



# DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO SOLO

## 1. Objetivo

Determinar o coeficiente de permeabilidade à carga constante e à carga variável, com percolação de água através do solo em regime de escoamento laminar. Na aplicação destes métodos podem ser utilizados corpos-de-prova talhados ou moldados, obtidos a partir de amostras indeformadas ou da compactação de amostras deformadas.

## 2. Definição

O coeficiente de permeabilidade é uma constante de proporcionalidade relacionada com a facilidade pela qual o fluxo passa através de um meio poroso. Os métodos utilizados pela sua determinação em laboratório se baseiam na lei de Darcy, expressa por:

$$v = k \cdot i$$

ou

$$q = k \cdot i \cdot A$$

Onde:

$v$  = Velocidade de fluxo (cm/s);

$q$  = quantidade de fluído por unidade de tempo (cm/s);

$k$  = Coeficiente de permeabilidade (unidade de velocidade);

$i$  = Gradiente hidráulico =  $h / L$ ;

O ensaio de carga constante é aplicado a solos granulares ou solos com alta permeabilidade. Quando a permeabilidade é muito baixa, a determinação pelo permeâmetro de carga constante é pouco precisa. Emprega-se, então, o de carga variável.

Para solos argilosos, é mais conveniente a determinação do coeficiente de permeabilidade durante o ensaio de adensamento.

O ensaio em laboratório não fornece um valor exato para o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) do solo por várias razões, tais como:

- O solo no permeâmetro nunca possui a mesma posição que se encontra no campo. Ela é sempre deturpada.
- A orientação da estratificação “in situ” para o fluxo d’água provavelmente não é reproduzida. Para areias, o que geralmente ocorre, é uma relação entre o fluxo horizontal e o vertical de 3 a 4 ou mais ( $k_h / k_v = 3$  ou mais).
- As condições de contorno do solo em campo não são as mesmas em laboratório. As paredes lisas do molde facilitam os caminhos de fluxo. Se o solo for verticalmente estratificado o fluxo se modificará em diferentes níveis, sendo esta situação de reprodução impossível em laboratório.
- A carga hidráulica  $h$  é sempre maior em laboratório, o que causa carregamento de material fino nos contornos da amostra, com possível redução do valor de  $k$ . No campo o gradiente hidráulico é da ordem de 0,5 a 1,5 enquanto que em laboratório chega a 5 ou mais.
- O efeito do ar “entrapped” na amostra de laboratório será maior, mesmo para pequenas bolhas de ar de uma pequena amostra.



- Muitos também são fatores dos quais é dependente o coeficiente de permeabilidade de uma massa de solo homogênea e isotrópica:
- Viscosidade do fluido (geralmente água). Quando a temperatura aumenta a viscosidade diminui e o  $k$  aumenta, ou seja, o fluxo aumenta.
- Índices de vazios do solo ( $e$ ). Várias tentativas foram feitas para relacionar o coeficiente de permeabilidade do solo com índices de vazios diferentes para o mesmo solo. Entretanto, as formulas encontradas devem ser utilizadas com bastante cuidado.

$$K = f(e)$$

- O Tamanho e a forma dos grãos do solo.
- Grau de saturação do solo. Quanto maior a saturação, maior será  $k$ . O pedregulho tem um  $k$  elevado, e a argila um  $k$  bem baixo.

### 3. Referências

- NBR 13292 – ABNT – “Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante”.
- NBR 14545 – ABNT – “Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável”.
- NBR 6457 – ABNT – “Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização”.

### 4. Equipamentos e acessórios

- Permeâmetro;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105° e 110° C;
- Balanças que permitam pesar de 1000 g e precisão de 0,01 g;
- Torninho de talhagem;
- Termômetro, com precisão de 0,1° C;
- Água desaerada;
- Cápsulas metálicas;
- Paquímetro;
- Régua de aço biselada;
- Cronômetro;
- Proveta graduada;
- Tubos manométricos (com escala graduada para medição das cargas hidráulicas);
- Parafina;
- Betonita.

## 5. Procedimento

### 5.1 – Preparação do Corpo de Prova

- a)** Retira-se uma amostra indeformada (bloco ou tubo), um prisma com dimensões aproximadas 70 x 70 x 100 mm com o eixo vertical no sentido em que se quer medir a permeabilidade.
- b)** Coloca-se este prisma de solo em um berço, alisa-se a base e o topo da amostra, até que se obtenham superfícies planas e paralelas.
- c)** Coloca-se a amostra assim preparada no torninho de talhagem e alisa-se a superfície lateral até que se obtenha um cilindro com as dimensões de 50 mm de diâmetro e 80 mm de altura.
- d)** Durante o processo de talhagem do corpo de prova, retira-se uma quantidade de material necessário à determinação de pelo menos três teores de umidade do solo.
- e)** Utilizando-se o paquímetro se determinam, em posições diferentes, três medidas de diâmetro e de altura do corpo de prova.
- f)** Para amostras deformadas, ou seja, corpo de prova compactado em laboratório, os itens a, b, c, d, e, não são necessários.
- g)** Determina-se a massa do corpo de prova.
- h)** Coloca-se parafina na superfície lateral do corpo, a fim de se evitar percolação d'água radialmente.
- i)** Coloca-se na base do permeâmetro, uma camada de material granular, de granulometria uniforme e permeabilidade superior à do corpo de prova, com espessura da ordem de 20 mm. Ela servirá de apoio ao corpo de prova e à camada drenante a jusante.
- j)** Apóia-se o corpo de prova sobre a camada de material granular, tomando cuidado para que ele fique na vertical. Coloca-se a parafina não muito quente a sua volta, até a altura de  $\frac{1}{4}$  do corpo de prova.
- k)** Coloca-se uma “pasta” de betonita envolvendo o corpo de prova até  $\frac{3}{4}$  de sua altura.
- l)** Coloca-se parafina até completar a altura do corpo de prova.
- m)** Coloca-se sobre o corpo de prova uma camada de material granular, com uma espessura de 20 mm, a fim de evitar segregação do solo e o carreamento de partículas e também garantir que o fluxo de água seja laminar.
- n)** A saturação do corpo de prova deverá ser feita por processos de circulação d'água ou por saturação por compressão.

### 5.2 – Ensaio a Carga Constante

Para a realização do ensaio de permeabilidade a carga constante, segue-se o esquema abaixo:

- a) Determina-se o valor da carga que deverá permanecer constante durante o ensaio, que é a distância de níveis d'água de montante à jusante.
- b) Permite-se que a água percole através do corpo de prova, durante um certo tempo.
- c) Recolhe-se a água que percola através do corpo de prova, até um volume da ordem de 100 cm<sup>3</sup>, e determina-se com o auxílio do cronômetro o tempo necessário para este preenchimento.
- d) Determina-se a massa de água percolada.
- e) Determina-se a temperatura da água utilizada no ensaio.
- f) Repete-se do item *cc*) até o item e), pelo menos 5 vezes.



- g) Após desmontagem do corpo de prova, retiram-se amostras do seu interior (em posições diferentes) para a determinação de pelo menos 3 teores de umidade.

### 5.3 – Ensaio a Carga Variável

Este ensaio deverá ser realizado de acordo com o esquema abaixo:

- a) Determina-se o diâmetro interno do tubo de carga.
- b) Permite-se que a água percole pelo corpo de prova durante algum tempo. Após saturação do corpo de prova, inicia-se o ensaio.
- c) Realiza-se uma leitura inicial na escala do tubo manométrico ( $h_i$ ).
- d) Faz-se variar a carga hidráulica, e realiza-se a contagem de tempo com o auxílio do cronômetro, a partir da leitura inicial do tubo de carga.
- e) Quando o volume d'água (menisco) atingir um plano da marca inferior no tubo de carga, para-se a contagem do tempo e realiza-se uma leitura final ( $h_f$ ).
- f) Repete-se do item cc) até o item e), pelo menos 3 vezes.
- g) Após desmontagem do corpo de prova, retiram-se amostras do seu interior (em posições diferentes) para a determinação de pelo menos 3 teores de umidade.

## 6. Cálculos e Resultados

### 6.1 – Ensaio a Carga Constante

- Calcula-se o diâmetro e a altura média do corpo de prova.
- Calcula-se a área da secção e o volume do corpo de prova.
- Com a massa do corpo de prova obtida anteriormente e o volume, calcula-se a massa específica do solo.
- Calcula-se o teor de umidade do corpo de prova antes do ensaio.
- Calcula-se a massa específica seca, índice de vazios e grau de saturação do corpo de prova.
- O coeficiente de permeabilidade é calculado pela seguinte equação:

$$k = \frac{Q \cdot L}{h \cdot A \cdot t}$$

Onde:

$k$  = Coeficiente de permeabilidade (cm/s);

$Q$  = Volume d'água observado na proveta no tempo  $t$  (cm<sup>3</sup>);

$h$  = Altura da carga hidráulica, constante durante o ensaio (cm);

$A$  = Área da secção do corpo de prova (cm<sup>2</sup>);  $L$  = Altura do corpo de prova (cm);

$t$  = Tempo decorrido para a água percolar no volume  $Q$  (s).



## 6.2 – Ensaio a Carga Variável

- Calcula-se a área da secção e o volume do corpo de prova.
- Calculam-se os índices físicos do corpo de prova antes do ensaio.
- O coeficiente de permeabilidade é calculado pela seguinte equação:

$$k = 2,3 \times \frac{a \times L}{A \times t} \times \log \frac{h_i}{h_f}$$

Onde:

$k$  = Coeficiente de permeabilidade (cm/s);

$a$  = Área interna do tubo de carga (cm<sup>2</sup>);

$h_i$  = Altura da carga no instante inicial (cm);

$h_f$  = Altura da carga no instante final (cm);

$L$  = Altura do corpo de prova (cm);

$A$  = Área da secção do corpo de prova (cm<sup>2</sup>);

$t$  = Tempo decorrido para a água percolar no corpo de prova, na variação da carga, (s).

Calculando o coeficiente de permeabilidade na temperatura em que é realizado o ensaio, o mesmo deve ser calculado a temperatura de 20° C, através da relação:

$$k_{20} = k_T \cdot \frac{\eta_T}{\eta_{20}}$$

Onde:

$k_{20}$  = Coeficiente de permeabilidade a 20° C;

$k_T$  = Coeficiente de permeabilidade a temperatura T em que é realizado o ensaio;

$\eta_{20}$  = Viscosidade do fluido na temperatura de 20° C, que corresponde a 0,01005;

$\eta_T$  = Viscosidade do fluido na temperatura T.