

**TEORES DE METAIS PESADOS E CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS SOLOS DO CEMITÉRIO MUNICIPAL DO BOQUEIRÃO, CURITIBA (PR)**Y. J. Barros<sup>1</sup>; L. Kummer<sup>2</sup>; V. de F. Melo<sup>3</sup>; E. N. de L. Romanó<sup>3</sup> e S. Zanello<sup>2</sup><sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), <sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e<sup>3</sup>Universidade Federal do Paraná (UFPR)

yarajuba@gmail.com - lkummer@utfpr.edu.br – vanderfm@ufpr.br – zanello@utfpr.edu.br

Artigo submetido em outubro/2013 e aceito em novembro/2013

**RESUMO**

As características locais de um cemitério são importantes variáveis que determinam o caminho de contaminantes resultantes do processo de decomposição de cadáveres. Constituem-se também como fontes de contaminantes, o verniz, conservantes da madeira e as partes metálicas dos caixões, que podem liberar metais para o ambiente. O objetivo do trabalho foi estudar a mineralogia da fração argila e os teores de metais pesados dos solos do Cemitério Municipal do Boqueirão, em Curitiba (PR), e avaliar o risco de contaminação ambiental. Foram selecionados seis pontos dentro da área do cemitério, de onde se coletaram amostras em três profundidades (0-20, 20-80 e 80-120 cm). A fração de argila foi estudada por

difratometria de raios X e análises térmicas. Os teores totais e trocáveis de Cr, Cu, Pb, Ni e Zn foram determinados. Os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> associados com minerais de Fe mais cristalinos foram baixos, o que reflete os baixos teores de Fe dos materiais de origem dos solos e diferentes estágios de desenvolvimentos dos solos. Dentre os metais analisados, os teores de Pb e Zn total foram os que apresentaram os maiores valores em relação a solos de mesmo material de origem, porém tais concentrações não são indicativas de poluição ambiental, e sim de uma branda contaminação. Conclui-se que os solos deste cemitério apresentam-se aptos para esta atividade, visto serem profundos, de textura argilosa e com alto potencial de adsorção de metais.

**PALAVRAS-CHAVE:** mineralogia da fração argila, CTC, contaminação por metais pesados**HEAVY METAL CONTENTS AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF SOILS FROM THE BOQUEIRÃO MUNICIPAL CEMETERIE, IN CURITIBA (PR, BRAZIL)****ABSTRACT**

The local characteristics of a site where a cemetery are important variables that determine the route of contaminants resulting from the decomposition of cadavers. Sources of contaminants are also, varnish, wood preservatives and metal parts of coffins, which can release metals into the environment. The purpose of this study was investigate the clay fraction mineralogy and heavy metal contents of soils from Boqueirão Municipal Cemetery, in Curitiba (PR), and estimate the contamination risk. The samples were collected at three depths (0–20, 20–80 and 80–120 cm) at six selected points. The clay fraction was studied by X ray diffractometry and thermal analysis. The total and

exchangeable heavy metal contents (Cr, Cu, Pb, Ni and Zn) were determined. The contents of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> associated with crystalline Fe minerals were low, reflecting low levels of iron from the soil parent materials and different stages of development. The concentrations of total Pb and Zn presented the highest values in relation to soils of the same source material, but such concentrations are not indicative of environmental pollution, but a mild contamination. It is concluded that the soils of this cemetery are suitable for this activity, since they are deep, clayey and have high potential to adsorb heavy metals.

**KEYWORDS:** clay fraction mineralogy, CEC, heavy metals contamination

## TEORES DE METAIS PESADOS E CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS SOLOS DO CEMITÉRIO MUNICIPAL DO BOQUEIRÃO, CURITIBA (PR)

### INTRODUÇÃO

Os cemitérios constituem-se num grande problema a ser gerenciado, devido, principalmente, ao necrochorume gerado durante o processo de decomposição do cadáver, que pode conter patógenos e substâncias tóxicas, como metais pesados, e contaminar o solo, águas subterrâneas e superficiais (PACHECO, 1997).

Bouwer (1978) registrou alguns casos históricos de contaminação das águas subterrâneas por líquidos humurosos (oriundo de cadáveres) em águas que se destinavam ao consumo humano. Esse autor destaca ainda, a incidência de febre tifóide entre pessoas que viviam nas proximidades da cidade de Berlim, no período de 1863 a 1867, além do ocorrido em Paris, onde as águas subterrâneas mal cheirosas e de sabor adocicado, em especial nas épocas quentes, foram captadas em poços situados nas proximidades de um cemitério.

Contaminantes químicos, como As e Hg, usados em práticas de embalsamento de corpos com formaldeído, podem ter sido responsáveis, no passado, pela contaminação do solo e da água em cemitérios. Atualmente, constituem-se em fontes de contaminantes químicos o verniz e conservantes da madeira e as partes metálicas dos caixões, como alças e adereços, que podem liberar Pb, Zn, Cu, Cr, Ni e Fe (SPONGBERG e BECKS, 2000).

Estes metais representam um grupo de poluentes que requer tratamento especial, pois não são degradados biológica ou quimicamente (HONG et al., 2002; SINGH & CAMEOTRA, 2004). Podem acumular-se no solo e tornarem-se ainda mais perigosos quando interagem com alguns componentes do solo (PIERANGELI et al., 2004; AMARAL SOBRINHO et al., 2009). Alguns são considerados essenciais do ponto de vista biológico, enquanto outros não o são. Entretanto, mesmo aqueles essenciais podem, sob condições específicas, causar impactos negativos a ecossistemas terrestres e aquáticos, constituindo-se assim, em contaminantes ou poluentes de solo e água (GUILHERME et al., 2005).

O solo, o relevo e as características hidrológicas do local portador de um cemitério são importantes variáveis que determinam o caminho destes contaminantes. Destaca-se o solo, por ser o primeiro a receber a carga poluidora, e por isso, o responsável pela forma e intensidade de circulação de tais substâncias, função das características físicas, químicas e mineralógicas. De acordo com Bouwer (1978), a construção de cemitérios deve ocorrer em solos com textura média, já que solos de textura muito fina favorecem anaerobiose, o que dificulta a decomposição, e solos de textura grosseira possuem maior potencial de contaminação do aquífero freático. Além disso, recomenda-se que o nível hidrostático esteja a pelo menos 2,5 m da superfície, deixando uma zona insaturada de pelo menos 0,7 m para evitar a contaminação da água subterrânea.

Os componentes coloidais do solo (minerais da fração argila e fração húmica) apresentam alta área superficial específica e capacidade de adsorção [troca de cátions (CTC) e de ânions (CTA)], que, em grande parte, determina a capacidade de armazenamento de íons nutritivos às plantas e poder filtrante do solo para poluentes, como os metais pesados (SPOSITO, 1984; ELLIOT et al., 1986; NAIDU et al., 1998).

Além do teor de argila, o potencial de adsorção de contaminantes iônicos e polares do solo é dependente da qualidade dessa fração coloidal. Em solos tropicais e subtropicais úmidos, a mineralogia é relativamente simples: a caulinita, os óxidos de ferro (hematita e goethita) e os óxidos de alumínio (gibbsita) representam os minerais mais abundantes na fração argila (CURI e FRANZMEIER, 1984; SINGH e GILKES, 1992; MELO et al., 2001a; MELO et al., 2001b).

O objetivo deste trabalho foi estudar a mineralogia da fração argila e os teores de metais pesados dos solos do Cemitério Municipal do Boqueirão, em Curitiba (PR), e avaliar o risco de contaminação ambiental por esses contaminantes.

## METODOLOGIA

- **Descrição da área**

O Cemitério Municipal do Boqueirão, Curitiba (PR), localiza-se na bacia do rio Iguaçu, em zona intensamente urbanizada e residencial, ocupando uma área de 4,61 ha, a qual vem sendo ocupada como cemitério vertical por mais de 50 anos. A área do cemitério pertence à Formação Guabirota, constituída, principalmente, por sedimentos argilosos, representando a porção mais profunda da bacia sedimentar. A Formação Guabirota provém do Período Quaternário, formado por depósitos fluviais e lacustres (BIGARELLA & SALAMUNI, 1962), pouco consolidados, predominando argilitos e arenitos arcósios (SALAMUNI & STELLFELD, 2001).

Na área do cemitério, os solos foram classificados como Antropossolos, de acordo com Curcio et al. (2004), em razão da descaracterização de seus perfis, sendo observado inversões de horizontes, além de restos de materiais agregados ao solo, tais como: pedaços de caixões, ossos, calça, panos, animais e peças cerâmicas, oriundas de atividades religiosas (ROMANÓ, 2003).

O cemitério apresenta declividade entre 0 e 20%, sendo que mais de 63% da área é abrangida por declividade de 0 a 5%. O rególito do local possui baixa permeabilidade devido à elevada compactação do solo, o que prejudica a passagem de água e a aeração. A profundidade do nível hidrostático varia de 8,3 a 8,5 m de profundidade, o que torna a área favorável à proteção das águas (ROMANÓ, 2003).

A coleta de solo foi efetuada em seis pontos dentro da área do cemitério (Figura 1), em lotes vagos entre as gavetas mortuárias, pois se trata de um cemitério calçado com paralelepípedos constituído por gavetas mortuárias construídas sobre o solo (Figura 2). Foram abertas trincheiras (60 x 100 cm de largura por 120 cm de profundidade), e coletadas amostras nas profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 80 cm e 80 a 120 cm. As amostras foram secas ao ar e passadas por peneiras de 2 mm (Terra Fina Seca ao Ar - TFSA) para o estudo mineralógico e a determinação dos teores totais e trocáveis de metais pesados. A caracterização química de rotina e a análise granulométrica dos solos foram realizadas segundo metodologia descrita por Embrapa (1979) e os resultados estão apresentados na Tabela 1. É importante salientar que o estudo teve a autorização do Ministério Público do Estado do Paraná e da Promotoria de Meio Ambiente do Estado do Paraná.



Cemitério Boqueirão

● Pontos de coleta do solo      □ Limites do cemitério

**Figura 1 - Localização do Cemitério Municipal do Boqueirão e os pontos de coleta das amostras de solos.**



**Figura 2 - Vista geral do Cemitério Municipal do Boqueirão, Curitiba (PR).**

**Tabela 1 - Análises químicas e granulométrica das amostras dos solos do Cemitério Municipal do Boqueirão<sup>(1)</sup>**

Amostra	Litologia	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Al <sup>+3</sup>	H+Al	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	CTC	pH 7,0	P	CO	Argila	Areia	Silte
			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>											
P1A	Argilito	4,9	0,4	7,8	2,1	3,4	0,1	13,4	1,0	19,6	581	393	26	
P1B		4,4	0,8	8,4	0,8	1,2	0,1	10,5	0,4	10,0	531	400	69	
P1C		4,4	0,5	6,7	0,3	0,7	0,1	7,8	0,5	5,7	574	391	35	
P2A	Argilito	5,8	0,0	2,4	6,0	4,8	0,2	13,4	1,1	16,0	376	490	134	
P2B		5,8	0,0	3,2	3,5	3,9	0,2	10,8	0,6	11,8	492	413	95	
P2C		5,8	0,0	3,2	2,7	1,8	0,2	7,9	0,4	7,5	587	373	40	
P3A	Argilito	4,9	0,0	8,4	2,7	1,9	0,2	13,2	0,8	16,0	612	333	55	
P3B		4,7	0,5	7,8	1,9	1,6	0,2	11,5	0,5	11,2	652	334	14	
P3C		5,2	0,0	4,0	1,1	1,4	0,1	6,6	0,5	3,9	604	301	95	
P4A	Argilito	5,1	0,0	7,2	4,7	7,3	0,2	19,4	1,3	28,1	587	234	179	
P4B		4,6	1,8	11,3	1,9	1,8	0,1	15,1	1,3	37,7	624	241	135	
P4C		4,5	1,1	9,7	1,0	1,2	0,1	12,0	0,6	17,2	553	382	65	
P5A	Argilito/arcósio	4,8	0,5	9,0	5,5	3,0	0,3	17,8	1,0	34,1	611	205	184	

P5B		4,7	2,0	13,2	2,3	1,6	0,2	17,3	0,8	72,5	484	347	169
P5C		4,9	0,9	9,3	3,2	1,7	0,2	14,4	0,6	76,7	275	620	105
P6A		5,7	0,0	4,0	2,7	6,8	0,3	13,8	3,0	16,0	529	342	129
P6B	Argilito	4,7	0,5	5,4	2,1	1,4	0,2	9,1	0,3	9,4	650	299	51
P6C		5,1	0,0	4,3	1,2	1,1	0,1	6,7	0,2	3,3	637	281	82

<sup>(1)</sup> FONTE: ROMANÓ (2003).

<sup>(2)</sup> P1 a P6 pontos de amostragem - ver Figura 2. Camadas de amostragem dos solos: A - 0 a 20 cm; B - 20 a 80 cm; C - 80 a 120 cm.

### • Análise mineralógica da fração argila

Para a separação das frações do solo, amostras da TFSA foram tratadas com peróxido de hidrogênio 30 vol, para remoção de matéria orgânica, e com NaOH 0,2 mol L<sup>-1</sup>, para dispersão das partículas (JACKSON, 1979). Após esses tratamentos prévios, a fração de areia foi retida em peneira de 0,05 mm, e as frações argila e silte foram recolhidas em provetas de 1.000 mL e separadas por sedimentação com base na lei de Stokes (GEE e BAUDER, 1986).

Os minerais da fração argila foram identificados em placas não orientadas por difratometria de raios-X (goniômetro vertical Philips, modelo PW1050/70, com velocidade de 1°2θ/min e amplitude de 4 a 65°2θ).

Os teores dos óxidos de Fe amorfos e mais cristalinos foram obtidos por meio de extrações com oxalato de amônio (OA) (McKEAGUE, 1978) e ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (MEHRA e JACKSON, 1960) respectivamente, conforme detalhes apresentados por Melo et al. (2001b). Tais teores foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA).

As amostras de argila resultantes da extração com DCB foram analisadas num derivatório SHIMADZU DTG-60, Simultâneo DTA-TG APPARATUS para quantificação de Caulinita (Ct) e Gibbsita (Gb) (JACKSON, 1979).

### • Determinação dos teores totais e trocáveis de metais pesados nas amostras de solos

Na determinação dos teores totais de Cr, Cu, Pb e Ni foram solubilizadas amostras de solo (TFSA) com ácidos concentrados (HF, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e HClO<sub>4</sub>), segundo o método de Lim e Jackson (1986). Para determinação dos teores trocáveis desses metais, 5 g de TFSA foi agitado com 50 mL de solução extratora de BaCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> por 2 h (JONES, JARVIS e COWLING, 1973), filtrando-se a suspensão. A determinação dos teores totais e trocáveis ocorreu através de EAA.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### • Caracterização mineralógica da fração argila

A fração argila dos solos formados sobre o argilito (Tabela 2) é constituída principalmente por caulinita (Ct), com teores variando de 442 a 649 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 2). Assim, mesmo a Ct apresentando baixa CTC (McBRIDE, 1994), processos físico-químicos importantes nos solos, como as reações de adsorção, formação e estabilização dos agregados, dinâmica de água no perfil, entre outros, são fortemente influenciados por este mineral. Isto porque o grupo silanol (Si-O), presente na borda da superfície siloxana da caulinita (TARI et al., 1999), reduz o ponto de carga zero (PCZ) do mineral para 4 (SPARKS, 1995) e possui cargas negativas mesmo em baixos valores de pH (TARI et al., 1999), o que garante adsorção de cátions. Como o pH em CaCl<sub>2</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> das amostras foi superior a 3,9 (Tabela 1) espera-se o predomínio de cargas negativas nas bordas Ct, favorecendo a adsorção de metais. Esse efeito é ainda mais pronunciado devido aos altos teores

de argila (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Barros et al. (2008) em estudo realizado também em solo formado sobre argilito da formação Guabirotuba. Os menores teores de Ct encontrados no P5 são justificados pelo material de origem, arcósio, o qual é constituído por material mais grosseiro do que o argilito. Além disso, o referido ponto é um dos que apresenta maior declividade, 10-15%, fato que proporciona uma maior renovação da camada superficial do solo, o que dificulta a formação de minerais em estágio mais avançado na escala de intemperismo, tais como os minerais de argila.

Os teores de Gb variaram entre 93 a 283 g kg<sup>-1</sup>, valores estes superiores aos encontrados por Barros et al. (2008), 27 a 115 g kg<sup>-1</sup>, o que pode ser atribuído ao maior estágio de intemperismo dos solos do presente trabalho, já que o rególito dos perfis amostrados são mais profundos do que os de Barros et al. (2008). A formação de Gb na fração argila é favorecida pela perda de silício (concentrações próximas a zero na solução do solo) e o elevado grau de intemperismo dos solos (HSU, 1989; KÄMPF et al., 2009), o que leva ao aumento da concentração de Gb em relação a Ct. Fazendo-se o cálculo da relação Gb/Ct observou uma relação variando entre 0,07 a 0,20, (média 0,13) na pesquisa de Barros et al. (2008), enquanto no presente trabalho esta relação variou entre 0,21 a 0,44 (média 0,33), o que comprova o maior grau de intemperismo dos solos. Além disso, segundo Kämpf et al. (2009) o aumento desta relação significa decréscimo da razão molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com conseqüente redução de CTC (média 12,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) valores menores dos que encontrados por Barros et al. (2008) (média 16,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

Os óxidos de Fe e Al menos cristalinos (extração com oxalato de amônio – OA) apresentam muitos sítios de adsorção de íons, por apresentar alta superfície específica e grande número de cargas superficiais dependentes de pH (McKEAQUE e DAY, 1966), conferindo aos horizontes, por exemplo, maior adsorção específica de metais pesados. Contudo, nas amostras analisadas, os teores de óxidos de ferro amorfo foram em sua maioria superiores (Tabela 2) aos encontrados em outras pesquisas (WOWK e MELO, 2005; GHIDIN et al., 2006; BARROS et al., 2008; ZANELLO et al., 2009). Isto pode ser justificado pela alta compactação encontrados nos solos do cemitério por Romanó (2003), o que dificulta a infiltração de água, e, por conseqüência, a cristalinização. A variação destes componentes entre os perfis amostrados também podem ser conseqüência de sua posição na paisagem: P1, P4, P6 em cotas altimétricas menores que os demais pontos. Já a maior concentração de FeOA no ponto P5 pode ser atribuída à diferença no material de origem deste.

Os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> associados com minerais de Fe mais cristalinos (extração com ditionito-citrato-bicarbonato - DCB) foram baixos e variaram de 10,6 a 122,9 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 2), o que reflete os baixos teores de Fe dos materiais de origem dos solos (Argilito da Formação Guabirotuba e granito/gnaiss leucocráticos) e diferentes estágios de desenvolvimentos dos solos. A goethita e a hematita são as principais fontes de Fe extraído pelo DCB na fração argila. Tais valores são semelhantes aos encontrados por Barros et al. (2008).

**Tabela 2 – Mineralogia da fração argila das amostras dos solos do Cemitério Municipal do Boqueirão<sup>(1)</sup>**

Amostra <sup>(1)</sup>	Caulinita	Gibbsita	Material Amorfo	Total	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> OA	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> DCB	Relação FeOA/FeDCB	Goethita	Hematita
----- g kg <sup>-1</sup> -----									
P1A	472,1	111,0	20,8	603,9	14,2	43,3	0,33	nq	nq
P1B	496,1	230,1	7,9	734,1	6,2	73,6	0,08	nq	nq
P1C	591,8	231,8	7,5	831,1	6,3	63,7	0,10	nq	nq
P2A	522,8	149,4	8,5	680,7	0,1	50,6	0,00	nq	nq

P2B	649,8	257,3	7,8	914,9	0,2	72,1	0,00	nq	nq
P2C	644,5	283,8	7,5	935,8	6,7	56,1	0,12	nq	nq
P3A	533,0	221,9	12,5	767,3	5,8	68,7	0,08	nq	nq
P3B	527,8	186,1	8,5	722,4	6,4	64,4	0,10	nq	nq
P3C	622,2	251,6	4,1	877,9	3,7	24,3	0,15	nq	nq
P4A	466,9	108,0	20,0	594,9	14,9	39,3	0,38	nq	nq
P4B	479,2	128,0	23,6	630,8	17,9	36,9	0,49	nq	nq
P4C	444,5	95,3	24,5	564,3	22,1	74,0	0,30	nq	nq
P5A	364,2	105,5	34,3	504,0	32,8	67,2	0,49	nq	nq
P5B	404,9	150,7	27,3	582,9	24,6	29,4	0,84	nq	nq
P5C	383,8	162,0	25,1	570,9	11,4	112,2	0,10	nq	nq
P6A	494,1	142,4	30,0	666,5	28,7	32,4	0,89	nq	nq
P6B	442,2	93,1	24,7	560,0	10,2	122,9	0,08	nq	nq
P6C	442,8	127,8	24,5	595,1	18,0	10,6	1,70	nq	nq

<sup>(1)</sup> P1 a P6 pontos de amostragem - ver Figura 2. Camadas de amostragem dos solos: A - 0 a 20 cm; B - 20 a 80 cm; C - 80 a 120 cm; caulinita e Gibbssita determinadas com base na perda de massa da amostra de argila por meio de análise termo gravimétrica ; Material amorfo, determinado pela redução em peso da amostra pelo tratamento com oxalato de amônio (Redução em massa da amostra = (peso inicial - peso final) x 1000 / peso inicial); relação FeOa/FeDCB – Relação entre os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> OA e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> DCB; nq – mineral apenas identificado por DRX (análise qualitativa).

• **Teores de metais pesados no solo**

Os teores totais dos metais analisados (Tabela 3) ficaram abaixo dos valores orientadores de Prevenção (VP) estabelecidos pela Cetesb (2005) e Resolução Conama nº 420/2009 (BRASIL, 2009), que é a concentração acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo (Tabela 4). Entretanto, alguns teores ficaram acima dos valores de Referência de Qualidade (VRQ), que é a concentração que define um solo como limpo. Isto ocorreu para Ni, Pb e Zn.

**Tabela 3 - Teores totais e trocáveis de metais pesados das amostras de solos Cemitério Municipal do Boqueirão<sup>(1)</sup>**

Amostra	Teores totais					Teores trocáveis				
	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----									
P1A	6,1	15,8	11,9	41,9	71,9	nd	0,4	nd	nd	17,7
P1B	9,4	16,1	16,4	37,0	82,7	nd	0,5	nd	nd	18,0
P1C	3,4	16,2	13,0	31,7	79,7	nd	0,4	nd	nd	17,8
P2A	20,2	16,2	8,4	26,9	67,8	nd	0,4	nd	1,1	14,8
P2B	7,6	14,7	9,7	31,4	65,0	nd	0,4	nd	nd	13,9
P2C	nd	13,9	10,5	28,5	61,0	nd	0,4	nd	nd	12,7
P3A	5,9	13,0	10,9	25,3	65,5	nd	0,3	nd	0,6	14,5
P3B	5,9	12,9	10,7	25,5	66,3	nd	0,3	nd	nd	14,0
P3C	4,5	12,2	11,8	23,1	59,1	nd	0,5	nd	nd	12,9
P4A	6,9	16,7	12,6	15,9	77,7	nd	0,2	nd	nd	16,2
P4B	9,4	15,9	7,8	28,3	57,7	nd	0,3	nd	nd	12,2
P4C	4,4	12,2	12,1	34,7	43,5	nd	0,3	nd	nd	9,6
P5A	9,5	12,8	13,9	26,1	12,8	nd	0,2	nd	1,3	2,7
P5B	3,3	16,6	12,0	28,5	48,3	nd	0,1	0,1	nd	10,2
P5C	2,2	14,5	12,5	9,8	39,7	nd	0,3	nd	nd	9,1
P6A	6,9	11,6	8,9	22,0	39,4	nd	0,2	nd	0,4	8,7
P6B	4,7	11,2	9,4	21,5	41,7	nd	0,3	0,1	nd	9,1
P6C	6,2	11,3	12,3	12,0	38,4	nd	0,4	nd	nd	8,4

<sup>(1)</sup> P1 a P6 pontos de amostragem - ver Figura 2. Camadas de amostragem dos solos: A - 0 a 20 cm; B - 20 a 80 cm; C - 80 a 120 cm; nd - não detectado pelo método analítico (EAA).

**Tabela 4 - Valores orientadores de metais pesados em solos de acordo com Cetesb (2005) e Resolução Conama nº 420/2009 (BRASIL, 2009)**

Metal	Referência de Qualidade <sup>(1)</sup>	Prevenção <sup>(2)</sup>	Investigação/ Intervenção <sup>(2)</sup>		
			Agrícola	Residencial	Industrial
----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Cromo</b>	40	75	150	300	400
<b>Cobre</b>	35	60	200	400	600
<b>Níquel</b>	13	30	70	100	130
<b>Chumbo</b>	17	72	180	300	900
<b>Zinco</b>	60	300	450	1000	2000

<sup>(1)</sup> – Valores estabelecidos por CETESB (2005); <sup>(2)</sup> – Valores estabelecidos por CETESB (2005) e BRASIL (2009).

No caso do Ni, somente nas amostras P1B e P5A encontraram-se teores um pouco acima do VRQ (Tabela 4). Já para o Zn, 50 % das amostras apresentaram valores acima do VRQ, e para o Pb mais de 80%. Contudo, tais teores encontram-se bem abaixo do VP, o que não indica poluição. Porém, se for considerado os teores encontrados por Pires (2004) nos solos, sob condições naturais, originados do mesmo material de origem (Pb – 0,6 a 2,1 mg kg<sup>-1</sup> e Zn – 4,1 a 6,6 mg kg<sup>-1</sup>), na Região Metropolitana de Curitiba, estes foram muito inferiores aos encontrados pelo presente trabalho. Tais valores poderiam ser um indicativo da contribuição do cemitério para Pb e Zn. De acordo com Silva (1999), a origem dos metais pesados nos cemitérios está relacionada aos materiais usados na confecção de caixões, tintas e alças, processos de embalsamento, e ainda, dos próprios corpos em decomposição.

Segundo Tonissi (1999), a fração biodisponível dos metais é a responsável pela contaminação de organismos bentônicos e da coluna d'água. Devido a isso, por ser a fração trocável prontamente disponível aos organismos do solo e da água, foi realizada sua determinação.

A concentração de metais trocáveis foi baixa, principalmente se comparada com o VRQ da Cetesb, sendo inclusive não detectada pelo método analítico (EAA) para o Cr (Tabela 3). A grande diferença entre os teores totais e trocáveis deve-se a formas mais estáveis dos metais, preferencialmente, nas formas estruturais e adsorvidos especificamente (formação de complexo de esfera interna). Não é comum encontrar o Pb nas formas solúvel e trocável nos solos e sedimentos, a não ser em caso de contaminação recente, pois o Pb<sup>2+</sup>, após ser adicionado aos solos, leva em média de 24 a 48 horas para ser imobilizado fortemente pelos colóides do solo (ALLOWAY,1995). A detecção de Pb trocável só foi observada em quatro pontos, nas camadas mais superficiais (0 – 20 cm), o que pode ser em decorrência da infiltração de necrochorume no calçamento do cemitério.

Ressalta-se a eficiência do calçamento como barreira física para a infiltração de necrochorume no solo. Entretanto, deve-se atentar-se para a qualidade das águas superficiais que escoam até as redes de drenagem.

## CONCLUSÕES

Os solos do cemitério apresentam-se aptos para esta atividade, visto que são solos profundos, de textura argilosa e com alto potencial de adsorção de metais pesados.

Dentre os metais pesados analisados, os teores de Pb e Zn total foram os que apresentaram os maiores valores em relação a solos de mesmo material de origem, porém tais concentrações não são indicativas de poluição ambiental, e sim de uma branda contaminação no local.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. New York: Blackie Academic & Professional, 1995. 368p.
2. AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; BARRA, C.M.; LÃ, O.R. Química dos metais pesados no solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). Química e mineralogia do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. 685p.
3. BARROS, Y.J.; MELO, V.F.; ZANELLO, S.; ROMANÓ, E.N.L.; LUCIANO, P.R. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 32, p. 1763-1773, 2008.
4. BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. Boletim da UFPR: Geologia, v. 7, p. 1-164, 1962.
5. BOUWER, H. Groundwater hydrology. New York: McGraw-Hill, 1978. 375p.
6. BRASIL – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução CONAMA n. 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
7. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.
8. CURCIO, G.R.; LIMA, V.C.; GIAROLA, N.F.B. Antropossolos: proposta de ordem (1ª aproximação). 1 ed. Colombo, Embrapa Florestas, 2004. (Digital)
9. CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 48, p. 341-346, 1984.
10. ELLIOTT, H.A.; LIBERATI, M.R.; HUANG, C.P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. Journal of Environmental Quality, v. 15, p. 214-217, 1986.
11. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1979. 212p.
12. GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-412.
13. GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C. Toposseqüências de latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I-Mineralogia da fração argila. R. Bras. Ci. Solo, v. 30, p. 293-306, 2006.
14. GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q.; CAMPOS, M.L. MARCHI, G. Elementos-traço em solos, sedimentos e águas. Tópicos Ci. Solo. v. 4, p. 345-390, 2005.

15. HONG, K.J.; TOKUNAGA, S.; KAJIUCHI, T. Evaluation of remediation process with plant-derived biosurfactant for recovery of heavy metals from contaminated soils. *Chemosphere*, v. 49, p. 379-387, 2002.
16. HSU, P.H. Aluminium oxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). *Mineral in soil environments*. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 331-378.
17. JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis - advanced course*. Madison: Prentice-Hall, 1979. 895p.
18. JONES, L.H.P.; JARVIS, S.C.; COWLING, D.W. Lead uptake from soils by perennial ryegrass and its relation to the supply of an essential element (sulphur). *Plant and Soil*, v. 38, p. 605-619, 1973.
19. KÄMPF, A.R.; ROSSMAN, G.R.; HOUSLEY, R.M. American Plumbophyllite, a new species from the Blue Bell claims near Baker, San Bernardino County, California. *Mineralogist*, v. 94, p. 1198-1204, 2009.
20. LIM, C.H.; JACKSON, M.L. Dissolution for total elemental analysis. In: PAGE, A. L. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 1-12.
21. McBRIDE, M. B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford, 1994. 406p.
22. McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H.D. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, v. 46, p. 13-22, 1966.
23. McKEAGUE, J. A. *Manual on soil sampling and methods of analysis*. Ottawa: Canadian Society of Soil Science, 1978. 212p.
24. MEHRA, O.P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, v. 7, p. 317-327, 1960.
25. MELO, V.F.; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 25, p. 19-32, 2001b.
26. MELO, V.F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; NOVAIS, R.F.; FONTES, M.P.F. Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 65, p. 1324-1333, 2001a.
27. NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; HARTER, R.D. Sorption of heavy metals in strongly weathered soils: an overview. *Environmental Geochemical Health*, v. 20, p. 5-9, 1998.
28. PACHECO, A. *O problema geo-ambiental da localização de cemitérios em meio urbano*. São Paulo: CEPAS, 1997. 48p.
29. PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; ANDERSON, S.J.; LIMA, J.M. Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de Latossolos pré-tratadas com fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.377-384, 2004.
30. PIRES, A. C.D. Interação de íons  $Zn^{+2}$  e  $Pb^{2+}$  com os constituintes orgânicos e minerais de solos de Curitiba, PR. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. 82p. (Dissertação Mestrado)
31. ROMANÓ, E. N. L. Caracterização do meio físico no Cemitério Municipal do Boqueirão e no Cemitério Municipal de Santa Cândida no município de Curitiba – PR. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. 98p. (Dissertação de Mestrado)

32. SALAMUNI, E.; STELLFELD, M.C. Banco de dados geológicos geo-referenciados da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR) como base de sistema de informação geográfica (SIG). B. Paranaense Geoci., v. 49, p. 21-32, 2001.
33. SILVA, M. A influência dos cemitérios no meio ambiente. In: 1º Fórum Sincepar Cemitérios - Impacto Ambiental, 1999, Curitiba. 1º Fórum Sincepar Cemitérios - Impacto Ambiental. Curitiba: SINCEPAR, 1999. (digital).
34. SINGH, B.; GILKES, R.J. Properties of soil kaolinites from south-western Australia. J. Soil Sci., v. 43, p. 645-667, 1992.
35. SINGH, P.; CAMEOTRA, S.S. Enhancement of Metal Bioremediation by Use of Microbial Surfactants. Biochemical and Biophysical Research Communications, v. 329, p. 291-297, 2004.
36. SPARKS, D.L. Environmental soil chemistry. San Diego: Academic Press, 1995. 267p.
37. SPONGBERG, A.L.; BECKS, P.M. Inorganic soil contamination from cemeteries leached. Water, Air, Soil Poll., v. 117, p. 313-327, 2000.
38. SPOSITO, G. The surface chemistry of soils. New York: Oxford University Press, 1984. 234p.
39. TARI, G.; BOBOS, I.; GOMES, C.S.F.; FERREIRA, J.M.F. Modification of surface charge properties during kaolinite to halloysite-7Å transformation. J. Colloid Interface Sci., v. 210, p. 360-366, 1999.
40. TONISSI, F.B. Avaliação ecotoxicológica do reservatório de Salto Grande, Americana (SP), como subsídio para a análise ambiental da qualidade do sistema. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. 137p. (Dissertação de Mestrado)
41. WOWK, G.I.T.; MELO, V.F. Avaliação do nível de chumbo, em solo de várzea, proveniente da reciclagem de baterias. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., v. 9, p. 613-622, 2005.
42. ZANELLO, S.; MELO, V.F.; WOWK, G.I.T.H. Mineralogia e teores de cromo, níquel, cobre, zinco e chumbo nos solos no entorno do aterro sanitário da Caximba em Curitiba-PR. Scientia Agraria, v. 10, p. 51-60, 2009.