ReGeo ISSN: 2177-3246

EXTRAÇÃO SEQUENCIAL DE METAIS NO SOLO DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO DO RECÔNCAVO BAHIANO

SEQUENTIAL EXTRACTION OF METALS IN SANITARY LAND SOIL IN THE RECÔNCAVO BAIANO REGION

EXTRACCIÓN SECUENCIAL DE METALES EN EL SUELO DEL RELLENO SANITARIO EN LA REGIÓN DE RECÔNCAVO BAHIANO

https://doi.org/10.56238/revgeov17n8-214

Data de submissão: 24/07/2026 **Data de publicação:** 24/08/2026

Lucas Silva Falqueto
Mestrando do Programa de Pós graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)
E-mail: lucas.falqueto@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7239-0752

Júlio César Azevedo Nóbrega
Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)
E-mail: jcanobrega@ufrb.edu.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2726-8205

Fabio de Souza Dias
Doutor em Química
Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)
E-mail: fsdias@ufba.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-2279-0691

RESUMO

A dinâmica dos elementos no solo depende da forma que o mesmo foi disponibilizado ao solo, sendo pelo material de origem e/ou formas antrópicas, como, resíduos orgânicos e inorgânicos, provenientes de mineração ou deposição de resíduos industriais e/ou urbanos. Muitos desses elementos são essenciais às plantas e aos seres humanos, mas são liberados também elementos tóxicos, esses elementos são disponibilizados em sua maioria por ações antrópicas como aterros sanitários, e se não forem controlados podem chegar a degradar o solo e poluir o meio ambiente ao seu redor. Entretanto esses elementos tóxicos estão no solo de diversas formas, podendo estar precipitado ou adsorvidos a óxidos de Ferro ou Manganês, matéria orgânica ou estarem na fração solúvel ou trocável do solo. Para se quantificar em qual fração do solo o metal está ligado, foi utilizado o método de extração sequencial, com isso, objetivou-se avaliar em qual fração do solo o Fe, Cu, Pb, Ni, Mn e Cr estão fortemente ligados. A extração sequencial para Fe, Cu, Ni, Pb, Mn e Cr, foi realizada em seis frações, F1 (solúvel), F2 (trocável), F3 (ligado a carbonatos), F4 (Ligado a óxidos de Ferro ou Manganês), F5 (ligado a matéria orgânica) e F6 (residual), os extratores utilizados foram, água ultrapura, MgCl2, NH2OH.HCl em 25% de HOAc, HNO3 + H2O2 e HNO3 + HCl, respectivamente. Os metais no solo são facilmente adsorvidos por óxidos, matéria orgânica e argila, devido a cargas existentes na superfície deles. Na F4 foram observados valores maiores de Fe, Pb, Ni, e Mn, na F5 maiores valores de Fe, Cu, Pb e Cr e na

F6 maiores valores de Fe e Cr, nas frações F1, F2 e F3, não foram observados altos valores dos metais, devido a relação de adsorção dos metais com a matéria orgânica e óxidos.

Palavras-chave: Fracionamento de Metais. Resíduos Sólidos Urbanos. Fe. Cu. Pb. Ni. Mn. Cr.

ABSTRACT
The dynamics of the elements in the soil depends on the form that was made available to the soil, being the material of origin and, or anthropic forms, such as organic and inorganic waste, from mining or deposition of industrial and, or urban waste. Many of these elements are essential to plants and humans, but toxic elements are also released. These elements are made available mostly by anthropogenic actions such as landfills, and if they are not controlled they can degrade the soil and pollute the environment. around you. However, these toxic elements are in the soil in several ways, and may be precipitated or adsorbed to Iron or Manganese oxides, organic matter or are in the soluble or exchangeable fraction of the soil. In order to quantify in which soil fraction the metal is bound, the sequential extraction method was used, with the purpose of evaluating in which soil fraction Fe, Cu, Pb, Ni, Mn and Cr are strongly bound. The sequential extraction for Fe, Cu, Ni, Pb, Mn and Cr, was performed in six fractions, F1 (soluble), F2 (exchangeable), F3 (carbonate bound), F4 (linked to Iron or Manganese oxides), F5 (organic matter) and F6 (residual), the extractors used were ultrapure water, MgCl2, NH2 OH.HCl in 25% HO Ac, HNO^3 + H2O2 and HNO3 + HCl, respectively. The metals in the soil are easily adsorbed by oxides, organic matter and clay, due to loads on their surface. In F4 higher values of Fe, Pb, Ni, and Mn were observed in the F5 higher values of Fe, Cu, Pb and Cr and in F6 higher values of Fe and Cr in fractions F1, F2 and F3, values of metals, due to the adsorption ratio of metals to organic matter and oxides.

Keywords: Fractionation of Metals. Urban Solid Waste. Fe. Cu. Pb. Ni. Mn. Cr.

RESUMEN
La dinámica de los elementos en el suelo depende de la forma en que fue puesto a disposición del suelo, siendo material de origen y/o formas antrópicas, como residuos orgánicos e inorgánicos, provenientes de minería o disposición de residuos industriales y/o urbanos. Muchos de estos elementos son esenciales para las plantas y los seres humanos, pero también se liberan elementos tóxicos. Estos elementos se ponen a disposición principalmente por acciones antropogénicas como vertederos, y si no se controlan pueden degradar el suelo y contaminar el medio ambiente. alrededor de usted. Sin embargo, estos elementos tóxicos están en el suelo de varias formas y pueden precipitarse o adsorberse en óxidos de hierro o manganeso, materia orgánica o estar en la fracción soluble o intercambiable del suelo. Para cuantificar en qué fracción del suelo está ligado el metal, se utilizó el método de extracción secuencial, con el propósito de evaluar en qué fracción del suelo Fe, Cu, Pb, Ni, Mn y Cr están fuertemente unidos. La extracción secuencial de Fe, Cu, Ni, Pb, Mn y Cr se realizó en seis fracciones, F1 (soluble), F2 (intercambiable), F3 (ligado a carbonato), F4 (ligado a óxidos de hierro o manganeso), F5 (materia orgánica) y F6 (residual), los extractores utilizados fueron agua ultrapura, MgCl2, NH2 OH.HCl en 25% HO Ac, HNO^3 + H2O2 y HNO3 + HCl, respectivamente. Los metales en el suelo se adsorben fácilmente en óxidos, materia orgánica y arcilla, debido a las cargas en su superficie. En F4 se observaron valores más altos de Fe, Pb, Ni y Mn en F5 valores más altos de Fe, Cu, Pb y Cr y en F6 valores más altos de Fe y Cr en las fracciones F1, F2 y F3, valores de metales, debido a la relación de adsorción de metales a materia orgánica y óxidos.

Palabras clave: Fraccionamiento de Metales. Residuos Sólidos Urbanos. Fe. Cu. Pb. Ni. Mn. Cr.

1 INTRODUÇÃO

Como consequência do desenvolvimento tecnológico e do crescimento demográfico mundial, nas últimas décadas, intensificaram-se as atividades industriais e agrícolas, bem como o extrativismo mineral e a urbanização, os quais causaram considerável aumento dos níveis de contaminantes no ambiente, especialmente no solo (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000). Abreu et al (2002) inferiram que presença de metais nos solos está relacionada a fontes naturais ou antropogênicas. A forma natural que os metais são disponibilizados para o solo é através do intemperismo do material de origem do solo que os liberam de forma lenta e fracionada. Entretanto, as atividades antrópicas têm contribuído para aumentar significativamente a concentração desses contaminantes (SOUZA, et al, 2015).

Uma das atividades antrópicas que contribuem para a contaminação do solo com metais é a produção de resíduo inorgânico, que são descartados de forma irregular ou em locais desapropriados, mas em sua maioria, os descartes são feitos em aterros sanitários, controlados e/ou não controlados.

Os aterros sanitários são locais destinados para descarte de resíduos sólidos gerados por cidade, nele são depositados resíduos domésticos, comerciais, industriais, hospitalares e outros, esse processo de descarte final, a depender da fonte dos resíduos sólidos (hospitalar, industrial, urbano, entre outros) libera algum tipo de metal ao solo, podendo estarem em concentrações de metais-traço, que segundo Martins et al. (2011), são elementos com densidade superior a 5 mg cm-3 e número atômico maior que 20.

Após serem liberados das rochas pelos processos intempéricos, os metais podem ser: precipitados ou co-precipitados com os minerais secundários, adsorvidos nas superfícies dos minerais secundários (argilas ou óxidos de Fe, Al e Mn) ou da matéria orgânica presente no solo ou, ainda complexados e lixiviados pela solução do solo (ALLEONI et al, 2005).

Esses metais podem ser tóxicos a depender da sua concentração no solo, e podem estar disponíveis para plantas e migrarem, contaminando o lençol freático. A toxicidade e a mobilidade dos metais são dependentes da forma química e das ligações especificas (precipitados com minerais primários ou secundários, complexados por ligantes orgânicos, entre outros) (SILVA e VITTI, 2008).

O teor total de metais no solo, não pode ser considerado um índice para se determinar a biodisponibilidade dos mesmo em solos contaminados, pois somente parte apresenta mobilidade no perfil do solo e está disponível para absorção pelas raízes das plantas. Geralmente, as partes que ficam disponíveis para as plantas são as formas solúveis em água e trocáveis. Os metais adsorvidos nas entrecamadas de argila, precipitados com carbonatos, ligados a óxidos ou complexados pela matéria orgânica são considerados menos biodisponíveis, dependendo da combinação das propriedades químicas e físicas do solo (SPOSITO et al., 1982; COSTA, et al., 2007). Segundo Tessier et al. (1979),

o solo pode ser dividido em frações específicas, as quais podem ser extraídas seletivamente pelo uso apropriado de reagentes e, embora sejam mais complexos, o uso de métodos de fracionamento fornece informações detalhadas sobre a origem, modo de ocorrência, disponibilidade biológica e físico-química e mobilização de metais pesados no solo.

Um procedimento utilizado para identificar a forma química a qual os metais estão presentes no solo é a extração sequencial, extração fracionada, fracionamento entre outros nomes citados nas literaturas.

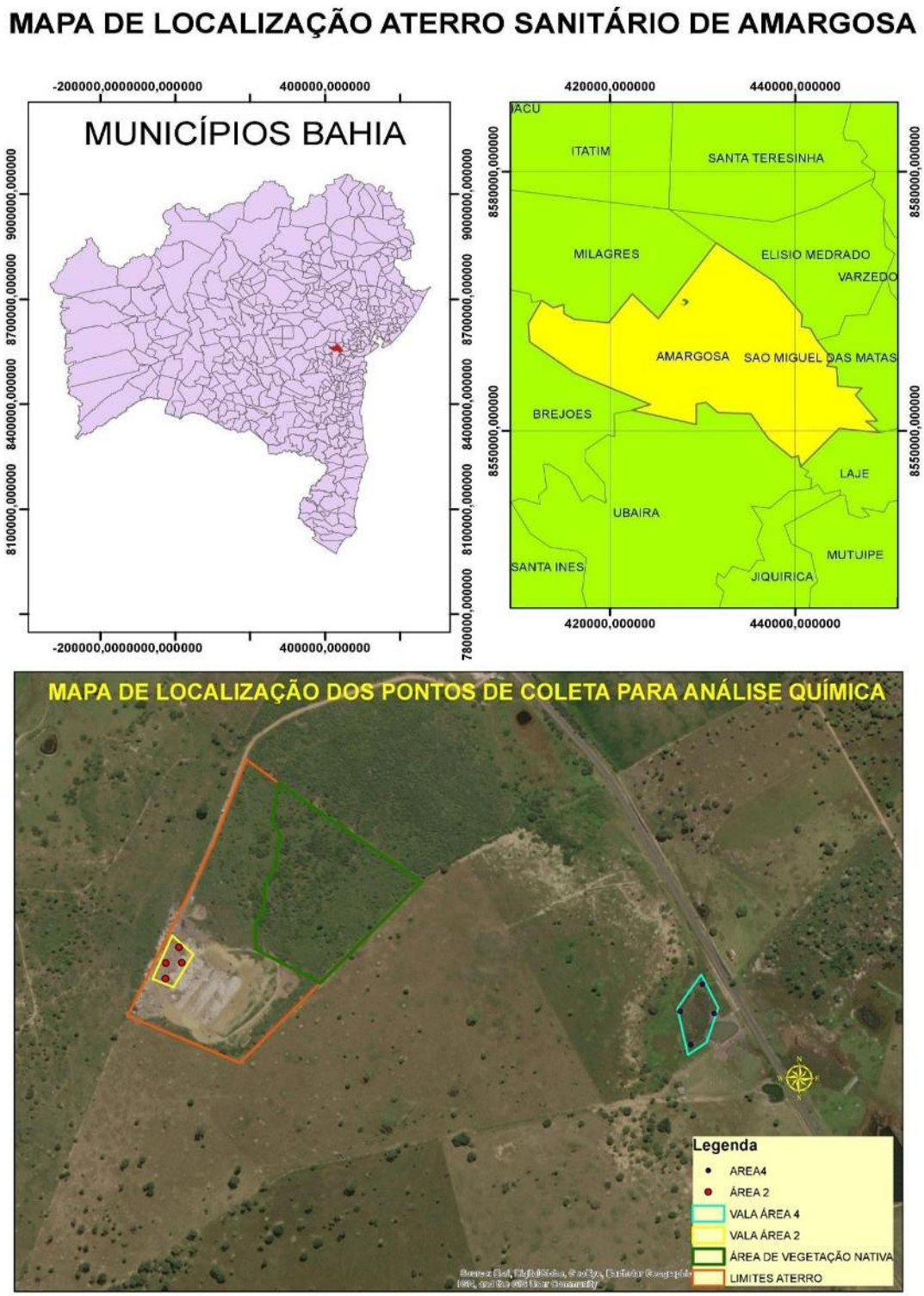
O procedimento de extração sequencial é realizado em seis frações: solúvel, trocável, ligados a carbonato, ligados a óxidos de ferro e manganês, ligados à matéria orgânica e residual (TESSIER et al. 1979).

Este experimento teve como princípio, avaliar a extração sequencial de Pb, Cu, Ni, Fe, Cr e Mn, de um solo de aterro controlado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As análises foram realizadas na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, localizada no município de Cruz das Almas, no Laboratório de Automação e instrumentação Analítica. O solo coletado para análise foi do aterro sanitário da cidade de Amargosa, Bahia, onde se escolheu uma área que a vala já havia sido fechada, uma área onde tem vegetação nativa e uma área de várzea no sentido do declive do aterro, onde coletou-se profundidades de 0 – 0,20 metros e 0,20 – 0,40 metros.

Figura 01. Mapa de localização do aterro controlado, das áreas e pontos de coleta

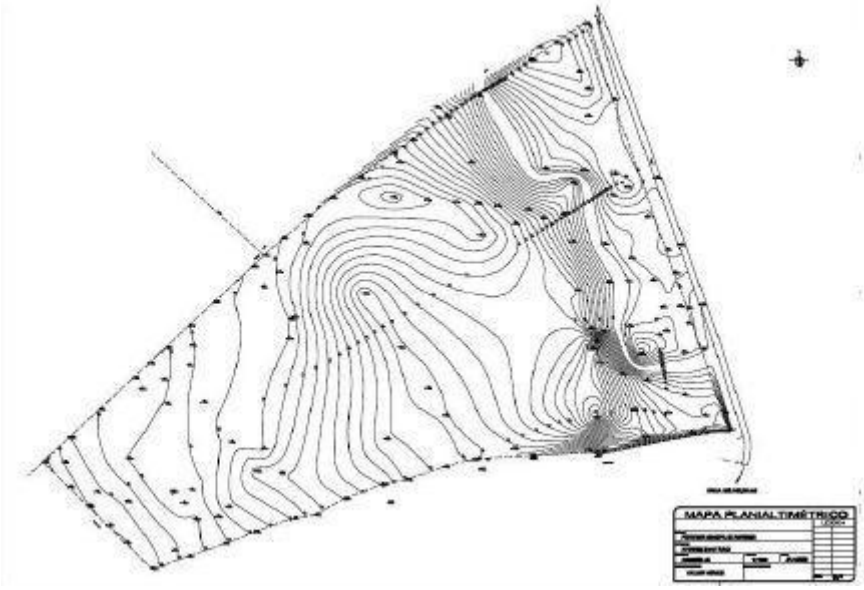


Fonte: Elaborada pelos autores

No mapa de localização do aterro controlado são observadas as demarcações da vala estudada dentro do Aterro controlado, da área de vegetação nativa e da represa, O ponto da represa foi escolhido devido a declividade do terreno, sendo que a altitude do aterro controlado varia entre 389 e 426m. É

possível observar ainda no mapa planialtimértico, algumas áreas de depressão, sendo que duas delas se constituem em lagos nas proximidades do aterro.

Figura 02. Mapa planialtimétrico do aterro controlado.



Fonte: Prefeitura Municipal de Amargosa, 2009. Escala: 1:1.250. (CERBATO & ARGOLO, 2012)

A extração sequencial foi realizada segundo o método de Tessier et al. (1979), que será descrito a seguir, onde foram divididas em 6 frações e pesados 1,00 g de solo seco ao ar.

Fração Solúvel (F1): Foram adicionados 20 mL de água Mili-Q e agitados por 1 hora em agitador horizontal (vel. 160 ciclos/minutos) a 20° C. Após Centrifugou-se as amostras a 3000 rpm por 30 min. Para separação das fases. Removendo o sobrenadante e filtrando. Após a filtragem, o resíduo foi lavado com 15 mL de água ultrapura.

Fração trocável (F2): Foram adicionados 20 mL de MgCl2 1 mol L^{-1} a pH 7 ao resíduo **F1** e agitou-o por 1 hora em agitador horizontal (vel. 160 ciclos/min.) a 20°C. Após Centrifugou-se as amostras a 3000 rpm por 30 min. Para separação das fases. Removendo o sobrenadante e filtrando. Após a filtragem, o resíduo foi lavado com 15 mL de água ultrapura.

Fração ligada a Carbonatos (F3): Foram adicionados 20 mL de NaO Ac 1 mol L-1 a pH 5 ao resíduo **F2** e agitou-o por 2 horas em agitador horizontal (vel.160 ciclos/min.) a 20°C. Após Centrifugou-se as amostras a 3000 rpm por 30 min. Para separação das fases. Removendo o sobrenadante e filtrando. Após a filtragem, o resíduo foi lavado com 15 mL de água ultrapura.

Fração ligada a óxidos de Fe e Mn (F4): Foram adicionados 20 mL de uma solução 0,04M NH2OH.HCl em 25% de HOAc ao resíduo da **F3**. A amostra foi aquecida a 96°C em banho maria durante 6 horas e agitou-se ocasionalmente em intervalos de 1 hora. Após a solução esfriar, as amostras

foram centrifugadas a 3000 rpm por 30 min. Para separação das fases. Removendo o sobrenadante e filtrando. Após a filtragem, o resíduo foi lavado com 15 mL de água ultrapura.

Fração ligada a MOS (F5): Foram adicionados 3 mL de 0,02 mol L-1 HNO3 e 5 mL de H2O2 30% (pH 2 ajustado com HNO3) ao resíduo **F4**. A amostra foi aquecida em banho maria a 85°C durante 2 horas, com agitação ocasional. Após, adicionou-se uma segunda alíquota de 3 mL de H2O2 30% (pH 2 ajustado com HNO3) e a amostra foi aquecida a 85°C durante 3 horas com agitação intermitente. Após arrefecimento, adicionou-se 5 mL de NH4OAc 3,2 mol L-1 em 20% (v/v) HNO3 completando o volume para 20 mL com água deionizada (Adicionando 4 mL de ultraputra). A adição de NH4O Ac é concebido para evitar adsorção de metais extraídos para o sedimento oxidado. Após centrifugou-se as amostras a 3000 rpm por 30 min. Para separação das fases. Removendo o sobrenadante e filtrando. Após a filtragem, o resíduo foi lavado com 15 mL de água ultrapura.

Fração residual (F6): O resíduo da **F5** foi seco ao ar, moídas em almofariz de ágata e realizada a extração pseudo-total, seguindo o método 3050B (USEPA), utilizando 0,5 g de solo que foram digerida em 5 mL de HNO3 concentrado em tubos de digestão em bloco digestor fechado por 10 minutos a 95 ± 5°C, após as amostras ficaram em overnight por 16 horas, após foram conduzidas ao bloco digestor para aquecimento a 95 ± 5°C por mais 2 horas. Após este período as amostras foram resfriadas por 30 minutos e então foram adicionados 1 mL de água destilada e 1,5 mL de H2O2 a 30%. Após cessar a efervescência, foi adicionado mais 5 mL de H2O2 e as amostras foram levadas novamente ao bloco digestor por mais 2 horas a 95 ± 5°C. Por fim, as amostras foram resfriadas e receberam 10 mL de HCl concentrado e 20 mL de água destilada e foram aquecidas por 15 minutos a 95 ± 5°C. As alíquotas foram resfriadas, filtradas, diluídas na proporção de 50:1 e armazenadas em recipiente de plástico.

Para o processo de filtragem em todas as frações adotou-se o seguinte procedimento: após centrifugado a 3000 rpm por 30 min. Para separação das fases, o líquido foi filtrado com papel filtro quantitativo JP42 – faixa azul de filtragem lenta, da marca J.Prolab, gramatura 80 g m-2, cinza ND07 g, permeabilidade ao ar 3 l/s m2, maioria dos poros 8µm, restando apenas o resíduo.

O processo de lavagem dos resíduos para as frações F1, F2, F3, F4 e F5 foi realizada com 15 ml de água ultrapura, agitado manualmente e levado a centrífuga a 3000 rpm por 30 min., e o líquido descartado, esse processo foi realizado 3 vezes com cada amostra.

O pH foi determinado em água e cloreto de potássio (KCl), para posteriormente ser calculado o delta pH (ΔpH), para o pH em água e KCl foi realizada a metodologia segundo Teixeira et al (2017), e para o ΔpH foi calculado pela fórmula: ΔpH = pH KCl – pH H2O.

Para as análises granulométricas, foi seguido o Manual de métodos de análise do solo da EMBRAPA (TEIXEIRA et al, 2017).

Os metais avaliados na extração sequencial foram Fe, Cu, Pb, Ni, Mn e Cr. A determinação dos metais foi através da espectrometria de emissão atômica com plasma de micro-ondas (MIP-OES), as linhas de emissão foram: Fe (371.993 nm), Cu (324.754 nm), Pb (405.781 nm), Ni (341.476 nm), Mn (403.076 nm), Cr (425.433 nm).

Os dados foram analisados pelo programa estatístico R (R core team, 2019), utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA et al, 2018) e quando as médias apresentaram diferença significativa, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

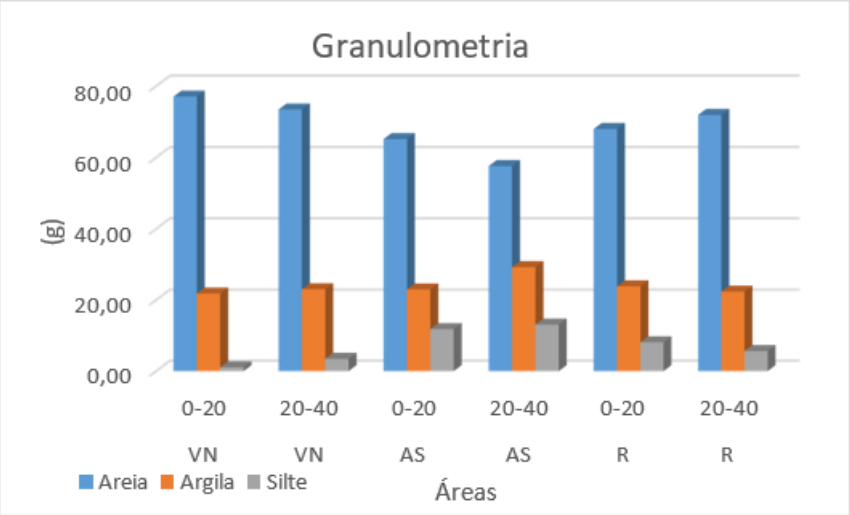
Os valores negativos do Δ pH são indicadores de que no solo há predominância de carga negativa, esse resultado é frequente em solos profundos e muito intemperizados. Na Tabela 01, o valor de delta pH decresce com o incremento de material orgânico no solo, esse fator é perceptível quando se compara a área de vegetação natural com o aterro sanitário, que por ser um local de descarte de resíduos urbanos, orgânico e inorgânico, o material orgânico descartado se incorpora ao solo, diminuindo a quantidade de cargas negativas no solo Machado et al (2013) constataram que independente da sua natureza, a adição de resíduos orgânicos ao solo causa um decréscimo do Δ pH. O comportamento de Fe, Cu, Pb, Ni, Mn e Cr no solo pode ser influenciado por atributos do solo, tais como: teor de argila, matéria orgânica, conteúdo de óxidos e pH (BORGES & COUTINHO, 2004).

Tabela 01. Valores médios de pH, Δ pH e COT (Carbono orgânico Total)

Área	**Profundidade** (cm)	**pH** (KCl)	**pH** (H2O)	**Δ pH**	**COT** (%)
VN	0-20	4,7	6,2	-1,5	0,88
VN	20-40	4,3	5,4	-1,1	0,65
R	0-20	5,3	5,9	-0,6	1,61
R	20-40	5,3	6	-0,7	0,71
AS	0-20	6,7	6,9	-0,2	1,15
AS	20-40	6,9	7,4	-0,5	2,3

COT: Carbono orgânico Total; Δ pH: Delta pH. VN: Vegetação natural; R: Represa; AS: Aterro Sanitário Controlado.
Fonte: Elaborada pelos autores

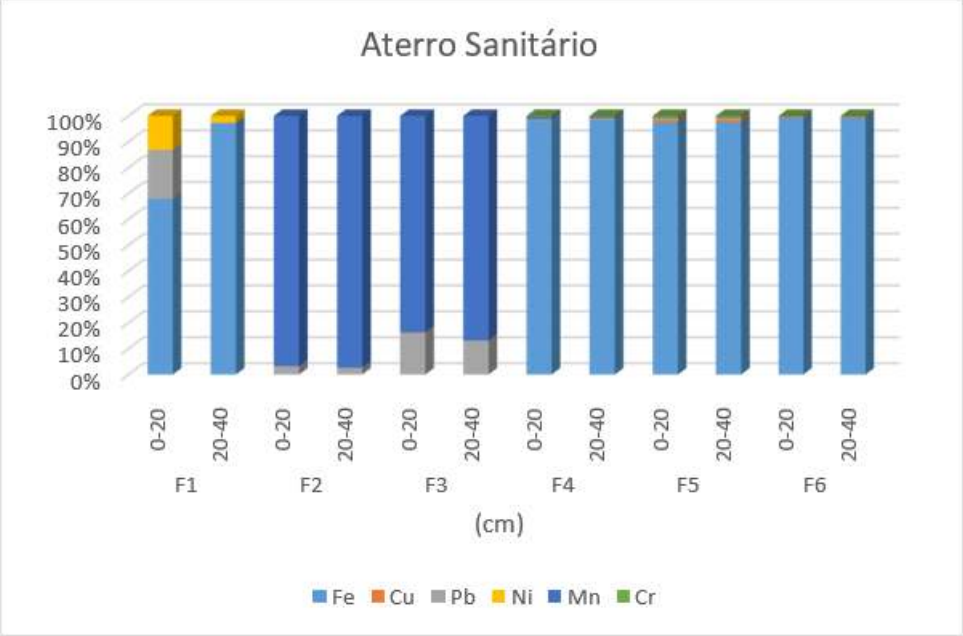
Figura 03. Granulometria em profundidade das áreas de estudo.



VN: Vegetação Nativa, AS: Aterro Sanitário Controlado, R: Represa
Fonte: Autores.

Na Figura 04, área do aterro controlado, foi observado que o Ferro extraído obteve valores altos nas frações F6 < F4 < F5 < F1, respectivamente, nas duas profundidades, essa foi a sequência que melhor extraiu os valores de Ferro, para o Cobre, os melhores extratores foram F5 < F6 < F4, nas duas profundidades, para o Chumbo na profundidade de 0 – 20 cm, F4 < F5 < F3 < F1 e na profundidade de 20 – 40, F3 < F4 < F5 < F1, para o Níquel, os melhores extratores foram, F4 < F5 < F1 nas duas profundidades, o Manganês foi extraído melhor com os extratores, F3 < F4 < F5 < F2, nas duas profundidades, para o Cromo, os melhores extratores foram, F5 < F4 < F6. Nessa área do aterro controlado, foi observado que as frações F4 e F5 extraíram os maiores valores de Fe, Cu, Pb, Ni, Mn e Cr, isso devido os óxidos e hidróxidos de Ferro e Manganês e a matéria orgânica possuírem uma elevada superfície específica e manterem adsorvido os metais em suas estruturas, Stevenson, (1994) e Martins et al. (2011) acrescentam que, a matéria orgânica participa também da imobilização dos metais no solo pela presença de grupamentos fenólicos e carboxílicos, através dos compostos humificados do solo, representados por ácidos fúlvicos e húmicos.

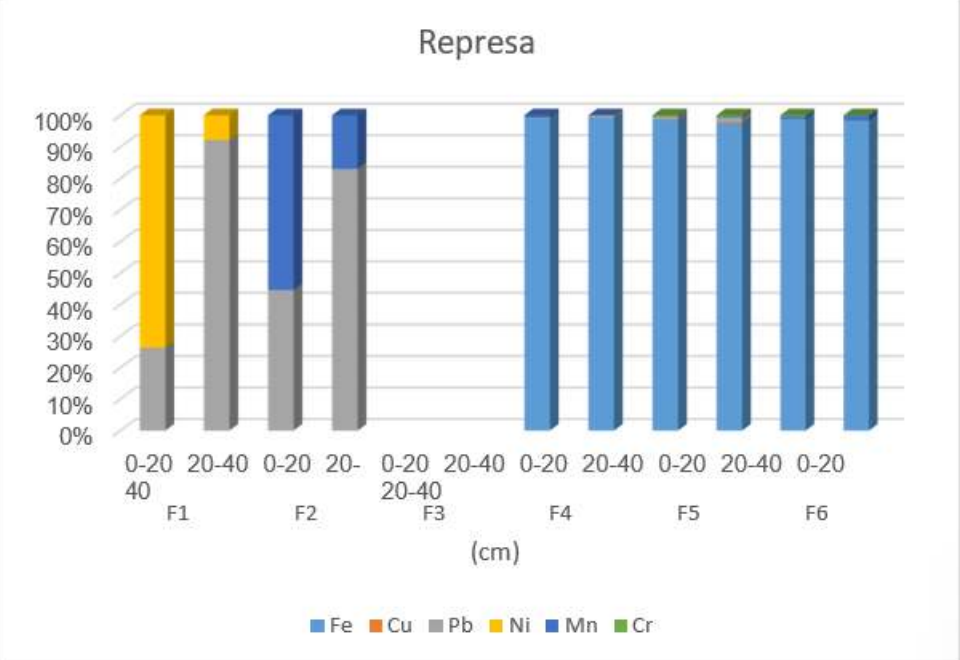
Figura 04. Porcentagem dos Elementos extraídos dentro de cada fração no Aterro Sanitário



Fonte: Autores.

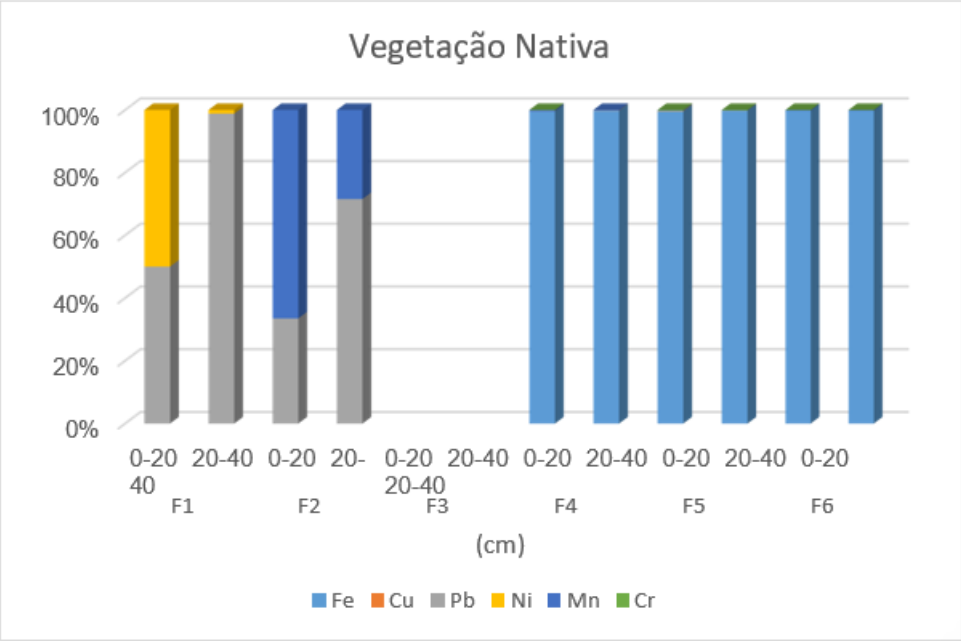
Na área da represa (Figura 05), foram observados que os valores mais altos de Ferro, são nos extratores, F4 < F6 < F5, nas duas profundidades, o valor de cobre nessa área foi extraído apenas na F5, para o Chumbo foram, F5 < F2 < F4 < F1, nas duas profundidades, para o Níquel foram, F4 < F1 nas duas profundidades, para o Manganês foram, F4 < F2 < F6 < F5 e para o Cromo foram F6 < F5 na profundidade de 0 – 20 cm e F5 < F6 na profundidade de 20 – 40 cm.

Figura 05. Porcentagem dos Elementos extraídos dentro de cada fração na área de Represa



Fonte: Autores.

Figura 06. Porcentagem dos Elementos extraídos dentro de cada fração na vegetação nativa.



Fonte: Autores.

Na Figura 06, área de vegetação nativa, foi usada para efeito de comparação com as demais áreas, para o Ferro, os extratores que foram observados maiores valores são F6 < F5 < F4, nas duas profundidades, para o Cobre foi observado valor apenas na F5, para o Chumbo foram, F2 < F5 < F4 < F1, nas duas profundidades, para o Níquel foram, F4 < F1, para o Manganês na profundidade de 0 – 20 cm foram, F2 < F6 < F4 < F5, e na profundidade de 20 – 40 foram, F6 < F2 < F4 < F5 e para o Cromo foram, F5 < F6 < F4.

Os metais que foram observados na extração nas frações F1 e F2, como o Pb, Ni e Mn, (Tabela 02) são metais que estão susceptíveis a processos de lixiviação, Amaral Sobrinho et al. (2016) inferiram que são frações pouco tamponada e, consequentemente sujeita a perturbações, como mudança do pH, nessas frações os metais são mais móveis e potencialmente disponíveis.

A fração ligado a carbonatos (F3), devido ser uma fração que esteja mais presente em solos alcalinos que apresentem carbonato de cálcio e, ou de magnésio, os quais podem reagir com o metal (ABREU et al, 2002), foram observados valores extraído de Pb e Mn apenas na área do aterro controlado.

A fração F4, de onde são extraídos metais ligados a óxidos de Ferro e Manganês, foram observados valores de Fe, Cu, Pb, Ni, Mn e Cr, essa fração é dependente do pH, e segundo Hsu (1989) e Araújo & Amaral Sobrinho (2000), a maior superfície dos óxidos, oxidróxidos, hidróxidos de Fe e Mn possibilita a adsorção de metais em uma larga faixa de pH do solo, e para Axe & Trivedi (2002),

os óxidos tem essa alta capacidade de adsorver metais devido sua elevada superfície específica, microporos e diferentes sítios de adsorção.

Os metais que foram extraídos da fração F5, foram, Fe, Cu, Pb, Ni, Mn e Cr, essa fração foi onde foram observados os maiores valores de Cu, Pb e Cr, verificando a alta afinidade dos compostos orgânicos insolúveis com alguns metais (AMARAL SOBRINHO et al., 2000), essa afinidade da matéria orgânica por metais presentes no solo é em função da configuração e profusão dos grupos fenólicos e carboxílicos, sendo esse comportamento capaz de gerar sítios de adsorção, atuando via ligação iônica (troca de elétrons) e/ou como agente quelante na solução do solo (STEVENSON, 1994; MARTINS et al., 2011).

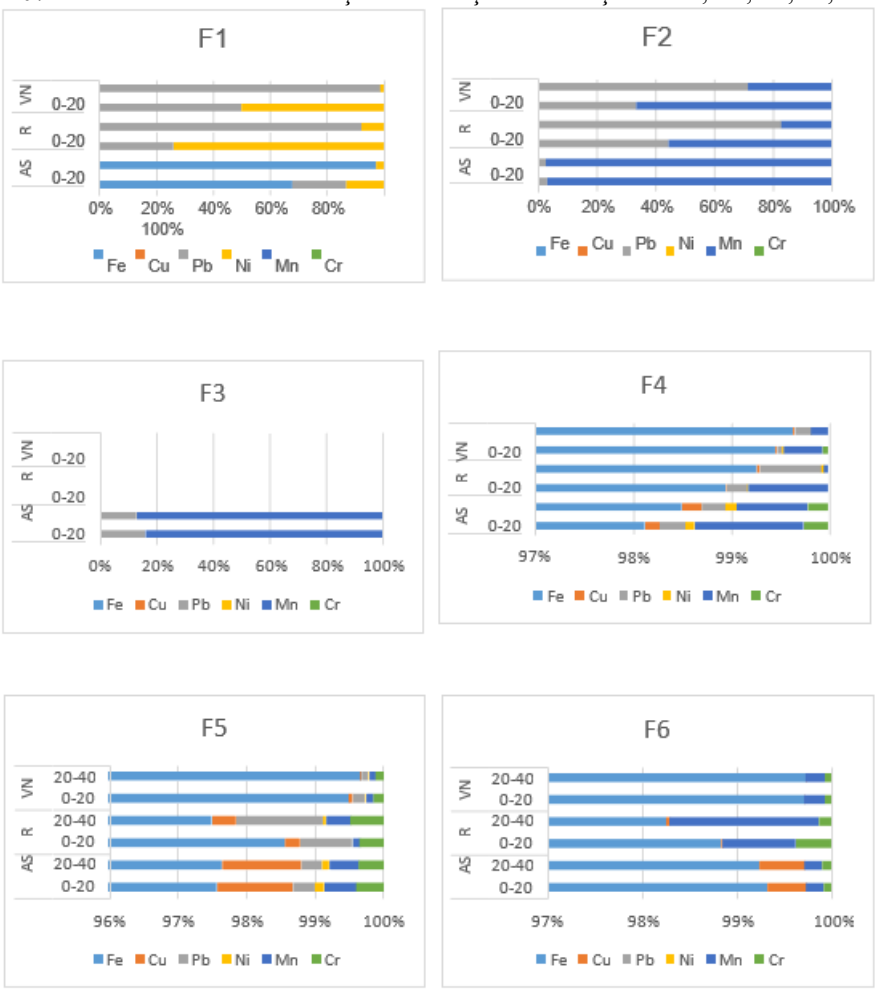
Tabela 02. Valores médios dos tratamentos

		Vegetação nativa		Represa		Aterro controlado	
		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
		mg kg^{-1}					
F1	Fe	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,781 C	6,903 C
F1	Cu	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F1	Pb	0,050	0,060	0,049	0,123	0,218 B	0,020 B
F1	Ni	0,050	0,001	0,139	0,010	0,151 B	0,186 B
F1	Mn	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F1	Cr	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F2	Fe	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F2	Cu	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F2	Pb	2,466	4,316	4,591	2,518	<LQ	<LQ
F2	Ni	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F2	Mn	4,897 aA	1,714 aA	5,707 aAB	0,517 aA	3,303 aB	4,460 aC
F2	Cr	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F3	Fe	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F3	Cu	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F3	Pb	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5,013 A	8,031 A
F3	Ni	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F3	Mn	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	25,849 A	53,164 A
F3	Cr	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F4	Fe	723,237 b	862,578 b	1305,487 b	497,675 b	2255,03 aB	2462,93 aB
F4	Cu	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,469 C	5,028 C
F4	Pb	0,386 b	1,426 b	2,769 b	3,140 b	6,141 aA	6,135 aA
F4	Ni	0,170 b	0,062 b	0,169 b	0,177 b	2,109 aA	2,850 aA
F4	Mn	2,903 cA	1,542 bA	10,793 bA*	0,223 bA*	25,591 aA*	18,195 aB*
F4	Cr	0,405 b	<LQ	<LQ	<LQ	5,817 aA	5,286 aA
F5	Fe	1060,67 c	1261,169 c	548,695 b	252,822 b	1781,89 aB	2008,10 aB
F5	Cu	0,604 b	0,187 b	1,242 b	0,908 b	20,283 aA	23,883 aA
F5	Pb	1,834 b	1,116 b	4,178 ab	3,291 ab	5,827 aA	6,124 aA
F5	Ni	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2,382 A	2,056 A
F5	Mn	1,129 bA	1,166 bA	0,601 bB	0,932 bA	8,643 aB	8,947 aC
F5	Cr	1,576 b	1,466 b	1,917 b	1,235 b	7,174 aA	7,334 aA

F6	Fe	1578,68 c	1579,741 c	619,471 b	344,766 b	2326,41 aA	3871,21 aA
F6	Cu	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	9,801 B	18,999 B
F6	Pb	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F6	Ni	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
F6	Mn	3,484 A	3,257A	4,851 AB	5,553 A	4,379 B	7,352 C
F6	Cr	1,067	1,084	2,365	0,454	1,890 B	3,769 B

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre si nas colunas, letras minúsculas não diferem entre si nas linhas e (*) apresentaram diferença entre a profundidade da área, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <LQ: abaixo do limite de quantificação.
Fonte: Autores.

Figura 07. Gráficos em barras das frações em função da extração de Fe, Cu, Pb, Ni, Mn e Cr.



VN: Vegetação nativa; R: Represa; AS: Aterro sanitário controlado
Fonte: Autores.

A fração F6 é a fração residual, para essa fração foi realizada a extração pseudo-total que não digere totalmente os silicatos, o Fe, Cu, Mn e Cr que foram extraídos nessa fração, são de baixa disponibilidade, pois estão ligados na estrutura cristalina do mineral.

Na Figura 7 é possível observar a porcentagem que cada fração extrai dos metais. Nota-se que nas frações F1, F2 e F3, que são frações onde os metais estão na forma solúvel, trocável e ligados a

carbonatos, respectivamente, são extraídos apenas Mn, Pb, Fe e Ni, os outros metais ficaram com valores abaixo do limite de quantificação. Já na fração F4, que extrai metais ligados a óxidos de Fe e Mn, foram extraídos todos os metais estudados, porém a quantidade de Fe extraído em relação aos outros metais foi maior. Na fração F5, onde são extraídos metais ligados a matéria orgânica, a quantidade de Fe é maior que Cu, Pb, Mn, Ni e Cr, porém esses outros metais já são extraídos em maior quantidade quando comparada a extração na fração F4, essa interação da matéria orgânica com os metais é enfatizada por Dumat et al. (2006) e Martins et al. (2011), onde o Carbono orgânico dissolvido interage com os metais via compostos de baixo peso molecular (polífenóis, ácidos alifáticos, aminoácidos, ácidos cítrico, oxálico e málico) e também os de alto peso molecular (ácidos fúlvicos e húmicos), sendo alguns mais efetivos que outros na adsorção.

4 CONCLUSÃO

A extração sequencial é uma ferramenta muito importante quando se trata de valores de elementos químicos no solo, sendo utilizada para saber se o metal estará facilmente susceptível ao processo de lixiviação ou disponíveis para plantas e, para o meio ambiente.

Os resultados da extração sequencial indicaram presença de Pb, Fe, Mn e Ni nas frações solúvel (F1), trocável (F2) e ligados a carbonatos (F3), sendo esses metais facilmente disponibilizados para a solução do solo.

Nas frações F4 e F5, que adsorvem os metais com ligações químicas fortes, indicaram a presença de Fe, Cu, Pb, Ni, Mn e Cr.

E na fração residual (F6), indicaram presença de Fe, Cu, Mn e Cr.

REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; ABREU M.F.; BERTON, R.S. Análise química de solo para metais pesados. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa. v.2, p.645-692, 2002.

ACCIOLY, A. M. A. & SIQUEIRA, J. O., Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F. de *et al.* Editores, Tópicos em ciência do solo. **Viçosa: Soc. Bras. de Ciênc. do Solo**, 2000, p. 299-352.

ALLEONI, L. R. F; BORBA, R. P & CAMARGO, O. A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: TORRADO, P. V. *et al.* Editores, Tópicos em ciências do solo. **Viçosa: Soc. Bras. de Ciênc. do Solo**, 2005, p. 2-42.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; BARRA, C. M.; LÃ, O. R. XVI – Química dos metais pesados no solo. In: Melo, V. de F & ALLEONI, L. R. F. Eds. Química e mineralogia do solo – parte II, aplicações. **SBCS**, Viçosa, MG, p. 249-312, 2016.

ARAUJO, W. S. & AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Influência das propriedades físicas e químicas de solos intemperizados na adsorção de chumbo, cobre e zinco. **Floresta e Ambiente**. v. 7, n. 1, p. 167-180, 2000.

AXE, L.; TRIVEDI, P. Intraparticle surfasse diffusion of metal contaminants and their attenuation in microporous Al, Fe, and Mn oxides, **Journal Colloid Interface Science**, v.247, p.259-265, 2002.

BORGES, M. R. & COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. I – Fracionamento. **R. Bras. Ci. Solo**. 28: 543-555, 2004

CERBATO, F. & ARGOLO, J. Análise técnica e socioambiental do aterro controlado do município de Amargosa-BA. **Entrelaçando – Rev. Eletrônica de Culturas e Educação**. n. 05, Janeiro-Abril, 2012.

COSTA, C. das N.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. Fracionamento sequencial de Cádmio e Chumbo em solos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1323-1328, set-out. 2007

DUMAT, C.; QUENEA, K.; BERMOND, A. *et al.* Study of the trace metal ion influence on the turnover of soil organic matter in cultivated contaminated soils. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v.142, p.521-529, 2006.

FERREIRA, E. B; CAVALCANTE, P. P & NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.0. https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt. 2018.

HSU. P. H. Aluminum oxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. Minerals in soil environments. 2. ed. Madison : **Soil Science Society of America**, 1989. p. 331-378.

MACHADO, A. T. da S; BERTAGNA, F. A. B; SANTOS, P; FIGUEIREDO, R; JUNIOR, I. G. de S; COSTA, A. C. S. Cargas superficiais de um Latossolo após aplicação de adubos orgânicos, inorgânicos e resíduos industriais. **Anais**, VIII-Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar. Editora CESUMAR, Maringá-Paraná. 2013.

MARTINS, C. A. da S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. de O. A dinâmica de metais-traço no solo. **Rev. Bras. Agroc.**, Pelotas, v. 17, n. 3-4, p. 383-391, 2011.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/. 2019.

SILVA, M. L. de S e VITTI, G. C. Fracionamento de metais pesados em solo contaminado antes e após cultivo de arroz. **Quim. Nova**, Vol. 31, Nº 6, p. 1385-1391,2008

SOUZA, V. L. B; LIMA, V; HAZIN, C. A; FONSECA, C. K. L; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de matais-traços em sedimentos: uma revisão. **Braz. J. Rad. Sci.** Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica – SBPR, Gramados, RS, 2015

SPOSITO, G. *et al.* Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phase. **Soil Science Society America Journal**, v.46, p. 260-264, 1982

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry:** genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

TEIXEIRA, P. C; CAMPOS, D. V.B; SALDANHA, M. F. C. pH do solo. In: TEIXEIRA, P. C; *et al.* Editores, Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF, **Embrapa**, 2017, p. 199-202.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C. & BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Anal. Chem**., 51:844-851, 1979.