

Potencial de utilização do estrato superior do solo laterítico da cidade de Londrina, Estado do Paraná, como material e apoio de aterros sanitários

Raquel Souza Teixeira* e José Paulo Peccinini Pinese

*Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, Km 380, Cx. Postal 6001, 86051-990, Londrina, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: raquel@uel.br*

RESUMO. Este trabalho apresenta uma avaliação do potencial de utilização da camada de solo laterítico, do perfil característico, da cidade de Londrina, Estado do Paraná, para o uso como material e apoio de aterros sanitários. Neste sentido fez-se necessária uma breve discussão conceitual sobre resíduos sólidos, tipos de aterros e interação solo-contaminante. Em seguida foi feita uma descrição da localização da área de estudo e das características da camada do solo investigada. A avaliação do solo foi baseada em critérios geotécnicos a partir das características físicas, químicas e mineralógicas do solo, obtidas em ensaio de laboratório e em resultados publicados, em artigos técnicos, tomando-se por base uma pontuação e uma classificação, feitas a partir de atributos sugeridos por Zuquette (1993). A avaliação final, a respeito da utilização da camada de solo laterítico, para a implantação de um aterro sanitário, foi positiva.

Palavra chave: aterro sanitário, geotecnia ambiental, resíduos sólidos.

ABSTRACT. Utilization potential of the soil layer in the city of Londrina, Parana State, as material and support for landfill solid wastes. This paper shows an evaluation of the utilization potential of laterite soil layer, characteristic of the city of Londrina, Parana State, as material and support for landfill solid wastes. At first, we provided a brief definition of the solid residue, types of embankments, soil-contaminating interaction and contaminating processes. Then, we described the study area location and the layer characteristics of the soil under investigation. The soil evaluation was based on geotechnical criteria regarding physical, chemical and mineralogical characteristics of the soil, which were obtained from a laboratory experiment and from results published in technical articles. Grading and classification were done according to the attributes suggested by Zuquette (1993). The final evaluation on the use of the layer of laterite soil for the implantation of the sanitary bank was positive

Key words: landfill, geotechnical environmental, solid waste.

Introdução

O crescimento e desenvolvimento da cidade de Londrina, Estado do Paraná, ocorreram de forma rápida, gerando questões sócio-econômicas e ambientais de extrema importância como por exemplo o caso de aterros sanitários.

Os aterros sanitários são obras projetadas para a disposição dos resíduos sólidos, sendo ainda hoje, no Brasil, a forma mais comum de destino da produção de resíduos gerado pela sociedade.

O conhecimento da tecnologia de construção de aterros sanitários, bem como o diagnóstico e prognóstico dos seus efeitos sobre o meio ambiente vêm sendo alvo de inúmeras pesquisas. Segundo

Kataoka (2000) a forma de disposição de resíduos em aterros sanitários possui elevado potencial de poluição do meio hidrogeológico, mesmo quando executados com procedimentos para a proteção do meio ambiente. Assim, para a implantação deste tipo de obra é preciso realizar uma investigação criteriosa, exigência do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), sob diversos aspectos, dentre eles o meio físico onde o solo é um componente importante. O tipo de solo exercerá influência na taxa de percolação do líquido gerado por resíduos e na lixiviação ou retenção dos contaminantes presentes, além disso o solo é usado para cobertura diária dos resíduos e fechamento do aterro, para a

fundação e estabilidade adequada no local e adjacências.

Na área geotécnica a caracterização e a avaliação da camada de um solo a ser usado como material de cobertura e apoio de um aterro sanitário permitem sua utilização racional. Esta investigação tem por objetivo, no caso do solo, determinar as características físicas, químicas e mineralógicas visto que estas devem ser avaliadas durante o processo de seleção e escolha de uma área, a fim de minimizar, durante e após a instalação da obra, o provável impacto ambiental.

De maneira geral, as informações básicas a serem levantadas a respeito do solo são, segundo Kataoka (2000): tipos, espessuras e perfil, caracterização dos índices físicos, compactação, capacidade de troca catiônica (CTC), pH, coeficiente de permeabilidade (k), presença de feições típicas ou de eventos perigosos, cartas e mapas produzidos.

Estudos e pesquisas recentes mostram que o solo possui capacidade natural de atenuação da contaminação, devido às interações que fixam ou retardam a percolação dos contaminantes, podendo reduzir a concentração de poluentes a níveis aceitáveis. Segundo Calças *et al.* (2001), os mecanismos de atenuação da contaminação em um meio poroso, no caso o solo, são: físico por meio da filtração, difusão e dispersão, diluição e absorção; químico por meio da precipitação/dissolução, adsorção/desorção, complexação, troca catiônica e reações redox; microbiológico por meio da biodegradação aeróbia e anaeróbia.

No Brasil a caracterização e avaliação da contaminação dos solos, causada pela emissão de poluentes orgânicos e principalmente inorgânicos, gerada por resíduos depositados são essenciais para o controle ambiental da área de implantação, pois geralmente estas são próximas a áreas utilizadas para a agropecuária segundo Heitzmann (1999).

Pretende-se por meio deste trabalho descrever as propriedades físicas (textura, porosidade, cor, massa específica natural, massa específica dos sólidos, teor de umidade, estrutura, permeabilidade, espessura do material inconsolidado), químicas e minerais do estrato superior de um perfil de solo característico da cidade de Londrina a fim de avaliar o potencial de utilização deste solo como material de cobertura, estabilização e apoio de um aterro sanitário.

Resíduos sólidos e tipos de aterros para sua disposição

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR – 10.004/1987, são definidos como resíduo sólido aqueles em estado sólido e semi-sólido que resultam de atividades da

comunidade e podem ser de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição e agrícola. Além desses ficam incluídos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis diante da melhor tecnologia disponível.

A classificação dos resíduos sólidos segundo a Norma ABNT NBR – 10.004 (1987) é a seguinte: Classe I – Perigosos; Classe II – Não inertes e Classe III – Inertes. Tal classificação se baseia nas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas do resíduo sólido que pode apresentar riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente.

Existem várias formas de disposição dos resíduos sólidos sendo os aterros a mais empregada, principalmente no Brasil. Os aterros são selados – aterros sanitários e tem como objetivo confinar e isolar os resíduos utilizando sistemas de revestimento de proteção de base – fundo e de cobertura, assim como sistemas de drenagem de gás e líquidos percolados. O tipo de sistemas construídos dependerá do tipo do resíduo a ser disposto, de sua composição química e de seu grau de periculosidade.

O fato é que em uma obra de disposição de resíduos, por mais rígidos que os critérios sejam, sempre haverá o risco da contaminação do solo e/ou água e/ou ar por meio da emissão de poluentes resultante da degradação de resíduos sólidos. Estes poluentes podem ser orgânicos e inorgânicos dentre os mais comuns estão: a matéria orgânica e os metais pesados (cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, zinco e ferro).

Interação solo-contaminante

As interações solo-contaminante ocorrem por meio de processos físicos, químicos e biológicos, ao longo do transporte dos contaminantes, que é realizado pelas forças externas e internas resultando inclusive em reações entre os mesmos e o solo.

A água é o veículo principal no transporte dos contaminantes e de substâncias dissolvidas como os sais livres, solutos, material coloidal e ou solutos orgânicos. Os principais constituintes a serem considerados nas interações dos íons com as moléculas de água segundo Yong *et al.* (1992), *apud* Leite (1996) são:

a – solutos: íons, moléculas, substâncias no fluido dos poros;

b – fase aquosa: fluido do poro considerado essencialmente como solvente;

c – superfícies sólidas: minerais, materiais amorfos e orgânicos do solo.

O resultado das interações entre grupos quimicamente reativos e outras interações físicas, químicas ou biológicas são responsáveis por processos que controlam a transferência ou a remoção de solutos da fase aquosa para a superfície das partículas sólidas do solo. Estes processos são a sorção, a complexação e a precipitação, que comumente ocorrem em conjunto.

Processos de atenuação de contaminantes

Quando um fluido contaminado percola por meio do solo poderá sofrer processos de atenuação de seus poluentes de forma transitória ou permanente.

Segundo Leite (1996), o transporte de contaminantes através do solo será controlado por processos que envolvem:

1 – Quantidade de contaminantes transportados em qualquer tempo através de uma dada região;

2 – A atenuação da concentração do contaminante pelos processos de adsorção e dessorção;

3 – A taxa e a extensão de propagação ou avanço da pluma de contaminação.

Os processos de atenuação são classificados em físico, químico e ou biológico, e ocorrem ao longo da camada não saturada e também no aquífero. A interação destes processos é de forma continuada, uma vez que os solos naturais apresentam um sistema complexo e dinâmico dos meios físico, químico e biológico.

A adsorção que contribui na redução da velocidade descendente dos metais em relação aos ânions pode ser representada pelos fatores de atenuação mostrados na Tabela 1, segundo Derisio (2000). Este autor afirma que os ânions (cloretos, nitratos, sulfetos e sílica) podem se deslocar e dispersar na água com grande facilidade, enquanto que todos os cátions estão sujeitos, em maior ou menor grau, à troca de íons e adsorção com os solos finos, siltes e argilas.

Tabela 1. Fatores de atenuação segundo Derisio (2000).

Atenuação	Poluente	ATN Média
Alta	Pb	99,8
	Zn	97,2
	Cd	97,0
	Hg	96,8
Moderada	Fe	58,1
	Si	54,7
	K	38,2
	NH ₄	37,1
	Mg	29,1

ATN: atenuação

As principais características do solo que controlam a capacidade de retenção dos contaminantes são: granulometria, capacidade de troca catiônica, teor de matéria orgânica, teor de hidróxidos (ferro, manganês e alumínio) e pH do solo.

Material e métodos

Serão descritos a seguir a localização e o perfil do solo escolhido para o estudo e também os métodos utilizados para a determinação de suas características físicas, químicas e mineralógicas.

Localização da área de estudo

Londrina está situada no Norte do Estado do Paraná, como mostra a Figura 1, na região Sul do país. O substrato rochoso da região de Londrina é o basalto originado dos derrames, sem cobertura de rocha sedimentar, com relevo ondulado suave, em regiões de clima de verão quente e úmido e inverno, frio e seco. Como fruto destas condições, os processos de intemperismo atuam até grandes profundidades, originando um perfil de solo bastante espesso.



Figura 1. Mapa do Estado do Paraná, com a localização de Londrina.

O perfil do solo investigado pertence ao Campo Experimental de Engenharia Geotécnica (CEEG), localizado no Campus da Universidade Estadual de Londrina. Este perfil foi escolhido pelo fato de ser comumente identificado em vários locais da cidade de Londrina e também em regiões próximas.

No CEEG está sendo realizado um extenso programa de investigação do perfil do subsolo, constituído de ensaios de campo e laboratório, tendo como objetivo a avaliação das características físicas, químicas, mineralógicas e de comportamento mecânico dos solos constituintes.

O início da investigação se deu com a realização

de 14 de sondagens de simples reconhecimento, com realização de ensaio de penetração do SPT-T realizados segundo a ABNT-NBR6484(80), com retiradas de amostras representativas a cada metro de sondagem, por meio do amostrador padrão e do solo escavado, recolhidas em recipientes plásticos. Com estas amostras foi possível realizar, no laboratório de Geotecnia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), os ensaios de determinação das características físicas conforme as normas da ABNT: teor de umidade – NBR 6457/84, massa específica dos sólidos – NBR 6508/84, limite de liquidez – NBR 6459/84, limite de plasticidade – NBR7180/84, granulometria conjunta – NBR 7181/84 e compactação - NBR7182/84.

Na Figura 2 são mostradas a planta do CEEG, com a locação de 14 furos de sondagens de simples reconhecimento realizados e também de 2 poços escavados, sendo o poço 1 localizado ao lado da sondagem 9 e o poço 2 localizado ao lado da sondagem 14. Nos dois poços foram retiradas amostras do tipo indeformada a cada metro de profundidade, em blocos de aproximadamente $(30 \times 30 \times 30) \text{cm}^3$, talhadas “in loco” e adequadamente parafinadas, conforme procedimentos usuais. Com estas amostras foram realizados os ensaios de comportamento mecânico e determinação de índices físicos que dependem deste tipo de amostragem, como é o caso da massa específica do solo obtida segundo a NBR 10.838/88.

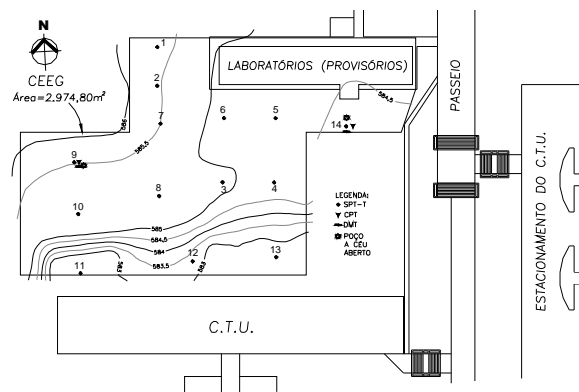


Figura 2. Planta do CEEG e locação das sondagens de simples reconhecimento.

Características do perfil de solo investigado

O estrato superior de solo laterítico, com espessura em torno de 10 metros constitui-se no objeto das análises realizadas neste trabalho. O perfil completo do solo, segundo Branco *et al.* (1998), obtido das sondagens de simples reconhecimento, com realização de ensaio de penetração SPT, realizadas no CEEG pode ser visto na Figura 3. Verifica-se, por meio da

Figura 3, que o estrato estudado é composto por uma argila siltosa, porosa, de consistência mole à média e cor vermelho escura. O nível de água observado encontra-se aproximadamente a 19 metros de profundidade.

Este estrato é o resultado de um intenso intemperismo, sofrido pelo basalto, apresentando-se com as características de solo laterítico, provocadas pelo processo de lixiviação que é responsável por originar solos bem drenados, com elevado volume de vazios, baixa massa específica aparente e elevada permeabilidade, em consequência da estrutura macroporosa e microporosa, sendo estas características comuns aos solos lateríticos, segundo a classificação MCT (Miniatura, Compacto, Tropical) de Cozzolino e Nogami (1993).

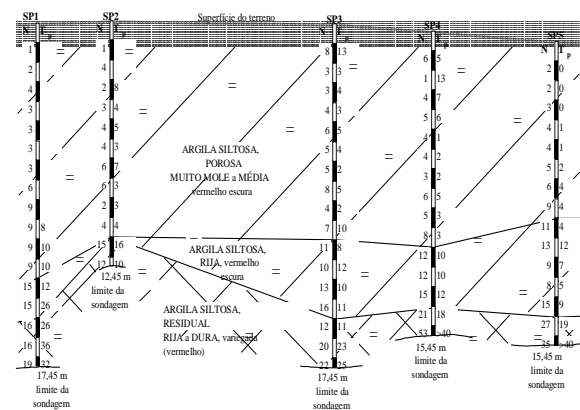


Figura 3. Perfil típico do solo da cidade de Londrina, segundo Branco *et al.* (1998), a partir das sondagens de simples reconhecimento no CEEG.

O solo, que constitui o estrato superior, também é classificado como Latossolo vermelho escuro e se encontra em relevo de ondulação suave, avaliação realizada por Rocha *et al.* (1991).

Características geotécnicas do estrato superior do solo laterítico

Na Tabela 2, encontram-se valores médios, dos índices físicos, parâmetros de compactação e N_{SPT} , do estrato de solo laterítico obtidos da investigação de campo e laboratório, segundo os autores Lopes (2002), Miguel *et al.* (2002) e Soares *et al.* (2002).

Com exceção do coeficiente de permeabilidade (k), todos os outros dados do solo do estrato investigado foram obtidos em trabalhos já publicados. Um ensaio de carga variável, em um furo de sondagem, foi realizado em campo, para a determinação do coeficiente de permeabilidade (k), utilizando-se na execução do ensaio o método proposto no Boletim 04 da ABGE: “Ensaio de Permeabilidades em Solos – Orientações para sua Execução no Campo”.

Tabela 2. Média dos índices físicos, parâmetros de compactação e N_{SPT} do estrato de solo laterítico investigado, segundo Lopes (2002), Miguel *et al.* (2002) e Soares *et al.* (2002).

Índices físicos, parâmetros de compactação e permeabilidade	Valores Médios	Índices físicos e N_{SPT}	Valores Médios
teor de umidade – w (%)	33	teor argila (%)	81
peso específico do solo natural – γ (kN/m^3)	14,0	teor de silte (%)	12
peso específico dos sólidos – γ_s (kN/m^3)	30,6	teor de areia (%)	7
índice de vazios – e	2,0	Limite de liquidez – LL (%)	61
porosidade – n (%)	67	Limite de plasticidade – LP (%)	45
peso específico aparente seco máximo do solo – $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m^3), Energia normal	13,3	Índice de plasticidade – IP (%)	16
teor de umidade ótimo – $w_{\acute{o}t}$ (%), Energia Normal	32	consistência	*mole à média
coeficiente de permeabilidade – k (cm/s)	10^{-3} a 10^{-5}	N_{SPT} (energia de cravação)	2 a 9

* Estimada através da NBR 7250/82

Com os dados obtidos pela investigação de campo e laboratório foram avaliados o potencial de erosão e colapso, que são processos de dinâmica superficial responsáveis pela instabilidade e perda da capacidade de suporte do solo. Desta avaliação pode-se verificar que o solo laterítico, do estrato estudado, apresenta características apontadas por diversos autores como as principais condições para a ocorrência do fenômeno do colapso como: baixa massa específica natural, baixo teor de umidade, em torno de 33% e porosidade elevada em torno de 67%. Teixeira *et al.* (2004) comprovou o comportamento colapsível, para certos níveis de tensão aplicada, até a profundidade de 7 metros deste solo.

Por outro lado, este estrato superior de solo laterítico, por ser razoavelmente coesivo e permeável, e por ocorrer em área de relevo suave, apresenta-se com resistência à erosão, quando em seu estado natural.

Características mineralógicas e estruturais do estrato superior do solo laterítico

A composição mineralógica e a estrutura do solo investigado foram avaliadas a partir de um trabalho científico publicado por Rocha *et al.* (1991). Estes autores estudaram uma área de 61 hectares situada no Campus da Universidade Estadual de Londrina e identificaram cinco unidades pedológicas, sendo uma delas a unidade Latossolo vermelho escuro, a qual é tomada como referência, pois o perfil do CEEG escolhido apresenta características morfológicas de aspecto latossólico idênticas a esta unidade. A mineralogia descrita por estes autores, e tomada como representativa do estrato superior estudado, revela que as argilas presentes neste solo são as caulinitas (minerais do tipo 1:1), gibsitais e vermiculitas (minerais do tipo 2:1) em sua composição, com predomínio do primeiro mineral. Foi encontrado

também óxido de ferro sob a forma de hematita, como importante constituinte da fração argila.

Por meio da microscopia eletrônica de transmissão foram observadas as formas e os arranjos das caulinitas e dos óxidos de ferro. O primeiro se estrutura como microhexágonos de coloração clara, empilhados uns sobre os outros o que favorece a alta porosidade deste solo. A hematita e a goethita, que são óxidos de ferro, se organizam em agregados esféricos, sendo estes responsáveis pela cor do solo e a baixa capacidade de troca catiônica (CTC) típica destes solos.

É também objetivo deste trabalho avaliar as características químicas e a capacidade de troca catiônica. A CTC indica a quantidade máxima de bases trocáveis que podem ser fixadas, uma vez que o poder de adsorção de íons do solo se deve ao fato de as partículas minerais coloidais argilosas terem carga negativa e por isto apresentarem a capacidade de fixar de maneira reversível os cátions (H^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc), dissolvidos na água.

Para que este objetivo fosse alcançado foram então coletadas amostras no estrato superior de solo do C.E.E.G, ao lado do Poço 1, para as determinações da capacidade de troca catiônica (CTC) e das características químicas, sendo estas determinações realizadas no laboratório de Química do Solo do Centro de Ciências Agrárias/UEL. As amostras usadas foram do tipo deformada, de 100g e coletadas da sondagem 9 do CEEG, nas profundidades de 2, 4 e 6 metros. Estas análises foram realizadas da seguinte forma:

- O pH do solo foi determinado com $CaCl_2$.
- O Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl e N, sendo que Ca e o Mg foram determinados por titulação com EDTA.
- A acidez potencial (H + Al) foi determinada pelo método SMP (Shomaker, Mclean e Pratt) a pH 7, com o Al determinado por titulação com NaOH.
- K foi extraído com Mehlich-1.
- MO (matéria orgânica), determinada pelo método Walkley Balck.

Resultado e discussão

Características química e capacidade de troca catiônica – CTC

Na Tabela 3, a seguir, encontram-se os resultados das análises de CTC e da composição química realizadas nas amostras coletadas, para este trabalho. Nota-se que pelos os valores de pH, obtidos nas amostras, o solo é quimicamente ácido. A CTC também é baixa, característica de solos que

tem na sua composição mineralógica óxidos de ferro. Os outros elementos químicos, exceto a matéria orgânica, não se apresentam com grande variação ao longo da profundidade investigada.

Tabela 3. Análise química do solo, constituinte do estrato superior do solo.

Amostra Prof. (m)	pH	Al ⁺³ cmolc/dm ³	Ca ⁺² cmolc/m ³	Ca ⁺² +Mg ⁺² cmolc/dm ³	H ⁺ +Al ⁺³ pHSMP	P Mg/dm ³	M.O g/kg	CTC (pH _e) meq/100g
2	4,3	0,1	0,3	0,5	7,2	0,49	8,04	7,70
4	4,2	0,09	0,4	0,4	5,76	0,50	1,34	6,19
6	4,3	0,06	0,1	0,6	5,35	0,65	1,34	6,00

A avaliação do potencial de utilização do perfil estudado foi baseada nos critérios geotécnicos da Tabela 4, que descreve os atributos e os classificam em função das características físicas, químicas e mineralógicas. A Tabela 4, em conformidade com Kataoka (2000), provém de Zuquette (1993).

Com base nos resultados das características físicas, químicas e mineralógicas obtidas por meio

dos ensaios, de campo e de laboratório, e também por dados estimados, foi possível realizar uma pontuação do estrato superior de solo investigado e a classificação destas propriedades em conformidade com os atributos e classes apresentados na Tabela 4, sendo esta pontuação mostradas na Tabela 5.

O perfil do solo, obtido por meio das investigações realizadas no CEEG (Figura 3), considerado característico da cidade de Londrina, é constituído por uma extensa camada superior de argila porosa, de variação progressiva, onde foi observado que a presença de matacões é rara e o nível de água se apresenta profundo. Estas condições, dentre outros critérios, classificam a camada de solo superior investigada como favorável à implantação de um aterro sanitário, como pode ser visto na Tabela 5.

Em relação a composição mineralógica e a CTC, estas foram classificadas como moderadas em função da argila predominante ser do tipo 1:1, bem como da presença em abundância óxidos de ferro.

Tabela 4. Relação entre os atributos e classes para a seleção de áreas para a disposição de resíduos em aterros sanitários, Zuquette (1993) *apud* Kataoka (2000).

Componentes	Atributos	ATERRO SANITÁRIO			
		Favorável	Moderada	Severa	Restrita
Substrato Rochoso	Profundidade (m)	>15	5 – 10	<5	<3
	Textura	média	média	arenosa	muito arenosa
	Variação do perfil	progressiva	progressiva	homogêneo	homogêneo
	Mineralogia	minerais tipo 2:1	minerais tipo 1:1	razoável % de minerais inertes	minerais inertes (alta %)
Material Inconsolidado	Presença de matacões	raros e pequenos	Pequenos e poucos	muitos	muitos e grandes
	pH	> 4	> 4	> 5	< 4
	CTC (meq/100g)	> 15	5 – 15	< 5	< 2
	Camadas compressíveis	não	não	ocorre em superfície	ocorre em subst. não substitutiva
	Colapsibilidade/expansibilidade	não ocorre	camada superficial (1 m)	camada superficial (2 m)	camada espessa (4 m)
	Potencial de erodibilidade	Baixa	Baixa	Alta	Muita alta
Águas	Profundidade do NA	> 10	> 5	< 4	< 2
	Infiltração (k cm/s)	10 ⁻⁴	10 ⁻³ – 10 ⁻⁴	> 10 ⁻³	muito alta
	Drenabilidade	boa	boa	má	má

Tabela 5. Pontuação e classificação do perfil estudado em função de suas características físicas, químicas e mineralógicas.

Componentes	Atributos	ATERRO SANITÁRIO	
		Pontuação	Classificação
Substrato Rochoso	Profundidade (m)	> 15	Favorável
	Textura	Média	Favorável
	Variação do perfil	Progressiva	Favorável
	Mineralogia	tipo 1:1	Moderada
Material Inconsolidado	Presença de matacões	Raros e pequenos	Favorável
	pH	> 4	Moderada
	CTC (meq/100g)	5 – 15	Moderada
	Camadas compressíveis	Ocorre em superfície	Severa
	Colapsibilidade/expansibilidade	Camada espessa (4 m)	Restrita
	Potencial de erodibilidade	Baixa	Favorável
Águas	Profundidade do NA abaixo da base poluidora	> 10m	Favorável
	Infiltração (coeficiente de permeabilidade) cm/s	10 ⁻³ – 10 ⁻³	Moderada
	Drenabilidade	Boa	Moderada

Também em relação a capacidade de infiltração, do estrato de solo superior investigada foi considerada moderada uma vez que o coeficiente de permeabilidade indicado foi de 10^{-3} a 10^{-5} cm/s. A elevada porosidade, originada da estrutura macroporosa do solo, é responsável pelo alto valor de k que, em geral, não é o esperado em solos de textura argilosa.

A classificação do solo segundo o pH foi de moderada, uma vez que os resultados indicaram valores abaixo de 5, indicativo de solo quimicamente ácido.

A característica de compressibilidade do estrato foi classificada como severa. O estrato superior do perfil pode ser considerado compressível, visto que apresenta elevado valor de porosidade (em média 67%) e baixos valores de N_{SPT} (em média de 2 a 9). Mas este comportamento compressível poderá ser minimizado pela ação mecânica da compactação, resultando em uma camada de solo menos compressível e mais resistente, em função da redução da porosidade.

O único atributo que se apresenta com restrição é a colapsibilidade, pois foi comprovado por Lopes (2002) e Teixeira *et al.* (2004), que o estrato de solo superior do perfil analisado é susceptível ao fenômeno do colapso para certos níveis de tensão, visto que, este estrato apresenta alta porosidade e baixo teor de umidade (em média 33%), principais condições para a ocorrência deste fenômeno. Mas, a partir de um projeto criterioso, este fenômeno poderá ter sua magnitude reduzida a níveis aceitáveis ou até ser impedido de ocorrer.

Conclusão

Constata-se da Tabela 5, por meio da classificação, que dos 13 atributos utilizados na avaliação do estrato superior do solo laterítico da cidade de Londrina, 7 foram considerados favoráveis à implantação de um aterro sanitário, sendo os seguintes atributos favoráveis, relacionados ao solo: espessura, em torno de 10 m; textura fina; variação progressiva de perfil; ausência de matacões; baixa potencialidade de erodibilidade; nível d'água subterrâneo profundo, em torno de 19 m.

Classificadas como moderadas estão a mineralogia (tipo 1:1), o pH (em média 4) e a CTC (7 a 6 meq/100 g), todos dependentes do tipo de mineral (caulinita) presente no solo. Também a infiltração (coeficiente de permeabilidade entre 10^{-3} a 10^{-5} cm/s) foi classificada como moderada, que provavelmente é resultado da estrutura macroporosa do solo no seu estado natural.

Os atributos compressibilidade e colapsibilidade

tiveram as piores classificações, respectivamente, severa e restrita. Os baixos valores de N_{SPT} e a elevada porosidade, do solo laterítico investigado, foram responsáveis pela classificação quanto a compressibilidade. A restrição à colapsibilidade se deve ao elevado índice de vazios e ao baixo teor de umidade *in situ*, condições favoráveis ao fenômeno do colapso.

Com relação a utilização do estrato superior do solo laterítico, como material de cobertura e ao longo da compactação de um aterro sanitário, este se apresentou conveniente uma vez que, após o processo mecânico de compactação, tem sua permeabilidade reduzida e além disso o volume de solo disponível como jazida é elevado devido a espessura do estrato de solo ser elevada.

Por fim, a avaliação feita em função das características físicas, químicas e mineralógicas apresentadas pelo estrato superior do solo laterítico, por meio da pontuação e classificação, realizadas na Tabela 5, é positiva no que se refere à implantação de um aterro sanitário, desde que se execute um projeto compatível e seguro a fim de minimizar o provável impacto ambiental causado por este tipo de obra.

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Resíduos sólidos - classificação. NBR 10.004. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento de Solos. NBR 6484. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Amostras de Solos - Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. NBR 6457, Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação da Massa Específica dos Grãos. NBR 6508, Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Análise Granulométrica. NBR 7181, Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação do Limite de Liquidez. NBR 6459, Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação do Limite de Plasticidade. NBR 7180, Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Ensaio de Compactação. NBR 7182. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em ensaios de simples reconhecimento dos solos. NBR

7250/82. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas, com emprego da balança hidrostática. NBR 10838. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

BOLETIM 04 da ABGE: “Ensaio de Permeabilidades em Solos – Orientações para sua Execução no Campo”, 1996, ABGE, São Paulo.

BRANCO, C.J.M da C. *et al.* Implantação do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica no Campus da UEL. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA*, 11., 1998. Brasília. *Anais...* Brasília: COBRAMSEG, 1998. v. 2, p.1015-1022.

CALÇAS, D.A.N.Q.P. *et al.* Atenuação natural de contaminantes do chorume de aterros sanitários em solos arenosos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. 21., 2001. João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia e Ambiental/ABES. 2001. meio digital.

COZZOLINO, V.M.N.; NOGAMI, J.S. Classificação geotécnica MCT para solos tropicais, *Rev. Solos Rochas*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 77-91, 1993.

DERISIO, J. C. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. 2. ed., São Paulo: Signus Editora, 2000.

HEITZMANN Jr., F.J. *Alterações na composição do solo nas proximidades de depósitos de resíduos domésticos na Bacia do Rio Piracicaba*. Síntese de tese n. 9. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 1999.

KATAOKA, S.M. *Avaliação de áreas para disposição de resíduos : proposta de planilha para gerenciamento ambiental aplicado a aterro sanitário industrial*. 2000. Dissertação (Mestrado)-

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

LEITE, J.C. *Avaliação de materiais inconsolidados para uso em Liners*. 1996. (Revisão Bibliográfica)-Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 1996.

LOPES, F.F. *Avaliação do comportamento colapsível da camada de solo superficial da região de Londrina/ PR*. 2002. Monografia (Conclusão de Curso)-Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2002.

MIGUEL, M.G. *et al.* Caracterização geotécnica do subsolo da cidade de Londrina/PR. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL*. 10., 2002. Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: ABGE, 2002. meio digital.

ROCHA, G.C. *et al.* Distribuição espacial e características dos solos do Campus da Universidade Estadual de Londrina, PR. *Rev. Semina*, Londrina, v. 12, n. 1, p. 21-25, 1991.

SOARES, C.S. *et al.* Parâmetros de compactação e Índice de Suporte Califónia (CBR) da camada porosa superficial da região de Londrina/PR. *In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA/PIBIC/CNPq*. 10., 2002. Maringá. *Anais...* Maringá, 2002. meio digital.

TEIXEIRA, R.S. *et al.* Avaliação do colapso do solo do estrato superficial da cidade de Londrina/PR. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS*. 5., 2004. São Carlos, *Anais...* São Carlos: NãoSat' 2004, 2004. p. 495-499. .

Received on April 14, 2005.

Accepted on April 28, 2006.