



CARACTERIZAÇÃO NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO DE CAMADA DE SOLO FINO NÃO SATURADO SUBMETIDA À CARREGAMENTO ESTATICO OU CÍCLICO

Eliane Aparecida Justino, Ricardo Fortes de Miranda.

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo numérico que permita o estudo da interação entre a camada de solo fino não saturado, que muitas vezes é a base de sustentação de construções em geral, e os fluídos (ar e água), que preenche seus interstícios, sob a ação de carregamentos estáticos ou dinâmicos, onde se determina o comportamento fluxo-deformação destes elementos.

O estudo do comportamento de solos sofrendo a ação de um carregamento constante ou cíclico é de grande interesse para a engenharia, pois, com isso pode-se conhecer como o solo irá reagir sob a ação de uma construção ou solicitações de cargas. É também desejável conhecer o efeito da infiltração e o sistema de drenagem de água no solo, visto que, estes parâmetros também influenciam no comportamento mecânico da camada de solo. Para isso, foi desenvolvido um programa computacional para simular o comportamento de solos não saturados, baseado no método das diferenças finitas e na teoria de Biot (1941), que considera o acoplamento completo do fluxo de água e de ar em um meio poroso deformável, possibilitando a avaliação simultânea da pressão de água (u_w), sucção mátrica ($u_a - u_w$) e da deformações do solo (u e v), no espaço e no tempo.

Na condição não-saturada os vazios do solo são parcialmente preenchidos por água e ar, considerando ambos imiscíveis. Fredlund e Rahardjo (1993) apresentaram as seguintes equações para descrever o fluxo transiente bifásico em um solo parcialmente saturado, considerando o acoplamento entre os problemas de fluxo e de deformação.

$$(\lambda + G) \frac{\partial U}{\partial x} + G \nabla^2 u - (3\lambda + 2G) \alpha \frac{\partial (u_a - u_w)}{\partial x} + X = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$(\lambda + G) \frac{\partial U}{\partial y} + G \nabla^2 v - (3\lambda + 2G) \alpha \frac{\partial (u_a - u_w)}{\partial y} + Y = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial - u_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \left(\frac{\partial - u_w}{\partial y} + 1 \right) \right) \right) = \beta_{w1} \frac{\partial U}{\partial t} + \beta_{w2} \frac{\partial (u_a - u_w)}{\partial t} \quad (3)$$

onde λ e G são as conhecidas constantes de Lamé; U a deformação total do meio poroso; u a deformação na direção horizontal; v a deformação na direção vertical; u_a a poro-pressão do ar; u_w a poro-pressão da água; ρ a densidade da água; k a permeabilidade do meio; α o coeficiente de expansão do solo; γ o peso específico da água; Bw_1 o coeficiente que relaciona a mudança de índice de vazios do solo com a sucção mátrica e tensão efetiva, Bw_2 o coeficientes que relaciona a mudança de teor de umidade coma sucção mátrica e tensão efetiva; X , Y , Z os Termos fontes.

São apresentados os resultados das simulações de carregamento superficial cíclico, que representa a passagem de eixo de roda de veículos, 600 kPa, em um pavimento. A Fig. 1a mostra a trajetória de deformação no sentido vertical, v , percebe-se que as maiores deformações ocorrem nos locais próximo à aplicação da carga, chegando até o valor de 8 cm, o que leva as chamadas deformações permanentes nos pavimentos, Fig. 1b, decorrente do deslocamento relativo entre as camadas. A deformação no outro sentido, u , é insignificante quando comparadas com as provocadas no eixo vertical.

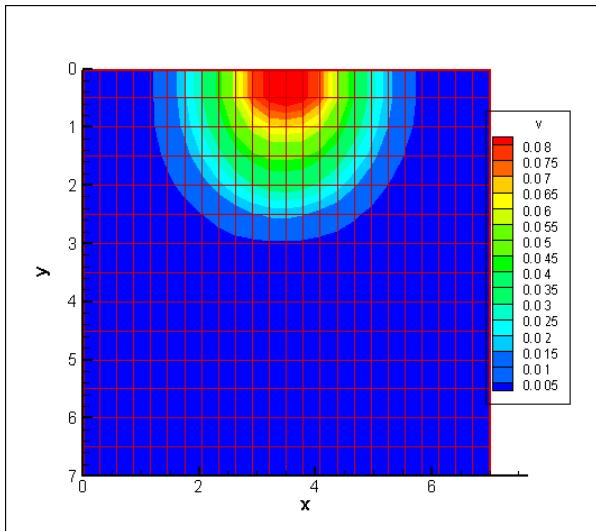


Figura 1a - Trajetória de deslocamento (m) – solo argiloso – Final do processo de consolidação



Figura 1b - Defeito provocado pelo deslocamento relativo entre as camadas

A Fig. 2 mostra a trajetória de sucção matricial, percebe-se que para os locais próximos a aplicação da carga tem valores baixos de sucção matricial, isto se deve ao fato de que nestes locais o solo se torna praticamente saturado.

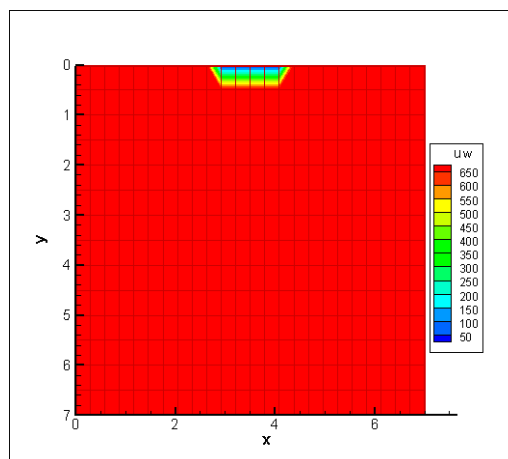


Figura 2 - Trajetória de sucção matricial (kPa) – solo argiloso – Final do processo de consolidação

O código computacional desenvolvido permite variar o carregamento de zero (0) até um valor estático desejado, e fazer a variação cíclica de 0,1 até 30 hertz, valor de referência para se evitar ressonância, Biot (1956), pois a partir desse valor o fluxo de fluido deixaria de ser de Darcy, para se tornar, no caso da água, fluxo de Poiseuille, diferente do abordado neste trabalho. No caso em que se considera a carga como sendo cíclica a sucção matricial média tendem a se manter em um valor mais alto do que aquelas geradas para o caso de carregamento estático equivalente, independentemente da frequência. Os deslocamentos superficiais calculados para os carregamentos cíclicos, também independentemente da frequência, tendem em um tempo infinito (muito grande) ao valor do deslocamento superficial calculado para o carregamento estático.

REFERÊNCIAS

- Biot, M. A., 1941, "General Theory of Three-Dimensional Consolidation", J. Applied Physics.
 Biot, M. A., 1956, "Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Media Solid. I. Low Frequency Range" in The Journal of Acoustical Society of America – vol. 28, number 2.
 Fredlund, D. G. and Rahardjo. H., 1993, "Soil mechanics for unsaturated soils", John Wiley and Sons, New York.