

DETERMINAÇÃO DE ATRIBUTOS MECÂNICOS DO SOLO USANDO ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS: UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO

CRISTIANO MARCIO A. DE SOUZA¹, SALVIO NAPOLEÃO S. ARCOVERDE²,
LEIDY ZULYS L. RAFULL¹, ANA LAURA F. DE ARAÚJO³,
RODOLFO T. DA SILVA⁴

¹ Engenheiro Agrícola, Professor Associado, FCA/UFGD, Dourados-MS. csouza@ufgd.edu.br e leidyralfull@ufgd.edu.br

² Engenheiro Agrícola e Ambiental, PNP/Engenharia Agrícola, FCA/UFGD, Dourados-MS. salvionapoleao@gmail.com

³ Engenheira Agrícola, Mestranda em Engenharia Agrícola, FCA/UFGD, (19) 99752-9292, laura.fialho.eng@gmail.com

⁴ Engenheiro de Produção, Mestrando em Engenharia Agrícola, FCA/UFGD, (67) 9972-9770, rtdsilva@outlook.com

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: Objetivou-se determinar atributos mecânicos do solo utilizando análise por elementos finitos (EF), usando para isso a relação tensão-deformação. O modelo matemático foi escrito utilizando elementos quadriláteros bidimensionais tipo “Visco Solid”, para grandes deformações. Na construção do modelo, uma carga era aplicada no solo causando uma deformação, essa deformação foi comparada com uma deformação real. Fez-se o mesmo para todas as cargas, somando os erros ocasionados em cada comparação. Foi construído um modelo computacional usando a linguagem script APDL/Ansys. Foi usada a técnica de otimização de Aproximação por Subproblema e de Primeira Ordem. A comparação entre os dados obtidos do modelo de EF e aqueles obtidos da literatura mostrou que apesar dos erros encontrados, a análise por EF é uma importante ferramenta para obtenção de atributos mecânicos do solo, uma vez que o modelo simula com exatidão os seus valores.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem, compactação, manejo.

DETERMINATION OF SOIL MECHANICAL ATTRIBUTES USING FINITE ELEMENT ANALYSIS: A FIRST APPROXIMATION

ABSTRACT: The objective of this work was to determine soil mechanical attributes using the finite element analysis (EF), according to the stress-strain relationship. The mathematical model was written using two-dimensional "Visco Solid" quad elements for large deformations. In the construction of the model, it was initially assumed that an initial load was applied to the soil, causing a strain consequently. This strain was compared to that determined in an experiment. The same comparison was made for all loads, adding the errors caused in each step. A computational model was constructed using the APDL/Ansys scripting language. The Subproblem and First Order optimization techniques were used. The comparison among the data of the FE model and real data showed that there were found small errors. Still, the FE analysis is an essential tool for obtaining soil mechanical property because the model accurately simulates its values.

KEYWORDS: modeling, compaction, management.

INTRODUÇÃO: A deformação a que os solos são submetidos pelo tráfego dos pneus das máquinas pode ser a maior causa da sua compactação. Na agricultura, o uso de máquinas agrícolas tem promovido a compactação do solo (Stefanoski et al., 2013), que limita o crescimento das raízes e consequentemente compromete a cultura. A correta gestão dos

recursos naturais passa pela análise quantitativa e a interpretação dos atributos do solo e das principais alterações geradas pelo manejo (Stefanoski et al., 2013). Dentre os métodos usados para a predição destas alterações, estão os empíricos, os semi-empíricos e os teóricos. Para se analisar as tensões e as deformações no solo é muito usado métodos numéricos, sendo o Método dos Elementos Finitos o mais utilizado para essa finalidade (Mion et al., 2016). Os métodos experimentais apesar de fornecer resultados reais são mais trabalhosos e requerem mais tempo nas determinações, ao contrário dos métodos teóricos, devido às altas velocidades de processamento dos computadores atuais. Uma das limitações à aplicação dos métodos teóricos, em se trabalhando com o solo, é que ele é considerado isotrópico, homogêneo e com comportamento elástico, o que não acontece na realidade. O ideal seria fazer uma análise detalhada da compactação do solo usando a relação existente entre a tensão aplicada e a deformação resultante. Para essa análise dois parâmetros de entrada são exigidos, o módulo de Young e a razão de Poisson. Esses parâmetros variam, principalmente, com as condições do solo e carregamento (Mion et al., 2016). Portanto, objetivou-se determinar parâmetros físicos do solo utilizando a técnica de elementos finitos, usando para isso a relação tensão-deformação.

MATERIAL E MÉTODOS: A modelagem matemática foi conduzida no Lapromaq/FCA/UFGD. Foi utilizado na modelagem os dados obtidos por Young, conforme apresentados em Santos Filho e Lanças (1998). A simulação do teste de penetração foi feita usando dois pratos do tipo daqueles mostrado na Figura 1A, visando obter a variação de recalque em função da força aplicada. Todos os modelos tiveram este tipo de construção, variando apenas a dimensão do prato ($r_1=0,0275$ e $r_2=0,0200$ m), e conseqüentemente a carga aplicada para cada caso. O modelo foi construído nas condições supracitadas e a malha de elementos finitos (EF) é apresentado na Figura 1C. Dois parâmetros usados é o módulo de elasticidade e de Poisson, que em suas determinações também são usadas as mesmas relações de tensão-deformação. Por meio da linearização dos dados das tensões e deformações de Young foram obtidos os coeficientes da Equação 1.

$$p = 92,62 \cdot z^{0,782} \quad (1)$$

em que, p - pressão de contato vertical média; z - profundidade de recalque do solo.

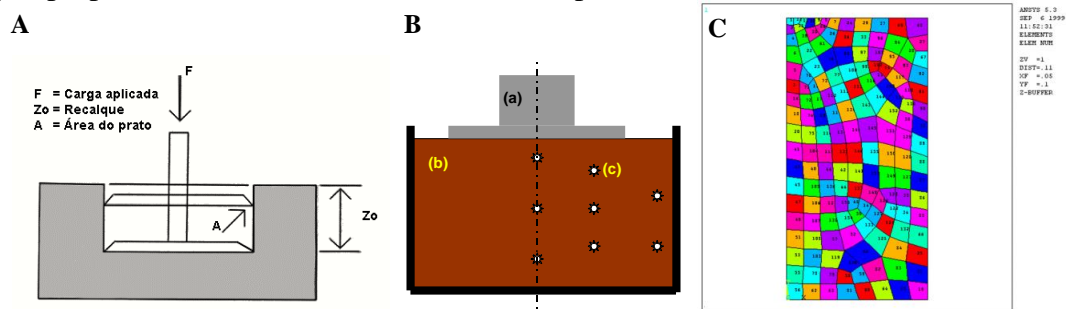


FIGURA 1. Esquema do sistema solo-prato utilizado para obter z a cada carga aplicada F (A), localização dos pontos-sensores da tensão do solo (B) e malha de EF do modelo (C).

O modelo matemático foi escrito utilizando elementos quadriláteros bidimensionais tipo “Visco Solid - VISCO108”, para grandes deformações, assumindo um eixo de simetria mostrado na Figura 1B. Na construção do modelo assumiu-se inicialmente que uma carga inicial era aplicada no solo causando conseqüentemente uma deformação, essa deformação era comparada com aquela determinada no experimento de Young (Santos Filho; Lanças, 1998). Fez-se o mesmo para todas as cargas, somando os erros ocasionados em cada passo. A soma dos erros foi minimizada no final, sendo seu valor dividido pelo número de dados para se encontrar o erro absoluto médio. Foi construído um modelo para determinar os atributos com base nos dados obtidos pela aplicação da carga no Prato 1 ($n=7$), Prato 2 ($n=7$) e os dados dos dois pratos conjuntamente ($n=14$). Em cada modelo foi usado a técnica de otimização de Aproximação por

Subproblema e de Primeira Ordem, com 30 iterações por carga aplicada. Nas características espaciais do modelo foi considerado que uma porção de solo de 20 cm de largura e 20 cm de profundidade. A verificação dos resultados do modelo foi realizada por meio da comparação entre estes e aqueles obtido de ensaios em uma caixa de solo (Figura 1B), sendo dispostos estrategicamente na caixa transdutores com o objetivo de determinar as tensões imposta ao solo por meio da aplicação superficial da carga. Foi utilizado o método de elementos finitos aplicado a mecânica dos sólidos (Mion et al., 2016). No modelo foi usado o princípio da energia potencial mínima. Em se trabalhando com o solo agrícola, uma estrutura contínua foi realizada na modelagem. A Lei de Hooke foi usada na modelagem, em que a deformação do corpo foi assumida somente pela resultante das cargas aplicadas, não sendo computado a componente da mudança térmica. Assim, conhecendo-se tanto a tensão quanto a deformação foi possível caracterizar o comportamento do solo devido a aplicação de cargas externas. O software Ansys, versão 5.3, foi usado nas análises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Para os resultados do modelo matemático usando os dados do Prato 1, houve a necessidade de 6 passos para que o método do Subproblema minimizasse o erro, enquanto o método da Primeira Ordem houve 4 passos. Houve diferença entre os valores de deformação e de tensão, quando usado métodos de otimização diferentes, mas o erro permaneceu o mesmo para os dois métodos estudados (Figura 2).

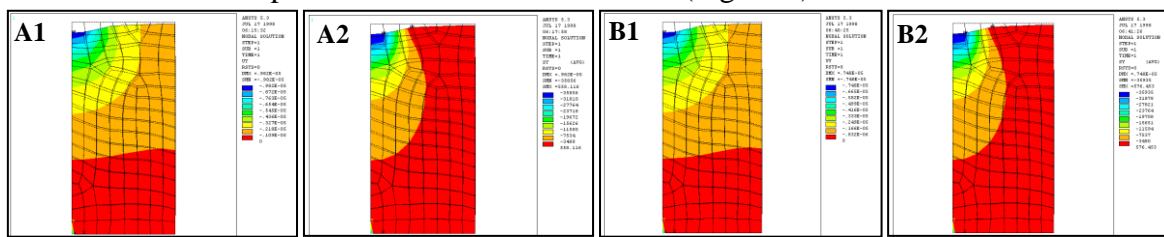


FIGURA 2. Deformações (1) e tensões (2) no solo resultantes da aplicação da carga externa, para o método Subproblema (A) e método da Primeira Ordem (B), para o prato 1.

Houve 5 passos para o ótimo usando o método Subproblema, e 4 passos o método da Primeira Ordem, para os dados do Prato 2. Pode-se observar, por meio da comparação entre os dados mostrados na Figura 3, que houve diferença entre os valores de deformação e de tensão, mas o erro permaneceu o mesmo para os dois métodos. Quando os dados de ambos os pratos foram reunidos, os dois métodos de otimização obtiveram os mesmos comportamentos dos atributos para quando foi usado os dados de um único prato, por esse motivo os gráficos não serão apresentados. Observou-se que as tensões máximas estão abaixo do centro da carga vertical, reduzindo-se com o afastamento do centro de aplicação, corroborando resultados obtidos por Mion et al. (2016), segundo o qual decorre do fato de que as tensões na superfície do solo têm a tendência de se concentrar ao redor do eixo vertical e abaixo do centro de aplicação da carga.

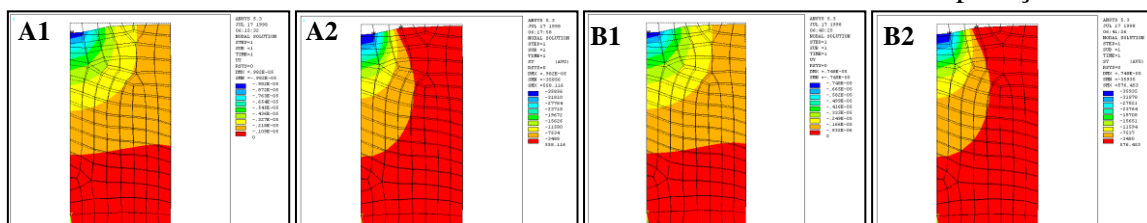


FIGURA 3. Deformações (1) e tensões (2) no solo resultantes da aplicação da carga externa, para o método Subproblema (A) e método da Primeira Ordem (B), para o prato 2.

Nota-se que há pouca distorção dos resultados para a razão de Poisson, sendo um pouco maior para o módulo de elasticidade, cerca de 9%, esse parâmetro mostra a caracterização do grau de assimetria da distribuição sobre sua média (Tabelas 1 e 2). Segundo Upadhyaya et al. (1994),

na análise de solos agrícolas é usual requerer que as suas propriedades mecânicas estejam dentro de limites onde seus valores não mudem. Assim em se trabalhando com solos agrícolas, o ideal é expressar suas propriedades mecânicas em faixas em que ele se comporta de forma homogênea e regular. Exatamente por compartilhar de mesmo ponto de vista, está apresentado na Tabela 2 a faixa de ação das propriedades dos solos para as faixas de aplicação das cargas apresentadas anteriormente. Upadhyaya et al. (1994) apresentam um quadro onde é disposto valores para algumas faixas de módulo de elasticidade. No qual, para a argila, a faixa é de 60 a 150 MPa para uma razão de Poisson de 0,40, ou ainda, para um solo arenoso a faixa vai de 20 a 180 MPa para uma razão de 0,48. Assim pode-se notar que o módulo de elasticidade tem sua magnitude, em média, na ordem de 100 MPa. O que mostra que os valores obtidos por EF encontram-se dentro das faixas descritas pelo referido autor. Não foi possível determinar a deformação unitária ocasionada pela aplicação da respectiva carga, porque não se conhece a profundidade/comprimento inicial da porção de solo ensaiado. Pode-se admitir, então que, a faixa para esse solo no intervalo de carga que ele foi submetido é de 100 a 189 MPa. O limite inferior obtido da modelagem se encontra muito próximo do valor real, ao contrário do limite superior, ligeiramente maior do que o observado. Para afirmar que este limite se encontra fora da realidade, seria necessário comparar também a razão de Poisson, porém não se tem este valor. Por hora vamos nos contentar no acerto da magnitude do valor dos parâmetros.

TABELA 1. Módulos de elasticidade e de Poisson do solo e o erro médio do modelo

Parâmetro	Dados do Prato 1		Dados do Prato 2		Todos os dados	
	Subprob.	1ª Ordem	Subprob.	1ª Ordem	Subprob.	1ª Ordem
Elasticidade ($\times 10^6$)	189,5	100,0	189,5	100,0	189,5	100,0
Poisson	0,142	0,100	0,142	0,100	0,142	0,100
Erro médio	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092

TABELA 2. Faixa de aplicação dos parâmetros e estatística descritivas

Parâmetro	Faixa		Desvio Médio	Média	Distorção
Módulo de Elasticidade (MPa)	100	189	45,6	144,8	0,91
Módulo de Poisson	0,11	0,23	0,07	0,17	0,97

CONCLUSÕES: A comparação entre os atributos obtidos do modelo matemático de EF e aqueles obtidos experimentalmente mostrou que apesar dos erros encontrados, a análise por EF é uma importante ferramenta para obtenção de atributos mecânicos do solo, uma vez que o modelo simula com exatidão os seus valores.

AGRADECIMENTOS: À CAPES, pelas bolsas concedidas ao 2º, 4º e 5º autor.

REFERÊNCIAS:

MION, R.L.; HOLANDA, R. L. de.; BARROSO, S.H.A.; SILVA, S.A.T. Tensões aplicadas no solo pelas diferentes pressões do pneu de um trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, v.36, n.1, p.63-77, 2016.

SANTOS FILHO, A.G., LANÇAS, K.P. Efeito da geometria do prato de recalque para levantamento de parâmetros físicos do solo. **Energia na Agricultura**, v.13, n.1, p.18-31, 1998.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1301-1309, 2013.

UPADHYAYA, S.K.; CHANCELLOR, W.J.; PERUMPRAL, J.V.; SCHAFER, R.L.; GILL, W.R.; VANDENBERG, G.E. **Advances in soil dynamics**. St. Joseph: ASAE, 1994. 313p.