

## PERMEABILIDADE AO AR E A ÁGUA DE MISTURAS DE SOLO E COMPOSTO ORGÂNICO PARA CAMADAS DE COBERTURA OXIDATIVAS

Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida<sup>1</sup> (aliceguilherme@hotmail.com), Bruna Silveira Lira<sup>1</sup> (brunaslira@gmail.com), Guilherme José Correia Gomes<sup>1</sup> (guilhermejcgomes@hotmail.com), José Fernando Thomé Jucá<sup>1</sup> (jftjucah@icloud.com), Maria Odete Holanda Mariano<sup>1</sup> (odete.mariano@gmail.com), Maurício Alves da Motta Sobrinho<sup>1</sup> (mottas@ufpe.br)  
1 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

### RESUMO

A emissão descontrolada dos gases produzidos em aterros sanitários é uma das maiores problemáticas de poluição local e global. A fim de minimizar tais impactos, torna-se necessário que aterros disponham de uma camada de cobertura eficiente, capaz de impossibilitar a passagem dos gases produzidos no local para a atmosfera, além de garantir que líquidos provenientes das precipitações não percolem no aterro e, conseqüentemente, gerem mais lixiviados para serem tratados. Atualmente o uso de camadas de cobertura alternativas em aterros sanitários vem se intensificando. Entre as camadas utilizadas existem as camadas oxidativas, que utilizam uma mistura de solo com composto orgânico para melhorar a oxidação dos gases gerados, bem como auxiliar na retenção dos líquidos provenientes das chuvas. O principal objetivo deste trabalho é o estudo da permeabilidade ao ar e a água das misturas de solo com composto orgânico em diferentes proporções de forma a determinar os fluxos de gases e líquidos. A permeabilidade ao ar e à água determinada em permeâmetro de parede flexível modelo Tri-flex 2 da Soil Test – ELE, foram usadas misturas na proporções de 2:1 (solo:composto) e 1:1 (solo:composto). Com base nos resultados, a permeabilidade ao ar e à água permaneceu na magnitude de  $10^{-8}$  a  $10^{-9}$  m s<sup>-1</sup>, o que é ideal para assegurar que a percolação seja baixa impedindo a infiltração de água, bem como a emissão de gases.

**Palavras-chave:** Camadas de cobertura, camada oxidativa, permeabilidade.

## AIR AND WATER PERMEABILITY OF SOIL AND ORGANIC COMPOUND MIXTURES FOR OXIDATIVE COVER LAYERS

### ABSTRACT

The uncontrolled emissions of gases produced by landfills are one of the major local and global pollution problems. In order to minimize the impacts caused by the gas emissions, it is necessary that the landfills are provided with an efficient cover layer, in addition to hampering the escape of the gases produced in the location to the atmosphere, it will also guarantee that the liquids originated from the precipitations do not percolate in the landfill, and consequently generate more leachate to be treated. Nowadays the use of alternative cover layers in landfills has been intensifying. Among the cover layers used, there are the oxidative layers, which use a mixture of soil and organic compound to improve the oxidation of the generated gases, as well as assist in the retention of the liquids originated from the rain. The aim of this work will be the study of the air and water permeability of soil and organic compound mixtures in different proportions in order to determinate the gas and liquid flux in oxidative cover layers. The air and water permeability were determined in a flexible-wall permeameter model Tri-flex 2 from Soil Test – ELE, the proportions used in the mixtures were 2:1(soil:compound) and 1:1(soil:compound). Based on the results the air and water permeability remained in the  $10^{-8}$  to  $10^{-9}$  m s<sup>-1</sup> magnitude, which is ideal to ensure that percolation is low preventing the infiltration of water as well as the emission of gases.

**Keywords:** Cover layers, oxidative layer, permeability.

## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento de áreas urbanas, houve um aumento excessivo na geração de resíduos, gerando uma série de problemas de ordem ambiental, econômica e social. Uma das ações tomadas com o objetivo de diminuir os problemas é a instalação de aterros sanitários. Nos aterros sanitários existe uma grande emissão de gases poluentes e pessoas que vivem próximas às instalações dos aterros são as mais afetadas, pois são continuamente expostas a maus odores e componentes tóxicos presentes no biogás, podendo até ocasionar o desenvolvimento de doenças. No âmbito global, o lançamento de biogás na atmosfera é uma das formas de maior causa e contribuição para o aquecimento global. A fim de minimizar tais impactos, torna-se necessário que aterros disponham de uma camada de cobertura eficiente, capaz de impossibilitar a passagem dos gases produzidos no local para a atmosfera, além de garantir que líquidos provenientes das precipitações não percolem no aterro e, conseqüentemente, gerem mais lixiviados para serem tratados. Atualmente o uso de camadas de cobertura alternativas em aterros sanitários vem se intensificando. Entre as camadas utilizadas destacam-se as camadas oxidativas, que utilizam uma mistura de solo com composto orgânico para melhorar a oxidação dos gases gerados, bem como auxiliar na retenção dos líquidos provenientes das chuvas. O composto orgânico utilizado é derivado de material estabilizado de leiras de compostagem (que geralmente se destinam a adubos ou mesmo ao descarte em aterros). De forma a simular os fluxos de gases e líquidos nas camadas de cobertura de aterros sanitários este trabalho visa o estudo da permeabilidade ao ar e a água das misturas de solo com composto orgânico proveniente da compostagem em diferentes proporções. A permeabilidade ao ar e à água foi determinada em permeâmetro de parede flexível modelo Tri-flex 2 da Soil Test – ELE, foram usadas misturas na proporções de 2:1 (solo:composto) e 1:1 (solo:composto).

## 2. OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é o estudo da permeabilidade ao ar e à água das misturas de solo com composto orgânico em diferentes proporções de forma a simular os fluxos de gases e líquidos nas camadas de cobertura de aterros sanitários.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Ensaios de Permeabilidade Vertical

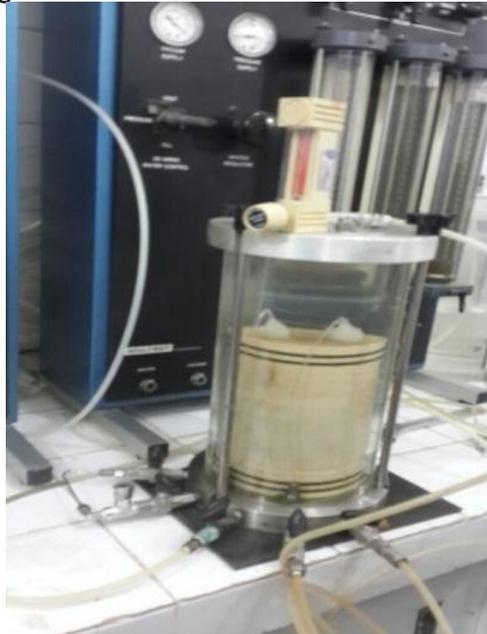
Para execução dos ensaios de permeabilidade vertical à água e ao ar foram moldados corpos de prova com o solo que será utilizado nas camadas de cobertura, nas proporções de 1:1 e 2:1 de solo composto. Ambos os corpos de prova foram compactados com energia de um Proctor Normal, com massa específica seca máxima, umidade ótima e formato cilíndrico com as seguintes dimensões: H= 12,7 cm; D= 10 cm e A = 78,54 cm<sup>2</sup>. Para realização do ensaio de permeabilidade à água foi tida como base a norma ASTM D5084-10 (ASTM, 2010) e foi utilizado o permeâmetro de parede flexível modelo Tri-flex 2 da Soil Test – ELE com algumas adaptações feitas por Maciel (2003), Mariano (2008) e Costa (2015). A figura 1 ilustra o equipamento utilizado neste ensaio.

Figura 1 - Tri-flex 2 da Soil Test – ELE



Para o ensaio de permeabilidade ao ar também foi utilizado o modelo Tri-flex 2 da Soil Test – ELE com as adaptações propostas por Maciel (2003), que dentre elas, inclui a colocação de um rotâmetro na saída do corpo de prova, Figura 2, a fim de fazer a medição da vazão do fluido percolado, que neste caso é ar comprimido. Os corpos de prova utilizados e a metodologia aplicada foram os mesmos utilizados no ensaio de permeabilidade à água, diferindo apenas no tipo de fluido utilizado no processo, que neste caso foi ar comprimido.

Figura 2 - Câmara de Fluxo com rotâmetro



### 3.2 Ensaio de Permeabilidade Horizontal

A metodologia aplicada para a realização do ensaio de permeabilidade horizontal é semelhante ao método aplicado para os ensaios de permeabilidade vertical, deferindo apenas no modo como o corpo de prova é executado. Neste tipo de ensaio o corpo de prova que foi obtido através do ensaio de Proctor Normal é moldado de forma que o fluxo que estará passando de forma vertical na verdade é a parte horizontal do solo. Por ter esta característica a amostra possui as seguintes dimensões: H= 10 cm; D=10 cm. Este ensaio foi realizado apenas para a proporção de 1:1 de solo composto.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ensaio de Permeabilidade Vertical

#### 4.1.1 Permeabilidade ao ar

Para determinar a permeabilidade ao ar da mistura utilizada para fazer a camada de cobertura, foram moldados dois corpos de prova nas proporções de 1:1 e de 2:1 de solo composto, ambas as amostras foram moldadas com energia de um Proctor Normal na umidade ótima. A trajetória dos ensaios se deu por meio do processo de secagem das amostras e a verificação do coeficiente de permeabilidade correspondente à umidade da amostra.

Tendo a validação da Lei de Darcy para fluxos compressíveis foi possível calcular a permeabilidade ao ar das misturas por meio da Equação 1.

$$K_{ar} = (q \cdot L) / (A \cdot \Delta p)$$

Equação (1)

Onde:

$K_{ar}$  = permeabilidade ao ar ( $m \cdot h^{-1}$ )

$q$  = vazão ( $N \cdot m^3 \cdot s^{-1}$ )

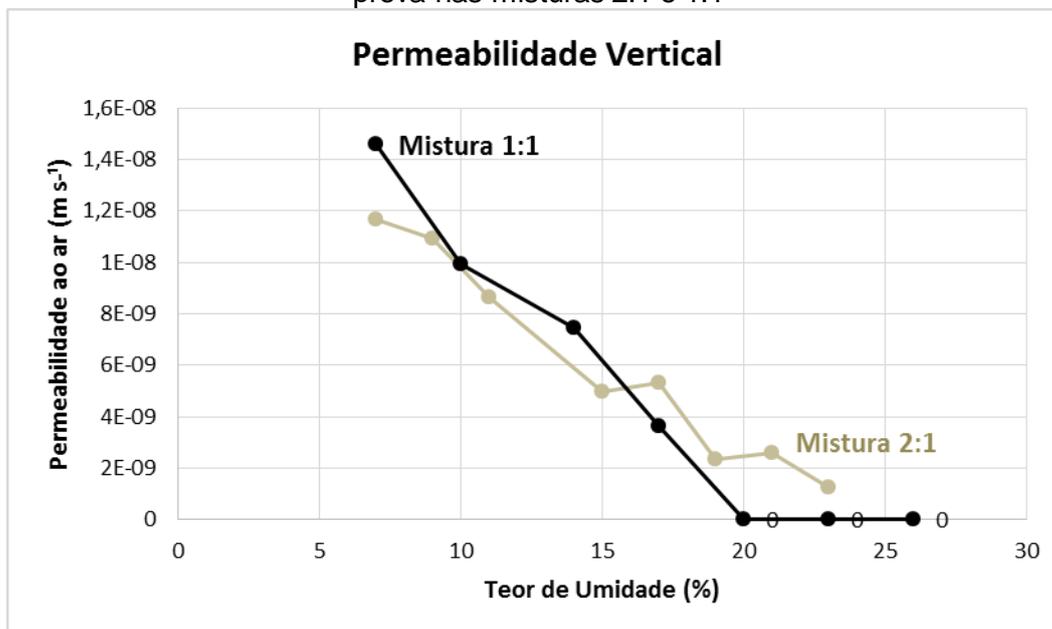
$A$  = área ( $m^2$ )

$L$  = comprimento da amostra (m)

$\Delta p$  = gradiente de pressão (m), considerando  $\gamma_{ar} = 0,012 \text{ kN} \cdot m^{-3}$

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios através da variação da permeabilidade em função do teor de umidade do corpo de prova.

Figura 3 - Resultados dos ensaios de permeabilidade vertical ao ar para um mesmo corpo de prova nas misturas 2:1 e 1:1



É possível observar no gráfico da Figura 3 que na existência de altos teores de umidade não há valores para permeabilidade, isso ocorre pelo fato de que a presença de água em solos de alta umidade dificulta a passagem do ar injetado pelo equipamento. A Figura 3 mostra que a Mistura 2:1, que possui 23% de umidade ótima e a mistura 1:1, com 26% de umidade ótima apresentaram valores de permeabilidade na mesma grandeza de  $10^{-9}$  e  $10^{-8}$   $m s^{-1}$ .

O intuito de fazer este processo de secagem e determinar a permeabilidade ao ar em cada umidade é caracterizar o comportamento do solo e a sua eficiência em reter os gases gerados no aterro durante períodos de seca e chuva.

#### 4.1.2 Permeabilidade à água

A determinação da permeabilidade à água das misturas 1:1 e 2:1 é obtida por meio da equação 2.

$$K = (V \cdot L) / (A \cdot T \cdot P) \text{ (cm/seg)} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

V= volume percolado ( $cm^3$ )

L= altura da amostra (cm)

A= área da base do corpo de prova ( $cm^2$ )

T= tempo médio para percolação de  $5 \text{ cm}^3$  (s)

P= gradiente psi x 70,37 cm/psi (cm -  $H_2O$ )

Os resultados encontrados para a permeabilidade à água foram de  $2,77 \times 10^{-9}$   $m s^{-1}$  para a Mistura 1:1 (solo:composto) e  $5,6 \times 10^{-9}$   $m s^{-1}$  para a Mistura 2:1 (solo:composto). Apesar de possuírem diferentes proporções de material compostado foi observado que ambas as misturas obtiveram valores para a condutividade hidráulica na mesma ordem de grandeza. De acordo com a USEPA (2003) para camadas de cobertura em aterros sanitários é indicado que os valores de permeabilidade à água sejam inferiores a ordem de grandeza de  $10^{-7}$   $m s^{-1}$ , para garantir assim que não haja alta percolação de água proveniente das chuvas. Tanto a mistura 1:1(solo:composto) como a mistura 2:1 (solo:composto) apresentaram valores compatíveis com os valores também encontrados por Maciel (2003), Lopes (2011) e Costa (2015).

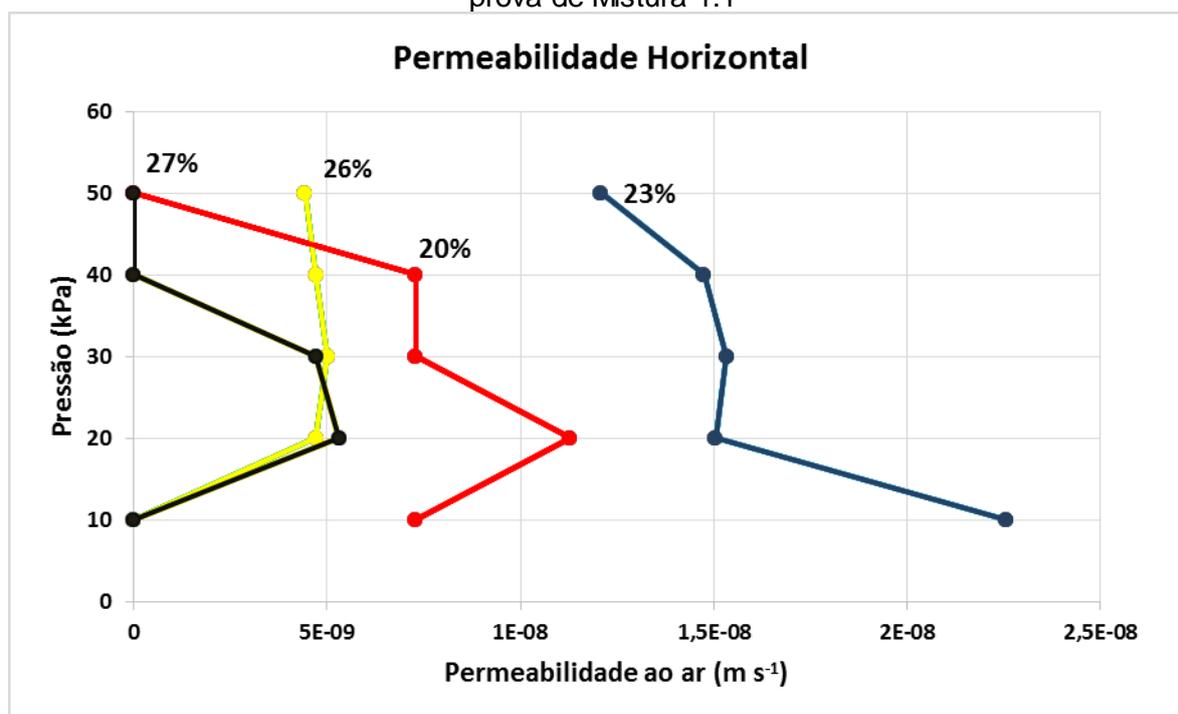
## 4.2 Ensaio de Permeabilidade Horizontal

Segundo Pinto (2000) a permeabilidade horizontal tende a ser maior que a permeabilidade vertical devido à anisotropia das camadas do solo. Ter conhecimento sobre este quesito é de fundamental importância para o dimensionamento dos drenos verticais presentes no aterro sanitário bem como para possíveis fluxos horizontais dos gases gerados durante o processo de biodegradação.

### 4.2.1 Permeabilidade ao ar

Para o ensaio de permeabilidade horizontal foi moldado um corpo de prova na energia de um Proctor Normal com a mistura de 1:1 de solo composto. O experimento foi realizado para diferentes umidades do corpo de prova e verificada a permeabilidade ao ar horizontal quando a amostra era submetida a diferentes valores de pressão. Inicialmente aplicou-se uma pressão confinante de 10 kPa, acrescentando-se esta pressão até que a mesma atingisse o valor de 50 kPa. O gráfico da Figura 4 mostra o desempenho do corpo de prova durante a realização do experimento.

Figura 4. Resultados dos ensaios de permeabilidade horizontal ao ar para um mesmo corpo de prova de Mistura 1:1



Pelo gráfico da Figura 4 é possível observar que independentemente da umidade da amostra, para altos valores de pressão aplicados há uma deformação na amostra a ponto de diminuir o coeficiente de permeabilidade ao ar. Em campo este aumento de pressão poderia ser caracterizado por um sobrepeso presente na camada de cobertura.

### 4.2.2 Permeabilidade à água

Para o ensaio de permeabilidade horizontal também foi verificado a permeabilidade à água da Mistura 1:1, a fim de analisar o seu comportamento quando submetida a um fluxo de água no sentido horizontal. Assim sendo, para a Mistura 1:1 foi constatado um coeficiente de

permeabilidade à água de  $5,33 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ , que apresentou a mesma ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade vertical encontrado para as Misturas 1:1 e 2:1 de solo composto.

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que as misturas apresentam permeabilidades ao ar e a água variando entre  $10^{-8}$  e  $10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  estando de acordo com os padrões indicados pela USEPA (2003) para camadas de cobertura em aterros sanitários, garantindo assim que não haja percolação em excesso de água proveniente das chuvas, como também a emissão de gases poluentes a atmosfera.

## REFERÊNCIAS

ASTM, D5084-10. 2010. Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. American Society for Testing and Materials. Volume 04.08. Soil and Rock (I): D420 - D5876.

COSTA, M. D. Estudos de camadas de cobertura de aterros sanitários em colunas de solos. Recife. 2015. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco.

LOPES, R. L. Infiltração de água e emissão de metano em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos. Recife, 274p., 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco.

MACIEL, F. J. Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE. Recife. 173 p., 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco.

MARIANO, M. O. H. Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterro de resíduos sólido. Recife. 243p., 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, A. M. Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros. São Paulo. 2005. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

PINTO, S. Carlos. Curso Básico de Mecânica dos Solos, São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Evaporation landfill cover system. Fact sheet. 12 p. 2003.