

**VI-092 – DETERMINAÇÃO EM LABORATÓRIO DA CONDUTIVIDADE
HIDRÁULICA DOS SOLOS DE FUNDAÇÃO DE UM ATERRO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS****Lucas Scarpanti de Jesus⁽¹⁾**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP/Sorocaba). Mestrando em Geotecnia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP/Bauru). Analista Ambiental do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA/Sede Brasília-DF)

Giulliana Mondelli

Engenheira Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP/Bauru). Mestre em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP. Doutora em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT-SP).

Heraldo Luiz Giacheti

Professor Titular da Faculdade de Engenharia da UNESP de Bauru. Engenheiro civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP/ Ilha Solteira), mestre e doutor em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP, pós-doutorado na University of British Columbia, em Vancouver, no Canadá.

Endereço⁽¹⁾: Rua Marinha Antônia Damini, 110 – Jardim Emília - Sorocaba - SP - CEP: 18031-180 - Brasil - Tel: (15) 3233-4725 - e-mail: lucas.scarpanti@gmail.com

RESUMO

O aterro de resíduos sólidos de Bauru/SP provocou contaminação no seu entorno, sendo a condutividade hidráulica (K) dos solos de sua fundação um parâmetro chave para o entendimento da movimentação da pluma de contaminação na área. Pesquisas anteriores sugerem alguns valores de K para esses solos, mas ainda não é possível apresentar um conjunto de valores representativos para toda área, muito heterogênea. O presente trabalho apresenta valores representativos de K determinados através de ensaios de laboratório. Utilizaram-se permeâmetros de parede rígida de PVC e aço, e permeâmetros de parede flexível e ensaios a carga constante e variável. A área de estudo possui quatro tipos distintos de solos: colúvio, residual de arenito, arenito e aluvião. Amostras deformadas e indeformadas representativas de cada tipo de solo foram retiradas para caracterização geotécnica e realização de ensaios de condutividade hidráulica. Os solos coluvionar, residual e o arenito foram caracterizados como areias siltsas ou argilas. Os solos residuais e o arenito exibiram fração fina ativa, e o colúvio normal a pouco ativa. O solo aluvionar foi caracterizado como areia limpa mal graduada. Quanto à condutividade hidráulica, o solo coluvionar apresentou um valor médio de $K = 2,8 \times 10^{-6}$ m/s, o solo residual apresentou valores de K que variaram de 10^{-5} a 10^{-6} m/s, porém devido suspeitas de ocorrência de fluxo preferencial pela parede dos permeâmetros de PVC e a não saturação dos corpos de prova (CPs), acredita-se que a real condutividade hidráulica desse material seja ainda mais baixa. Os CPs de arenito também apresentaram os mesmos problemas que o solo residual, entretanto conseguiu-se a saturação de dois CPs nos permeâmetros de aço, encontrando-se K iguais a $1,5 \times 10^{-8}$ e $3,8 \times 10^{-7}$ m/s. Deste modo pôde-se considerar a faixa de 10^{-8} a 10^{-7} m/s como representativo de K. Já, o solo aluvionar apresentou um valor médio de $K = 2,0 \times 10^{-5}$ m/s, contudo, devido à grande variabilidade do perfil de solo que ocorre no local, considerou-se esse valor representativo apenas da camada amostrada. Constatou-se também a necessidade de novos ensaios de laboratório em amostras de solo residual e arenito, preferencialmente utilizando permeâmetros de parede flexível para garantir a saturação do CP, a fim de encontrar valores representativos para os mesmos.

PALAVRAS-CHAVE: investigação do subsolo, contaminação, aterro de resíduos sólidos urbanos, condutividade hidráulica, solos tropicais.

1. INTRODUÇÃO

Constatou-se no aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru/SP a presença de uma pluma de contaminação, formada através da infiltração de lixiviado. Um aspecto importante para entender a velocidade de propagação dessa pluma na área é a condutividade hidráulica (k) dos solos de fundação desse aterro. Pesquisas realizadas na área até o momento sugerem alguns valores de condutividade hidráulica para os solos que lá ocorrem, mas ainda não é possível apresentar um conjunto de valores representativos para toda área, de grande heterogeneidade geológica, com processo de evolução tropical.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo determinar a condutividade hidráulica dos materiais que ocorrem na área, através da realização e interpretação de ensaios de condutividade hidráulica de laboratório. Este estudo permitirá o melhor entendimento das condições de fluxo subsuperficial e da tendência de movimentação da pluma de contaminação no subsolo.

2. METODOLOGIA

A metodologia do estudo prevê a caracterização geotécnica dos solos da área através de ensaios de granulometria (ABNT NBR 7181/88), limites de Atterberg (ABNT NBR 7180/84 e NBR 6459/84) e adsorção de azul de metileno (PEJON, 1992), e a determinação da condutividade hidráulica dos mesmos solos através de ensaios de campo e laboratório, em corpos de prova de amostras indeformadas de solo. Os resultados serão interpretados a partir de uma análise crítica do que cada medida significa, buscando a determinação de valores médios que representem o comportamento de cada tipo de solo encontrado na área de estudo.

2.1. SOLOS ESTUDADOS

As Figuras 1 e 2 mostram dois cortes da área do aterro caracterizando os horizontes dos materiais que ocorrem no local. Através das mesmas nota-se que há três camadas de interesse ao longo da fundação do aterro: um solo de transporte coluvionar, um solo residual de arenito e a rocha matriz, o arenito. Na base do aterro do lado oeste ocorre também um solo aluvionar.

A amostragem foi realizada buscando coletar materiais característicos de todos os horizontes mostrados nas Figuras 1 e 2 através da coleta de amostras deformadas e indeformadas. Essas últimas foram coletadas com o auxílio de uma caixa metálica, preservadas com dupla camada de parafina e tecido e armazenadas em câmara úmida para posterior utilização nos ensaios de laboratório.

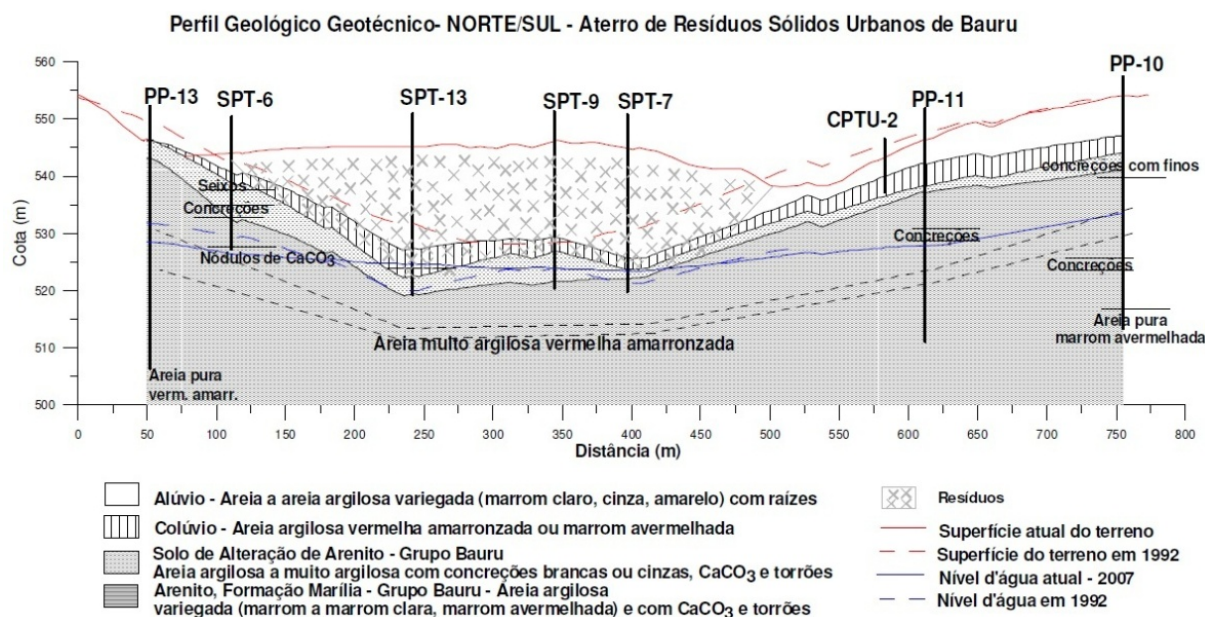


Figura 1: Perfil geológico-geotécnico do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru/SP, sentido Norte – Sul (Mondelli, 2008).

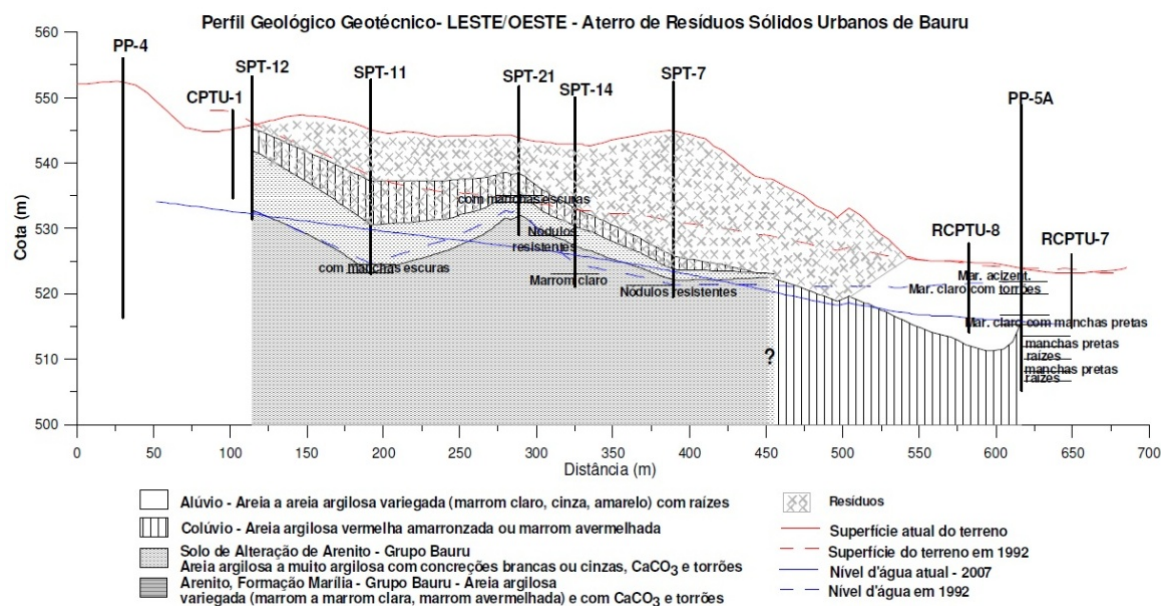


Figura 2: Perfil geológico-geotécnico do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru/SP, sentido Leste – Oeste (Mondelli, 2008).

Na Figura 3 se apresenta a localização das amostragens de solo para caracterização geotécnica e ensaios de condutividade hidráulica de laboratório.

As profundidades de coleta das amostras de solo estão relacionadas na Tabela 1, sendo estas referentes ao topo do talude no qual a amostra foi coletada. As amostras com 0,5m de profundidade foram coletadas em terreno plano, sendo esta medida referente a profundidade escavada para a cravação da caixa de amostragem no solo, ou para a retirada amostras de rocha e solos de alteração em forma de bloco.

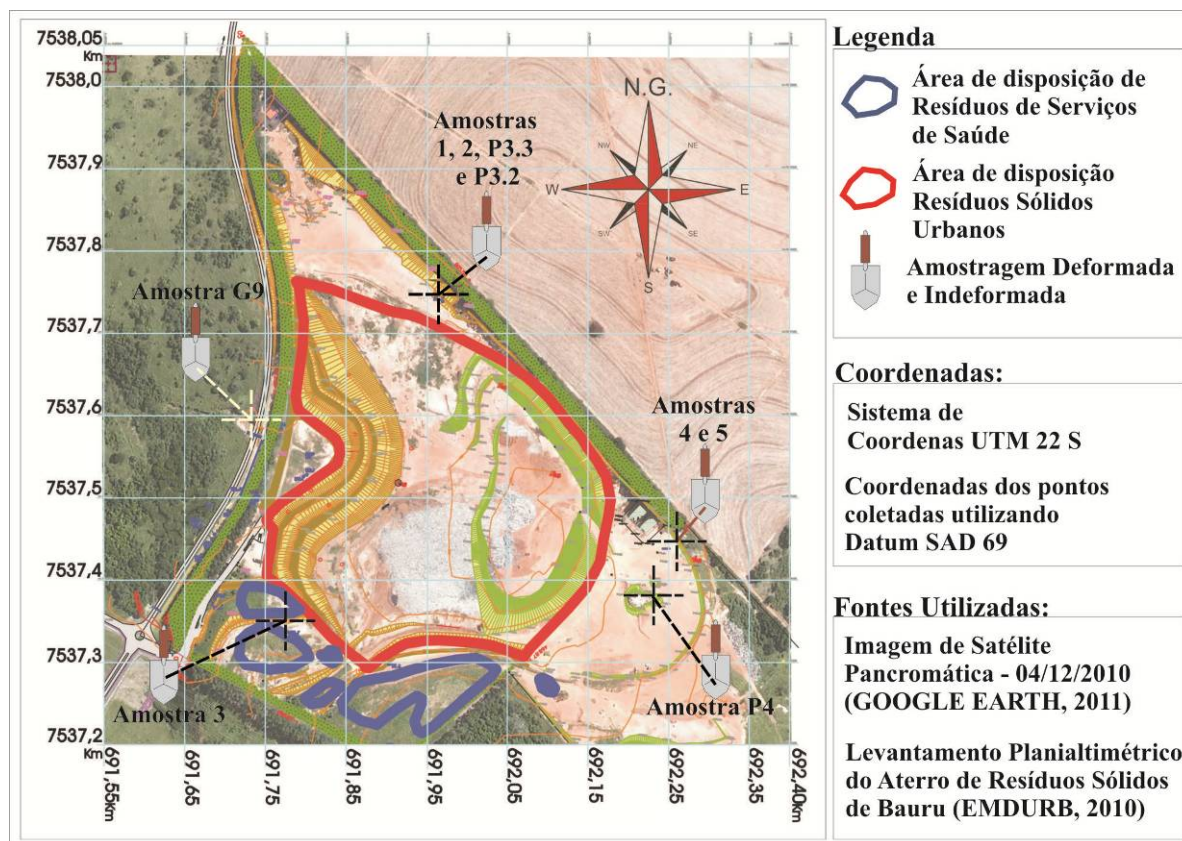


Figura 3: Localização dos pontos de amostragem e de ensaios de campo

2.2. ENSAIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

Os ensaios de condutividade hidráulica em permeâmetros de parede rígida a carga constante e variável foram realizados segundo as normas ABNT NBR 13292/95 e NBR 14545/2000, respectivamente.

Para a montagem dos ensaios foram utilizadas duas abordagens distintas, utilizando-se de dois tipos de permeâmetros de parede rígida, um confeccionado em PVC e outro de aço (Figura 4).

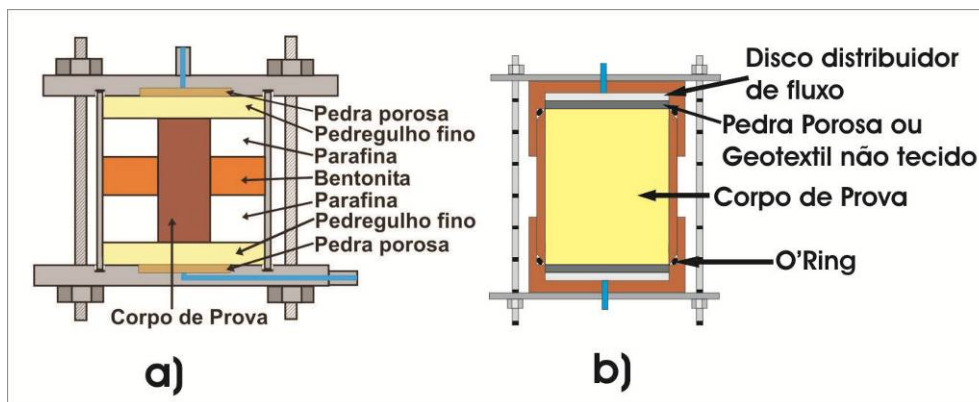


Figura 4: Montagem dos ensaios de condutividade hidráulica: a) permeâmetro de aço b) permeâmetro de PVC

A moldagem dos corpos de prova para o permeâmetro de PVC foi realizada cravando-se o mesmo diretamente na amostra indeformada, conforme é ilustrado na Figura 5.

O gradiente hidráulico utilizado inicialmente nos ensaios foi 5, porém, com exceção do solo coluvionar, não ocorreu a saturação das amostras. Assim o gradiente foi aumentado para 10 tanto na saturação quanto nos ensaios. O solo coluvionar foi saturado e ensaiado em gradiente 5.

A adoção de gradientes inicialmente baixos, sendo estes elevados conforme a resposta do solo ensaiado, visou reduzir ao máximo a força de percolação sobre o corpo de prova, a fim de proteger-lo contra *piping* e arraste da fração fina, o que poderia prejudicar os resultados dos ensaios.

Os ensaios realizados empregando os permeâmetros de PVC adotou a mesma lógica anterior, todos com gradiente 5



Figura 5: Moldagem de corpo de prova no permeâmetro de PVC

Os ensaios com o permeâmetro de parede flexível foram realizados apenas para as amostras de coluvionar e utilizaram três pressões confinantes diferentes: 30, 90 e 180 KPa. Estes ensaios foram executados de acordo com a norma ASTM 5084/2001, com o gradiente hidráulico de 11, e a variação da condutividade hidráulica com a tensão confinante foi analisada.

3. RESULTADOS

3.1. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Uma síntese dos resultados dos ensaios de caracterização está expressa na Tabela 1. As amostras de solo coletadas na área de estudo apresentaram, em sua maioria, granulometria de areia siltosa ou argilosa, com exceção do solo aluvionar que foi classificado como uma areia limpa mal graduada.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de caracterização realizados em amostras de solo referentes a quatro campanhas de ensaios de condutividade hidráulica no aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauri/SP

Campanha		2008					2004	2010			2011
Amostra		1	2	3	4	5	6	P3.2	P3.3	P4	G9
Profundidade (m)		1	2	0,5	3	5,5	-	4	2,5	0,5	0,5
Material (Gênese)		Residual de Arenito	Residual de Arenito	Arenito	Residual de Arenito	Residual de Arenito	Colúvio	Residual de Arenito	Colúvio	Arenito	Alúvio
Granulometria Conjunta	Areia (%)	82,6	61	77,5	76,6	82	73	63	73	80	92
	Areia Média (%)	18	19	25	21	20	32,5	26	20	37	58
	Areia Fina (%)	64,6	42	52,5	55,6	62	40,5	37	53	43	34
	Silte (%)	13,9	18	17,5	7,1	8	5,5	30	7	11	4
	Argila (%)	13,5	21	5	16,3	10	21,5	7	20	9	4
	Finos (%)	39,6	46,3	28,4	37,8	31,6	30	37	27	20	8
Limites de Atterberg	LL (%)	28	32	39	27,5	28	26	26,1	25,9	27,1	3,75
	LP (%)	16	22	30,5	19,5	20	16	24,9	NP	16,4	NP
	IP (%)	12	10	8,5	8	8	10	1,2	-	10,7	-
Massa específica dos sólidos (g/cm³)		2,700	2,690	2,640	2,700	2,650	2,840	2,677	2,731	2,691	2,650
Classificação Unificada		Areia argilosa SC	Areia argilosa SC	Areia siltosa SM	Areia argilosa SC	Areia argilosa SC	Areia argilosa SC	Areia siltosa SM	Areia siltosa SM	Areia argilosa SC	Areia mal graduada SP
Adsorção de Azul de Metileno	CTC (meq/100g)	5	9	4	3	4	3	14	3	8	0,59
	Vb (g/100g)	1,46	2,99	1,33	0,91	1,27	1,14	4,4	0,9	2,5	0,2
	Acb (g/100g)	11	14	27	6	13	5	63,1	4,5	27,6	4,7
	S.E. (m²/g)	36	73	33	22	31	28	108	22,17	61,45	4,6
	Classificação do Argilomineral¹	Ilita Ativa	Montm. muito Ativa	Montm. Nociva	Caulinita Normal	Ilita Ativa	Caulinita Normal	Montm. Nociva	Ilita pouco Ativa	Montm. Nociva	Caulinita pouco Ativa
	Comportamento Laterítico²	Laterítico	Não Laterítico	Laterítico	Laterítico	Laterítico	Laterítico	Não Laterítico	Laterítico	Não Laterítico	Laterítico

1- Classificação de Lautrin (1989 *apud* PEJON, 1992) 2 - Classificação de Pejon (1992) Montm. - Montmorilonita

A fração argila exibiu atividade normal a pouco ativa nas amostras 6, P3.3 e G9, resultado este que era esperado devido a essas amostras possuírem um maior grau evolução pedológica, fato comprovado pela constatação do comportamento laterítico das mesmas, ou seja, essas amostras sofreram um processo de laterização mais intenso que as demais, perdendo material fino ativo para as camadas subjacentes.

A amostra 4 exibiu fração argila de atividade normal e comportamento laterítico, apesar de aparentar características tátil visuais de solo residual de arenito, esse comportamento é típico de uma camada de solo que foi exposta às intempéries em um período mais recente, ocasionando uma certa laterização do solo, porém sem ainda descaracterizar sua estrutura.

As amostras 1, 3 e 5 provavelmente estão sofrendo o mesmo processo que a amostra 4, porém em fase ainda mais recente de exposição, o que está de acordo com a presença de argilas ativas e um pequeno comportamento laterítico (valores de Vb próximos de 1,5 g/100g).

Os solos menos alterados por laterização foram os presentes nas amostras 2 e P3.2, ambas possuindo argilas muito ativas ou nocivas e comportamento não laterítico.

Quanto a condutividade hidráulica, pelos resultados de caracterização, espera-se que as amostras 4, 6 e P3.3 apresentem valores de condutividade hidráulica maiores, da ordem de 10^{-5} a 10^{-6} m/s, por possuírem granulometria predominante de areia e fração fina com menor atividade, enquanto, que para as amostras 1, 2, 5 e P3.2 eram esperados valores menores, da ordem de 10^{-5} a 10^{-7} m/s, pois possuem uma fração fina mais ativa. A amostra G9 apresenta características de areia média limpa, com compacidade bastante fofa durante inspeção

táctil-visual em campo, assim, espera-se para esta amostra um valor de condutividade hidráulica da ordem de 10^{-5} m/s.

Já as amostras 3 e P4, apesar da granulometria predominante de areia, poderiam apresentar condutividade hidráulica próxima a característica de materiais mais finos, pois, neste caso, por se tratar de um arenito, material quase inalterado, a estrutura do material esta mais intrinsecamente ligada a sua condutividade hidráulica que sua granulometria, deste modo, têm-se como hipótese inicial que este material apresente valores de condutividade hidráulica da ordem de 10^{-6} a 10^{-7} m/s.

3.2. ENSAIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A Tabela 2 resume os resultados obtidos em quatro campanhas de ensaios de condutividade hidráulica realizados em 2004, 2008, 2010 e recentemente 2011.

Tabela 2: Valores de condutividade hidráulica (K) encontrados para os solos das fundações do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru/SP em quatro diferentes campanhas de ensaios

Campanha	2008 (Permeâmetro de PVC)					2004	2010 (Permeâmetro de Aço)		2011 (Permeâmetro de PVC)
Amostra	1	2	3	4	5	6 (parede flexível)	P3.3	P4	G9
Material (Gênese)	Residual de Arenito	Residual de Arenito	Arenito	Residual de Arenito	Residual de Arenito	Colúvio	Colúvio	Arenito	Alúvio
Textura	Areia silto-Argilosa	Areia argilo-siltosa	Areia siltosa	Areia argilosa	Areia argilo-siltosa	Areia argilo-siltosa	Areia argilo-siltosa	Areia siltosa	Areia
k_{20} (m/s)	$1,3 \times 10^{-06}$	$3,8 \times 10^{-06}$	$2,5 \times 10^{-05}$	$1,9 \times 10^{-05}$	$1,5 \times 10^{-05}$	$7,2 \times 10^{-06}$ a $1,5 \times 10^{-06}$	$1,8 \times 10^{-06}$	$1,5 \times 10^{-08}$	$2,0 \times 10^{-05}$
	$3,9 \times 10^{-06}$	$4,0 \times 10^{-05}$	$1,6 \times 10^{-05}$	$2,4 \times 10^{-05}$	$9,6 \times 10^{-06}$		$2,2 \times 10^{-06}$	$3,8 \times 10^{-07}$	$2,0 \times 10^{-05}$
	$2,3 \times 10^{-06}$	$7,5 \times 10^{-05}$	$1,5 \times 10^{-05}$	$1,9 \times 10^{-05}$	$1,7 \times 10^{-05}$		$1,7 \times 10^{-07}$	-	$1,8 \times 10^{-05}$
	-	$5,4 \times 10^{-05}$	-	-	$8,9 \times 10^{-06}$		$3,8 \times 10^{-06}$	-	-

Durante a moldagem dos corpos de prova da amostra 2, que representa a camada de solo residual, houveram dificuldades devido à existência de flocos de argilas e muitas concreções. Os resultados obtidos para essas amostras (valores de K igual a $3,8 \times 10^{-06}$, $4,0 \times 10^{-05}$, $7,5 \times 10^{-05}$, $5,4 \times 10^{-05}$ m/s, Tabela 2) podem ser considerados consistentes com a granulometria e mineralogia desse solo.

Entretanto, na campanha de 2010, três novos corpos de prova de solo residual foram ensaiadas utilizando os permeâmetros de aço, com vedação de bentonita. Nestas amostras, após 2 meses de processo de percolação com gradiente 10, não houve saturação, mesmo após a elevação do gradiente hidráulico ao máximo permitido pelo equipamento disponível no laboratório, cerca de 25, e deixando-se em processo de percolação por mais 2 semanas não ocorreu a saturação da amostra. Durante a desmontagem dos permeâmetros (Figura 6) observou-se que não ocorreu nenhum de tipo de entupimento ou entrada de ar no sistema, e nem danos as amostras, sendo que a mesmas encontravam-se úmidas somente em suas extremidades, estando o seu núcleo seco. Deste modo acredita-se que provavelmente houve fluxo preferencial pela parede do permeâmetro de PVC durante os ensaios nas amostras de solo residual com concreções (Tabela 2, amostras 1 e 2).

Nas amostras 1, 4 e 5 também se constatou valores consistentes com a granulometria e mineralogia do solo (valores médios de K igual a $2,5 \times 10^{-06}$, $2,1 \times 10^{-05}$, $1,3 \times 10^{-05}$ m/s respectivamente, Tabela 2).

Esperava-se também que os solos mais evoluídos (amostras 1 e 2) apresentassem valores de condutividade hidráulica (k) maiores que os menos evoluídos (amostras 4 e 5), o que se confirmou. Na mesma linha de raciocínio, para o arenito (amostras 3 e 8) esperava-se uma valor de k menor que no solo residual e no colúvio (demais amostras), fato este que confirmou-se apenas para a amostra 8, indicando que durante os ensaios realizados na amostra 3 possa ter ocorrido fluxo preferencial pela parede do permeâmetro ou pela lateral do corpo de prova, devido a dificuldade de se conseguir o contato do corpo de prova com a parede rígida do permeâmetro. Vale destacar que apesar do resultado da amostra 3 estar dentro da faixa que se espera para solos com essa textura, não se pode dizer que esse resultado é representativo somente em função deste aspecto, pois no material em questão (arenito), a condutividade hidráulica será mais sensivelmente influenciada por sua estrutura e mineralogia que por sua textura.

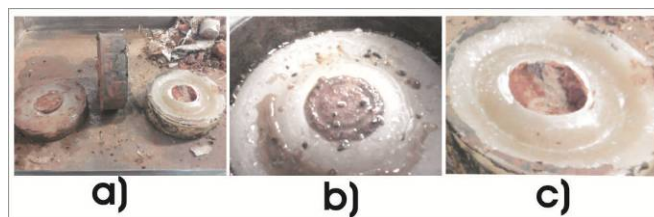


Figura 6: Desmontagem do ensaio de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede rígida de aço – solo residual de arenito: a) detalhe do conjunto dividido nas três camadas parafina – bentonita – parafina b) topo do corpo de prova com água c) parte interna do corpo de prova seco.

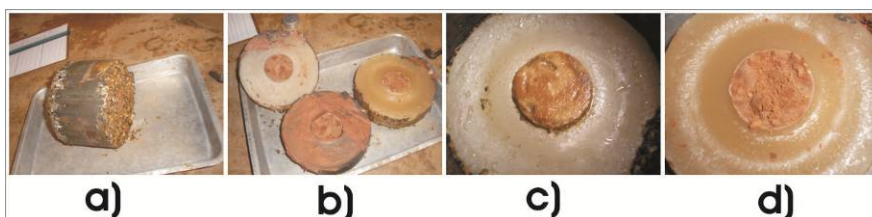


Figura 7: Desmontagem do ensaio de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede rígida de aço – corpo de prova de arenito: a) detalhe do conjunto retirado do permeâmetro b) conjunto dividido nas três camadas parafina – bentonita – parafina c) topo do corpo de prova com água d) parte interna do corpo de prova seco.

Na campanha de 2010, 6 novos corpos de prova de arenito foram ensaiados utilizando-se o permeâmetro de aço com vedação de bentonita, e assim como no solo residual, houveram problemas no processo de saturação, da primeira tréplica ensaiada apenas dois corpos de prova saturaram após 4 semanas com aplicação de gradiente hidráulico 10. Na segunda tréplica mesmo após 3 meses em processo de percolação a gradiente 10, sendo o mesmo elevado a 25 no último mês, não houve saturação de nenhum dos corpos de prova.

Acredita-se que a dificuldade de saturação nesses materiais é devida não a sua baixa condutividade hidráulica, mas também por possuírem uma estrutura que de certa forma impede a saída do ar de seu interior durante a saturação, formando-se muitas bolhas oclusas que por sua vez impedem o fluxo da água. Neste caso o processo de saturação só é possível por aplicação de contra-pressão.

Para amostra 6 a condutividade hidráulica (K) variou de $7,20 \times 10^{-06}$ a $1,50 \times 10^{-06}$ com o aumento da tensão confinante (σ_3) de 30 KPa para 180 KPa, a diminuição de K devido ao aumento de σ_3 era esperado, uma vez que o aumento de σ_3 causa o adensamento da amostra e conseqüente diminuição do índice de vazios.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferentes técnicas de ensaios de condutividade hidráulica em laboratório empregadas propiciaram avaliar suas vantagens e limitações constatando-se que:

- Os ensaios de condutividade hidráulica a carga constante e variável em permeâmetros de PVC apresentam como principal vantagem sua praticidade e facilidade na montagem e execução, porém devido sua montagem ser realizada sem a utilização de um elemento de vedação, como a bentonita, com a moldagem do corpo de prova diretamente no permeâmetro, o resultado fica muito suscetível à ocorrência de fluxo preferencial pela parede do permeâmetro, devido à falta de aderência do CP a mesma, sendo esta técnica mais indicada para a utilização em solo compactado, onde a compactação é realizada direto no permeâmetro e também se aplica em solos muito fofos, como a amostra G9, nos quais a moldagem de um corpo de prova utilizando um torno apropriado não é eficiente.
- Os ensaios de condutividade hidráulica a carga constante e variável em permeâmetros de aço foram mais trabalhosos levando-se cerca de dois dias no processo de montagem do ensaio desde a preparação da amostra até o início do processo de saturação bastante demorado, variando de dias a meses, dependendo do material. Sua principal vantagem é a presença de um elemento de vedação, bentonita, que propicia uma segurança maior quanto ao surgimento de fluxos preferenciais.

- O ensaio realizado em permeâmetro de parede flexível apresentou como principal vantagem a fácil saturação da amostra, uma vez que o sistema de saturação por contra-pressão permite a utilização de gradientes maiores sem o perigo de haver danos ao corpo de prova. Na realidade este sistema é utilizado para ensaiar materiais de baixa condutividade hidráulica, até mesmo a bentonita pode ser ensaiada por este método, com tempo para saturação da ordem de semanas. Sua principal desvantagem é o custo, pois os equipamentos necessários para o ensaio, desde as câmeras, aos sistemas de medida e de pressão são de alto custo. Este sistema também propicia a avaliação da relação da condutividade hidráulica com a pressão confinante, representando o efeito da tensão de confinamento em campo.

Quanto à condutividade hidráulica dos solos estudados, pode-se concluir que:

- O solo coluvionar possui uma condutividade hidráulica da ordem de 10^{-06} m/s, com um valor médio de $2,8 \times 10^{-06}$ m/s, o que está de acordo com os valores esperados pela caracterização geotécnica.
- O solo residual de arenito apresentou valores de condutividade hidráulica que variaram da ordem de 10^{-05} a 10^{-06} m/s, porém devido a suspeitas de ocorrência de fluxo preferencial pela parede dos permeâmetros de PVC durante os ensaios, e a saturação inadequada dos corpos de prova nos ensaios realizados com permeâmetros de aço, deixam dúvidas quanto a representatividade desses valores, sendo a real condutividade hidráulica desse material provavelmente menor que os resultados encontrados. Assim, é necessária nova campanha de ensaios de condutividade hidráulica nesse material, preferencialmente utilizando permeâmetros de parede flexível para garantir a saturação da amostra.
- O arenito apresentou valores de condutividade hidráulica de $1,5 \times 10^{-08}$ e $3,8 \times 10^{-07}$, assim pode-se considerar como representativa, para este material, a faixa de ordem de grandeza de 10^{-08} a 10^{-07} m/s. Como ainda são poucos os resultados encontrados entende-se que não é adequado apresentar um valor médio típico. Neste caso, da mesma forma que para solo residual, também há a necessidade da realização de novos ensaios utilizando permeâmetros de parede flexível para garantir a saturação da amostra, pois o arenito também apresentou dificuldades na saturação.
- A condutividade hidráulica encontrada para o solo aluvionar foi da ordem de 10^{-05} m/s, com valor médio de 2×10^{-05} m/s, de acordo com o esperado pela caracterização geotécnica. Assim, pode-se considerar que estes valores são representativos da camada ensaiada, entretanto sabe-se que neste local há grande heterogeneidade no perfil de solo, apresentando várias camadas de areia, e também de argila intercaladas (Figura 2).

Vale destacar que este estudo faz parte de um projeto mais amplo envolvendo, além de ensaios de laboratório, ensaios de campo, utilizando o permeâmetro de Guelph, ensaios de dissipação de poro-pressões durante a cravação de piezocone e ensaios de recuperação em poços de monitoramento, cujos resultados encontram-se em fase de análise e serão apresentados futuramente.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de mestrado concedida e a Empresa de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru/SP (EMDURB) pelo total apoio a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 13292 (1995) Solo-Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante, CB-02, Rio de Janeiro. 8 p.
2. ABNT NBR 14545 (2000) Solo-Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável, CB-02, Rio de Janeiro. 12 p.
3. ABNT NBR 6459 (1984) Solo-Determinação do limite de liquidez, CB-02, Rio de Janeiro. 6 p.
4. ABNT NBR 7180 (1984) Solo-Determinação do limite de plasticidade, CB-02, Rio de Janeiro. 3 p.
5. ABNT NBR 7181 (1988) Solo-Análise granulométrica, CB-02, Rio de Janeiro. 13 p.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 5084**: Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. ASTM International, West Conshohocken, USA, 23 p. 2001.

7. MONDELLI, G. (2008). Integração de diferentes técnicas de investigação para avaliação da poluição e contaminação de uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos-SP.
8. PEJON, O. J. *Mapeamento Geotécnico da Folha de Piracicaba – SP (Escala: 1:100.000)*: Estudos de Aspectos Metodológicos de Caracterização e de Apresentação dos Atributos. 1992. v. 1. p.1-224. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1992