

# **DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE ATRAVÉS DE MÉTODOS INDIRETOS EM AMOSTRAS DE AREIAS DE DUNA DA CIDADE DE FORTALEZA/CE**

Lívia Ingrid O. Costa; Instituto Federal do Ceará, liviaengenhariams@gmail.com.  
Luan F. V. Rodrigues; Instituto Federal do Ceará, luanfontenelle@gmail.com.  
Teresa R. L. Farias; Instituto Federal do Ceará, teresafarias@ifce.edu.br  
Marcos Fábio P. Aguiar; Instituto Federal do Ceará, marcosfpa@gmail.com

## **RESUMO**

A condutividade hidráulica de um solo pode ser determinada de duas formas, uma direta, com o emprego de ensaios de campo ou de laboratório; e outra indireta, onde essa condutividade é relacionada com propriedades do solo. Neste artigo buscou-se determinar o coeficiente de permeabilidade de nove amostras deformadas de areias através de métodos indiretos com a aplicação de modelos semiempíricos, onde para isso são utilizados dados granulométricos e de índice de vazios do solo. As amostras foram coletadas na região litorânea da cidade de Fortaleza-CE, no bairro De Lurdes, na praia do Futuro. Realizou-se ensaios em laboratório de granulometria e índice de vazios. De posse dos valores encontrados, esses foram introduzidos em três expressões semiempíricas. Cada uma desenvolvida por um pesquisador, foram estas: Hazen (1892, 1911), Alyamani e Sen (1993) e Chapuis (2004). Concluiu-se que as ordens de grandeza encontradas se diferem significativamente, no entanto todas estão dentro do intervalo correspondente às areias medias e finas, encontrado na literatura.

**Palavras-chave:** Areia de Duna. Condutividade Hidráulica. Expressões Semiempíricas. Métodos Indiretos.

## **DETERMINATION OF PERMEABILITY COEFFICIENT THROUGH INDIRECT METHODS IN SAMPLES SANDS OF DUNA OF THE CITY OF FORTALEZA / CE**

## **ABSTRACT**

The hydraulic conductivity of a soil can be determined in two ways, a direct one, using field or laboratory tests; and an indirect one, where this conductivity is related to the properties of the soil. In this paper, the permeability of nine samples of deformed samples was determined through indirect schemes with semi-intensive models, where the soil size and soil void index data were obtained. The species were collected in the coastal region of the city of Fortaleza-CE, in the district of Lurdes, on Futuro beach. The laboratory tests of granulometry and voids index were carried out. With the values found, they were introduced into three semi-empirical expressions. Each one was developed by a researcher, these being: Hazen (1892, 1911), Alyamani and Sen (1993) and Chapuis (2004). The proofs of greatness are defined as significant, however, all are inserted in the same location in the media and in the fines found in the literature.

**Keywords:** Sand of Dune. Hydraulic Conductivity. Semiempirical Expressions. Indirect Methods.

# 1. INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica do solo pode ser definida como a facilidade com que a água se movimenta por entre seus poros. Henry Darcy, em 1856, foi o primeiro a introduzir e utilizar a primeira equação de permeabilidade, de modo a quantificar o movimento da água no solo.

O coeficiente de permeabilidade de um solo pode ser determinado de forma direta ou indireta. Os métodos diretos são aplicados com o emprego de ensaios de campo ou de laboratório; essa condutividade também pode ser determinada de forma indireta, relacionando algumas propriedades do solo em modelos empíricos pré-determinados.

Neste estudo fez-se uma breve compilação com os dados obtidos através da aplicação de três expressões semiempíricas, com o objetivo de determinar, de forma indireta e expedita o coeficiente de permeabilidade a partir da granulometria e do índice de vazios das areias coletadas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Coeficiente de Permeabilidade

Beutler *et al* (2001), afirmam que a permeabilidade de um solo depende, principalmente, da quantidade, da continuidade e do tamanho de poros, sendo responsáveis pela diminuição da permeabilidade do solo à água, a compactação e a descontinuidade dos poros. Caputo (1981) afirma que a permeabilidade varia para os diferentes tipos de solo, e para um mesmo solo, esta depende principalmente da temperatura do fluido e do índice de vazios presentes.

O coeficiente de permeabilidade de um solo pode variar dependendo das condições em que o solo se apresenta. Um dos fatores que influenciam diretamente nesse parâmetro, é a viscosidade da água. Gerscovich e Guedes (2004) afirmam que a interferência do líquido que percola é diretamente ligada a sua viscosidade, ou seja, quanto menor a viscosidade mais facilmente a água escoar pelos vazios do solo. Outros fatores são o grau de saturação do solo e a temperatura da água que atravessa a massa de solo.

A Figura 1 apresenta os intervalos do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) em cm/s, segundo Caputo (1981, apud Casagrande e Fadum, 1940).

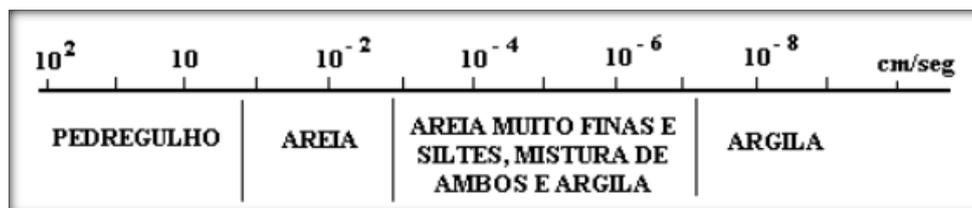


Figura 1 – Intervalos de coeficiente de permeabilidade para diferentes solos. (Caputo 1981, apud Casagrande e Fadum, 1940)

## 2.2. Expressões Semiempíricas

O coeficiente de permeabilidade pode ser determinado de forma indireta utilizando-se modelos desenvolvidos que empregam determinadas propriedades dos solos. De acordo com Araújo Santos *et al* (2016), apesar de variarem uma das outras, todas as expressões selecionadas para esse trabalho, relacionam a permeabilidade com a granulometria do solo, especificamente com o diâmetro efetivo do solo ( $D_{10}$ ).

### 2.2.1. Modelo de Hazen (1892, 1911)

Simões (2010) afirma que Hazen (1892, 1911) foi pioneiro ao propor uma fórmula empírica baseada no diâmetro dos sedimentos, de modo a determinar a condutividade hidráulica aplicada em areias saturadas.

De acordo com Araújo Santos *et al* (2016), a expressão criada por Hazen, é a mais divulgada. Esta é definida como a função direta entre o quadrado do diâmetro efetivo do solo ( $D_{10}$ , em cm) pela constante de Hazen (Equação 1).

$$k = C_H \times (D_{10})^2 \quad (1)$$

Em que:

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

$C_H$  = coeficiente que varia de 1 a 1000 (empregado 100);

$D_{10}$  = diâmetro efetivo do solo (cm).

O valor para  $C_H$ , segundo Araújo Santos *et al* (2016), varia de 1 a 1000 e habitualmente adota-se 100, e utilizou-se 100 nesse trabalho.

### 2.2.2. Modelo de Alyamani e Sen (1993)

Este método também depende da análise granulométrica, pois precisa dos valores de  $D_{10}$  e  $D_{50}$  (diâmetro médio das partículas), além da variável  $I_0$ , cuja é a linha formada pela intersecção de  $D_{10}$  e  $D_{50}$  no eixo das abcissas, em mm. Conforme exposto por Araújo Santos *et al* (2016), este ponto, assume valores próximos de zero ou de  $D_{10}$ , reflete sobre o quão fino é o solo, onde quanto maior for  $I_0$ , mais grosso é o solo, conseqüentemente mais permeável. Diante disso, pode-se ver a Equação 2 desenvolvida por Alyamani e Sen.

$$k = 1,505 \cdot (I_0 + 0,025 \cdot (D_{50} - D_{10}))^2 \quad (2)$$

Em que:

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

$D_{10}$  = diâmetro efetivo do solo (cm).

$D_{50}$  = diâmetro médio do solo (cm).

$I_0$  – Intersecção (mm) formada ligando-se  $D_{50}$  e  $D_{10}$  e projetando-se no eixo do diâmetro das partículas (Figura 2).

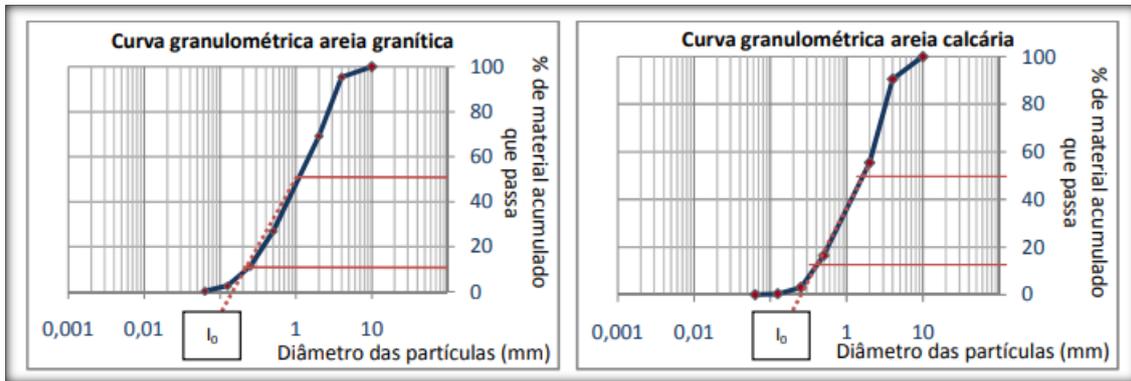


Figura 2 – Determinação do  $I_0$  do modelo de Alyamani e Sem (Carvalho, 2008).

O índice de vazios foi determinado em função do peso específico das partículas do solo  $\gamma_g$  e o peso específico do solo seco  $\gamma_s$  (aplicado o valor máximo obtido no ensaio de compactação na energia normal) menos 1 (Equação 3).

$$e = \frac{\gamma_g}{\gamma_s} - 1 \quad (3)$$

### 2.2.3. Modelo de Chapuis (2004)

Segundo Araújo Santos *et al* (2016), a expressão de Chapuis é resultado da observação que a qualidade dos dados obtidos pelo modelo de Hazen e as estimativas fornecidas pela aplicação do ábaco de NAVFAC (Navfac, 1986) eram muito aleatórias. O autor completa, ainda, baseando-se que o coeficiente de permeabilidade, depende da relação do índice de vazios  $e^3 / (1 + e)$  e do diâmetro efetivo, além de uma relação experimental entre  $D_{10}^2$  e  $e^3 / (1 + e)$ , dando origem a Equação 4.

$$k = 2,4622 \left( D_{10}^2 \times \frac{e^3}{1+e} \right)^{0.7825} \quad (4)$$

Em que:

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

$D_{10}$  = diâmetro efetivo do solo (cm);

$e$  = índice de vazios.

Araújo Santos *et al* (2016, *apud* Chapuis, 2004) comenta que na validação deste modelo, utilizou-se resultados publicados por vários autores, onde os dados obtidos eram de diferentes areias que apresentam características como: i) intervalo de 0,16 mm e 1,98 mm para diâmetros efetivos; ii) coeficientes de uniformidade menores que 1,8 até 6,0 e iii) variação de índices de vazios de 0,348 a 0,824.

### 3. METODOLOGIA APLICADA

Foram coletadas nove amostras deformadas, no bairro De Lurdes, nas adjacências da praia do Futuro, a área está situada entre as coordenadas geográficas 3°44'51,1" de latitude sul e 38°27'39,0" de longitude oeste (-3.747811 e -38.460821). A Figura 3 mostra o local onde foram coletadas as amostras utilizadas nesse estudo.



Figura 3 – Imagem da área de coleta das amostras (Google Maps, 2018)

Após serem coletadas, as amostras foram, inicialmente identificadas, tátil-visual, como areia de duna. Estas foram levadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos e Asfalto (LMSA) do IFCE, colocadas para secagem ao ar e posteriormente serem executados os ensaios de caracterização.

Foram realizados ensaios de granulometria por peneiramento, massa específica dos grãos, índice de vazios máximos e mínimos, além de compactação na energia normal, em cilindro *Proctor* grande, com 5 camadas e 12 golpes por camada. Com isso, traçaram-se curvas granulométricas a fim de determinar os parâmetros, como diâmetro efetivo e médio, além de índice de vazios, necessários para aplicação dos modelos empíricos de determinação dos coeficientes de permeabilidade.

Os modelos escolhidos foram três, onde dois dependem apenas do diâmetro efetivo e/ou diâmetro médio e o outro além da granulometria, depende do índice de vazios do solo. Estas foram escolhidas pois, segundo Araújo Santos *et al* (2016), são mais comumente aceitas ou mais recentes ou

se diferem das demais. Os modelos aplicados foram Hazen (1892, 1911), Alyamani e Sen (1993) e Chapuis (2004), já supracitados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Caracterização das Areias

A Figura 3 mostra as curvas granulométricas de todas as amostras analisadas nesse estudo obtidas com o ensaio de granulometria por peneiramento e a Tabela 1 apresenta os valores de densidade real dos grãos, encontradas pelo método do picnômetro, das areias.

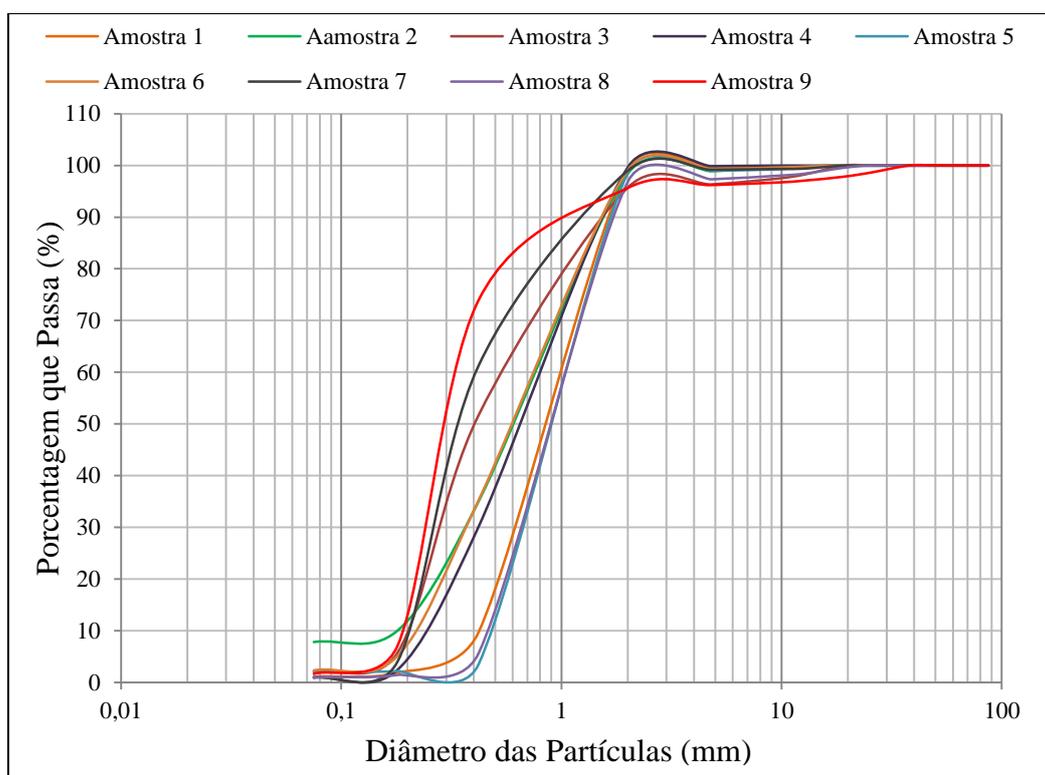


Figura 4 – Curvas granulométricas das amostras.

Tabela 1 – Densidade real das amostras coletadas

Densidade Real dos Grãos (g/cm <sup>3</sup> )								
Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7	Amostra 8	Amostra 9
2,656	2,591	2,663	2,565	2,619	2,533	2,642	2,609	2,580

Diante dos dados granulométricos encontrados, pôde-se verificar que, de forma geral, trata-se de uma areia média mal graduada com pouca presença de finos.

### 3.2. Análise do Coeficiente de Permeabilidade

A Tabela 2 apresenta os coeficientes de permeabilidade encontrados com a aplicação das três expressões semiempíricas

Tabela 2 – Dados dos coeficientes de permeabilidade obtidos em cada método

	Coeficiente de Permeabilidade $K$ (cm/s)		
	Hazen (1892, 1911)	Alyamani e Sen (1993)	Chapuis (2004)
Amostra 1	$1,76 \times 10^{-1}$	$2,06 \times 10^{-3}$	$5,30 \times 10^{-3}$
Amostra 2	$3,24 \times 10^{-2}$	$3,41 \times 10^{-4}$	$9,51 \times 10^{-4}$
Amostra 3	$4,00 \times 10^{-2}$	$5,15 \times 10^{-4}$	$1,52 \times 10^{-3}$
Amostra 4	$6,25 \times 10^{-2}$	$6,64 \times 10^{-4}$	$1,78 \times 10^{-3}$
Amostra 5	$2,40 \times 10^{-1}$	$2,53 \times 10^{-3}$	$5,10 \times 10^{-3}$
Amostra 6	$4,84 \times 10^{-2}$	$5,40 \times 10^{-4}$	$1,20 \times 10^{-3}$
Amostra 7	$4,00 \times 10^{-2}$	$5,65 \times 10^{-4}$	$1,27 \times 10^{-3}$
Amostra 8	$2,30 \times 10^{-1}$	$2,54 \times 10^{-3}$	$5,03 \times 10^{-3}$
Amostra 9	$9,00 \times 10^{-2}$	$4,73 \times 10^{-4}$	$1,78 \times 10^{-3}$

Os valores encontrados apresentaram diferentes ordens de grandeza entre si. No entanto, os coeficientes obtidos pelos métodos de Alyamani e Sen (1993) e Chapuis (2004) ficaram próximos um do outro. Já os valores encontrados pelo modelo de Hazen (1892, 1911) mostrou maior diferença em relação aos outros dois. Entretanto, a ordem de grandeza encontrada nesse estudo com uso do modelo de Hazen, é a mesma alcançada por Carvalho (2008) em seus estudos com areia granítica e calcária. Ante o exposto na Figura 4, pode-se observar que o intervalo de  $k$  para as amostras de areia média estudadas é de  $10^{-7}$  a  $10^{-1}$  em cm/s, aproximadamente.

### 4. CONCLUSÃO

Mesmo consideradas por alguns autores como modelos que apresentam limitações e incertezas, os valores de coeficiente de permeabilidade encontrados ( $10^{-4}$  a  $10^{-1}$ ) estão dentro do intervalo definido por Caputo 1981, *apud* Casagrande e Fadum, 1940, já citados anteriormente. Entretanto, os coeficientes obtidos através de Hazen (1892, 1911) apresentou valores maiores em relação aos outros modelos.

Diante dos resultados expostos, pode-se concluir que a aplicação de expressões semiempíricas de modo a estimar o coeficiente de permeabilidade mostra que, nessa avaliação de comparação com a literatura e sem a execução de ensaios laboratoriais de permeabilidade, nenhuma das três expressões empregadas produziu estimativas perfeitas entre si. É importante ressaltar que, ainda, faz-se necessário a realização de ensaios em laboratório a fim de comparar os resultados encontrados com emprego de métodos diretos e indiretos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alyamani, M. S. e Sen, Z. (1993). Determination of hydraulic conductivity from complete grain-size distribution curves. *Ground Water*, Vol. 31, No. 4, pp. 551-555.

Araújo Santos, L. M., Coelho, P. A., & Taborda, D. M. (2016). Influência Da Variabilidade Das Propriedades Físicas Da Areia De Coimbra Na Sua Permeabilidade. Influence of The Variability Of Coimbra Sand Index Properties On Its Permeability.

Beutler, A. N., Silva, M. L. N., Curi, N., Ferreira, M. M., Cruz, J. C., & Pereira Filho, I. A. (2001). Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25(1).

Caputo, Horemo Pinto. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 5ª edição. Ver. E ampliada. Rio de Janeiro. Livros técnicos e científicos, 1981.

Carvalho, G. (2008). Determinação preliminar de parâmetros construtivos de barreiras reactivas permeáveis com recurso a colunas para remediação de crómio com ferro zerovalente. Tese de doutorado - Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto).

Chapuis, R. P. (2004). Predicting the saturated hydraulic conductivity of sand and gravel using effective diameter and void ratio. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 41, No. 5, pp. 787-795.

Gerscovich, D. M. S., & Guedes, M. N. (2004). Avaliação das relações de condutividade hidráulica em solos brasileiros não saturados. *sat*, 1(3), 2.

Google Maps. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/maps/@-3.7478056,38.4630097,687m/data=!3m1!1e3>> Acesso em: 29 nov. 2018.

Hazen, A. (1892). Some physical properties of sands and gravels, with special reference to their use in filtration. 24<sup>th</sup> Annual Report. Massachusetts State Board of Health, Boston.

Hazen, A. (1911). Discussion of 'Dams on sand foundations' by A. C. Koenig. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 73, pp. 199-203.

NAVFAC (1986). DM-7.01 Soil Mechanics, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C, 389 p.

SIMÕES, M. (2010). Estimativa da condutividade hidráulica pela curva de distribuição granulométrica do aquífero plio-quaternário da bacia do Baixo Tejo, em Belverde (Portugal). *Geociências (São Paulo)*, 29(3), 375-387.