

5 Função de permeabilidade

5.1. Introdução

Neste capítulo apresentam-se uma revisão bibliográfica, materiais e métodos e resultados e discussão da função de permeabilidade de RIP. A função de permeabilidade é obtida mediante o modelo Fredlund et al. (1994), baseado na permeabilidade saturada, e a curva de retenção estimada pelo modelo de Fredlund e Xing (1994). O ensaio de permeabilidade saturada foi realizado pelo método de parede rígida com carga variável para diferentes umidades de compactação. São apresentadas imagens de lupa binocular para RIP compactados a diferentes umidades.

5.2. Revisão bibliográfica

A permeabilidade saturada de RIPs foi determinada por vários autores como NCASI (1989), Zimmie et al. (1993), Zimmie and Mõo-Young (1995), Kraus et al (1997), Moo-Young and Zimmie (1997), Burnotte et al (2000), Kamon et al. (2001), Lo et al. (2002), entre outros. As principais conclusões dessas experiências estão resumidas a seguir:

- Segundo resultados de permeabilidade do RIP feitos por NCASI (1989), a diferença dos mesmos entre os métodos de parede rígida e flexível é pequena, para NCASI é mais recomendável o uso do método de parede rígida por que facilita uma maior quantidade significativa de ensaios.

- A permeabilidade é influenciada pela variação do teor de matéria orgânica no tempo. Zimmie e Mõo-Young (1995) apresenta resultados de amostras que apresentaram uma redução de permeabilidade de 10^{-7} cm/s a 4×10^{-8} cm/s, durante 18 meses, onde o teor de matéria orgânica também se reduziu de 50% a 36%. Outra experiência no monitoramento de campo indica que a permeabilidade decresce com o tempo (Audet et al., 2002).

- A permeabilidade é baixa em corpos de prova com umidades no lado úmido da curva de compactação, e alta em umidades próximas ou menores da umidade ótima, segundo as experiências de Zimmie et al. (1993), Zimmie e Mõo-Young (1995), Kraus et al (1997), Moo-Young e Zimmie (1997), Burnotte et al. (2000), Kamon et al. (2001), Lo et al. (2002). A variação da permeabilidade é consequência de diferentes macroestruturas entre lado seco e o úmido da umidade ótima (Kraus et al. 1997).

- A dessecação e trincas de contração afetam à estrutura do RIP aumentando sua permeabilidade (Moo-Young and Zimmie 1997, Kraus et al 1997, Kamon et al. 2002). Sugere-se utilizar o RIP na cobertura final de aterros sanitários com uma camada protetora para evitar a formação trincas no RIP (Mõo-Young e Zimmie 1997, Kamon et al. 2002c).

- A permeabilidade é influenciada pela compressibilidade, teor de matéria orgânica e o teor de umidade (Moo-Young e Zimmie 1997). Wang e Tseng (1993) apresentam uma tendência linear para relação entre o logaritmo da permeabilidade e o índice de vazios.

Segundo a literatura revisada não foi estimada a permeabilidade não saturada de RIPs, só se apresentam modelos baseados na curva de retenção.

Parent et al. (2007), recomendam considerar a variação volumétrica na determinação da curva de retenção, mesmo que a função de permeabilidade tenha sido desenvolvida para estruturas incompressíveis.

5.3. Materiais e métodos

O ensaio de permeabilidade saturada executou-se pelo método de carga variável e permêmetro de parede rígida seguindo a norma NBR 14545 (ABNT, 2000).

A morfologia de três amostras foi analisada com um microscópio estereoscópio (lupa binocular) da marca Tecnival, com auxílio de uma câmera digital vinculada a um software. A preparação das amostras a1, a2, b1, b2 é descrita a continuação:

Para uma determinada umidade gravimétrica, preparou-se uma amostra maior no molde de Proctor Normal e com ajuda de uma faca foi retirada uma

amostra de 1cmx1cm conservando a face resultante do procedimento de arrasamento (amostra tipo1: a1 e b1). A amostra maior foi retirada do molde de Proctor Normal com ajuda de um extrator de amostras (macaco hidráulico). No sentido longitudinal foi separada em duas metades, por tração, tratando de conservar a estrutura interna do RIP, isso é, sem o uso da faca. Conservando a face separada manualmente retirou-se com ajuda da faca uma amostra de 1cmx1cm (amostra tipo1: a2 e b2). Não foi possível preparar a amostra de umidade de 54% utilizando o procedimento anterior, pois a amostra desmoronava-se pela falta da matriz entre os grumos rígidos. Por isso, para tirar esta amostra teve-se que confinar as partes laterais e a base da mesma utilizando fita adesiva antes de levar à lupa binocular.

5.4. Resultados e discussão

5.4.1. Permeabilidade Saturada

Na Figura 5.1 observa-se que os pontos localizados na faixa úmida da curva de compactação apresentam valores de permeabilidade baixos (da ordem de 10^{-9} a 10^{-8} m/s). As permeabilidades mais baixas (da ordem 10^{-9} m/s) estão dentro da faixa de variação dos limites de consistência (78-172%). As permeabilidades mais elevadas (da ordem de 10^{-6} a 10^{-5} m/s) correspondem a umidades de compactação menores que 70%. Da mesma forma que em solos, pode-se concluir que a permeabilidade saturada está relacionada com o teor de umidade de compactação. Entretanto, o menor valor de permeabilidade está relacionado a um valor de umidade muito acima do correspondente à umidade ótima, no caso, aproximadamente de $w_{ot} + 70\%$.

Com o intuito de observar diferenças morfológicas e sua possível relação com a permeabilidade saturada, foram compactadas três amostras a diferentes umidades. Uma umidade próxima à umidade inicial (300%), outra na faixa plástica (170%) e finalmente outra no lado seco da curva de compactação (54%). A análise com lupa binocular das três amostras apresenta-se na Figura 5.2.

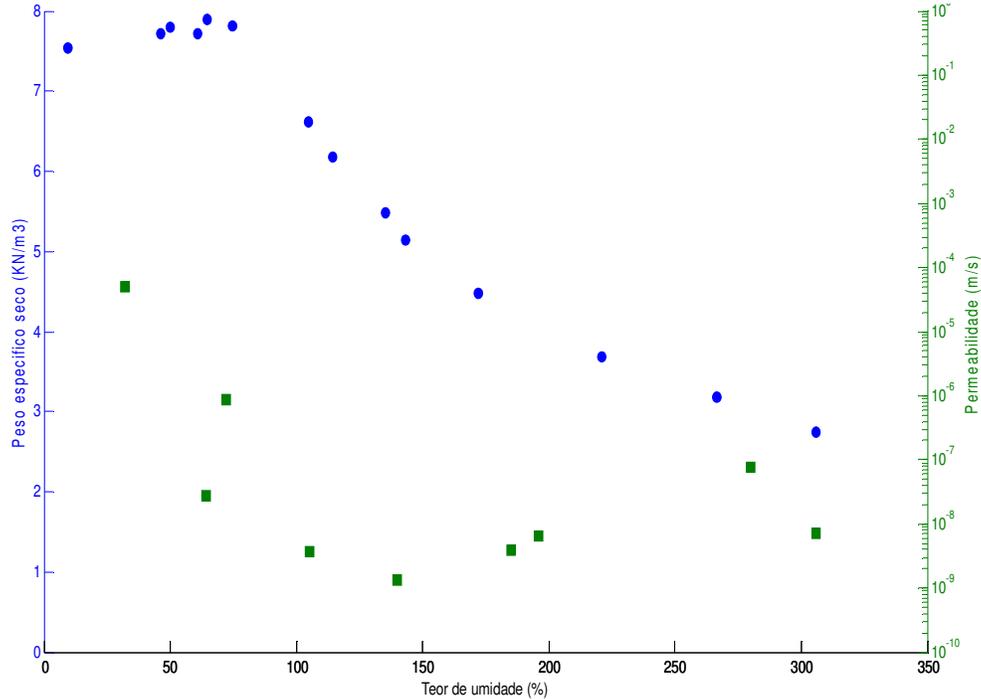


Figura 5.1 - Permeabilidade saturada para diferentes umidades de compactação com Proctor Normal.

As figuras, Figura 5.2(a2) e Figura 5.2(b2), não formam parte da análise da morfologia, pois elas tiveram um processo de arrasamento com uma régua metálica que formou uma superfície lisa. No entanto as Figura 5.2(a1), Figura 5.2(b1) e Figura 5.2 (c) correspondem à morfologia interior do RIP compactado. É dessas figuras que se realiza a análise da morfologia, cujas características encontradas são apresentadas na Tabela 5.1. Valores elevados de permeabilidade saturada correspondem a amostras de textura grossa, com presença de grumos e vazios de dimensões apreciáveis entre grumos (Figura 5.2c). Os valores de permeabilidade saturada mais baixos se relacionam às amostras de estrutura interna compacta e reduzida dimensão de vazios, por exemplo, a Figura 5.2b1.

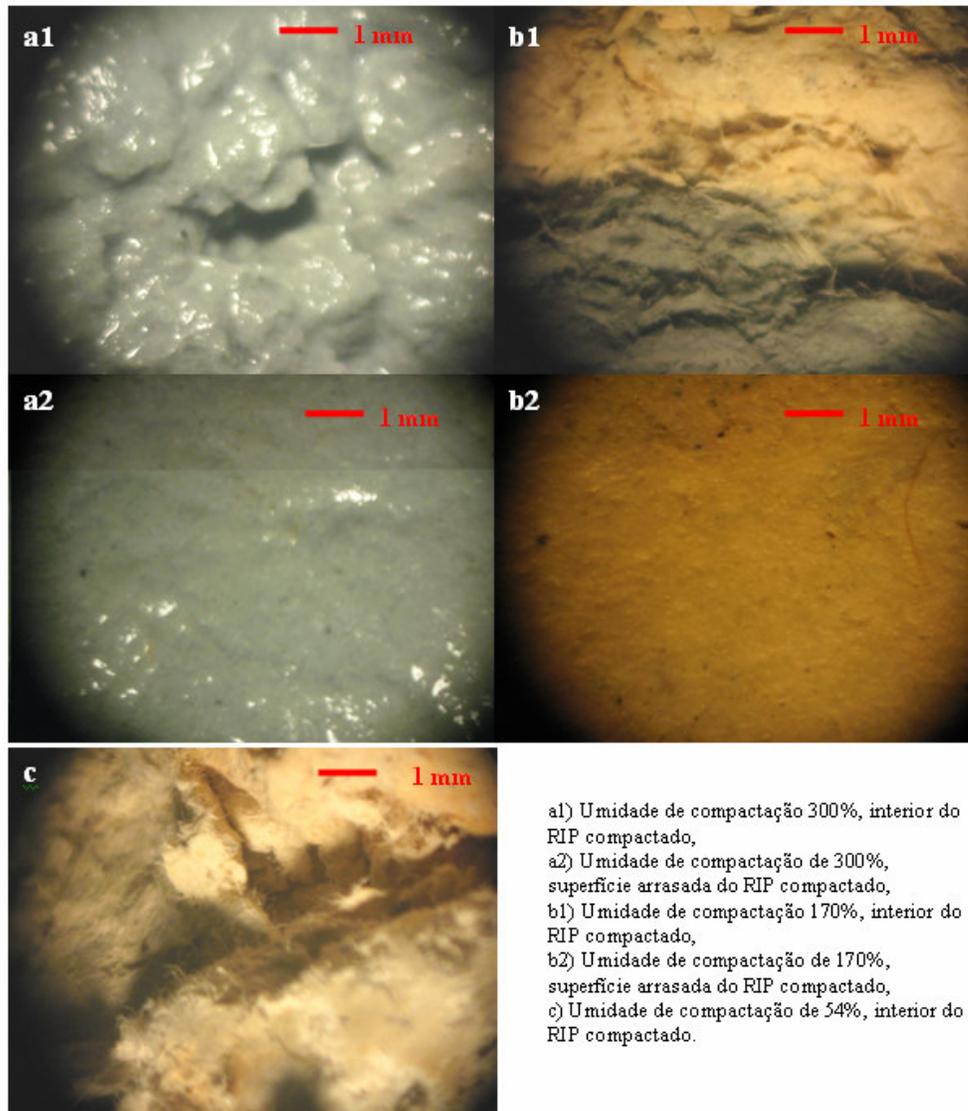


Figura 5.2 - Imagens de lupa binocular de amostras com diferente umidade de compactação.

Tabela 5.1 - Características morfológicas de três amostras de diferente umidade.

$w_o(\%)$	k_{sat} (m/s)	Características morfológicas
300	1.10^{-8}	Textura irregular, parte de textura fina e outra irregular, poucos grumos pequenos envolvidos na matriz úmida.
170	5.10^{-9}	Textura fina e compacta, poucas aberturas de pequenos de vazios.
54	4.10^{-6}	Textura “granular” (“grãos = grumos”). Vazios entre grumo e grumo da ordem de 1 mm . Similar morfologia após do ensaio de permeabilidade.

Na Figura 5.3 apresentam-se duas fotografias de moldes com face arrasada do corpo de prova tomada após do ensaio de permeabilidade saturada. Em ambas as amostras (a e b) observou-se similar forma e textura do início do ensaio.



Figura 5.3 Morfologia de amostras moldadas a diferentes umidades (a:195% e b:72%)

Foram observados recalques em amostras de elevada umidade como, por exemplo, a amostra de 306% de umidade de compactação (Figura 5.4a), com um recalque de 0,8 cm. Pelo contrário, verificou-se expansão em amostras compactadas com baixa umidade, por exemplo, a amostra de 72% de umidade (Figura 5.4b), que apresentou uma expansão de 0,5cm. O comprimento das amostras foi corrigido considerando o recalque ou expansão.



Figura 5.4 - Variações de volume no ensaio de permeabilidade: a) recalque b) expansão

5.4.2. Estimativa da função de permeabilidade

A função de permeabilidade foi estimada pelo modelo de Fredlund et al. (1994), baseado na curva de retenção de Fredlund e Xing (1994) e a permeabilidade saturada (k_{sat}). A curva de retenção foi elaborada considerando a variação volumétrica medida no ensaio de papel de filtro. Os parâmetros da curva de retenção e os valores da permeabilidade saturada para as umidades iniciais são apresentados na Tabela 5.2. Utilizando estes dados foram estimados três curvas de função de permeabilidade para as correspondentes umidades iniciais, que são apresentadas nas Figuras 5.5, 5.6 e 5.7.

Tabela 5.2 - Permeabilidade saturada e parâmetros da curva de retenção para diferentes umidades.

Umidade inicial w_o (%)	k_{sat} (m/s)	Curva de retenção pelo modelo de Fredlund e Xing (1994)			
		a	n	m	θ_{sat}
162	$3 \cdot 10^{-9}$	1821,2	1,58	1,98	0,75
125	$1,4 \cdot 10^{-9}$	1893,9	1,09	2,58	0,75
76	10^{-6}	12075	1,15	12,09	0,65

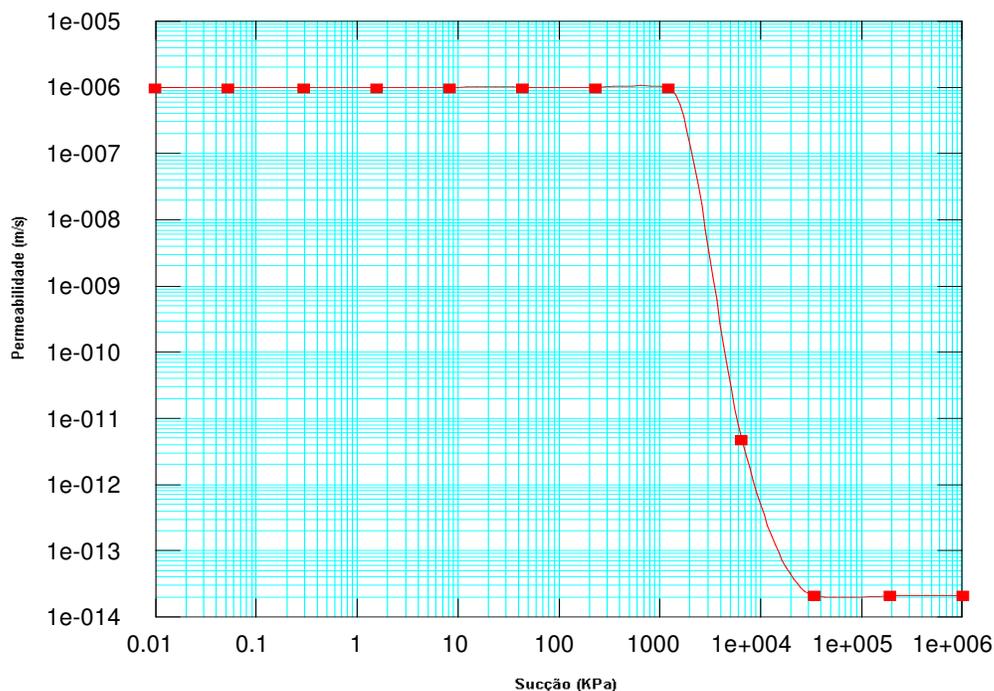


Figura 5.5 - Função de permeabilidade para a umidade de compactação de 76%

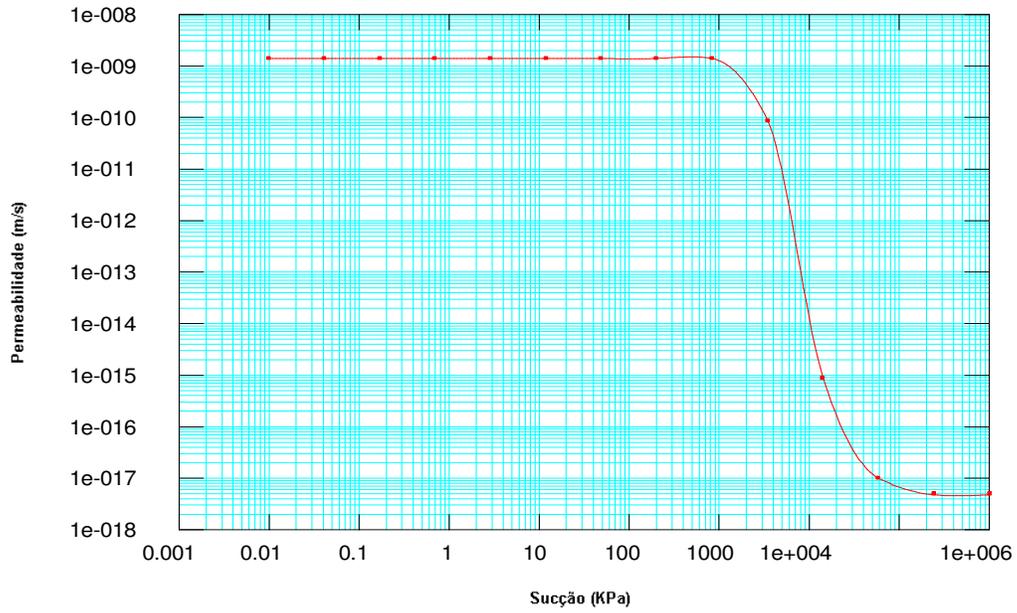


Figura 5.6 - Função de permeabilidade para a umidade de compactação de 125%

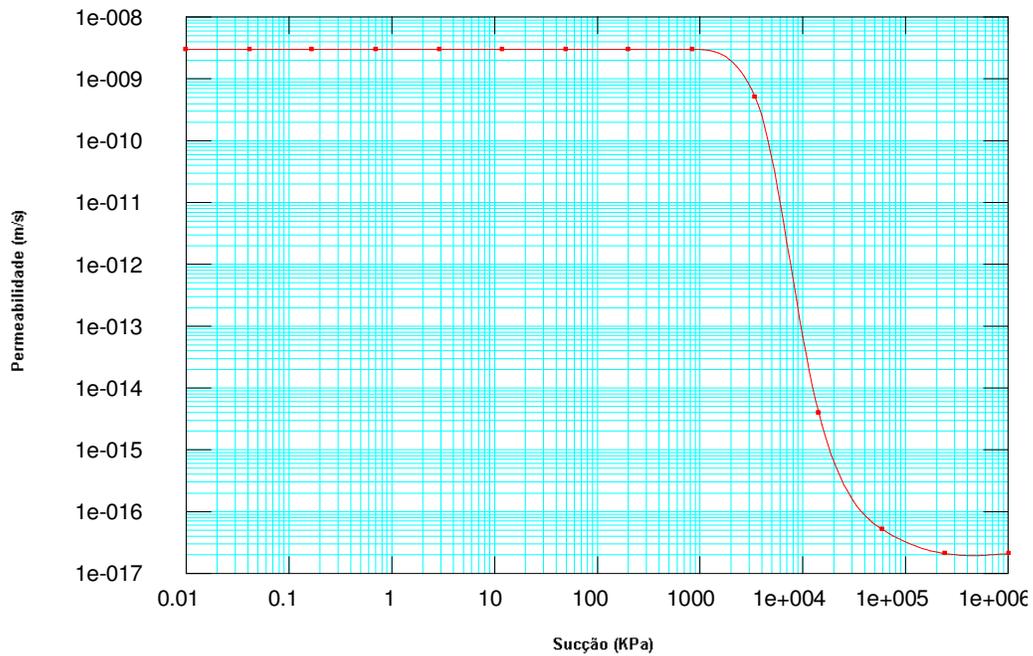


Figura 5.7 - Função de permeabilidade para a umidade de compactação de 162%.