

# CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE ARGILAS LATERÍTICAS COMPACTADAS VISANDO A UTILIZAÇÃO EM CAMADAS IMPERMEABILIZANTES DE ATERROS SANITÁRIOS

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC – UNICAMP

**Leandro Belinassi (bolsista) : e-mail: [leandrobelinassi@hotmail.com](mailto:leandrobelinassi@hotmail.com)**  
 Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour (co-orientador) : e-mail: [ednour@fec.unicamp.br](mailto:ednour@fec.unicamp.br)  
 Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Miriam Gonçalves Miguel (orientadora) : e-mail: [migmiguel@fec.unicamp.br](mailto:migmiguel@fec.unicamp.br)

Agência Financiadora: PIBIC/SAE

Palavras-Chave: Condutividade Hidráulica – Aterros Sanitários – Barreiras Impermeabilizantes-Solos Tropicais

## Introdução

Um dos principais problemas de ordem pública atualmente é o tratamento do lixo urbano. Uma boa solução já implantada em algumas grandes cidades brasileiras é o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos.

A decomposição do lixo gera o chorume, um líquido escuro que contém alta carga poluidora, podendo ocasionar diversos efeitos nocivos ao meio ambiente. Para evitar uma contaminação do solo ou até mesmo do lençol freático, através da percolação do chorume, são utilizadas as barreiras impermeabilizantes de solo compactado e/ou de materiais geossintéticos.

As argilas lateríticas, abundantes no Brasil, apresentam propriedades bastante peculiares, o que as têm tornado foco de estudos recentes como material alternativo em diversas aplicações de obras geotécnicas. Esta pesquisa propôs o estudo de viabilidade de três solos argilosos e lateríticos do interior do estado de São Paulo na aplicação em barreiras impermeabilizantes de fundações de aterros sanitários, visando, inicialmente, avaliar as suas permeabilidades à água e as composições físico-químicas dos percolados, após submetidos à percolação ao chorume, por meio de ensaios de coluna.

## Materiais e Métodos

Duas das amostras utilizadas no experimento foram provenientes da jazida de empréstimo do complexo Delta de Campinas, denominadas de Delta A e B. Além dessas, também foram utilizadas as amostras da camada superficial do Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp e de um estoque de argila de uma cerâmica na cidade de Laranjal Paulista/SP, já estudadas em trabalho anterior. Todas as amostras foram devidamente caracterizadas por meio de ensaios geotécnicos em laboratório: massa específica dos sólidos, limites de consistência e granulometria.

O chorume foi coletado diretamente de uma lagoa de chorume do aterro sanitário Delta A e armazenado em galões de PVC, que foram devidamente refrigerados.

Os corpos-de-prova moldados das amostras foram inseridos nos permeômetros de parede rígida e foram compactados na energia Proctor Normal. Das curvas de compactação foram obtidos os valores de teor de umidade ótimo para a máxima eficiência de compactação, porém os corpos-de-prova foram compactados com 3% acima, como recomendado na bibliografia. Então, os corpos-de-prova foram saturados por água e, após, iniciaram-se as leituras para o ensaio de permeabilidade com carga variável.

Na realização dos ensaios de coluna das amostras com a percolação do chorume, foram confeccionados quatro permeômetros “artesanais” (Figura 1) com tubos e conexões de PVC, placas de acrílico e hastas metálicas de rosca sem fim.

Os corpos-de-prova foram compactados nas mesmas especificações anteriores para cada permeômetro, saturados com água e submetidos a percolação do chorume. Então foram feitas análises físico-químicas do chorume bruto e do percolado dos permeômetros: pH, Alcalinidade, Ácidos Orgânicos Voláteis, Ferro Dissolvido, DQO. Foram realizadas as análises dos metais no percolado do solo de Laranjal Paulista e no chorume bruto, através do ensaio de fluorescência de raios X por reflexão total com radiação síncrotron.



Figura 1. Permeômetros “artesanais” para ensaio de coluna.

## Apresentação e Análise de Resultados

A amostra de solo Delta-A foi classificada texturalmente como um silte argilo-arenoso, com o uso de defloculante, e como silte arenoso, sem o uso do defloculante. Apresentou limite de liquidez de 26,7% e índice de plasticidade de 7,1%, com massa específica dos sólidos de 2,687g/cm<sup>3</sup>. A capacidade de troca catiônica (CTC) para essa amostra foi de 7,74cmol.

A amostra Delta-B foi classificada texturalmente como um silte argiloso com o uso de defloculante e como silte argilo-arenoso, sem o uso do defloculante. Apresentou limite de plasticidade de 22,4%, limite de liquidez de 38,2% e massa específica dos sólidos de 2,776g/cm<sup>3</sup>. A capacidade de troca catiônica (CTC) para a amostra Delta-B foi de 12,62cmol. Os valores de CTC das amostras Delta A e B indicam que a segunda amostra se apresenta quimicamente mais ativa do que a primeira.

O solo da Unicamp foi classificado texturalmente como argila siltosa, com o uso de defloculante, e silte arenoso sem o uso de defloculante. Apresentou limite de liquidez de 57% e índice de plasticidade de 17%.

O solo da amostra de Laranjal Paulista foi classificado texturalmente como uma argila siltosa, com o uso de defloculante, e apresentou limite de liquidez de 62,9%.

A Tabela 1 apresenta os valores de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, obtidos nos ensaios de compactação, e os valores de coeficiente de permeabilidade saturado, obtidos nos ensaios de permeabilidade com carga variável.

Tabela 1. Teor de umidade ótimo, massa específica aparente seca máxima e coeficiente de permeabilidade das amostras.

Parâmetros	Amostras			
	Delta-A	Delta-B	Laranjal Paulista	Campinas
Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,816	1,608	1,493	1,520
Umidade ótima (%)	14,70	21,65	25,07	28,50
Coefficiente de permeabilidade saturado a 20°C (cm/s)	2,35 x 10 <sup>-8</sup>	6,56 x 10 <sup>-8</sup>	6,42 x 10 <sup>-8</sup>	1,21 x 10 <sup>-7</sup>

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos das análises químicas, incluindo as amostras de percolado dos ensaios de coluna do solo de Laranjal Paulista. A partir dos dados, elaboraram-se os gráficos das Figuras 2 e 3. Os dados das concentrações dos metais nos percolados do solo de Laranjal Paulista e do chorume bruto estão na Tabela 3 e, a partir dela, elaboraram-se os gráficos das Figuras 4 e 5. C<sub>w</sub> corresponde a concentração no percolado e C<sub>s</sub> a concentração adsorvida nas partículas de solo.

Tabela 2. Ensaios de caracterização química.

Fluido	pH	Alcalinidade total (mg/L)	AOV (mgAc/L)	Fe dissolvido (mg/L)	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)
Chorume bruto 1 (02/03/09)	7,9	---	221,4	5,8	1920
Percolado 1-Laranjal 02/04/09 a 30/04/09	4,4	0(zero)	121,8	0,04	93
Percolado 1-Laranjal 01/05/09 a 18/06/09	4,3	0(zero)	341,5	0,008	544
Percolado 1-Laranjal 19/06/09 a 12/08/09	4,1	0(zero)	693,6	0,008	615
Percolado 1-Laranjal 13/08/09 a 10/11/09	3,5	0(zero)	1208,4	---	980

Tabela 3. Concentrações dos metais nos percolados das amostras de Laranjal Paulista, além do chorume bruto 1.

Elemento	Concentração Final (mg do elemento/L de amostra)				
	Chorume	Percolado 1 Laranjal	Percolado 2 Laranjal	Percolado 3 Laranjal	Percolado 4 Laranjal
Fe	4,2794	1,7247	0,20	0,40	0,30
Co	0,0724	0,1012	0,80	0,40	0,40
Ni	0,1167	0,0812	0,60	0,40	0,40
Zn	0,0903	1,4134	11,30	7,00	6,00
Sr	0,4751	1,3636	7,80	4,30	5,40
Pb	0,2463	0,0915	0,80	0,70	1,40

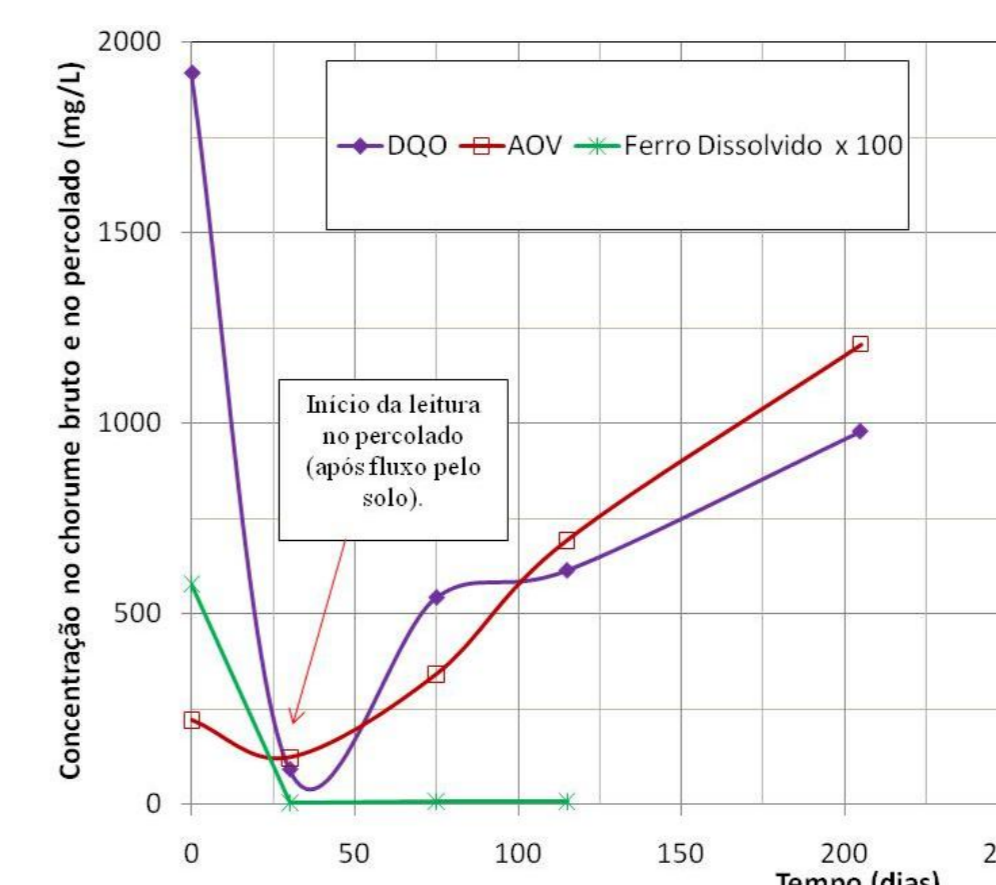


Figura 2. Concentração versus tempo para o solo de Laranjal Paulista.

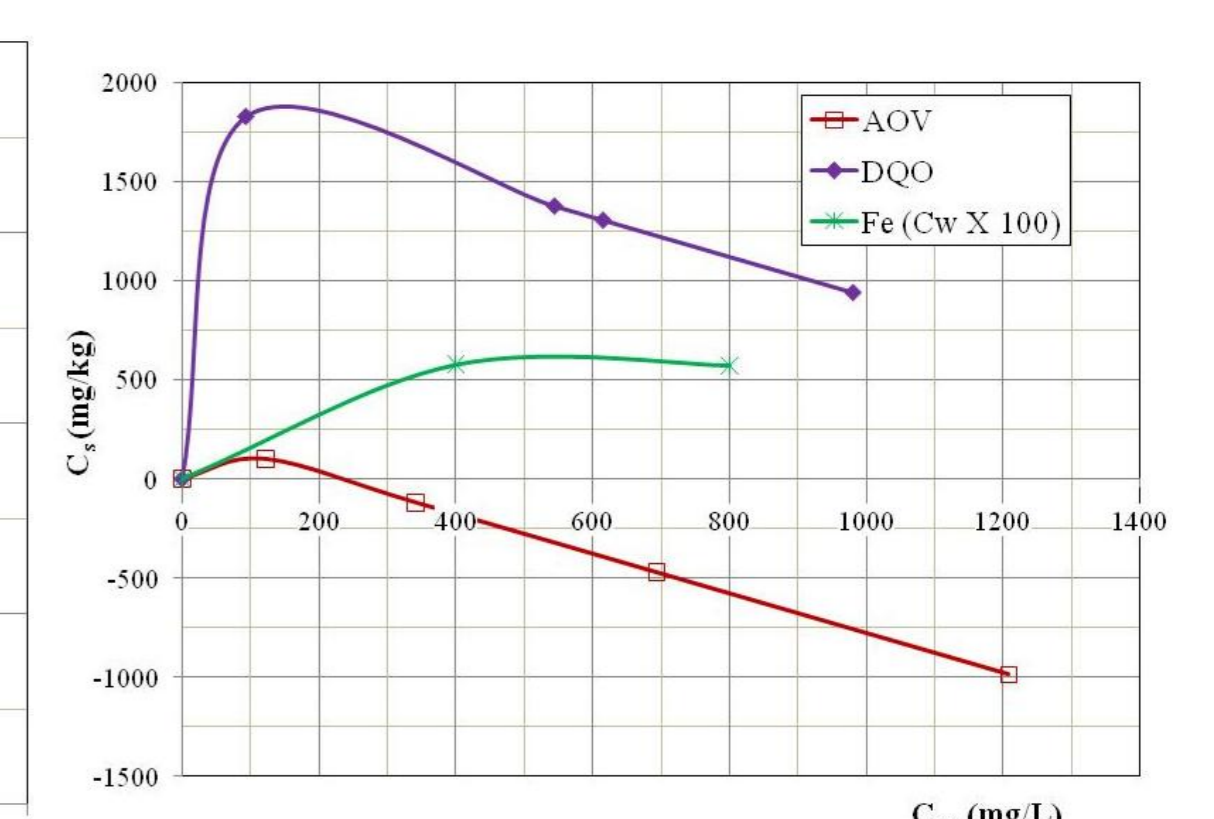


Figura 3. Isothermas de adsorção para o solo de Laranjal Paulista.

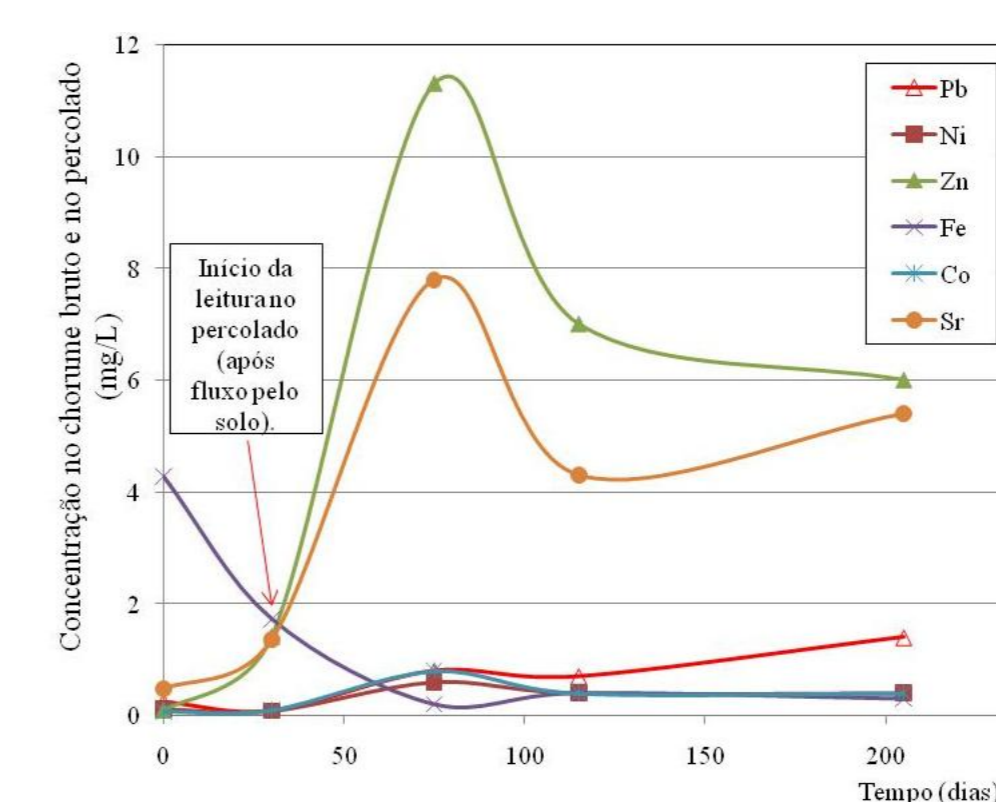


Figura 4. Concentração de metais versus tempo para o solo de Laranjal Paulista.

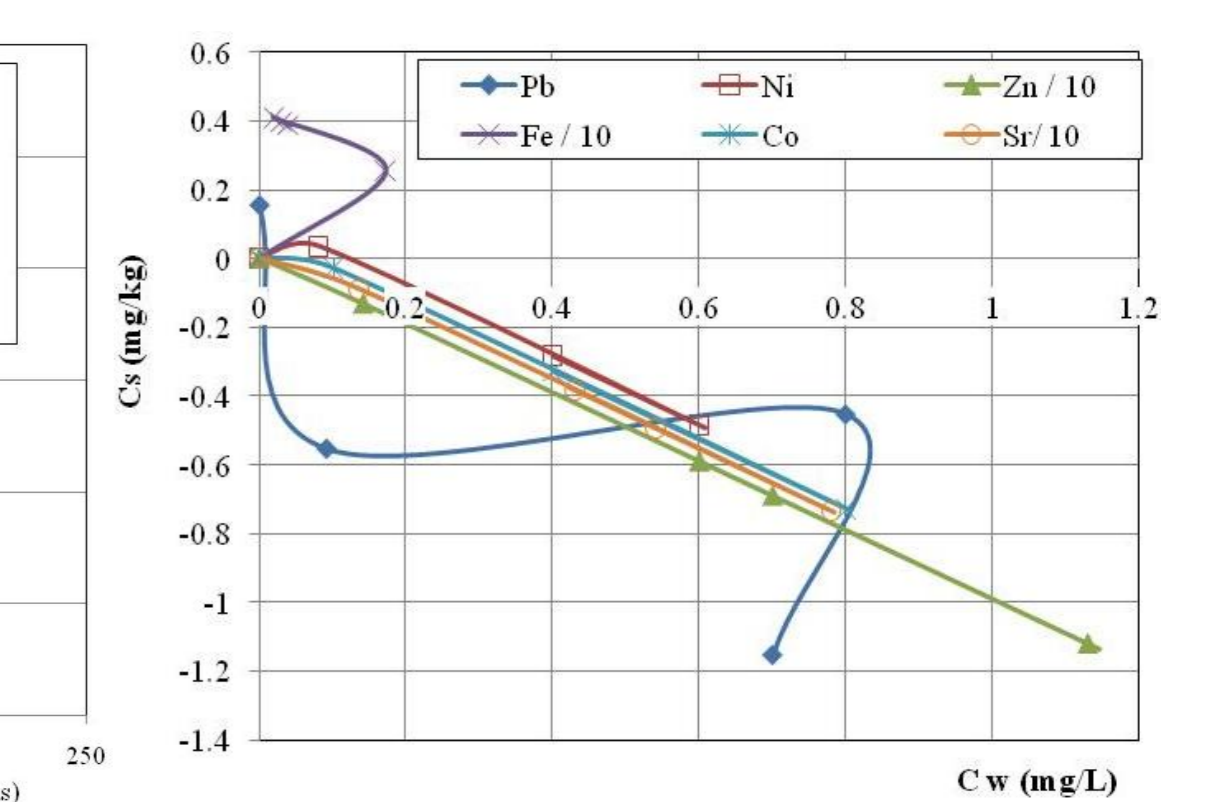


Figura 5. Isothermas de adsorção dos metais para o solo de Laranjal Paulista.

## Conclusão:

O trabalho mostra a viabilidade do uso de algumas amostras estudadas como barreiras impermeabilizantes em aterros sanitários, devido aos valores relativamente baixos de condutividade hidráulica, encontrados para esses solos.

No entanto, com a percolação de chorume bruto na amostra de solo de Laranjal Paulista, notaram-se variações das concentrações de AOV, DQO e de alguns metais, o que indica que o solo não foi capaz de reter esses metais e estabilizá-los.

Sendo assim, o estudo de viabilidade desse solo para aplicação em barreiras impermeabilizantes deve se aprofundar, pois os índices (AOV, DQO) e os metais estudados são potenciais poluidores de cursos d'água.