

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO PROCESSO DE INFILTRAÇÃO EM ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Jhonathan Yoshiaki Namba (PIC/UEM), Ed Pinheiro Lima (Orientador), e-mail: Eplima2@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia/Maringá, PR.

Engenharias I

Palavras-chave: Lei de Darcy, Permeabilidade do solo, Solo não saturado

Resumo

Ensaio de infiltração são realizados em solos saturados e não saturados com o objetivo de se determinar o coeficiente de permeabilidade k . Tal coeficiente é um fator importante do solo, já que sua ordem de grandeza permite caracterizar a influência da estrutura de cada tipo de solo no escoamento da água. Por meio da modelagem matemática, é possível, representando as características físicas de um ensaio de infiltração, compreender o escoamento da água no solo e, assim, prever o movimento da água. O movimento da água no solo pode ser descrito pela Lei de Darcy, para solos saturados, e pela Lei de Richards, para solos não saturados. Neste trabalho, o software de simulação multifísica Comsol foi usado para representar um ensaio de infiltração em solo não saturado. Para isto, as condições de contorno do ensaio em campo e a carga hidráulica foram representadas por fórmulas. Para a simulação, foram usados os dados de um ensaio de infiltração em solo não saturado. Após construída a simulação, o coeficiente k foi obtido através de uma retro análise, em que se usou o tempo de estabilização e a variação da carga hidráulica medidos em campo, tendo-se obtidos valores de vazão após 9 segundos com erro relativo máximo de 7,70% entre ensaio e simulação.

Introdução

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade k , na maior parte das vezes, faz-se um ensaio de campo ou de laboratório que demanda recursos financeiros e tempo de execução. Desta forma, tendo-se o conhecimento das condições de contorno de um ensaio, é possível simulá-lo para se ter uma previsão do comportamento em campo e, além disso, pode-se obter um coeficiente de permeabilidade de forma aproximada.

O COMSOL é um programa de simulação multifísica que visa representar o mais fiel possível uma determinada situação real, desde que fornecidas as propriedades físicas e as condições de contorno da situação real. Assim, o software pode ser usado para detalhamento de escoamento em meio poroso, permitindo a visualização do escoamento da água e

também um melhor entendimento do comportamento da água em um ensaio real. Desta forma, o objetivo deste trabalho é a representação de um ensaio de permeabilidade em solo não saturado no Comsol. Para isto, serão usados os dados de um ensaio em solo não saturado realizado por Pizoli (2017), em que o autor fez a verificação dos coeficientes de permeabilidade “k” obtidos em campo e em laboratório. Com a criação da simulação e com a flexibilidade das condições de contorno disponíveis no Comsol, pretende-se ver o quanto essa ferramenta pode ser usada na previsão do coeficiente de permeabilidade de um solo e na visualização da rede de fluxo, baseando-se nas condições de contorno do experimento real.

Materiais e métodos

O furo usado no ensaio de Pizoli (2017) tem diâmetro de 10 cm, comprimento impermeável de 60 cm do nível do solo e profundidade total de 2 m, sendo, portanto, 1,40 m de comprimento permeável. As características geométricas foram usadas para criar o domínio de escoamento no Comsol.

Para a simulação no Comsol, foi usado o modelo de Darcy, que é para solos saturados e, como o ensaio de Pizoli (2017) foi feito em solo não saturado, também se usou o modelo de Richards para todo o maciço acima do nível d'água, que estava localizado a -15,7 m, e considerou-se o solo abaixo do lençol freático totalmente saturado, onde, portanto, a Lei de Darcy se aplica sem ressalvas.

A determinação do coeficiente de permeabilidade foi feita por meio de retro análise dos ensaios de infiltração em campo de Pizoli (2017), em que as características de execução, importantes para a criação da simulação, são descritos nos itens a seguir.

Para as condições de contorno, foi estabelecida a condição em relação ao nível d'água e a camada permeável, como mostra a Figura 1.

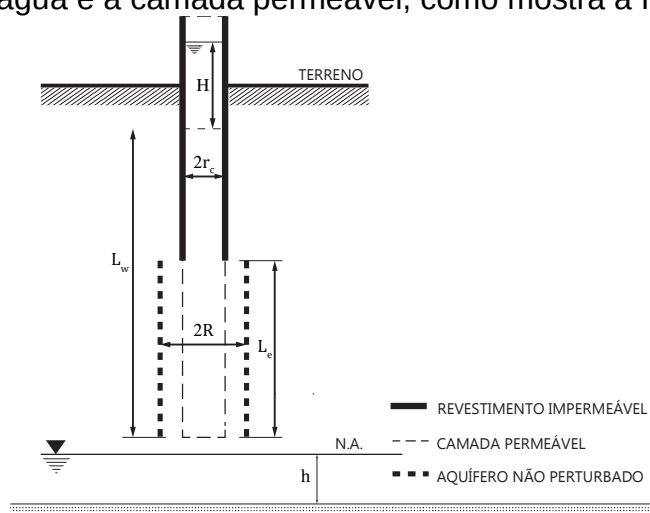


Figura 1: Condições de contorno

Foram descritas na região simulada as fronteiras permeáveis e impermeáveis, ou seja, o comprimento do revestimento impermeável e a camada permeável no furo. Considerou-se na parte superior do solo em contato com o ar como pressão atmosférica e na parte em que diz respeito à continuidade do maciço, criou-se uma condição que simula as pressões hidrostáticas do solo, ou seja, a condição de gradiente nulo. Para a representação da saturação do solo, foram criadas duas camadas, uma, não saturada, com o modelo de Richards, e a outra, representando o lençol freático, modelada pelo modelo de Darcy.

Para representar a carga hidráulica e sua variação com o tempo como observado no ensaio, foi obtida uma equação equivalente, resolvendo as equações de Gilg e Gavard adaptada (Equação 1) para a carga hidráulica, a mesma usada por Pizoli (2017), em que 2,8 é a altura total no início do ensaio. (GILG e GAVARD, M, 1957).

$$H = 2.8 - \frac{(8 * h_o * (2 * R * L)^{\frac{1}{2}} * k_{solo} * t)}{(2 * R_m)^2} \quad (\text{Equação 1})$$

R e R_m: Raio do furo sem revestimento (0,05 m) e raio do furo com revestimento (0,047 m).

L: Altura não revestida do furo (1,4 m).

K: Coeficiente de permeabilidade estimado em campo ($9,67 \cdot 10^{-6}$ m/s).

h_o: Altura do centro da parte revestida até o nível d'água inicial (2,1 m).

t: Tempo variando.

Foram então criados cenários para a comparação dos resultados práticos de Pizoli (2017) conforme a variação da carga hidráulica com o tempo.

Resultados e Discussão

O tempo de estabilização da vazão é definido em função da permeabilidade do solo e do seu grau de saturação. Assim, em ensaios de infiltração, até que a água preencha todos os vazios do solo, expulsando o ar, faz-se necessário o acompanhamento da vazão de infiltração no poço ao longo do tempo. Nos ensaios de Pizoli (2017), para um tempo da verificação foi de 72,66 s, o coeficiente de permeabilidade k obtido foi de $9,67 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Para a utilização da equação da carga hidráulica, obteve-se o gráfico comparativo entre a carga hidráulica em função do tempo medida no experimento real, feita por Pizoli (2017) e a simulação no Comsol, mostrado na Figura 1a.

Outra comparação feita foi com a taxa de variação da vazão, ou seja, a estabilização da vazão. Os dados obtidos em campo por Pizoli (2017) foram comparados com os dados obtidos na simulação, com os resultados apresentados na Figura 1b.

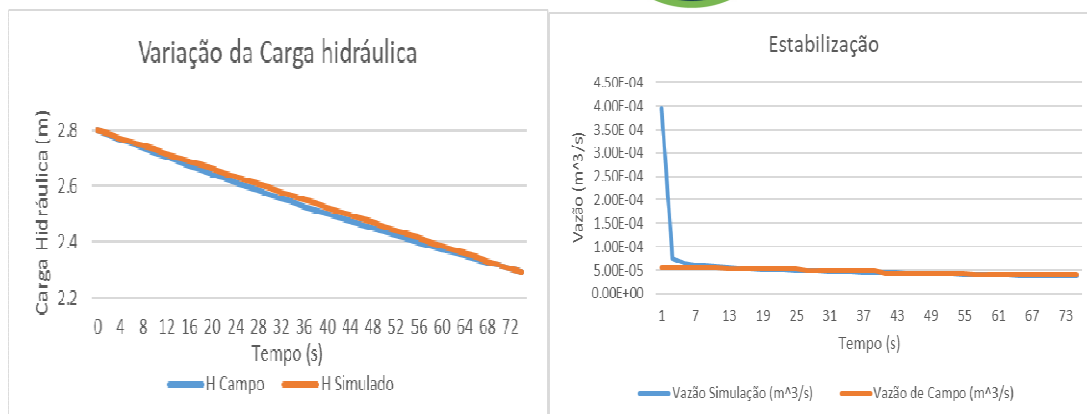


Figura 1 (a) Carga Hidráulica em campo e simulada – (b) Vazão em campo e simulada

Observa-se na Figura 1a que há um pico de vazão no início da simulação devido ao efeito do preenchimento dos vazios do solo, algo que não se observou nos dados de Pizoli (2017). Isto se deve ao fato de que o autor fez uma saturação prévia do solo, algo que não foi representado na simulação. Cabe observar que, depois de 5 s, as vazões simuladas se aproximam dos dados de ensaio em campo de Pizoli (2017) e ao verificar o erro relativo após 9 segundos encontra-se um erro máximo de 7,70%. No caso da variação da carga hidráulica, os resultados foram também muito próximos.

Conclusões

Os dados obtidos aproximaram-se muito do real, conferindo ao algoritmo de verificação seu sucesso ao ser aplicado para verificação dos ensaios de campo ou mesmo como parâmetro inicial para verificação da permeabilidade sem que seja realizado o ensaio de permeabilidade.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, que me capacitou para este trabalho. Ao Professor e orientador Ed Pinheiro Lima pela paciência e lições. Aos meus pais que me dão subsídio para poder alcançar meus sonhos.

Referências

GILG B., GAVARD, M. **Calcul de la perméabilité par dès essais d'eau dans les sondagens en alluvions**. Bulletin Technique de la Suisse Romande, v. 83, n. 4. 1957.

PIZOLI, Tiago João. **Estudo da Estimativa da condutividade hidráulica usando ensaios em furo de sondagem**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, 2017.