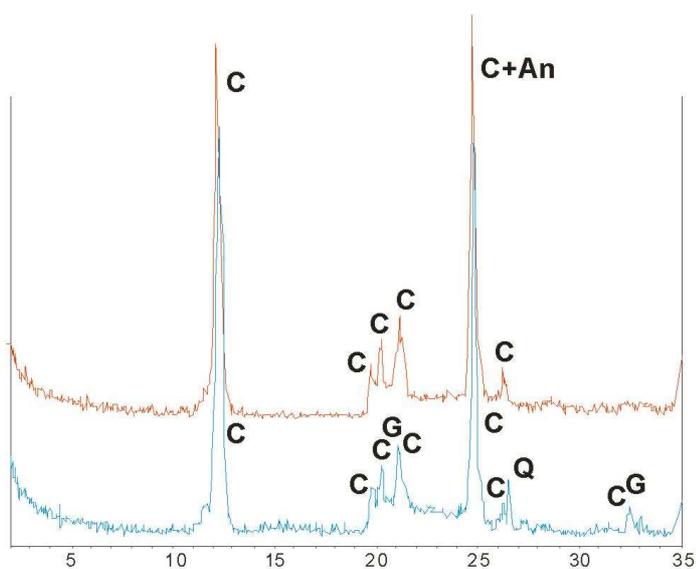


Figura 15 - Difratoograma de Raio X – Perfil SCB 2-1/2-2.

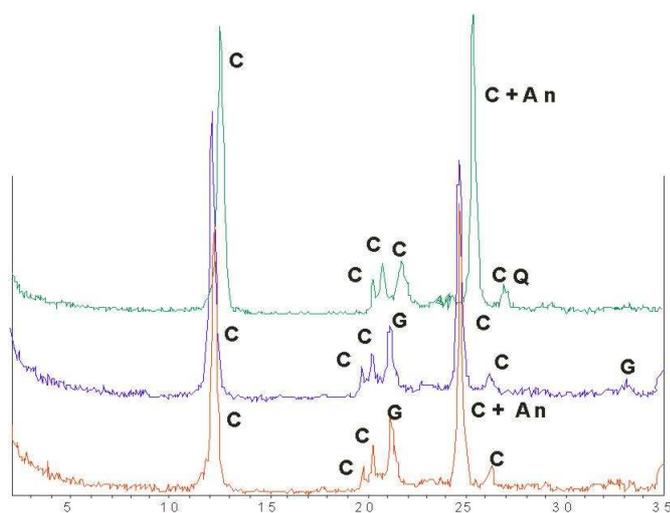


Figura 16 - Difratoograma de Raio X – Perfil SCB 3-1/3-2. ext./3-2 int.

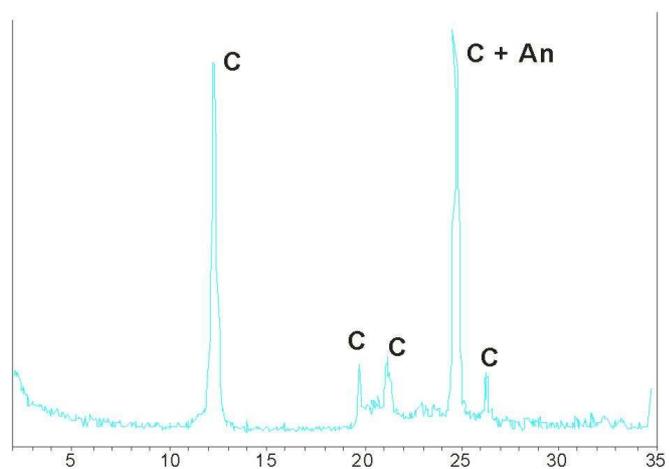


Figura 17 - Difratoograma de Raio X – Perfil SCB 4.

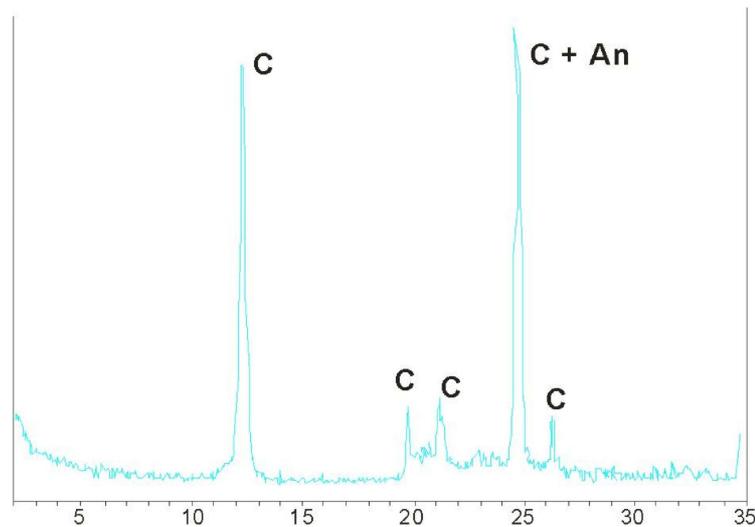


Figura 18 – Difratograma de Raio X – Perfil SCB 5 (solo sem lixo 0 -20/90-110 cm).

Legenda dos difratogramas: C = caulinita; Q = quartzo; A = anatásio; G = goethita; H = hematita.

Nos solos do Grupo Barreiras, típicos de climas tropicais onde há elevada precipitação, é comum encontrar minerais 1:1 e óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês. A caulinita considerada um dos argilominerais de mais ampla ocorrência em solos é formada a partir de uma grande variedade de materiais de origem (REZENDE et al., 2005) sendo produto do intemperismo ácido, onde há uma expressiva retirada de sílica e bases do sistema.

Devido ao arranjo de suas unidades estruturais fortemente unidas por ligações oxigênio hidroxila, não permite a entrada de água ou cátions estranhos em suas placas o que lhe confere baixa capacidade de troca.

Os óxidos de ferro também encontrados apresentam baixa CTC, mas, devido à instabilidade frente a situações de oxidação-redução, podem incorporar e liberar metais pesados que estejam associados a eles.

Estudos sobre a relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solos do Brasil realizados por Araújo et al. (2002) evidenciaram que as variáveis que mais contribuíram na magnitude de adsorção dos metais pesados foram: carbono, CTC efetiva, pH e argila, sendo a argila a principal responsável pela adsorção de chumbo e, juntamente com a matéria orgânica, responsável pela adsorção de cobre, cádmio e zinco.

Ferro, Alumínio e Manganês

Os óxidos de ferro, alumínio e manganês apresentam elevada capacidade adsorptiva de elementos traços e regulam a mobilidade e o transporte de íons em diversos compartimentos do ecossistema (biota, solos, rios, lagos e oceanos).

Através das extrações parciais e totais realizadas nos solos de Canabrava, pôde-se evidenciar a grande concentração dos elementos ferro e manganês nas amostras analisadas. Grande parte é associada ao manto de alteração sob o depósito de Canabrava, utilizado durante muito tempo, como material de empréstimo na cobertura diária do lixo.

Das amostras analisadas na planta A, é possível notar as maiores concentrações de ferro (parcial e total) no perfil SCB 1, principalmente nos níveis superficiais onde há maior contato com os resíduos. A menor concentração foi encontrada no perfil SCB 4 onde a composição

granulométrica é arenosa, com fácies hidromórficas, cor variegada, justificando a ausência para esses elementos. O perfil SCB 5, apesar de existir a informação de não ter recebido lixo doméstico, ele fica ao lado da célula que recebe resíduos de serviço de saúde (RSS).

Os resultados obtidos para ferro nesse perfil mostram concentrações elevadas e significativas. Esses resultados podem estar associados a duas possíveis fontes. A primeira de origem natural, onde um nível mais enriquecido em Ferro do Grupo Barreiras tenha sido coletado, oriundo dos óxidos e hidróxidos presentes na massa do solo e que esse elemento ainda não foi lixiviado pela ação do chorume. Mas, na segunda hipótese, devido à vizinhança do depósito de RSS, pode-se esperar uma forte contribuição desses resíduos, ricos em hemoderivados e metais, no enriquecimento antrópico do ferro. No perfil SCB 3, a maior concentração ocorreu no ponto onde foi encontrado o chorume (Figura 19).

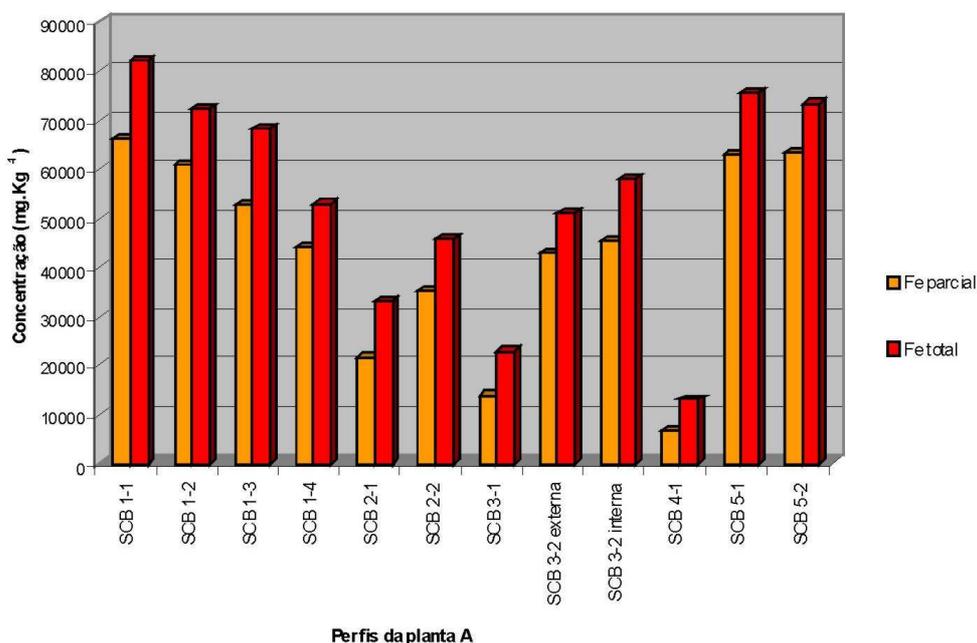


Figura 19 – Comparação entre os perfis da planta A de Canabrava em relação às concentrações de ferro parcial e total.

Quando a comparação é feita entre todos os perfis (Figura 20), nota-se que as maiores concentrações ainda se encontra no perfil SCB 1 da planta A, onde os resíduos são mais jovens, com exceção para o ponto CCL 16 da planta B, que apresentou as maiores concentrações de ferro parcial e total em relação a todos os perfis analisados. Essa maior concentração pode ter sido ocasionada pela presença de uma couraça, sendo degradada pela ação do chorume, observando-se também “in situ” uma transformação de hematita (vermelha) em goethita (amarela). O perfil CCB tem seus níveis de ferro diminuindo em profundidade, havendo um aumento no ponto CCB5 por re-precipitação, na forma de óxidos e hidróxidos, do ferro lixiviado dos horizontes superiores.

Estudos realizados por Barbosa et al. (2001) e Bacaicoa (2001) evidenciaram elevação dos teores de ferro total nas análises realizadas em amostras de chorume em todas as células da planta A entre os anos de 1995 a 1999 (Figura 21).

Segundo esses autores, o chorume produzido no lixão de Canabrava estaria dissolvendo as espécies sólidas contidas nos materiais de empréstimo, principalmente o ferro, aumentando suas concentrações e de outros elementos que estejam associados a eles.

Para o manganês a maior concentração foi encontrada no ponto SCB1-4 (parcial e total). A menor concentração ficou por conta do perfil SCB 4 (10 mg.kg⁻¹) (Figura 22). A grande diferença entre as concentrações parciais e totais indica que grande parte do manganês extraído nas análises encontra-se sob a forma de óxidos ou hidróxidos ou presos por adsorção específica. Sisino e Moreira (1996), avaliando a contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado de Niterói, obtiveram média de concentração de manganês no solo de 212,3 mg.Kg⁻¹ (extração total) e 186,5 mg.Kg⁻¹ (extração parcial) e no sedimento 128,6 mg.Kg⁻¹ e 8,31 mg.Kg⁻¹ (parcial).

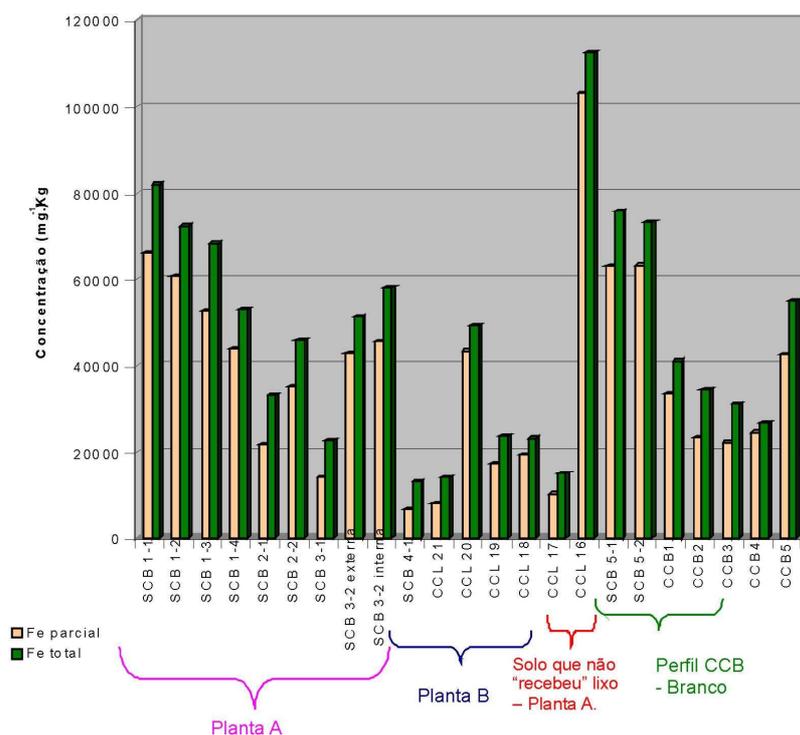


Figura 20 – Comparação das concentrações de ferro parcial e total dos perfis estudados.

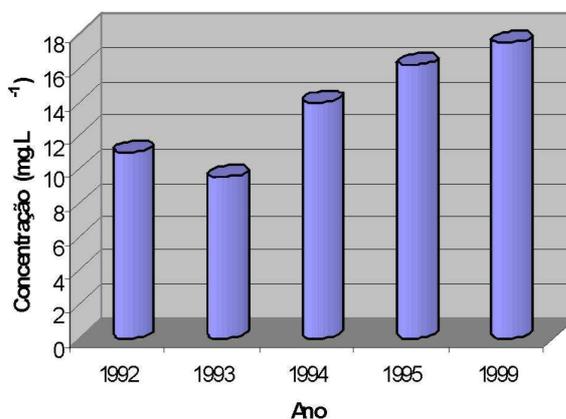


Figura 21 - Elevação temporal nos teores de ferro no chorume de Canabrava.

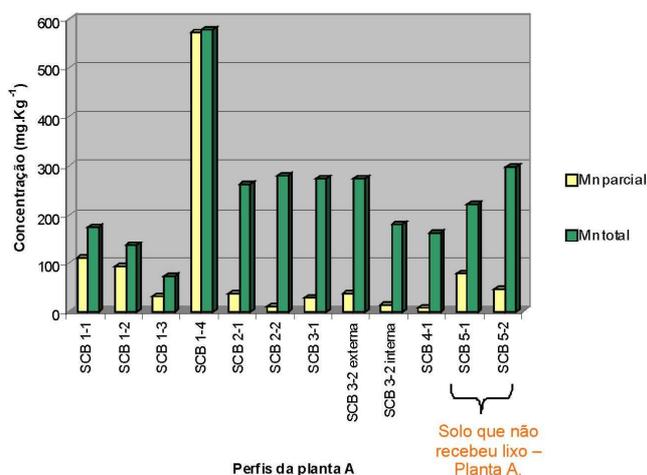


Figura 22 - Comparação entre os perfis da planta A de Canabrava em relação às concentrações de manganês parcial e total.

Na **Figura 23** é feita uma comparação entre as concentrações de manganês de todos os perfis analisados. Os maiores níveis encontram-se na planta A no perfil SCB1-4.

De um modo geral, a concentração total de manganês em todos os perfis analisados encontra-se bem acima da concentração extraída na análise parcial. Na extração total, todos os minerais presentes na massa de solo são destruídos e os elementos aprisionados a estrutura cristalina ou presos por adsorção específica são liberados, assim, normalmente, a concentração de determinado elemento sempre será maior numa extração total do que em uma análise parcial. No perfil SCB1-4 a elevada concentração de manganês extraído parcialmente aproxima-se em muito do extraído totalmente, isso indica que a maioria do manganês presente nesse solo pode estar disponível ou então que a extração foi muito agressiva a ponto de destruir boa parte dos minerais presentes que podem estar sob uma forma cristalina muito frágil.

A mensuração do alumínio foi através das análises químicas, extraíndo apenas o alumínio na fase trocável. Essa análise indicou baixas concentrações de alumínio em todos os perfis, com exceção para o ponto SCB 1-4 que apresentou a concentração de 1,20 cmol_c/Kg e os perfis sem lixo onde o pH se mostrou mais ácido e os teores de alumínio apresentavam-se a 1,10 cmol_c/Kg e 0,9 cmol_c/Kg no SCB 5 e variando entre 0,30 a 2,30 cmol_c/Kg no CCB.

A elevada concentração de ferro e manganês encontrada nos solos analisados oriundos de óxidos e hidróxidos deveria em princípio, promover maior adsorção de metais pesados, porém, a presença do chorume promovendo a dissolução dos minerais do solo tem permitido a disponibilidade desses elementos, bem como, de outros metais pesados adsorvidos a eles.

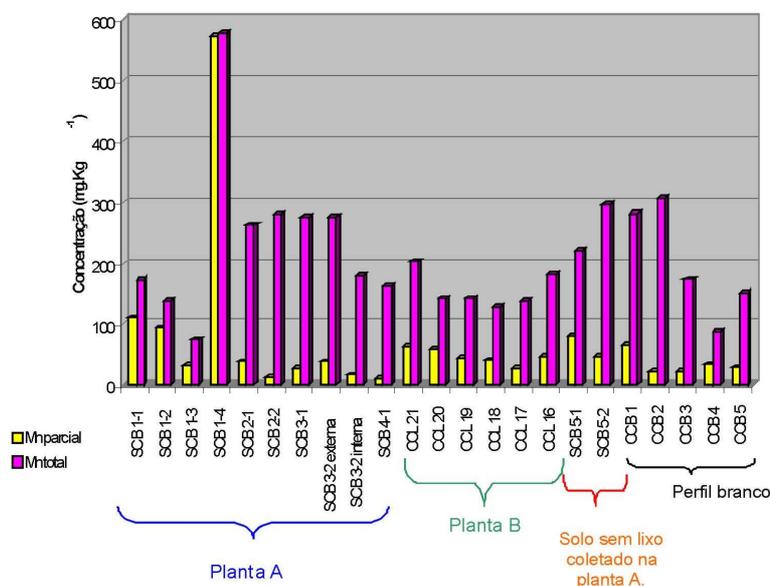


Figura 23 – Comparação das concentrações de manganês parcial e total dos perfis estudados.

Concentração dos Metais Pesados

Os resultados obtidos, com as extrações parciais e totais das amostras de solo de Canabrava, foram analisados conforme suas concentrações, comparando-se os resultados com os valores de referência da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental CETESB (2006) (Tabela 3). Esses valores fundamentados em informações de outros países com tradição em monitoramento ambiental, e denominados de valores de referência de qualidade (VRQ), valores de prevenção (VP) e valores de intervenção (VI) são aplicados pela CETESB na prevenção da poluição de solos e água subterrânea, bem como, no controle de áreas contaminadas para o estado de São Paulo.

Tabela 3 - Valores orientadores para solos da CETESB (2006).

Metais	Valores orientadores				
	Solos (mg.Kg ⁻¹)				
	Referência	Prevenção	Intervenção		
Agrícola AP Max*			Residencial	Industrial	
Arsênio	3,5	15	35	55	150
Cádmio	<0,5	1,3	3	8	20
Chumbo	17	72	180	300	900
Cobalto	13	25	35	65	90
Cobre	35	60	200	400	600
Cromo	40	75	150	300	400
Ferro	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	-
Níquel	13	30	70	100	130
Zinco	60	300	450	1000	2000

* Com base no valor de intervenção para solos no Cenário Agrícola/Área de proteção Máxima (APMax).
 - Não estabelecido pela CETESB.

Perfil SCB 1 – Planta A

Situado no interior da planta A, onde os resíduos apresentam aproximadamente 15 anos de deposição, o perfil SCB 1 (Figura 24) tem entre 0 e 20 cm de profundidade as maiores concentrações dos metais analisados, extração parcial e total (Tabelas 4 e 5). Exceção é feita para os elementos Pb e Mn que apresentaram as concentrações mais elevadas no nível mais inferior (SCB1-4) a 200 cm, com 42 mg.Kg⁻¹ e 572 mg.Kg⁻¹ com a extração parcial e 42 mg.Kg⁻¹ e 577 mg.Kg⁻¹ na extração total, respectivamente.



Figura 24 – Perfil SCB 1 coletado no interior da planta A.

Além disso, o chumbo nessa concentração excede o valor de referência de qualidade (17 mg.Kg⁻¹) estabelecido pela CETESB. Esse valor utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas, é a concentração de determinada substância no solo que o define como limpo. De acordo com Paoliello e De Capitani (2003) o chumbo é retido fortemente no solo e pouco transportado para águas superficiais ou profundas, sendo imobilizado pela troca iônica com óxidos hidratados ou argila, ou pela quelação com os ácidos fúlvicos e húmicos do solo. A maior concentração em profundidade pode estar associada ao revestimento usado no acesso em Canabrava, oriundo da Ferbasa e rico em metais pesados. Próximo a esse ponto também há um canal de drenagem de chorume que pode estar contribuindo para elevação nos teores desses elementos em profundidade.

Tabela 4 - Concentração parcial dos metais no perfil SCB 1.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
SCB 1-1	0-20	<2,0	<1,0	5,2	117	38	46	<5,0	7,9	65994	109
SCB 1-2	40-60	<2,0	<1,0	<5,0	70	17	28	<5,0	<5,0	60748	93
SCB 1-3	120-140	<2,0	<1,0	<5,0	68	25	29	<5,0	7,5	52576	31
SCB 1-4	200-220	<2,0	<1,0	42	50	22	18	<5,0	6,4	44033	572

* Limite de detecção do método.

Em se tratando do cromo, todo o perfil apresenta valores significativos. As maiores concentrações são encontradas nos níveis superficiais, diminuindo em profundidade. O valor de referência de qualidade é superado, e entre 0 e 20 cm a concentração de 117 mg.Kg⁻¹ supera o valor de prevenção, o mesmo acontecendo na extração total (Tabela 5).

Tabela 5 – Concentração total dos metais no perfil SCB 1.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
SCB 1-1	0-20	<2,0	<1,0	5,2	148	54	80	6,3	64	82033	173
SCB 1-2	40-60	<2,0	<1,0	<5,0	104	28	73	<5,0	50	72245	136
SCB 1-3	120-140	<2,0	<1,0	<5,0	102	40	41	<5,0	33	68214	73
SCB 1-4	200-220	<2,0	<1,0	42	104	43	56	6,3	86	52932	577

* Limite de detecção do método.

De acordo com a CETESB (2006), o valor de prevenção indica uma possível alteração da qualidade natural dos solos, sendo utilizado em caráter preventivo, e quando excedido, como no caso acima, a continuidade da atividade deverá ser submetida à nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes procederem ao monitoramento dos impactos decorrentes.

A extração parcial de cobre entre 0 e 20 cm de profundidade indicou concentrações acima do valor de referência de qualidade (35 mg.Kg⁻¹), já na extração total quase todo o perfil supera esse índice, a exceção fica por conta do SCB 1-2 que apresentou valor de 28 mg.Kg⁻¹. Segundo Pedrozo (2003), a maior parte do cobre depositado no solo oriundo da atmosfera, de sua aplicação agrícola, da disposição de resíduos sólidos e de lodo de esgoto, está fortemente adsorvida aos primeiros centímetros do solo, tendo sua movimentação

determinada pelas interações físico-químicas com os componentes do solo, ligando-se geralmente à matéria orgânica, aos carbonatos, à argila ou ao ferro hidratado e aos óxidos de manganês.

Em relação ao zinco, a extração total revelou em seu nível superficial (0 – 60 cm) concentração acima do valor de referência de qualidade, enquanto que o níquel supera o valor de prevenção em todo o perfil, chegando a atingir o valor de intervenção para áreas agrícolas. Cádmio, cobalto e arsênio encontram-se abaixo do valor de referência.

O valor de intervenção indica o limite de contaminação do solo e das águas subterrâneas, acima do qual, existe risco potencial à saúde humana, e deve ser utilizado em caráter corretivo no gerenciamento de áreas contaminadas. Quando excedido requer alguma forma de intervenção na área avaliada, de forma a interceptar as vias de exposição, devendo ser efetuada uma avaliação de risco caso a caso.

Valores bastante significativos foram encontrados para ferro e manganês tanto na extração parcial como na total. Esse fato está associado à presença dos óxidos e hidróxidos constituintes dos solos e o processo de dissolução proveniente do ataque do chorume. As maiores concentrações foram encontradas nos níveis mais superficiais diminuindo em profundidade, exceção para o manganês que apresentou sua maior concentração entre 200 e 220 cm com 572 e 577 mg.Kg⁻¹ na extração parcial e total, respectivamente. Como a CETESB não dispõe de valores orientadores para esses elementos, buscou-se correlacionar as concentrações obtidas com os dados referentes à classificação de risco à saúde humana (ATSDR, 2005) e toxicidade para plantas e animais compilados de McBride (1994) que determinam que concentrações acima de 1.000 mg.Kg⁻¹ de ferro e 300 a 500 mg.Kg⁻¹ de manganês provoca toxicidade as plantas e concentrações em torno de 131 mg.Kg⁻¹ de manganês causa risco a saúde humana.

Bacaicoa (2001), estudando a concentração de metais no chorume de Canabrava, também observou um aumento progressivo na concentração de alguns elementos (**Figura 25**). Segundo a autora, esse comportamento é inverso àqueles observados em outros depósitos por Christensen et al. (1994), Kjeldsen et al. (1998), Heron et al. (1997) e Millot (1986), que demonstram uma tendência à diminuição dos teores de metais à medida que o tempo passa. Em Canabrava o fato mostra que a provável fonte para o aumento desses elementos químicos esteja associada ao material de empréstimo (solo e sedimento) utilizado na cobertura e fechamento das células.

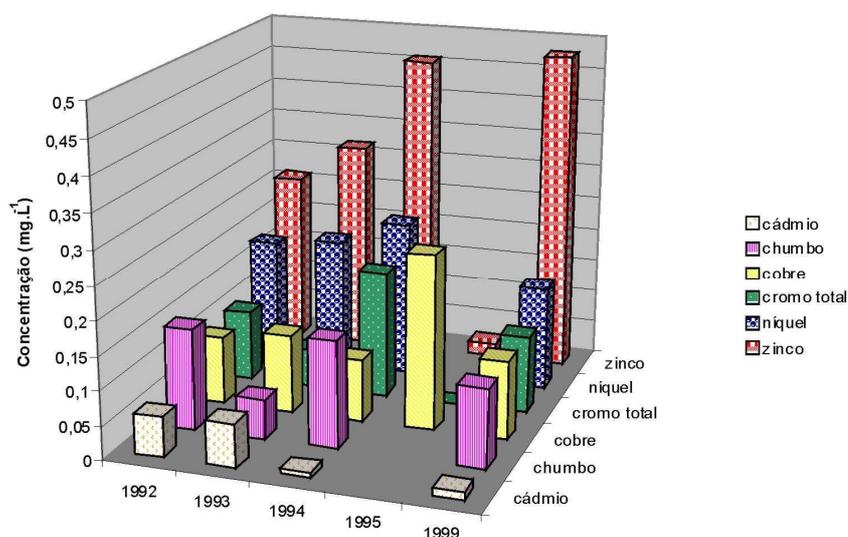


Figura 25 – Elementos metálicos no chorume de Canabrava.

Perfis da encosta - Planta A (SCB 2, SCB3 e SCB4)

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentadas as concentrações parciais e totais de todos os metais estudados.

O perfil SCB 2 (Figura 26) apresenta, em geral, baixas concentrações na maioria dos elementos analisados, exceção é feita para arsênio, cromo, ferro e manganês. Na extração parcial, o arsênio ultrapassa o valor de referência de qualidade, superando com a extração total, o valor de prevenção (15 mg.Kg⁻¹). Em relação ao cromo, as concentrações superam o valor de referência de qualidade (40 mg.Kg⁻¹) atingindo em seu nível inferior (SCB2-2) 91 mg.Kg⁻¹ ultrapassando o valor de prevenção (extração parcial) (Tabela 6).

Na extração total, Tabela 7, os níveis SCB2-1 e SCB2-2 superaram o valor de prevenção não atingindo, porém, a concentração onde é necessária a intervenção da área.

Os níveis de ferro extraído parcialmente indicam valores bastante elevados quando comparados ao parâmetro de toxicidade as plantas (> 1.000 mg.Kg⁻¹), enquanto o manganês oferece risco apenas na extração total.

Assim como nos demais perfis da encosta, o SCB3 (Figura 27) apresentou as maiores concentrações para os elementos cromo, ferro e manganês. No ponto onde foi encontrado o chorume, a concentração de cromo superou o valor de prevenção com 98 mg.Kg⁻¹ (SCB3-2 parte externa) e 93 mg.Kg⁻¹ (SCB3-2 parte interna) na extração parcial; e 111 mg.Kg⁻¹ (parte externa) e 123 mg.Kg⁻¹ (parte interna) na extração total.

As maiores concentrações de ferro foram encontradas no SCB 3-2 (Figura 28), onde havia o afloramento do chorume, ficando a parte interna (maior contato com o chorume) com a concentração mais elevada, porém, em relação ao manganês, esse comportamento foi inverso.

Tabela 6 - Concentração parcial dos metais nos perfis da encosta na planta A.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
Ponto 1											
SCB 2-1	200-240	14	<1,0	<5,0	72	<5,0	8,6	<5,0	<5,0	21616	38
SCB 2-2	260-280	11	<1,0	<5,0	91	5,7	7,5	<5,0	<5,0	35220	11
Ponto 2											
SCB 3-1	280-300	2,0	<1,0	7,4	35	<5,0	9,0	<5,0	9,3	13804	27
SCB 3-2 externa	320-380	14	<1,0	10	98	<5,0	<5,0	<5,0	8,2	42959	38
SCB 3-2 interna	320-380	22	<1,0	<5,0	93	6,6	5,0	<5,0	<5,0	45464	15
Ponto 3											
SCB 4-1	380-400	<2,0	<1,0	<5,0	24	<5,0	<5,0	<5,0	6,9	6599	<10

* Limite de detecção do método.

Tabela 7 - Concentração total dos metais nos perfis da encosta na planta A.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
Ponto 1											
SCB 2-1	200-240	24	<1,0	<5,0	102	7,4	19	<5,0	<5,0	33153	263
SCB 2-2	260-280	22	<1,0	<5,0	108	9,0	15	<5,0	<5,0	45748	280
Ponto 2											
SCB 3-1	280-300	4,2	<1,0	7,4	58	8,1	16	<5,0	9,3	22711	275
SCB 3-2 externa	320-380	15	<1,0	10	111	<5,0	5,2	<5,0	8,2	51247	275
SCB 3-2 interna	320-380	22	<1,0	<5,0	123	7,9	5,5	<5,0	<5,0	58042	179
Ponto 3											
SCB 4-1	380-400	2,0	<1,0	<5,0	49	8,4	<5,0	<5,0	6,9	13048	163

* Limite de detecção do método.



Figura 26 – Perfil SCB2 (Ponto 1) localizado na encosta da Planta A, Lixão de Canabrava.



Figura 27 – Perfil SCB3 coletado na encosta da planta A.

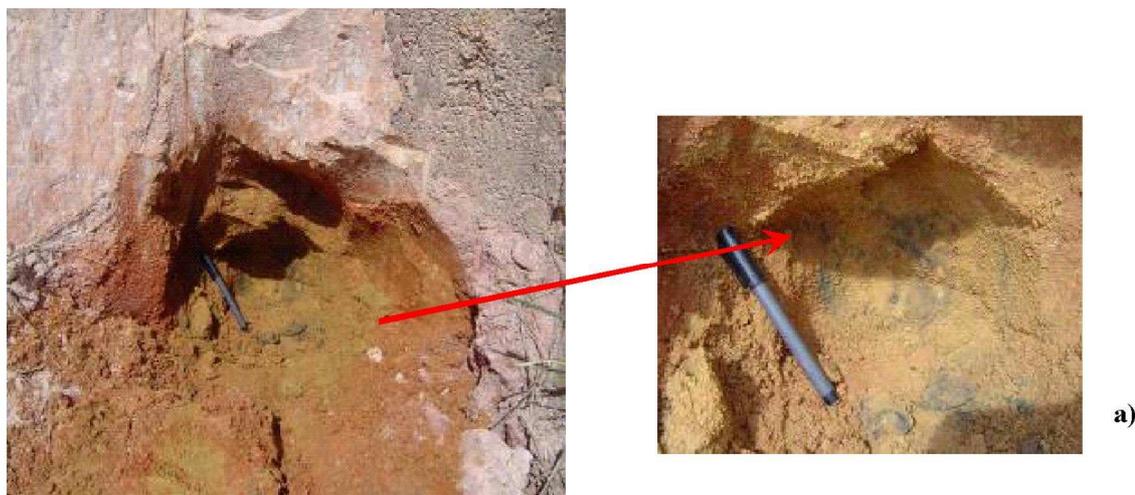


Figura 28 – Perfil SCB3 (ponto 2) – zona com a presença de chorume, em a) manchas de chorume na massa do solo (SCB3 -2 parte interna).

O arsênio também apresentou concentrações bastante significativas, ultrapassando o valor de prevenção tanto na extração parcial, quanto na total. O perfil SCB 4 (Figura 29), mais arenoso e mais susceptível a lixiviação de elementos, apresentou as menores concentrações de metais quando comparado aos solos da planta A. O elemento ferro, apesar da alta concentração parcial (6.599 mg.Kg^{-1}) e total ($13.048 \text{ mg.Kg}^{-1}$), apresentou a menor concentração em relação aos demais perfis.



Figura 29 – Perfil SCB4 localizado na encosta da planta A.

Perfil CCL - Planta B

Com exceção de cádmio, chumbo e cobalto, onde as concentrações ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho e do limite de referência de qualidade (VRQ), os demais metais analisados apresentam algumas variações ao longo do perfil (Tabelas 8 e 9).

O cromo extraído parcialmente revela em alguns pontos concentrações superiores ao valor de referência e no ponto CCL16, supera o valor de intervenção para áreas agrícolas. Em relação a extração total, todo o perfil supera o valor de referência de qualidade e com exceção dos pontos CCL 21 e CCL 18, todos superam o valor de prevenção.

Tabela 8 - Concentração parcial dos metais no perfil CCL da planta B.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
CCL 22	10+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCL 21	0-65	2,3	<1,0	<5,0	22	16	6,3	<5,0	<5,0	7854	62
CCL 20	65-86	38	<1,0	<5,0	61	18	<5,0	<5,0	6,4	43329	58
CCL 19	86-138	7,0	<1,0	<5,0	41	17	<5,0	<5,0	<5,0	17465	43
CCL 18	138-178	13	<1,0	<5,0	32	16	<5,0	<5,0	5,2	19133	39
CCL 17	178-208	2,2	<1,0	<5,0	18	15	<5,0	<5,0	<5,0	10032	27
CCL 16	208-258	180	<1,0	<5,0	184	14	<5,0	<5,0	7,6	102921	46
CCL 15	258-278	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL 15a	258-278	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL 14	278-296	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL 13	296-319	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL 11	319-342	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL1	342-362+	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na

* Limite de detecção do método; na - não analisado.

Tabela 9 - Concentração total dos metais no perfil CCL da planta B.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
CCL 22	10+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCL 21	0-65	#	<1,0	<5,0	66	16	20	<5,0	<5,0	13837	203
CCL 20	65-86	#	<1,0	<5,0	106	18	11	<5,0	8,4	49038	142
CCL 19	86-138	12	<1,0	<5,0	83	21	17	<5,0	5,9	23599	142
CCL 18	138-178	#	<1,0	<5,0	69	18	16	<5,0	5,4	23097	128
CCL 17	178-208	#	<1,0	<5,0	82	17	19	<5,0	<5,0	14836	136
CCL 16	208-258	180	<1,0	<5,0	198	15	14	<5,0	9,6	112448	182
CCL 15	258-278	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL 15a	258-278	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL 14	278-296	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL 13	296-319	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL 11	319-342	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
CCL1	342-362+	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na

* Limite de detecção do método.

na- não analisado

Amostras que sofreram contaminação durante a análise.

As concentrações dos elementos cobre, zinco e níquel, encontram-se abaixo do valor de referência de qualidade, enquanto que o arsênio ultrapassa os níveis de referência de qualidade nos pontos CCL 19 e 18, tendo no ponto CCL 20 superado o nível de concentração para intervenção de áreas agrícolas e no ponto CCL 16 o nível onde é necessária a intervenção da área para usos industriais (análise parcial). Como a maioria das amostras sofreu contaminação durante a análise da extração total, apenas os pontos CCL 19 e CCL 16 foram lidos, indicando que estão acima do nível indicado como referência de qualidade, e no caso do CCL 16 acima da concentração onde é necessária a intervenção da área para fins industriais.

O ferro e o manganês também nesse perfil apresentam concentrações bastante elevadas, em relação ao ferro a maior concentração foi encontrada no ponto CCL 16 (parcial e total).

Perfil SCB 5 – Solo sem lixo - Planta A

O perfil SCB5 apesar de não ter recebido lixo, apresentou concentrações bastante elevadas dos metais analisados. Na análise parcial (Tabela 10) os metais arsênio, cádmio, chumbo, zinco, cobalto e níquel apresentaram concentrações abaixo do valor de referência de qualidade. No entanto, cromo, ferro e manganês mostraram altas concentrações. Em se tratando do ferro e do manganês, acredita-se que os reagentes indicados pela USEPA e utilizado na análise parcial (método 3051A) dos elementos tenham sido responsáveis pela destruição de parte dos minerais, liberando grande concentração de elementos presente na estrutura cristalina dos óxidos e hidróxidos de ferro e manganês ou que estavam presos por adsorção específica. Já em relação ao cromo, mesmo o solo não tendo recebido lixo, os valores encontrados justificam-se possivelmente pela localização do perfil, que se encontra na planta A próximo a uma célula do serviço de saúde. No ponto SCB5-2, a 90 cm de profundidade, o cobre também apresenta uma certa elevação em sua concentração (51 mg.Kg⁻¹), superando o valor de referência de qualidade.

As extrações totais revelaram, com exceção de cádmio, chumbo e cobalto, altas concentrações dos elementos. Arsênio (ponto SCB 5-1), zinco e cobre se encontram acima do valor de referência, já o cromo e o níquel superam o valor de prevenção. Para ferro e manganês altas concentrações foram encontradas (Tabela 11).

Tabela 10 - Concentração parcial dos metais no perfil SCB5 - sem lixo da planta A.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
SCB 5-1	0-20	3,3	<1,0	<5,0	94	31	21	<5,0	6,8	62986	79
SCB 5-2	90-110	3,2	<1,0	<5,0	93	51	19	<5,0	7,2	63140	46

*Limite de detecção do método.

Tabela 11 - Concentração total dos metais no perfil SCB5 – sem lixo da planta A.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
SCB 5-1	0-20	7,6	<1,0	<5,0	128	53	73	6,9	35	75747	221
SCB 5-2	90-110	3,2	<1,0	<5,0	140	70	49	<5,0	49	73134	298

* Limite de detecção do método.

Perfil sem lixo – CCB - Branco

Localizado na encosta noroeste do acesso ao Estádio Manoel Barradas, o perfil CCB (Figura 25), denominado de perfil de referência, por não estar sob a ação do chorume, apresentou para alguns elementos concentrações consideradas elevadas para um solo limpo.

As concentrações de cádmio, cobre, chumbo, cobalto e zinco encontram-se abaixo do valor de referência de qualidade. No entanto, o cromo apresentou concentrações acima do valor de prevenção na extração parcial (Tabela 12), exceto no ponto CCB 4. Na extração total, todo o perfil ultrapassa o valor de intervenção para áreas agrícolas, com exceção do CCB4.

O níquel superou o valor de referência de qualidade apenas no nível superficial (extração parcial e total), enquanto o arsênio apresentou nos pontos CCB1, CCB3 e CCB5 concentração acima do valor de referência e no CCB2 acima do valor de prevenção. Como houve contaminação nas amostras destinadas a extração total apenas o CCB2 foi lido, indicando a concentração de 19 mg.Kg⁻¹, superando o valor de prevenção (Tabelas 12 e 13).

Para ferro e manganês as concentrações mostram-se bastante elevadas, como esse perfil não recebeu lixo e por não sofrer influência do chorume, provavelmente esses teores são oriundos dos óxidos e hidróxidos de ferro e manganês presentes na massa de solo ou ainda sob influência da construção do Estádio de Futebol.



Figura 30 – Perfil CCB – BRANCO.

Tabela 12 - Concentração parcial dos metais no perfil CCB da planta B.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
SCB 5-1	0-20	3,3	<1,0	<5,0	94	31	21	<5,0	6,8	62986	79
SCB 5-2	90-110	3,2	<1,0	<5,0	93	51	19	<5,0	7,2	63140	46

Tabela 13 - Concentração total dos metais no perfil CCB da planta B.

Amostra	Prof. (cm)	Concentração dos Metais (mg.Kg ⁻¹)									
		As	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Co	Ni	Fe	Mn
LDM*		2,0	1,0	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10
VRQ		3,5	<0,5	17	40	35	60	13	13	-	-
VP		15	1,3	72	75	60	300	25	30	-	-
VI (AG)		35	3	180	150	200	450	35	70	-	-
VI (RES)		55	8	300	300	400	1000	65	100	-	-
VI (IND)		150	20	900	400	600	2000	90	130	-	-
CCB 1	100-140	#	<1,0	<5,0	197	18	37	<5,0	18	40980	281
CCB 2	160-180	19	<1,0	<5,0	152	13	17	<5,0	5,7	34505	306
CCB 3	200-240	#	<1,0	<5,0	175	14	16	<5,0	6,1	31124	174
CCB 4	260-280	#	<1,0	<5,0	110	16	6,2	<5,0	<5,0	26700	85
CCB 5	300-340	#	<1,0	<5,0	169	14	17	<5,0	10	51826	152

*Limite de detecção do método.

Amostras que sofreram contaminação durante a análise.

Comportamento dos metais em relação à idade dos resíduos

Para se avaliar o comportamento dos metais em relação à idade dos resíduos foi selecionado o perfil SCB1 (aproximadamente 15 anos) localizado na planta A e o CCL localizado na planta B (aproximadamente 30 anos). Como os elementos cádmio, chumbo e cobalto não apresentaram concentrações expressivas, optou-se por trabalhar com os elementos que indicaram as maiores concentrações ou que tenham apresentado alguma variação no perfil.

• **Cromo**

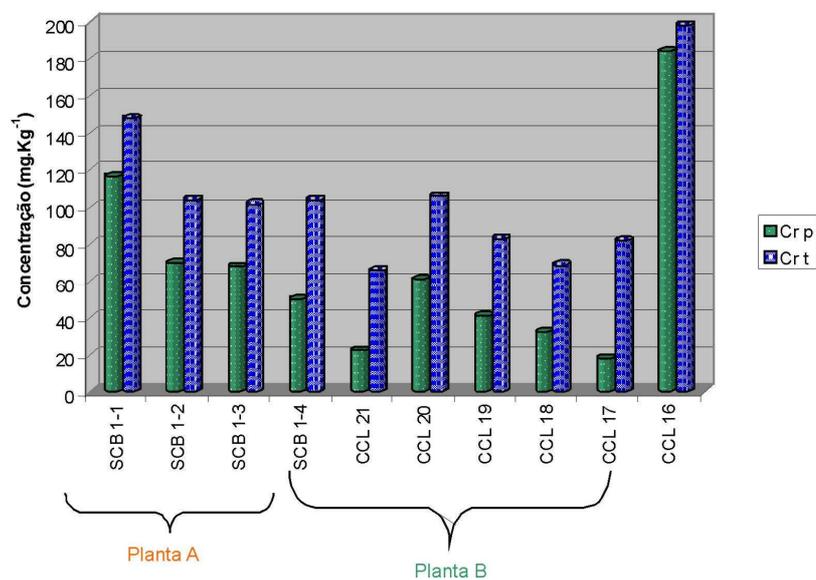


Figura 31 – Comparação entre as concentrações de cromo parcial e total dos perfis SCB1 (Planta A) e CCL (Planta B).

• **Cobre**

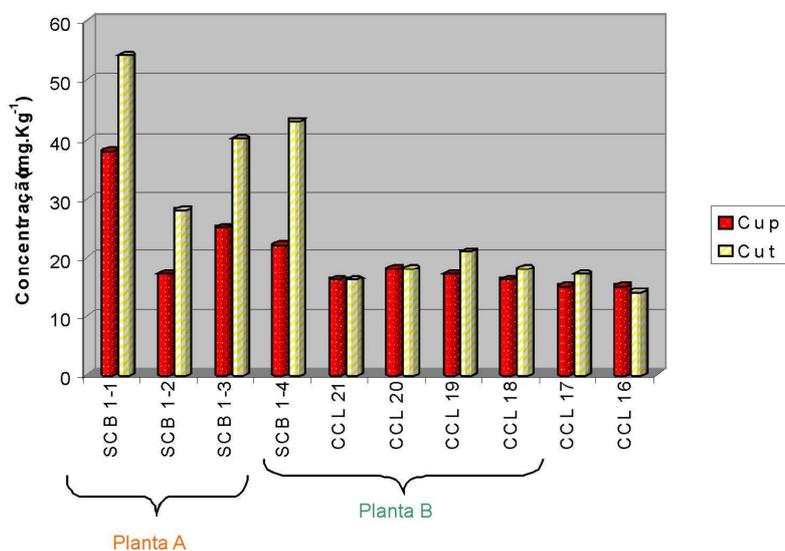


Figura 32 – Comparação entre as concentrações de cobre parcial e total dos perfis SCB1 (Planta A) e CCL (Planta B).

Zinco

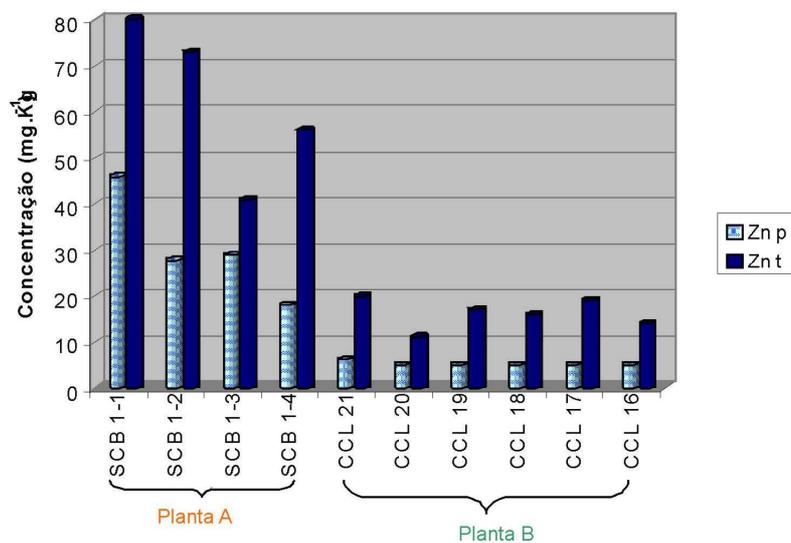


Figura 33 – Comparação entre as concentrações de zinco parcial e total dos perfis SCB1 (Planta A) e CCL (Planta B).

- Níquel**

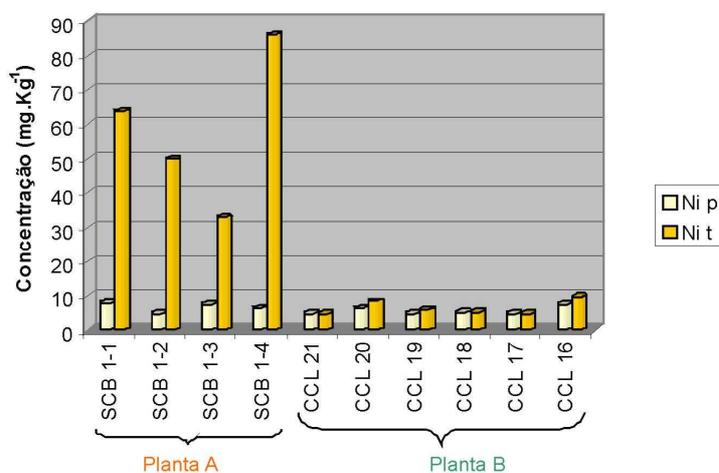


Figura 34 – Comparação entre as concentrações de níquel parcial e total dos perfis SCB1 (Planta A) e CCL (Planta B).

• **Ferro**

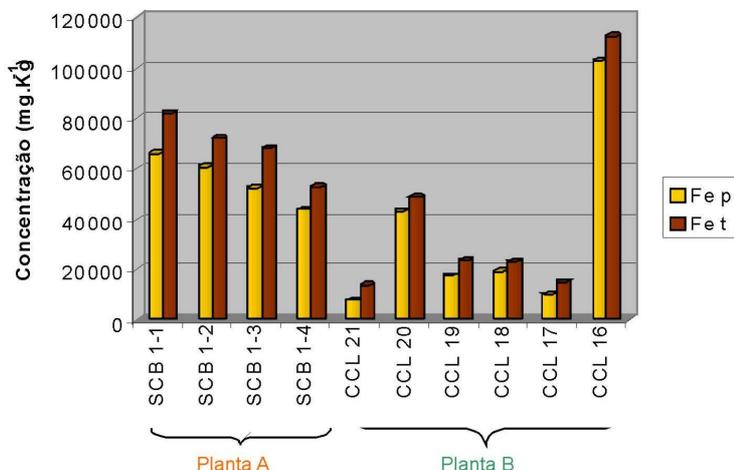


Figura 35 – Comparação entre as concentrações de ferro parcial e total dos perfis SCB1 (Planta A) e CCL (Planta B).

• **Manganês**

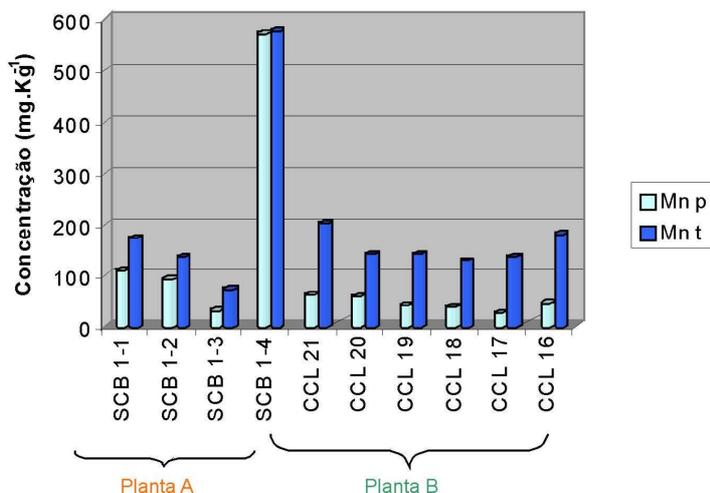


Figura 36 – Comparação entre as concentrações de manganês parcial e total dos perfis SCB1 (Planta A) e CCL (Planta B).

Ao interpretar os gráficos é possível observar que de um modo geral, as maiores concentrações encontram-se no perfil da planta A onde os resíduos são mais jovens. As exceções ficam por conta do elemento cromo que apresentou as maiores concentrações no perfil CCL (Planta B) no nível CCL16. Além disso, nesse ponto, também foi encontrado elevado teor de ferro superando os níveis encontrados na planta A.

Ao se analisar o perfil SCB 1, nota-se uma tendência as maiores concentrações nos níveis superficiais, diminuindo em profundidade, exceção é feita no ponto SCB1-4 onde, apesar da profundidade (200 – 220 cm), apresentou concentrações elevadas chegando, até mesmo, superar as concentrações dos níveis superficiais, como no caso de níquel e manganês.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em Canabrava demonstram que o chorume produzido na área desencadeou diversas mudanças físicas e químicas nos solos e sedimentos. A decomposição dos resíduos promoveu o incremento de cátions básicos ao solo favorecendo a elevação do pH e aumento na percentagem de saturação de bases, características não encontradas em solos típicos do Grupo Barreiras.

A textura arenosa encontrada na maioria dos perfis permite maior permeabilidade e lixiviação dos elementos, tendendo a ser mais susceptíveis à erosão. O perfil SCB 4 é o ponto onde as partículas grosseiras são mais expressivas e, por esse motivo, o local onde foi encontrado apresenta menor concentração de metais pesados.

A difratometria de Raio X realizada nas amostras da Planta A e o solo sem lixo de Canabrava (SCB 5) identificou a presença de caulinita associada a anatásio, quartzo e óxidos de ferro, como a hematita e a goethita. Esses minerais típicos de solos intemperizados apresentam baixa capacidade de troca catiônica e, devido às reações de dissolução sofridas pelo óxidos de ferro, tendem a liberar metais pesados associados aos mesmos.

Em relação à concentração dos metais, as extrações parciais e totais evidenciaram a grande concentração dos elementos cromo, ferro e manganês nas amostras analisadas. Grande parte é associada ao manto de alteração sob o depósito de Canabrava, utilizado durante muito tempo como material de empréstimo na cobertura diária do lixo. O perfil SCB 1 situado no interior da planta A foi o local onde houve maior concentração desses elementos. Além disso, Pb e Mn tiveram altas concentrações no nível mais inferior desse perfil, sendo esse fato provavelmente associado ao uso de escória da Ferbasa no acesso do Lixão de Canabrava. Para o cromo as maiores concentrações são encontradas nos níveis superficiais, diminuindo em profundidade. O valor de referência de qualidade é superado na extração parcial e o valor de prevenção na extração total, indicando uma possível alteração da qualidade natural dos solos. Como esse valor foi excedido, a continuidade da atividade deverá ser submetida a nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes proceder o monitoramento dos impactos decorrentes.

Já o níquel supera na extração total o valor de prevenção em todo o perfil SCB1, chegando a atingir o valor de intervenção para áreas agrícolas no ponto SCB 1-4. Nessa concentração existe risco potencial à saúde humana e requer alguma forma de intervenção na área avaliada, de forma a interceptar as vias de exposição, devendo ser efetuada uma avaliação de risco caso a caso.

Dos elementos analisados nos solos da encosta, chamam a atenção arsênio, cromo, ferro e manganês. Na extração total, cromo supera o valor de prevenção (75 mg.Kg^{-1}) na maioria dos perfis. As maiores concentrações de ferro foram encontradas no SCB 3-2, onde havia o afloramento do chorume, ficando a parte interna (maior contato com o chorume) com a concentração mais elevada. O arsênio supera o valor de referência na extração parcial, enquanto que, na extração total supera o valor de prevenção nos pontos SCB 2-1, SCB 2-2, SCB 3-2 externa e SCB3-2 interna.

No perfil onde os resíduos são mais antigos, aproximadamente 30 anos, o cromo extraído parcialmente revela concentrações superiores ao valor de referência; e no ponto CCL16 supera o valor interdição para áreas agrícolas. Já na extração total, todo o perfil supera o valor de prevenção exceto os pontos CCL 21 e CCL 18, ultrapassando o valor de intervenção para áreas agrícolas no CCL 16. As concentrações dos elementos cobre, zinco, chumbo, cádmio, cobalto e níquel encontram-se abaixo do valor de referência de qualidade, enquanto que o arsênio ultrapassa os níveis de referência de qualidade no ponto CCL 19 e

18, tendo no ponto CCL 20 superado o nível de concentração para intervenção de áreas agrícolas e no ponto CCL 16 o nível onde é necessária a intervenção da área para usos industriais (análise parcial). A maioria das amostras sofreu contaminação durante a análise da extração total, no CCL 16 a concentração supera o índice para a intervenção de áreas para fins industriais.

No perfil branco as concentrações de cádmio, cobre, chumbo cobalto e zinco encontram-se abaixo de valor de referência de qualidade. No entanto, o cromo apresentou concentrações acima do valor de prevenção na extração parcial, exceto no ponto CCB 4 e acima do valor de intervenção para áreas agrícolas na extração total. O arsênio apresentou nos pontos CCB1, CCB3 e CCB5 concentração acima do valor de referência e no CCB2 acima do valor de prevenção. Como houve contaminação nas amostras destinadas a extração total, apenas o CCB2 foi lido, indicando a concentração de 19 mg.Kg^{-1} superando o valor de prevenção

O perfil SCB5 apesar não ter recebido lixo, provavelmente sofreu contaminação evidenciado pelos altos valores encontrados de cromo, ferro e manganês, fato associado à proximidade a célula de serviço de saúde, rica em hemoderivados e metais pesados.

Em relação à idade de deposição dos resíduos, as maiores concentrações foram encontradas no perfil da planta A onde os resíduos são mais jovens, ficando a exceção por conta do elemento cromo que apresentou as maiores concentrações no perfil CCL (Planta B) no nível CCL16.

Diante de tais observações, é possível concluir que os resíduos depositados durante muito tempo em Canabrava sem um planejamento adequado promoveram inúmeras transformações nos solos e sedimentos do Grupo Barreiras, dentre elas a contaminação por metais pesados. E devido à textura arenosa e baixa capacidade de troca catiônica desses solos, os metais presentes no chorume estão sendo lixiviados para o lençol freático e rios próximos.

Avalia-se, também, que esse estudo possa servir para identificar graus de contaminação em solos e usado como procedimento para monitoramento de aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE. **Control 2003 CERCLA**: priority list of hazardous substances. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/clist.html>>. Acesso em: 14 dez. 2005.
- ALLEONI, L. R. F.; BORBA, R. P.; CAMARGO, O. A. de. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P. da; CARDOSO, E. J. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4. p. 1-42.
- ALLOWAY, B. **Heavy metals in soils**. Londres: Blackie e John Wiley & Sons, 1990. 339 p.
- ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C. **Chemical principles of environmental pollution**. Oxford: Alden Press, 1993.
- ARAÚJO, W. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; GOMES, P. C. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solo do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 17-27, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos - classificação- NBR 10.004**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- AZEVEDO, A. C. de; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Ed. Palloti, 2004. 100 p.
- BACAICOA, L. C. **Caracterização geoquímica do lixão de canabrava, Salvador- Ba**. 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- BACAICOA L. C.; BARBOSA, R. M.; ALMEIDA NETO, T. C.; CRUZ, C. S. Caracterização ambiental da área do lixão de Canabrava – Salvador – BA. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 52., 2000, Brasília. [Anais...] São Paulo: SBPC, 2000, 95 p.
- BAIG, T. **Les lixiviats de décharg de C.E.T. de classe II: relation entre leur composition et le stade d'évolution du déchet**. France, 1997. Rapport de stage Degrémont. 65 p.
- BARBOSA, R. M.; OTERO, O. M. F.; RIBEIRO, L. P.; MELFI, A. J.; BRITO, F. J. O.; NUNES, F. C.; SANTOS, C. C. There is gold underneath the Canabrava landfill – Salvador – Bahia – Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ENVIROMENTAL GEOCHEMISTRY IN TROPICAL COUNTRIES, 4., 2004, Búzios. [Anais...]. Rio de Janeiro: UFF, 2004. p. 415 -418.
- BARBOSA, R. M. **Resíduos sólidos urbanos: da geração a destinação final**. Salvador: UFBA, 2002. 196 p. Texto para acompanhamento de curso. Pós-graduação em Geoquímica e Meio Ambiente da UFBA.
- BARBOSA, R. M.; BACAICOA, L. C.; OTERO, O. M. F.; ALMEIDA NETO, T. C.; SANTOS, C. C.; CRUZ, C. S. A mobilização geoquímica do ferro e metais pesados pelo chorume, no lixão de Canabrava, Salvador – BA. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA E I SIMPÓSIO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DO MERCOSUL. 8., 2001, Curitiba. [Anais...]. Curitiba: SBGq, 2001.
- BARBOSA, R. M.; OTERO, O. M. F. Caracterização da pluma de poluição originada por depósito de lixo urbano. **Geochimica Brasiliensis**, São Paulo, v. 13, n.1, p. 51-65, 1999.

BARBOSA, R. M.; OTERO, O. M. F.; ARGOLLO, J. L.; QUEIROZ, A. F.; SANTOS, V. L. C. S.; OLIVEIRA, O. M. C. O chorume dos depósitos de lixo urbanos: composição, evolução, diluição, extensão, processos, poluição e atenuação. **TECBAHIA – Revista Baiana de Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 110-15, 1999.

BARROW, N. J. Reactions of anions and cations with variable-charge soils. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 183-229, 1985.

BEAR, J. **Dynamics of Fluids in Porous Media**. [New York] American Elsevier Publishing, 1977. 64 p.

BORGES, A. F. **Avaliação dos mecanismos de transporte de Hexaclorociclohexano (HCH) no solo da Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, RJ**. 1996. 205 f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bookman, 1989. 898 p. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Filho

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Folha SD 24 Salvador**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1999. 620 p. v. 24.

BRITO, F. J. de O. **Mudanças Geoquímicas no substrato inconsolidado da área do lixão de Canabrava e suas implicações ambientais**. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

BROEKAERT, J. A. C.; GÜÇER, S.; ADAMS, F. **Metal speciation in the environment**. Berlin: Springer, 1990. 389 p.

CAMARGO, F. A.; SANTOS, G. de A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da Matéria orgânica dos solos: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Editora gênese. Porto Alegre, 1999. 491 p.

CARDOSO, R. G. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**. Salvador, 2003. 56 p. Módulo didático.

CARVALHO, C. C. N. **Gênese e transformação de solos em um tabuleiro do recôncavo baiano**. 2001. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

CARVALHO, I. G. **O intemperismo químico: oxidação-redução**. In: FUNDAMENTOS da geoquímica dos processos exógenos. Salvador: Bureau, 1995, 239 p.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. de. Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. **BIO - Rev. Bras. de San. e Meio Amb**, p. 57-60, 1989.

CHRISTENSEN, T. H. et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Rev. Applied Geochemistry**, n. 16, p. 659 – 718, 2001.

CHRISTENSEN, T. H., KJELDSEN, P., ALBRECHTSEN, H. J., HERON, G., NIELSEN, P. H., BJERG, P. L., HOLM, P. E. **Attenuation of landfill leachate pollutants in aquifers**. *Critical Reviews in environmental Science e Technology*, n. 4, p. 119-202, 1994.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SP). **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2006. 73 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SP). **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2. ed. São Paulo. CETESB, 2001. 389 p.

COSTA, P. O. da S. **Avaliação em laboratório, do transporte de contaminantes no solo do aterro sanitário de Sauípe/BA**. 2002. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

DELGADO, C. W. C. **Mecanismos de transporte de metais pesados**. Disponível em: <www.geoamb.eng.ufba.br/materialdidatico/teclimespecializa/transportedecontaminantes.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2005.

ELBACHÁ, A. T. **Estudo da Influência de Alguns Parâmetros no Transporte de Massa em Solos Argilosos**. 1989. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

ESCOSTEGUY, P. A. V. **Poluição do solo com metais**. In: AZEVEDO, A. C. de.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. (Ed.). **Solos & Ambiente**. Santa Maria: I Fórum, 2004. p. 59 - 78.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Method 3051A**: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. Washington, 1998. (CD-ROM).

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Method 3052**: microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Washington, 1996. (CD-ROM).

FARIAS, J. S.; FONTES, L. A. M. Gestão Integrada de resíduos sólidos: O lixo de Aracaju analisado sob a ótica da gestão de meio ambiente. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 10, n. 2. abril/junho. p. 95 -105, 2003.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos con énfasis em suelos de América Latina**. 2 ed. San José: IICA, 1987. 420 p.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. EPU: Springer: Ed. Universidade de São Paulo, 1980. 196 p.

FERGUSON, J. E. **The heavy elements - chemistry, environmental impact and health effects**. Oxford: Pergamon Press, 1990. 614 p. Cap. 9.

FILEP, G. **Soil chemistry: processes and constituents**. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1999. 330 p.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A. de; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 627-646, jul./set, 2001.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1979. 604 p.

GILLHAM, R. W. **Physical processes and mathematical models of contaminant migration: subsurface contaminant migration from mine and mill waste impoundments**. Fort Collins: Colorado State University, 1981

HART, B. T. **Proceedings of the and International Symposium, Interactions Between Sediments and Freshwater, Kingston, Ontario**. The Hague, 1981. p. 14-20

HERON, G.; BJERG, P. L.; GRAVESEN, P.; LUDVIGSEN, L.; CHRISTENSEN, T. H. Geology and sediment geochemistry of a landfill leachate contaminated aquifer (Grindsted, Denmark). **Journal of Contaminant Hydrology**. n. 3, p. 71-99, 1997.

IBGE **Pesquisa do Saneamento Básico. 2000**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em: 27 jun. 2005.

JAMES, A. G.; WATSON-CRAIK, I. A.; SENIOR, E. The effects of organic acids on the methanogenic degradation of the landfill leachate molecules butyrate and valerate. **Wat. Res.**, v. 3, n. 3, p. 79-800, 1998.

JORGE, J. A. Matéria orgânica. In: **ELEMENTOS de pedologia**. São Paulo: Edusp: 1972. p.169-178.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos no Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL. 5.**, 2003, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABMS, 2003. 32 p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315 p.

KDJELSEN, P.; ANDERSEN, I. S.; GRUNDIVIG, A.; WINTHER, P. Characterization of an old municipal landfill (Grindsted, Denmark) as a groundwater pollution source: landfill history and leachate composition. **Waste Management e Research**, n. 16, p. 3-13, 1998.

KIEKENS, L. Behaviour of heavy metals in soils. In: BERGLUND, S.; DAVIS, R. D.; L'HERMITE, P. (Ed.). **Utilization of sewage sludge on land: rates of application and long term effects of metals**. Dordrecht: D. Reidel Publ., 1983. p. 126-134,

KNOX, R. C.; SABATINI, D. A. E.; CANTER, L. W. **Subsurface transport and fate processes**. Florida: Lewis Publishers, 1993. 430 p.

LEMBO, A.; SARDELLA, A. **Química**. 19. ed. São Paulo, 1989. 406 p. v. 1.

LEMO, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica - Princípios, técnicas e métodos**. CPRM. Rio de Janeiro, 1998. 236 p.

LIMA, A. O. A. F.; QUEIROZ, I. G.; BOTELHO, M. A. B.; GOMES, E. S.; SILVA, L. M. C. AOUAD, M. S.; DAMACENO, N. L. A.; FERREIRA, D. L. **Sistema de tratamento e disposição final do lixo de Salvador**. Salvador: UFC Engenharia, 1995. 179 p. Estudos Ambientais. Diagnóstico do Meio Físico.

LIMA, L. M. O. **LIXO – tratamento e biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Ed. Hemus Ltda, 1995, 265 p.

MATIAS, W. G.; MACHADO, V. G.; PINTO, C. R. S. C.; BRETANO, D. M.; HOINASKI, L. ; MOSER, M. C. Determinação do potencial tóxico e genotóxico de líquido percolado gerado em aterramento de resíduos sólidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA. 8., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBTOX, 2004. p.174.

MATOS, A. M. L. V. **Estudos sobre a contaminação da água subterrânea no Aterro de Canabrava em Salvador/BA – uma tentativa de utilizar lisímetros de sucção em um solo da Formação Barreiras**. 2000. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.

McBRIDE, M. B. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective?. **Journal of Environmental Quality**, v. 24, p. 5-18, 1995.

_____. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.

_____. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. **Advances in Soil Science**, New York, v. 10, p. 1-56, 1989.

MELLIS, E. V.; PESSOA DA CRUZ, M. C.; CASAGRANDE, J. C. Nickel adsorption by soils in relation to pH, organic matter, and iron oxides. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 16, n. 2. p. 90 -195, 2004.

MELLO, F. de A. F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C. do; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do solo**. Nobel: São Paulo, 1983. 400 p.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON AND CLAYS MINERALS, 7.; 1960, Madison. **Proceedings**. Wisconsin, Wis., 1960. p. 317 – 327.

MILLOT, N. **Les lixiviats de décharge contrôlée, caractérisation analytique, étude des filières de traitement**. 1986. 180 f. Thèse de l'INSA de Lyon, Lyon.

MONIZ, A. C. **Composição química e estrutura dos minerais de argila**. In: ELEMENTOS de pedologia. São Paulo. Edusp, 1972. p. 29 – 44.

MOOLENAR, S. W.; BELTRAMI, P. Heavy metals in the environment. Heavy metal balances of an Italian soil as affect by sewage sludge and Bordeaux mixture applications. **Journal of Environmental Quality**, v. 27, p. 828-835, 1998.

NUNESMAIA, M. de F. A gestão de resíduos urbanos e suas limitações. **Revista Bahiana de Tecnologia – TECBAHIA**. Salvador, v. 17, n. 1, p. 120-129, 2002.

OLIVEIRA, D. A. F. **Estabilidade de taludes de maciços de resíduos sólidos urbanos**. 2002. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília.

OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 3, p. 197-200, 1968.

ORTIZ, N. **Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu, Pb, Ni e Cd, em solução**. 2000. 176 f. Tese (Doutorado Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PALMA GONZALEZ, J. H. **Comportamiento geotécnico de vertederos controlados de residuos sólidos**". 1995. 300 f. Tesis (Doctoral) – Universidad de Cantabria, Canales y Puertos.

PAOLIELLO, M. M. B.; CAPITANI, E. M. de. Chumbo. In: AZEVEDO, F. A. de. CHASIN, A. A. da M. (Coord). **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Atheneu, 2003. p. 353-398.

PEDROZO, M. de F. M. Cobre. In: AZEVEDO, F. A. de; CHASIN, A. A. da M. (Coord.). **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Atheneu, 2003. p. 143-185.

PEREIRA, S. C. R. A.; RIBEIRO, L. P.; BARBOSA, R. M.; BRITO, F. O.; NUNES, F. C.; SANTOS, C. C. **As propriedades do solo modificadas pela ação do lixão de Canabrava – Salvador – Bahia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Solos, sustentabilidade e qualidade ambiental: anais**. Viçosa: SBCS, 2005a.

PEREIRA, S. C. R. A.; RIBEIRO, L. P.; BARBOSA, R. M.; NUNES, F. C.; SANTOS, C. C. **Comparação de solos da formação barreiras com solos sob influência do Lixão de Canabrava – Salvador- Bahia**. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOQUÍMICA. 10., 2005, Porto de Galinhas. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 2005b.

REIS, T. C. **Distribuição e biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCl₂ e biossólido**. 2002. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RIBEIRO, L. P. **As relações entre os Latossolos e os Podzólicos Amarelos com os sedimentos Tércio-Quaternário, uma introdução ao problema**. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE OS SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIRO, Anais? Cidade: Editora? 1996.

_____. Alguns aspectos dos solos da cidade do Salvador e suas relações com processos de degradação. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 3, n. 5, p. 59-73, 1991.

REZENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B de. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Lavras: Editora UFLA, 2005. 19 p.

RICKARD, D. T.; NRIAGU, J. E. **Aqueous environmental chemistry of lead**. In: NRIAGU, J. O. The biogeochemistry of lead in the environment: part a. ecological cycles. New York: Elsevier, 1978. p. 219 – 284.

RUNNELLS, D. D. Basic contaminant fate and transport processes in the vadose zone – Inorganics. In: WILSON, L. G.; EVERETT, L. G. E.; CULLEN, S. J. (Ed.). **Handbook of vadose zone, characterization & monitoring**". Albany: Lewis Publishers, 1976. p. 79 – 92.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento dos resíduos sólidos**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2003. 196 p.

SARDELLA, A. ; MATEUS, E. **Química geral**. 13. ed. São Paulo, 1991. 424 p.

SCOTT, J.; BEYDOUN, D.; AMAL, R. Landfill Management, Leachate Generation, and Leach Testing of Solid Wastes in Australia and Overseas. **Critical Reviews Environmental Science and Technology**, v. 35, p. 239-332, 2005.

SEGURA-MUÑOZ. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, São Paulo: Avaliação dos níveis de metais pesados**. 131 f. Tese (Doutorado) - Escola de Enfermagem, Universidade de São Paulo, 2002.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. **Análises de atributos climáticos do Estado da Bahia**. Salvador, 1998. Série Estudos e Pesquisas 38.

SILVA, S. R. et al. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de arsênico e solubilidade de metal pesado e revegetação local. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.1, p. 189-196, 2004.

SILVEIRA, M. L. A .; ALLEONI, L. R. F.; GUILHERME, L. R. G. Biosolids and heavy metals in soils. **Scientia Agricola**, v. 60, n.4, p. 793-806, 2003.

SILVEIRA, M. L. A. **Extração seqüencial e especiação iônica de zinco, cobre e cádmio em latossolos tratados com biossólido**. 2002. 166 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 4, p. 515-523. out/dez, 1996.

SMITH, S. T. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge treated soils. II. cadmium uptake by crops and implications for human dietary intake. **Environmental Pollution**, v. 86, p. 5-13, 1994.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 267 p.

SPOSITO, G. **Soil particle surfaces**. In: THE CHEMISTRY of soils. New York. Oxford, 1989. p.127- 145.

_____. The chemical forms of trace elements in soils. In: THORNTON, I (Ed.). **Applied environmental geochemistry**. New York: Academic Press, 1983. p. 123-170.

TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. 2. ed. Georgia: University of Georgia 1998. 345 p.

TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análises de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

VIEIRA, L. S. **Manual de ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais**. 2. ed. São Paulo: Ceres, 1988. 464 p.

WOOD, S. A. **The role of humic substances in the transport and fixation os metals os economic interest (Au, Pt, Pd, U, V)**. Ore Geology Reviews. V. 11. p. 1-31, 1996.

WUTKE, A. C. P. **Acidez**. In: ELEMENTOS de pedologia. São Paulo: Edusp, 1972. p. 149-168.

WUTKE, A. C. P.; CAMARGO, O. A. de. **Adsorção e troca iônica**. In: ELEMENTOS de pedologia. São Paulo: Edusp, 1972. p.125-148.

Embrapa

Solos