

Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de Pernambuco
Brasil

Santana, Otacílio A.; Encinas, José I.

Composição química do solo e da água subterrânea em áreas adjacentes a aterros sanitários

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 4, núm. 3, julio-septiembre, 2009, pp. 318-328

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119012585015>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

v.4, n.3, p.318-328, jul.-set., 2009

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 318 - 28/01/2008 • Aprovado em 19/05/2009

Otacílio A. Santana¹

José I. Encinas²

¹ Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais. Endereço para correspondência: SQN 209 Bloco I Apto 410, Asa Norte, 70.854-090 Brasília, DF. Fone: (61) 3349-1750. E-mail: otaciliosantana@gmail.com

² Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal. Caixa Postal: 04357, 70919-970, Brasília, DF. Fone: (61) 3107-5620. E-mail: imana@unb.br

Composição química do solo e da água subterrânea em áreas adjacentes a aterros sanitários

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido em áreas adjacentes a aterros sanitários e áreas de controle, com o objetivo de: I) quantificar a concentração de nutrientes, metais pesados e outras variáveis químicas no solo e da água subterrânea; II) determinar o conjunto de variáveis significativas e agrupá-las por análise de componentes principais; e III) descrever a variação espacial (0 a 500m) a variação dessas concentrações. Três parcelas de 25 x 500 m foram estabelecidas e subdivididas em 30 subparcelas de 50 x 25 m, onde foram coletadas amostras de solo a 20 cm de profundidade, para quantificação dos elementos e parâmetros físico-químicos. Os valores das concentrações destas variáveis abióticas estudadas foram maiores em subparcelas próximas dos aterros, reduzindo seus valores para subparcelas mais distantes. Valores semelhantes foram encontrados nas áreas de controle. O pH e o alumínio, resultantes do aumento de matéria orgânica na proximidade dos aterros, foram as variáveis determinantes para o agrupamento das amostras pelos autovetores.

Palavras-chave: aterro sanitário, contaminação, lixo doméstico

Chemical composition of soil and groundwater in areas adjacent to sanitary landfills

ABSTRACT

The present work was carried out in areas adjacent to sanitary landfills and control areas, with the objective to: I) to quantify nutrients, heavy metals and abiotic variables concentration in soil and groundwater; II) to determine the significant variables set and to schedule the sampled areas by vectors; and III) to describe in a spatial gradient (from 0 to 500 m) the variation of these concentrations. Three plots (25x500 m) were located and subdivided in 30 subplots of 50 x 25 m, where soil samples were collected in a central point, at 20 cm of depth, in order to quantify the chemical and physical parameters. The concentrations of the studied abiotic variables were higher in subplots nearby the landfills, reducing the values towards more distant subplots. A similar pattern was found in the control areas. The abiotic variables were higher in plots nearby the landfills than in control areas. pH, resulting from the increase in organic matter and oxides nearby the landfills, were the abiotic variables for the subplots grouping by vectors.

Key words: sanitary landfill, contamination, domestic waste

INTRODUÇÃO

A poluição do solo e de águas superficiais e subterrâneas provocada por resíduos sólidos urbanos é motivo de preocupação em todo o mundo, principalmente nos países industrializados, tendo em vista o reconhecido potencial poluidor e o grande volume de resíduos gerados diariamente (Costa & Costa, 2004). A possibilidade de contaminação ambiental, associada à necessidade de grandes áreas para a disposição e tratamento, tornou a solução do problema do lixo urbano um dos mais sérios desafios para as administrações públicas.

Os efeitos da poluição ambiental são muito mais complexos e difusos do que se poderia avaliar de início; suas consequências, além de disseminadas, podem ser também cumulativas e crônicas, tornando mais complexa a ação de despoluir (Castagnino, 2006). Uma fonte poluidora exerce efeitos de diferentes dimensões sobre a biosfera e a biota, atingindo, consequentemente, o solo e as águas (Costa & Costa, 2004).

Os resíduos sólidos são considerados a expressão mais visível e concreta dos riscos ambientais, ocupando um importante papel na estrutura de saneamento de uma comunidade urbana e, consequentemente, nos aspectos relacionados à saúde pública. Além das consequências para a saúde comunitária, deve-se considerar ainda o impacto que a disposição inadequada desses resíduos provoca no solo, nos recursos hídricos e consequentemente na vegetação (Brasil, 2002).

Sisinno (2003) observou alterações nas características físicas e químicas do solo em regiões adjacentes a aterros sanitários, fenômeno este também constatado por Santana & Imaña-Encinas (2004). Essas mudanças são diretamente aferidas pelos aumentos das concentrações de alguns elementos químicos. Santana & Imaña-Encinas (2005) observaram aumento significativo de nutrientes (nitrogênio, alumínio, cálcio e potássio), no solo e em águas subterrâneas, principalmente em regiões bem próximas aos depósitos de lixo. Sisinno (2003) também reportou aumento da concentração de metais pesados no solo e no lençol freático, inclusive com consequências para a saúde humana.

Estes resultados se devem principalmente a falta de manejo e manutenção dos aterros a partir de sua implementação (Yen & Scanlon, 1975), somados com a alta porosidade, permeabilidade, e drenagem, típicas de solos arenosos ou intemperizados, a exemplo dos solos do Cerrado (Adamoli et al., 1986; Juhasz et al., 2007).

Neste sentido, os objetivos desse trabalho foram: i) quantificar as concentrações de nutrientes, metais pesados e variáveis abióticas do solo e da água subterrânea em áreas de aterros sanitários; ii) descrever ao longo de um gradiente no aterro a variação dessas concentrações; iii) quantificar a importância relativa de cada variável analisada; e iv) comparar as áreas estudadas com áreas controle adjacentes.

va: uma no Parque Nacional de Brasília, a 15 m do Jockey Club de Brasília (15°45'56.56"S e 47°59'16.69"), denominada BSB; e outra a 15 m do aterro de Goiânia (16°39'09.77"S e 49°23'37.08"W SAD 69) da GYN, localizada na Chácara São Joaquim. Para o controle outras duas áreas foram estabelecidas: uma no próprio Parque Nacional de Brasília, distante 1 km do aterro (BSB – Controle: 15°38'11.45"S e 48°01'55.61"W SAD 69) e outra em Goiânia na área do Campus II da Universidade de Goiás (GYN – Controle: 16°39'09.77"S e 49°12'46.48"W SAD 69), distante também aproximadamente 15 km do aterro.

O aterro do Jockey Club de Brasília foi criado em 1983 e atualmente recebe diariamente cerca de 1.800 toneladas de resíduos domiciliares (SLU, 2007). O aterro Sanitário de Goiânia entrou em funcionamento em 1983 e atualmente recebe cerca de 1.200 toneladas de resíduos domiciliares (SLU, 2007).

As áreas escolhidas situam-se na região Central do Brasil, no clima Aw, em Brasília, e Cwa, em Goiânia, de acordo com a classificação de Köppen. A pluviosidade anual média anual são de 1.440 mm e 22°C, respectivamente, para as duas áreas. Duas estações são definidas para cada área: úmida e chuvosa, de outubro a março, e seca, de abril a setembro.

As altitudes das áreas de amostragem foram: BSB – Controle 838 m; GYN 1115 m e GYN – Controle 1115 m. As declividades das parcelas nas áreas amostradas variaram entre 15%, correspondendo a um relevo moderadamente ondulado.

Os solos nas regiões estudadas tanto em Brasília quanto em Goiânia foram classificados como Latossolos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS, 2003; Embrapa, 2006).

A análise granulométrica das duas áreas amostradas apresentou valores aproximados de 380 g kg⁻¹ para argila, 320 g kg⁻¹ para silte e 438 g kg⁻¹ para areia, com diâmetro médio ponderado de 2,81 mm, apresentando alta taxa de infiltração hídrica, cerca de 90 cm h⁻¹ (Santana & Imaña-Encinas, 2004).

As quatro áreas amostradas estão cobertas por vegetação típica de Cerrado, conforme classificação fitogeográfica de Eiten (2001). Os critérios para escolha das áreas foram: i) o mesmo tipo de solo, e ii) a densidade da vegetação nativa semelhante a das áreas próximas aos depósitos de resíduos domiciliares.

Nos depósitos de resíduos domiciliares estabelecidas três parcelas de controle foram estabelecidas: três parcelas de 25 m de comprimento, que foram divididas em duas subparcelas de 25 x 50 m, onde foram coletados os dados (Figura 1). O espaçamento entre as parcelas foi de 50 m. A subparcela foi denominada com um número de 1 a 3. O procedimento foi realizado para a área controle em Brasília e em Goiânia. A área controle inicial das parcelas foi determinada de forma a não interferir com a amostragem de solo e de água subterrânea. Os pontos de amostragem de solo e de água subterrânea seguiram a metodologia proposta por Carter (1999).

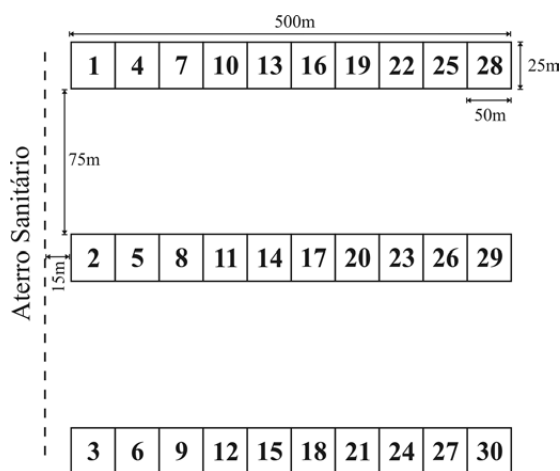


Figura 1. Parcelas e subparcelas (1 a 30) de amostragem dos dados, na proximidade dos depósitos de resíduos domiciliares e áreas controle. Adaptado de Marguran (1988) e Carter (1993)

Figure 1. Plots and subplots for data sampling, nearby sanitary landfills and control areas. Adapted from Marguran (1998) and Carter (1993)

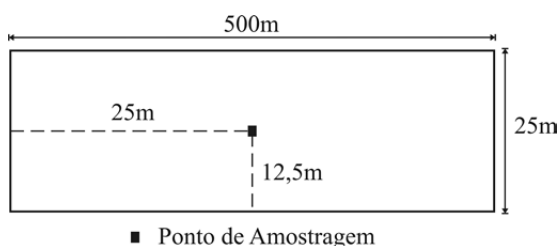


Figura 2. Subparcela e ponto de amostragem de solo e água subterrânea

Figure 2. Subplot and soil and groundwater sample location

por 24 horas, para eliminação de metais interferentes (Voegborlo et al., 1999).

Para a coleta de amostras de solo, foram utilizados instrumentos de jardinagem de teflon. Para o armazenamento do material foram utilizadas caixas de polietileno providas de tampa (28 x 40 x 12 cm).

Em cada um dos pontos delimitados foi coletada uma amostra de solo de aproximadamente 500 g, até 20 cm de profundidade, seguindo a metodologia de Carter (1993). Todas as amostras de solo foram secas a 110°C e peneiradas (< 2mm). A água subterrânea foi coletada por um tubo de PVC com uma fina mangueira em seu interior (Figura 3), conectado no final por um filtro semipermeável. Através de uma bomba de sucção foi criado um potencial negativo de -10 kPa (vácuo na mangueira), fazendo com que a água subterrânea e lixiviada do solo

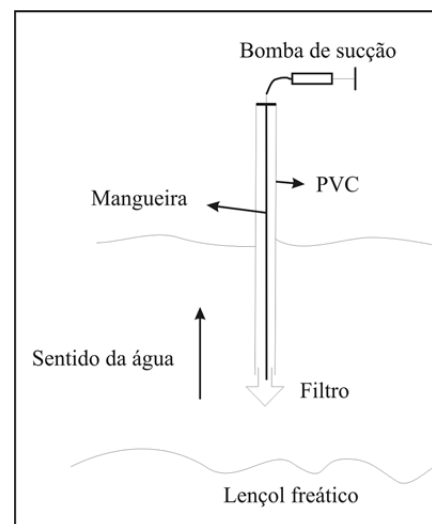


Figura 3. Processo de retirada de água subterrânea

Figure 3. Process for groundwater sampling

As coletas de solo e da água subterrânea foram realizadas de novembro de 2004 a dezembro de 2005, em pontos com precipitações maiores que 0,9mm, ou anteriormente (Marguran et al., 1988; chardt et al., 1995). No total foram 120 pontos de amostragem, 60 nas áreas estudadas, 60 em áreas próximas ao aterro sanitário e 60 em áreas controle.

A concentração nitrogênio total (Nt) foi determinada por um analisador CNS (Ferreras et al., 2001). A análise de nitrogênio em HNO_3 e HClO_4 , as concentrações totais de cálcio, potássio, magnésio e zinco do solo foram determinadas por um espectrômetro; P por um espectrômetro (AES) (Carneiro et al., 2001). Para os metais dispersos (cobre, cádmio, cromo, ferro, mercúrio, manganês, níquel, vanádio) foram utilizados espectrômetro de emissão atômica com fonte de plasma (ICP/AES) (Fontaneli et al., 2006). O pH foi realizado em medidor de pH digital (DMPH-2) combinado com um eletrodo de vidro. A matéria orgânica (MO – carbono oxidável) pelo método de Walkley-Black (Isoldi et al., 2003).

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada para reduzir as 16 variáveis amostradas nas parcelas para a matriz de correlação dessas variáveis, utilizando o programa PC-ORD 4.0 (McCune & Mefford, 1995).

Ajustes lineares dos pontos de dispersão em função das concentrações químicas e as distâncias das subparcelas foram realizados para o cálculo do coeficiente de determinação (R^2) pelo programa Statistic 5.1 (StatSoft, 1997).

Composição química do solo e da água subterrânea em áreas adjacentes a aterros sanitários

Tabela 1. Valores médios (\pm desvio padrão) das variáveis ambientais no solo em subparcelas do aterro do Jockey Club de Brasília e no controle

Table 1. Mean values (\pm standard deviation) of soil environmental variables in the subplots of the Brasília Jockey Club Landfill and in the control

Variável Ambiental	Distância do aterro (m)									
	0-50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500
pH em H ₂ O	6,3 $\pm 0,33$	5,8 $\pm 0,52$	6,1 $\pm 0,31$	5,5 $\pm 0,18$	5,5 $\pm 0,41$	5,4 $\pm 0,34$	5,4 $\pm 0,18$	5,1 $\pm 0,71$	4,8 $\pm 0,30$	4,9 $\pm 0,19$
MO (%)	4,18 $\pm 10,15$	5,12 $\pm 7,30$	3,56 $\pm 4,26$	3,71 $\pm 5,19$	3,14 $\pm 14,51$	3,12 $\pm 9,17$	3,30 $\pm 1,49$	3,20 $\pm 3,25$	2,96 $\pm 5,36$	2,93 $\pm 4,12$
Nt (%)	0,84 $\pm 0,05$	0,83 $\pm 0,10$	0,78 $\pm 0,17$	0,63 $\pm 0,02$	0,61 $\pm 0,16$	0,5 $\pm 0,11$	0,51 $\pm 0,051$	0,52 $\pm 0,06$	0,54 $\pm 0,21$	0,55 $\pm 0,10$
P (mg/100g)	9,73 $\pm 1,12$	8,54 $\pm 0,71$	7,66 $\pm 0,87$	5,12 $\pm 0,67$	4,13 $\pm 0,21$	3,01 $\pm 1,02$	2,12 $\pm 0,51$	1,05 $\pm 0,14$	2,12 $\pm 0,96$	1,07 $\pm 0,41$
K (mg/100g)	15,86 $\pm 2,15$	13,94 $\pm 1,48$	13,21 $\pm 0,98$	10,07 $\pm 0,48$	10,15 $\pm 1,25$	9,65 $\pm 0,47$	5,32 $\pm 0,57$	4,55 $\pm 1,25$	4,12 $\pm 0,99$	5,17 $\pm 1,1$
Ca (mmolc/kg)	6,53 $\pm 0,87$	7,01 $\pm 0,97$	7,14 $\pm 1,15$	7,26 $\pm 1,23$	3,21 $\pm 0,87$	4,58 $\pm 1,45$	4,19 $\pm 1,16$	3,19 $\pm 1,57$	2,17 $\pm 1,49$	2,51 $\pm 1,23$
Mg (mmolc/kg)	11,65 $\pm 2,36$	10,27 $\pm 2,05$	9,45 $\pm 1,25$	9,18 $\pm 0,54$	9,16 $\pm 0,78$	8,13 $\pm 0,36$	8,57 $\pm 0,79$	8,19 $\pm 1,45$	8,02 $\pm 1,13$	5,36 $\pm 0,99$
Al (mmolc/kg)	8,24 $\pm 1,25$	7,14 $\pm 1,36$	8,88 $\pm 1,11$	8,16 $\pm 0,82$	9,57 $\pm 0,45$	10,19 $\pm 0,77$	10,06 $\pm 0,97$	11,95 $\pm 2,15$	9,18 $\pm 2,15$	9,16 $\pm 1,57$
Fe (mg/L)	8,01 $\pm 2,15$	8,15 $\pm 1,89$	7,21 $\pm 1,57$	5,61 $\pm 2,49$	5,14 $\pm 1,57$	6,22 $\pm 0,99$	5,17 $\pm 0,85$	4,19 $\pm 1,11$	5,01 $\pm 1,10$	5,55 $\pm 0,79$
Hg (μ g/L)	<0,2 0	<0,1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Cu (mg/L)	2,71 $\pm 0,54$	2,65 $\pm 0,57$	2,11 $\pm 0,69$	2,11 $\pm 1,23$	1,55 $\pm 1,01$	1,41 $\pm 0,98$	0,79 $\pm 0,45$	0,93 $\pm 0,45$	0,88 $\pm 0,42$	0,84 $\pm 0,18$
Pb (mg/L)	0,45 $\pm 0,01$	0,45 $\pm 0,09$	0,46 $\pm 0,07$	0,51 $\pm 0,06$	0,18 $\pm 0,07$	0,35 $\pm 0,01$	0,33 $\pm 0,01$	0,35 $\pm 0,06$	0,19 $\pm 0,09$	0,25 $\pm 0,06$
Cd (mg/L)	0,22 $\pm 0,01$	0,2 $\pm 0,11$	0,2 $\pm 0,09$	0,1 $\pm 0,01$	0,13 $\pm 0,01$	0,04 0	0,05 $\pm 0,01$	0,1 $\pm 0,01$	0,09 $\pm 0,05$	0,09 $\pm 0,01$
Mn (mg/L)	8,96 $\pm 0,89$	8,45 $\pm 1,06$	8,56 $\pm 1,25$	7,18 $\pm 0,99$	7,12 $\pm 1,45$	7,05 $\pm 1,13$	6,54 $\pm 0,48$	6,14 $\pm 0,33$	6,24 $\pm 0,48$	6,18 $\pm 1,09$
Zn (mg/L)	1,79 $\pm 0,51$	2,01 $\pm 0,29$	1,98 $\pm 0,99$	1,83 $\pm 0,78$	1,01 $\pm 0,55$	1,05 $\pm 0,05$	1,01 $\pm 0,19$	1,01 $\pm 0,21$	1,06 $\pm 0,33$	1,1 $\pm 0,41$
Cr (mg/L)	4,3 $\pm 0,99$	2,98 $\pm 1,15$	2,24 $\pm 0,47$	2,48 $\pm 0,54$	2,1 $\pm 0,54$	1,99 $\pm 0,57$	1,77 $\pm 0,47$	2,01 $\pm 1,00$	2,16 $\pm 0,89$	1,45 $\pm 0,56$

Tabela 2. Valores médios (\pm desvio padrão) das variáveis ambientais no solo em subparcelas do aterro sanitário de Goiânia e no controle

Table 2. Mean values (\pm standard deviation) of soil environmental variables in the subplots of the Goiânia Sanitary Landfill and in the control

Variável Ambiental	Distância do aterro (m)									
	0-50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500
pH em H ₂ O	5,9 $\pm 0,14$	6 $\pm 0,47$	5,9 $\pm 0,38$	5,1 $\pm 0,24$	5,5 $\pm 0,13$	5,6 $\pm 0,17$	5,1 $\pm 0,24$	4,7 $\pm 0,51$	4,8 $\pm 0,26$	4,5 $\pm 0,15$
MO (%)	5,42 $\pm 10,27$	4,23 $\pm 12,35$	3,01 $\pm 8,03$	3,31 $\pm 7,86$	2,96 $\pm 7,99$	3,17 $\pm 10,5$	3,04 $\pm 9,25$	3,04 $\pm 8,19$	3,31 $\pm 15,26$	2,71 $\pm 11,15$
Nt (%)	0,97 $\pm 0,12$	0,78 $\pm 0,34$	0,66 $\pm 0,37$	0,67 $\pm 0,09$	0,71 $\pm 0,15$	0,62 $\pm 0,06$	0,6 $\pm 0,18$	0,63 $\pm 0,22$	0,59 $\pm 0,11$	0,45 $\pm 0,19$
P (mg/100g)	8,88 $\pm 1,18$	8,01 $\pm 2,16$	6,14 $\pm 1,48$	6,21 $\pm 0,24$	6,13 $\pm 1,48$	5,14 $\pm 1,50$	5,04 $\pm 0,77$	3,69 $\pm 0,41$	3,57 $\pm 0,78$	3,01 $\pm 0,99$
K (mg/100g)	13,21 $\pm 2,45$	13,21 $\pm 5,14$	12,45 $\pm 2,49$	9,66 $\pm 3,15$	9,14 $\pm 1,58$	6,18 $\pm 1,48$	6,29 $\pm 1,02$	6,18 $\pm 0,64$	3,01 $\pm 0,98$	4,17 $\pm 0,77$
Ca (mmolc/kg)	5,98 $\pm 1,25$	5,06 $\pm 1,26$	4,99 $\pm 0,98$	5,19 $\pm 2,15$	4,16 $\pm 1,48$	3,29 $\pm 1,59$	3,47 $\pm 1,11$	3,56 $\pm 0,48$	3,49 $\pm 0,25$	1,17 $\pm 0,42$
Mg (mmolc/kg)	14,65 $\pm 3,15$	12,37 $\pm 3,15$	8,49 $\pm 2,15$	7,65 $\pm 1,77$	5,19 $\pm 1,15$	5,48 $\pm 1,49$	5,49 $\pm 0,48$	55,78 $\pm 0,19$	5,36 $\pm 1,16$	4,98 $\pm 2,01$
Al (mmolc/kg)	1,06 $\pm 0,45$	5,19 $\pm 0,35$	4,16 $\pm 1,21$	3,48 $\pm 0,89$	4,19 $\pm 2,10$	2,19 $\pm 1,15$	2,17 $\pm 0,94$	3,56 $\pm 0,98$	2,48 $\pm 0,36$	3,29 $\pm 0,73$
Fe (mg/L)	5,26 $\pm 1,25$	4,29 $\pm 1,13$	3,24 $\pm 0,94$	7,19 $\pm 0,88$	4,18 $\pm 0,49$	4,36 $\pm 1,25$	5,42 $\pm 2,25$	5,26 $\pm 0,463$	4,19 $\pm 1,15$	3,77 $\pm 1,11$
Hg (μ g/L)	<0,1 0	<0,1 0	<0,1 0	<0,1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Cu (mg/L)	1,65 $\pm 0,54$	1,55 $\pm 0,49$	0,77 $\pm 0,35$	0,55 $\pm 0,09$	0,24 $\pm 0,12$	0,19 $\pm 0,01$	0,18 $\pm 0,06$	0,27 $\pm 0,07$	0,33 $\pm 0,13$	0,14 $\pm 0,05$
Pb (mg/L)	0,49 $\pm 0,01$	0,55 $\pm 0,15$	0,52 $\pm 0,11$	0,39 $\pm 0,21$	0,36 $\pm 0,09$	0,37 $\pm 0,07$	0,22 $\pm 0,16$	0,22 $\pm 0,01$	0,22 $\pm 0,07$	0,21 $\pm 0,08$
Cd (mg/L)	0,11 $\pm 0,02$	0,1 $\pm 0,05$	0,08 $\pm 0,03$	0,07 $\pm 0,02$	0,08 $\pm 0,008$	0,09 $\pm 0,04$	0,07 $\pm 0,01$	0,06 $\pm 0,02$	0,05 $\pm 0,04$	0,05 $\pm 0,03$
Mn (mg/L)	6,54 $\pm 0,02$	6,34 $\pm 0,05$	6,21 $\pm 0,03$	6,19 $\pm 0,02$	6,15 $\pm 0,008$	6,1 $\pm 0,04$	6,04 $\pm 0,01$	5,19 $\pm 0,02$	5,48 $\pm 0,04$	5,19 $\pm 0,03$

Tabela 3. Valores médios (\pm desvio padrão) das variáveis ambientais na água subterrânea em subparcelas do aterro do Jockey Club de Brasília**Table 3.** Mean values (\pm standard deviation) of groundwater environmental variables in subplots of the Brasília Jockey Club Landfill and in the control

Variável Ambiental	Distância do aterro (m)									
	0-50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500
pH em H ₂ O	8 $\pm 0,50$	7,2 $\pm 0,61$	6,6 $\pm 0,22$	6,3 $\pm 0,15$	6 $\pm 0,32$	5,9 $\pm 0,33$	5,8 $\pm 0,24$	5,5 $\pm 0,51$	5,6 $\pm 0,4$	5,5 $\pm 0,275$
MO (%)	6,90 $\pm 1,92$	4,71 $\pm 1,12$	4,52 $\pm 2,36$	3,51 $\pm 10,10$	3,23 $\pm 6,35$	2,91 $\pm 7,45$	2,82 $\pm 5,48$	2,89 $\pm 6,15$	2,70 $\pm 4,26$	2,76 $\pm 5,19$
Nt (%)	4,5 $\pm 1,69$	3,21 $\pm 1,25$	3,12 $\pm 0,93$	3,45 $\pm 1,25$	1,89 $\pm 0,26$	1,68 $\pm 0,75$	1,65 $\pm 0,49$	1,45 $\pm 0,33$	1,27 $\pm 0,48$	1,12 $\pm 0,25$
P (mg/100g)	17,3 $\pm 6,15$	16,59 $\pm 2,48$	17,14 $\pm 2,36$	15,32 $\pm 4,21$	13,21 $\pm 3,01$	10,59 $\pm 2,15$	5,46 $\pm 2,11$	5,19 $\pm 1,25$	4,65 $\pm 1,98$	4,77 $\pm 0,46$
K (mg/100g)	19,1 $\pm 6,59$	16,15 $\pm 4,84$	15,21 $\pm 4,96$	14,12 $\pm 3,99$	12,06 $\pm 3,01$	10,07 $\pm 2,79$	7,01 $\pm 1,84$	6,98 $\pm 1,86$	5,32 $\pm 1,97$	5,14 $\pm 0,86$
Ca (mmolc/kg)	15,49 $\pm 3,65$	14,23 $\pm 8,25$	12,24 $\pm 4,65$	11,54 $\pm 5,36$	10,28 $\pm 1,25$	11,19 $\pm 2,36$	13,21 $\pm 5,18$	11,2 $\pm 2,13$	12,04 $\pm 0,99$	10,14 $\pm 0,15$
Mg (mmolc/kg)	25,36 $\pm 9,11$	23,41 $\pm 10,25$	22,59 $\pm 9,56$	10,05 $\pm 4,25$	9,68 $\pm 2,36$	8,96 $\pm 3,45$	9,51 $\pm 4,25$	9,16 $\pm 5,12$	9,15 $\pm 1,12$	9,36 $\pm 1,36$
Al (mmolc/kg)	8,21 $\pm 1,25$	4,19 $\pm 2,15$	3,19 $\pm 0,84$	4,36 $\pm 0,45$	2,19 $\pm 0,97$	2,48 $\pm 1,11$	2,68 $\pm 0,54$	2,59 $\pm 0,99$	2,36 $\pm 0,78$	5,08 $\pm 0,73$
Fe (mg/L)	31,4 $\pm 9,42$	29,65 $\pm 8,89$	29,54 $\pm 7,56$	15,64 $\pm 5,48$	18,26 $\pm 9,15$	14,26 $\pm 6,25$	13,57 $\pm 4,26$	12,48 $\pm 5,36$	17,8 $\pm 6,48$	11 $\pm 4,32$
Hg (μ g/L)	<0,01 0	<0,01 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Cu (mg/L)	0,24 $\pm 0,57$	0,51 $\pm 1,15$	0,52 $\pm 0,15$	0,41 $\pm 0,62$	0,39 $\pm 1,11$	0,51 $\pm 0,75$	0,31 $\pm 0,49$	0,4 $\pm 0,12$	0,34 $\pm 0,60$	0,38 $\pm 0,71$
Pb (mg/L)	0,13 $\pm 0,01$	0,14 $\pm 0,04$	0,12 $\pm 0,06$	0,11 $\pm 0,09$	0,09 $\pm 0,05$	0,01 0	0,06 $\pm 0,04$	0,09 $\pm 0,02$	0,02 $\pm 0,02$	0,06 $\pm 0,01$
Cd (mg/L)	<0,005 0	<0,005 0	<0,005 0	<0,005 0	<0,005 0	<0,005 0	<0,005 0	<0,005 0	<0,005 0	<0,005 0
Mn (mg/L)	5,1 $\pm 0,99$	5,08 $\pm 1,52$	5,08 $\pm 1,55$	5,03 $\pm 0,99$	5,01 $\pm 0,59$	5 $\pm 1,11$	4,97 $\pm 1,12$	4,16 $\pm 1,09$	4,1 $\pm 0,66$	4,09 $\pm 0,32$
Zn (mg/L)	0,68 $\pm 0,24$	0,68 $\pm 0,09$	0,63 $\pm 0,03$	0,65 $\pm 0,15$	0,61 $\pm 0,21$	0,59 $\pm 0,09$	0,59 $\pm 0,06$	0,58 $\pm 0,17$	0,57 $\pm 0,19$	0,57 $\pm 0,16$
Cr (mg/L)	0,15 $\pm 0,05$	0,15 $\pm 0,01$	0,13 $\pm 0,04$	0,15 $\pm 0,02$	0,11 $\pm 0,01$	0,1 $\pm 0,03$	0,09 $\pm 0,04$	0,09 $\pm 0,01$	0,08 $\pm 0,02$	0,07 $\pm 0,02$

Tabela 4. Valores médios (\pm desvio padrão) das variáveis ambientais na água subterrânea em subparcelas do aterro sanitário de Goiânia e no controle**Table 4.** Mean values (\pm standard deviation) of groundwater environmental variables in subplots of the Goiânia Sanitary Landfill and in the control

Variável Ambiental	Distância do aterro (m)									
	0-50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500
pH em H ₂ O	7,6 $\pm 0,40$	7,5 $\pm 0,20$	7,1 $\pm 0,30$	6,7 $\pm 0,50$	6,5 $\pm 0,20$	6,4 $\pm 0,30$	6,3 $\pm 0,40$	6,2 $\pm 0,10$	6,1 $\pm 0,40$	6,1 $\pm 0,20$
MO (%)	7,20 $\pm 24,35$	6,50 $\pm 15,23$	4,14 $\pm 10,01$	3,61 $\pm 5,26$	3,21 $\pm 4,25$	2,91 $\pm 11,26$	2,81 $\pm 7,24$	2,74 $\pm 2,48$	2,53 $\pm 3,56$	2,51 $\pm 4,21$
Nt (%)	7,2 $\pm 3,20$	6,5 $\pm 2,90$	6,57 $\pm 4,50$	6,25 $\pm 2,10$	6,32 $\pm 0,90$	6,15 $\pm 0,75$	6,48 $\pm 0,49$	3,21 $\pm 1,26$	3,49 $\pm 0,59$	3,49 $\pm 0,57$
P (mg/100g)	19,56 $\pm 7,98$	15,48 $\pm 8,69$	14,56 $\pm 2,13$	14,29 $\pm 2,19$	13,26 $\pm 6,45$	13,26 $\pm 2,36$	13,49 $\pm 2,59$	10,01 $\pm 1,59$	9,45 $\pm 4,25$	9,26 $\pm 4,29$
K (mg/100g)	15,11 $\pm 5,26$	12,32 $\pm 2,15$	13,24 $\pm 1,94$	11,26 $\pm 1,56$	9,68 $\pm 3,98$	8,65 $\pm 4,12$	8,45 $\pm 0,92$	8,24 $\pm 1,11$	8,46 $\pm 1,18$	8,12 $\pm 1,97$
Ca (mmolc/kg)	19,21 $\pm 9,48$	19,24 $\pm 2,36$	19,24 $\pm 4,15$	12,15 $\pm 1,29$	12,36 $\pm 0,78$	12,35 $\pm 1,63$	12,48 $\pm 1,94$	12,49 $\pm 0,46$	5,36 $\pm 0,98$	9,45 $\pm 4,97$
Mg (mmolc/kg)	22,19 $\pm 11,26$	21,45 $\pm 5,12$	18,56 $\pm 4,13$	18,25 $\pm 9,15$	17,42 $\pm 4,19$	17,59 $\pm 2,36$	15,36 $\pm 7,45$	15,26 $\pm 3,17$	15,23 $\pm 1,09$	14,11 $\pm 9,16$
Al (mmolc/kg)	2,31 $\pm 1,14$	3,11 $\pm 0,54$	3,19 $\pm 0,78$	2,16 $\pm 1,24$	2,19 $\pm 0,47$	2,49 $\pm 0,23$	1,11 $\pm 0,79$	1,06 $\pm 0,19$	1,45 $\pm 0,17$	1,1 $\pm 0,66$
Fe (mg/L)	20,01 $\pm 3,15$	19,45 $\pm 9,15$	19,01 $\pm 1,25$	17,46 $\pm 1,29$	17,23 $\pm 2,36$	13,22 $\pm 6,45$	10,64 $\pm 1,99$	9,45 $\pm 1,45$	9,48 $\pm 3,75$	8,63 $\pm 1,19$
Hg (μ g/L)	<0,02 0	<0,01 0	<0,01 0	<0,01 0	<0,01 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Cu (mg/L)	0,51 $\pm 0,05$	0,49 $\pm 0,21$	0,46 $\pm 0,07$	0,42 $\pm 0,08$	0,4 $\pm 0,11$	0,37 $\pm 0,15$	0,31 $\pm 0,01$	0,3 $\pm 0,07$	0,29 $\pm 0,10$	0,25 $\pm 0,11$
Pb (mg/L)	0,89 $\pm 0,27$	0,81 $\pm 0,22$	0,83 $\pm 0,33$	0,66 $\pm 0,15$	0,55 $\pm 0,09$	0,41 $\pm 0,04$	0,32 $\pm 0,05$	0,3 $\pm 0,07$	0,29 $\pm 0,11$	0,28 $\pm 0,01$
Cd (mg/L)	0,19 $\pm 0,03$	0,09 $\pm 0,05$	0,11 $\pm 0,02$	0,05 $\pm 0,01$	0,03 $\pm 0,01$	0,04 $\pm 0,01$	0,09 $\pm 0,04$	0,08 $\pm 0,01$	0,05 $\pm 0,03$	0,05 $\pm 0,01$
Mn (mg/L)	7,13 $\pm 1,12$	6,15 $\pm 0,95$	6,12 $\pm 2,01$	6,11 $\pm 2,15$	6,21 $\pm 2,14$	6,31 $\pm 0,99$	5,42 $\pm 2,01$	5 $\pm 1,09$	4,99 $\pm 0,79$	4,86 $\pm 0,47$

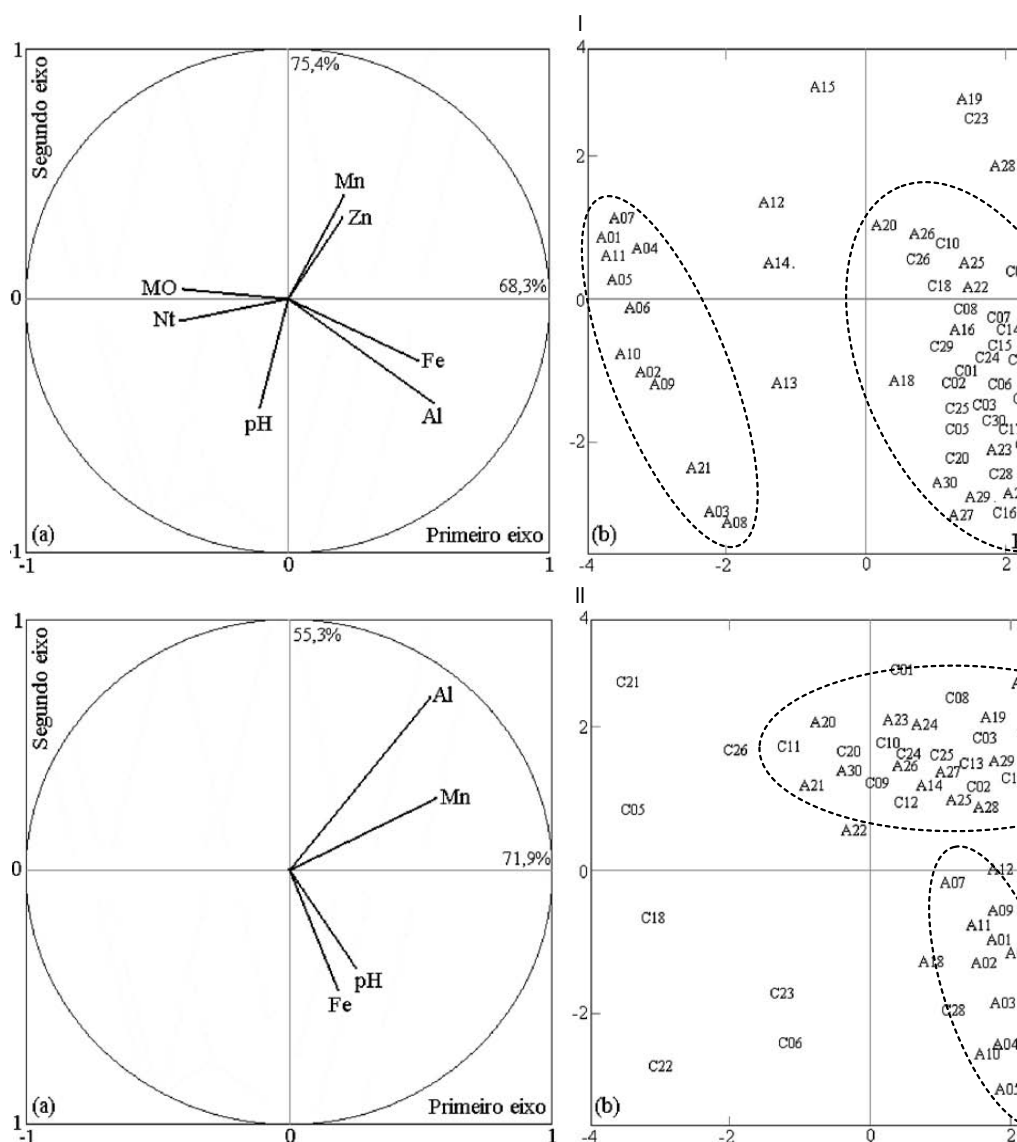


Figura 4. Análise de componentes principais das variáveis abióticas significativas, representativas das 60 subparcelas de solo avaliadas, 30 próximas aos aterros (A) e 30 em áreas controle (C).

(i) Áreas estudadas em Brasília e (ii) Áreas estudadas em Goiânia. (a) Círculo de autovalores das variáveis; (b) Plano de dispersão dos autovalores das subparcelas

Figure 4. Principal Component Analysis between significant abiotic variables, representative of the 60 soil subplots, 30 close to the landfill and 30 in control areas (C).

(i) Areas studied in Brasília. (ii) Areas studied in Goiânia. (a) Circle of the eigenvalues of variables; (b) Eigenvalues dispersion of the subplots

sua influência nas concentrações destes elementos. Estes resultados foram também comprovados pelas maiores médias obtidas nestas parcelas em relação às áreas controle. Segundo

O aumento de elementos como nitrogênio, sódio e cálcio foram resultantes do acréscimo de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos, principal

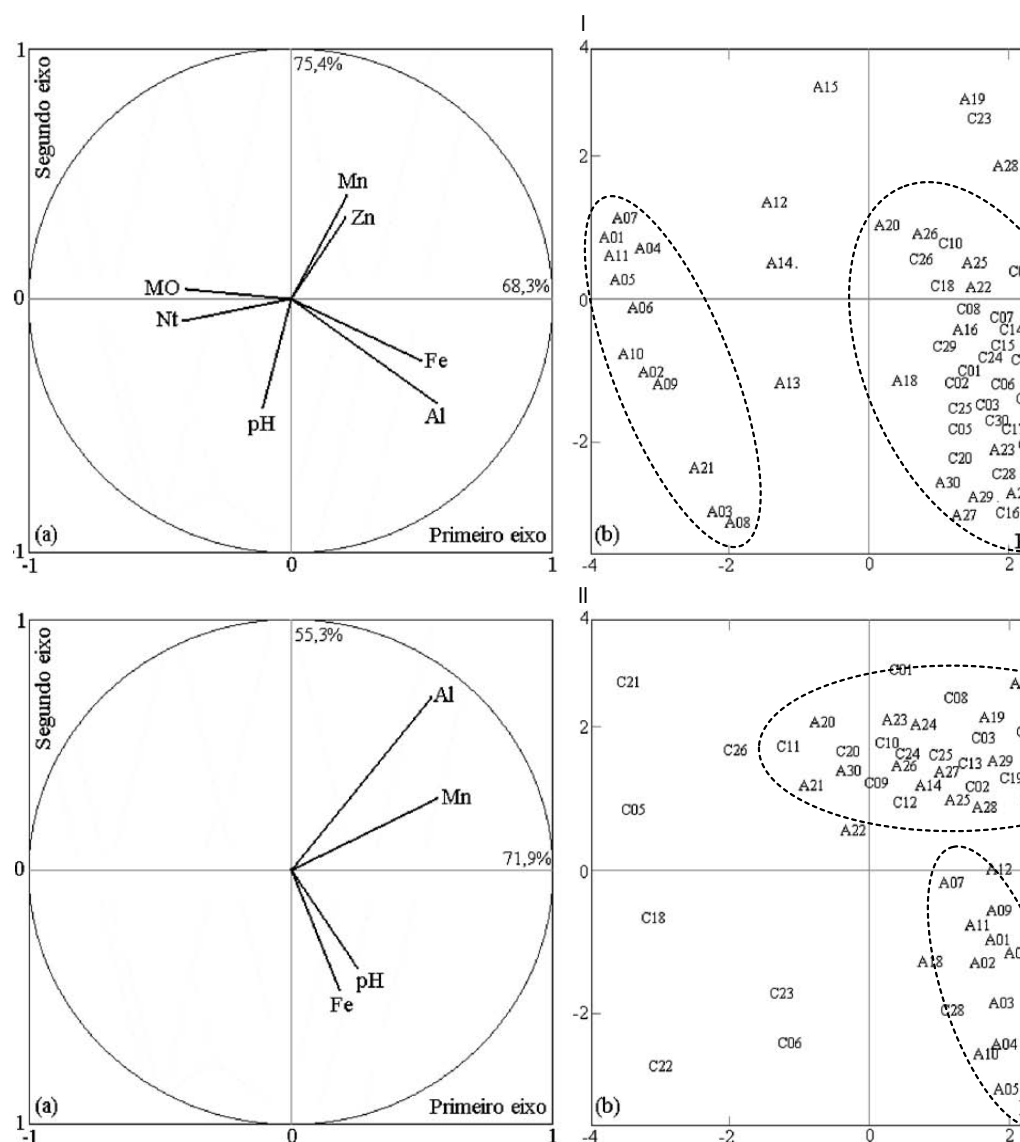


Figura 4. Análise de componentes principais das variáveis abióticas significativas, representativas das 60 subparcelas de solo avaliadas, 30 próximas aos aterros (A) e 30 em áreas controle (C).

(I) Áreas estudadas em Brasília e (II) Áreas estudadas em Goiânia. (a) Círculo de autovalores das variáveis; (b) Plano de dispersão dos autovalores das subparcelas

Figure 4. Principal Component Analysis between significant abiotic variables, representative of the 60 soil subplots, 30 close to the landfill and 30 in control areas (C).

(I) Areas studied in Brasília. (II) Areas studied in Goiânia. (a) Circle of the eigenvalues of variables; (b) Eigenvalues dispersion of the subplots

óxidos com OH^- , deixando-os menos ácidos ($\text{pH} \approx 7$), conforme observado nas Tabelas 1 a 4.

Os elementos Fe^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{1+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Mn^{2+} ,

dores) e sobras de construção civil, também dominantemente óxidos (Fe_2O_3 ; MgCO_3 ; Cu_2O ; ZnO ; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), aumentado assim o valor de p

Composição química do solo e da água subterrânea em áreas adjacentes a aterros sanitários

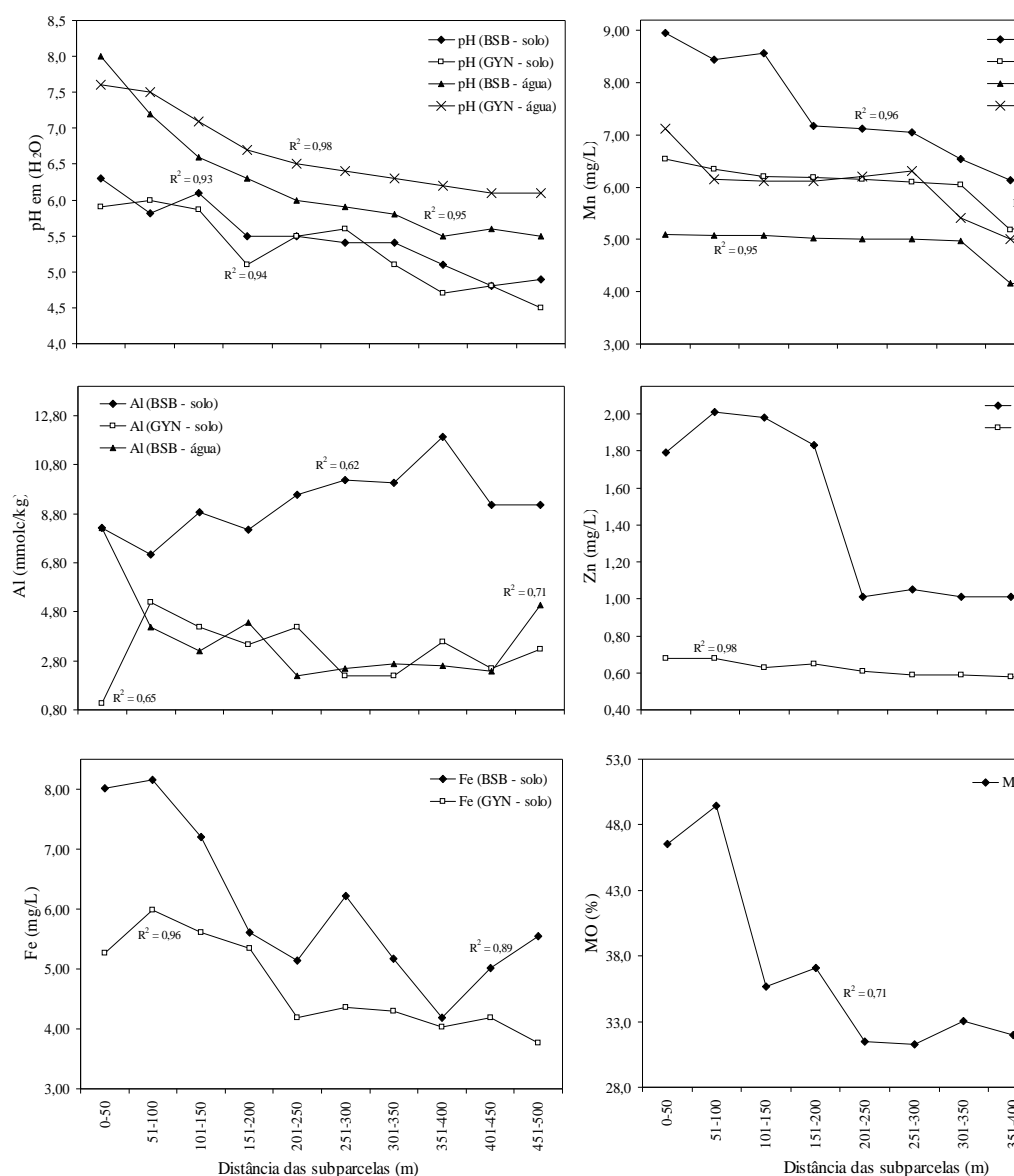


Figura 6. Relação das concentrações médias das variáveis químicas selecionadas (pH, manganês, alumínio, zinco, ferro e MO = matéria orgânica) com as distâncias das subparcelas. (R^2 = coeficiente de ajuste dos pontos de cada variável)

Figure 6. Relationship between the average concentrations of the selected chemical variables (pH, Mn, Al, Zn, Fe and MO = organic matter) with the subplots distances. (R^2 = Adjust coefficient of variable points)

centemente da textura do solo (Pavan, 1996), sendo encontrados nas amostras de solo e de águas mais superficiais.

Apenas Al^{3+} não obteve um padrão de redução de sua concentração a partir do aterro para áreas distantes. Em áreas

Na análise de componentes principais (Fig. 2), o conjunto de elementos significativos, ou seja, os que foram acumulados representaram cerca de 70% do total. Foram: para o solo - manganês, zinco, ferro, alumínio

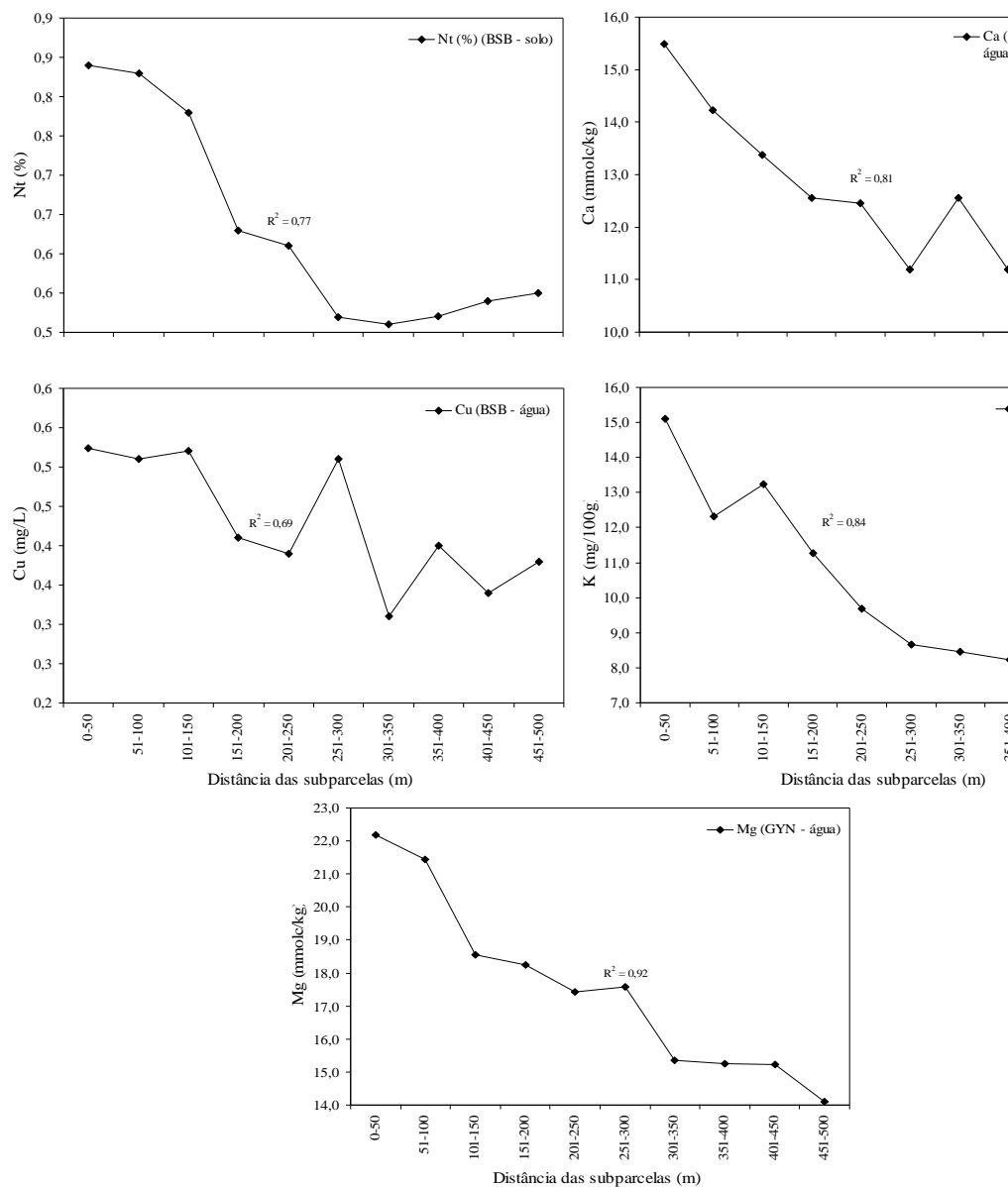


Figura 7. Relação das concentrações médias dos elementos químicos selecionados (Nt = nitrogênio total, cálcio, cobre, potássio e magnésio) com as distâncias das subparcelas. (R^2 = coeficiente de ajuste dos pontos de cada variável)

Figure 7. Relationship between mean concentrations of the selected chemical elements (Nt = total nitrogen, Ca, Cu, K and Mg) in the Principal Component Analysis (PCA) with the subplots distances. (R^2 = Adjust coefficient of variables points)

Tanto para o solo quanto para a água subterrânea, observou-se a formação de dois grupos significativos: i) das subparcelas próximas aos aterros (A01 a A15); e ii) das subparcelas controle (C01 a C30). Esta divisão foi deter-

as subparcelas próximas dos aterros. Isto mostra a importância dos óxidos formados pela presença de matéria orgânica e outros cátions, aumentando o pH (Santana et al., 2004), próximos aos aterros, e a acidez

CONCLUSÕES

Os mais altos valores das variáveis abióticas estudadas, tanto para o solo, quanto para a água subterrânea, foram encontrados nas subparcelas mais próximas dos aterros, reduzindo seus valores com o afastamento.

Os valores médios das variáveis abióticas foram maiores nas parcelas estabelecidas próximas aos aterros do que nas áreas controle.

O pH e o alumínio foram as variáveis determinantes para o agrupamento das subparcelas pelos autovetores, em consequência do aumento de matéria orgânica e dos óxidos na proximidade dos aterros.

AGRADECIMENTOS

Ao ICMBIO/Parque Nacional de Brasília e a Prefeitura de Goiânia, pela logística e licença para realização do trabalho.

LITERATURA CITADA

- Adamoli, J.; Macedo, J.; Azevedo, L.G.; Madeira Neto, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: Goedert, W.J. (ed.). Solos dos Cerrados: tecnologia e estratégia de manejo. São Paulo: Editora Nobel, 1986. p. 33-74.
- Bacchi, O. O. S. e Reichardt, K. On simple methods for unsaturated soil hydraulic conductivity determination. *Scientia agrícola*, v.50, n.2, p.326-328, 1993.
- Brasil. Saúde ambiental e gestão de resíduos de serviços de saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2002. 317 p.
- Campos, É.P.; Duarte, T.G.; Neri, A.V. Floristic composition of a stretch of "Cerrado" sensu stricto and "cerradão" and its relation with soil in the 'Floresta Nacional' (FLONA) of Paraopeba, MG. *Revista Árvore*, v.30, n.3, p.471-479, 2006.
- Campos, C.E.B.; Lani, J.L.; Resende, M. Indicadores de campo para solos hidromórficos na região de Viçosa (MG). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.27, n.6, p.1057-1066, 2003.
- Capelo Neto, J. e Castro, M.A.H. Simulação e avaliação do desempenho hidrológico da drenagem horizontal de percolado em aterro sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, n.3, p.229-235, 2005.
- Carneiro, J.M.T.; Zagatto, E.A.G.; Mattos, I.L. Determinação indireta de N-total em plantas por espectrometria de absorção atômica com chama empregando uma mini-coluna de $\text{AgCl}_{(s)}$. *Scientia agrícola*, v.58, n.1, p.151-155, 2001.
- Carter, M.R. Soil sampling and methods of analysis. Boca raton: Lewis, 1993. 823 p.
- Castagnino, J.M. Nanomateriales y contaminación ambiental. *Acta Bioquímica*, v.40, n.1, p.1-2, 2006.
- Celere, M.S.; Oliveira, A.S.; Trevilato, T.M.B. Metals in landfill leachate in Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil, and its relevance for public health. *Caderno de Saúde Pública*, Eiten, G. Vegetação natural do distrito federal. BRAE, 2001. 162 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema de Classificação de Solos, 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 412p.
- Ferreras, L.A.; De Batista, J.J.; Ausilio, A. Physical properties of a soil under minimum tillage and non-disturbance. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.1, 2001.
- Fontaneli, R.S.; Durr, J.W.; Scheffer-Basso, S.M. Método da reflectância no infravermelho próximo para análise de silagem de milho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.594-598, 2002.
- Gomes, J.B.V.; Curi, N.; Motta, P.E.F. Principal component analysis of physical, chemical, and mineralogical properties of the Cerrado biome soils. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, n.1, p.137-153, 2004.
- Isoldi, L.A.; Koetz, P.R.; Faria, O.L.V.; Isoldi, L.A. Carbono orgânico e nitrificação de águas residuais em aterro de industrialização de arroz. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.9, n.3, p.273-277, 2003.
- Juhasz, C.E.P.; Cooper, M.; Cursi, P.R. Savanna micromorphology related to water retention. *Geoderma*, v.64, n.4, p.344-354, 2007.
- McCune, B.; Mefford, M.J. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Version 4. Oregon: MjM Software, 1999. 237p.
- Pavan, M. A. e Miyazawa, M. Análises químicas e físicos-químicos para interpretação. Londrina: Instituto de Química do Paraná, 1996. 46 p.
- Prefeitura de Goiânia. Limpeza urbana: aterros sanitários. www.goiania.go.gov.br/html/comurg/aterro/aterro.htm, 2007.
- Reichardt, K.; Angelocci, L.R.; Bacchi, O.O.S. Soil moisture variability at a local scale (1,000 ha), in Piracicaba, SP, and its implications on soil water recharge. *Geoderma*, v.52, n.1, p.43-49, 1995.
- Santana, O.A.; Imaña-Encinas, J. Urban land use changes and effects on groundwater in Brazilian savanna. In: International Congress on Environmental Challenges and Solutions, 2005, Brasília. Proceedings... Brasília: ABRA, p.40-46.
- Santana, O.A.; Imaña-Encinas, J. Modelo espacial de contaminação do solo e do lençol freático do Parque Nacional de Brasília. In: Clube do Parque Nacional de Brasília – DF. In: Pejon, O. J.; Zuquette, L. V. (Ed.). Geotécnica e Geoambiental (Conhecimento e Aplicação): Base para a Sustentabilidade. Brasília: ABRA, p. 453-460.
- Santos, H.G.; Coelho, M.R.; Anjos, L.H.C.; Jacinto, A.; Oliveira, V.Á.; Lumberas, J.F.; Oliveira, J.B.; Fasolo, P.J. Propostas de revisão e atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 2001. 162 p.

Sisinno, C.L.S. Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana. Caderno de Saúde Pública, v.19, n.2, p.369-374, 2003.

StatSoft Statistic for Windows 5.1. Tulsa, StatSoft Inc., 1997. CD ROM.

Voegborlo, R.B.; El-Methnani, A.M.; Abedin, M. Cadmium and lead content of canned tuna fish. Food Chemistry, v.67, n.4, p.341-345, 1999.

Yen, B.C e Scanlon, B. Sanitary landfill settlement. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, v.101, n.4, p.475-487, 1975.