

Desenvolvimento de software para cálculo de aterros sobre solos moles

João Vítor de Azambuja Carvalho
Curso de Engenharia Civil
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande, Brasil
Email: azambuja.jvc@gmail.com

Diego de Freitas Fagundes
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande, Brasil
Email: dffagundes@furg.br

Cezar Augusto Bürkert Bastos
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande, Brasil
Email: cezarbastos@furg.br

Resumo—São comuns as situações de construção sobre solos moles na prática de engenharia. Obras *offshore*, *inshore* e *nearshore* são algumas das ocasiões onde o projetista depara-se com esse material. A alta deformabilidade e baixa capacidade de suporte são algumas das características geotécnicas desfavoráveis que esses materiais presentes ao longo da costa brasileira apresentam. Este trabalho apresenta o atual estágio de desenvolvimento de uma aplicação escrita em linguagem computacional *Python* para a realização de análises de aterros construídos sobre solos moles. Foram implementadas as diferentes soluções adotadas na prática para a equação diferencial do adensamento, bem como diferentes técnicas executivas para possibilitar a análise de diversas situações de projeto com solos moles. São apresentados dois exemplos de cálculo: um para verificação dos algoritmos implementados com resultados da literatura e outro para comparação de resultados obtidos através das diferentes metodologias de cálculo disponíveis no software.

Palavras-chave—Solos moles, Aterros, Python.

I. INTRODUÇÃO

A existência de diversos depósitos de solos moles, solos argilosos com baixa capacidade de suporte e alta deformabilidade, ao longo da costa brasileira torna recorrente projetos que envolvem esses materiais de características geotécnicas desfavoráveis. Algumas das técnicas usualmente adotadas, como remoção do material, são vistas como agressivas ao meio ambiente, por gerar grandes volumes em material de descarte, e, por isso, em desuso. Logo, é necessário o avanço teórico, prático e normativo em novas técnicas e aplicação de métodos de dimensionamento e análise de obras na situação em que o solo mole serve como material de construção.

O estudo de propriedades de solos moles e execução de obras sobre esses é um tema clássico na academia, tendo sido desenvolvidas diferentes metodologias de cálculo para a análise dessas situações de projeto [1]. Muitos dos métodos analíticos existentes podem ser refinados pela aplicação de conceitos como a subdivisão em intervalos menores do material de suporte ou consideração de situações de cálculo iterativas. As análises podem ser realizadas através de métodos numéricos, como o método das diferenças finitas, aproximações por séries ou ainda formulações analíticas. A utilização de métodos numéricos implementados computacionalmente permite a solução do problema com elevada precisão

e condições de contorno diferentes das adotadas nas soluções clássicas encontradas na literatura [2], [3].

Este trabalho tem por objetivo desenvolver de um conjunto de rotinas em linguagem computacional *Python* para o cálculo e análise de recalques de aterros construídos sobre solos moles. Foram implementados métodos analíticos e numéricos para diferentes processos executivos existentes, de forma a abranger as etapas necessárias a situações de anteprojeto e projeto dessas estruturas. São contemplados no desenvolvimento o uso de drenos para aceleração de recalques, consideração da submersão do aterro e a construção dos aterros em etapas.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Previsão de recalques totais

Os recalques são deformações verticais sofridas pelo solo devido à ação de uma sobrecarga externa. Como, usualmente, as camadas de solo encontradas na natureza têm largura e extensão muito maiores que a espessura, costuma-se tratar as deformações da camada como unidimensionais, na direção de aplicação da sobrecarga, o que constitui o modelo oedométrico de solicitação [1], [2].

O solo é um meio heterogêneo e poroso, composto por três fases, sólida, líquida e gasosa. A fase sólida são os grãos, a fase gasosa são os vazios preenchidos com ar e outros gases e a fase líquida os vazios preenchidos com água [4]. A Figura 1 apresenta uma representação hipotética da composição do solo. Na Teoria do Adensamento de Terzaghi [2] é assumido que as deformações ocorrem apenas devido à mudança de volume das fases líquida e gasosa, sendo os grãos do solo tratados como indeformáveis. Dessa forma, pode-se relacionar os recalques (Δh) com a variação do índice de vazios (Δe) e modelados por (1) [4].

$$\Delta h = \frac{H}{1 + e_0} \cdot \Delta e \quad (1)$$

onde, H é a espessura da camada de solo mole, e_0 é o índice de vazios inicial e Δe é dado por (2)

$$\Delta e = \left[C_r \log \left(\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{v0}} \right) + C_c \log \left(\frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_{vm}} \right) \right] \quad (2)$$

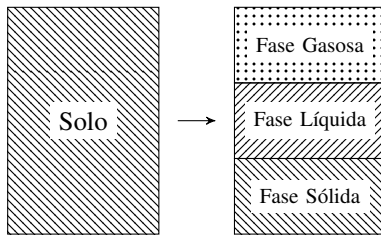


Fig. 1. Representação ilustrativa hipotética das três fases que compõem o solo. Adaptado de Braja [4].

onde, σ'_{v0} é a tensão geostática efetiva, σ'_{vm} é a tensão de pré-adensamento do solo, σ'_{vf} é a tensão efetiva final após a aplicação da carga e C_c e C_r são os coeficientes de compressão virgem e de recompressão, respectivamente.

B. Recalques no tempo

A teoria para o desenvolvimento dos recalques no solo ao longo do tempo foi inicialmente proposta por Terzaghi [2] e assume as seguintes condições de contorno para a sua formulação [4].

- 1) Camada de argila homogênea e saturada;
- 2) Compressão do solo ocorre unicamente pela variação de volume, que implica na expulsão de água dos vazios entre os grãos;
- 3) Validade da lei de Darcy;
- 4) Deformação do solo somente na direção de aplicação da sobrecarga;
- 5) A velocidade de adensamento vertical do solo é constante durante o processo de adensamento;

Baseado nessas considerações e tomando um elemento infinitesimal do solo, é derivada a equação que modela o processo de adensamento de solos moles (3) [3].

$$C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3)$$

onde, C_v é o coeficiente de adensamento vertical do solo, z é a profundidade do ponto em análise, u é o excesso de poropressão e t é o tempo.

C. Técnicas construtivas em aterros sobre solos moles

Ao longo dos anos, através do embasamento teórico e experiência prática de executores, foram desenvolvidas diversas técnicas construtivas para aterros sobre solos moles, com o objetivo de mitigar, reduzir ou acelerar os efeitos dos recalques nessas obras [1], [5], [6]. Algumas dessas técnicas são: o uso de drenos verticais, de sobrecarga temporária e a construção do aterro em etapas.

Os drenos verticais podem ser constituídos de colunas de areia ou outro material granular, cuja permeabilidade seja maior que a do solo existente no local, ou de materiais geossintéticos. Quando utilizados os drenos de colunas granulares, além de favorecer a drenagem da camada, esses elementos verticais de elevada rigidez auxiliam na capacidade de suporte do material de base. Atualmente, essa técnica encontra-se

em desuso devido ao desenvolvimento e aumento do uso de geossintéticos, dada a sua facilidade e rapidez de execução [1].

Os geossintéticos são materiais poliméricos para uso em obras geotécnicas e ambientais, sendo os mais indicados para uso como drenos verticais, os geocompostos drenantes, que são aqueles formados pela associação de um ou mais geossintéticos formando um produto para drenagem [7].

A Equação 3 assume a percolação de água exclusivamente na direção vertical, porém, com a adição de drenos ao terreno, o sentido do fluxo passa a ser predominantemente radial, em direção ao dreno. A Equação 3 pode então ser reescrita para o fluxo de água radial, adotando-se coordenadas polares, o que resulta na formulação da teoria para o adensamento devido à drenagem radial, representada por (4) [1].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_h \left[\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right] \quad (4)$$

onde, C_h é o coeficiente de adensamento radial do solo, r a distância radial do ponto em relação ao dreno, u é o excesso de poropressão e t é o tempo.

A construção em etapas, por sua vez, permite a execução de alturas de aterro maiores sobre solos com baixa capacidade de suporte. Nesta técnica, a altura do aterro é dividida em várias etapas construtivas e durante cada etapa é desenvolvido o processo de adensamento, onde o solo ganha resistência previamente a próxima etapa, conforme aumenta a tensão efetiva [1], [8]. Além disso, a espessura de solo mole será reduzida entre as etapas, bem como a tensão efetiva aumenta e os parâmetros do solo são atualizados de acordo com o nível de tensões inicial de cada etapa. Logo, a tendência é de que haja uma pequena redução da magnitude dos recalques.

Já o uso de sobrecarga temporária tem dois objetivos principais: a aceleração de recalques por adensamento primário e a compensação de recalques por adensamento secundário [1]. Essa técnica consiste da adoção de alturas de aterro maiores que as especificadas em projeto, para que, quando atingidos recalques de magnitude próxima aos recalques finais previstos para carga de projeto, a sobrecarga seja retirada e a partir disso são esperadas mínimas deformações.

O conjunto de rotinas desenvolvido contempla a possibilidade de análise de aterros utilizando as técnicas construtivas descritas. Nesse trabalho, foram desenvolvidos modelos utilizando a técnica de construção em etapas.

D. Consideração da submersão do aterro

Quando existe a presença de nível d'água próximo a superfície, pode ocorrer que, com o desenvolvimento dos recalques, parte do material do aterro, antes acima do nível freático, passe a estar saturado, modificando os esforços atuantes no solo mole devido à mudança no peso específico do material quando saturado. A previsão dessa situação para o cálculo dos recalques, considerando um aterro de extensão infinita, é iterativa. A Equação (5) apresenta o cálculo do recalque para a primeira iteração [1].

$$\Delta h_j = \frac{H}{1+e_0} \left[C_r \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{v0}} \right) + C_c \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \gamma_{at} h_{at}}{\sigma'_{vm}} \right) \right] \quad (5)$$

Admitindo-se o nível d'água na superfície do terreno natural, a altura de aterro (h_{at}) será dividida em uma parte submersa ($h_2 = \Delta h_j$) e outra não (h_1). O acréscimo de tensão então será dado como a soma do produto de cada uma das parcelas, acima do nível freático e submersa, pelos seus respectivos pesos específicos, natural (γ_{at}) e submerso ($\gamma_{at,sub}$), respectivamente. Dessa forma, (6) apresenta o cálculo para as iterações seguintes.

$$\Delta h_{j+1} = \frac{H}{1+e_0} \left[C_r \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{v0}} \right) + C_c \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \gamma_{at} h_1 + \gamma_{at,sub} h_2}{\sigma'_{v0}} \right) \right] \quad (6)$$

E. Soluções para a equação do adensamento

1) *Adensamento devido à drenagem vertical*: A equação diferencial (3) pode ser resolvida adotando-se as condições de contorno apropriadas ao problema. Admitindo-se:

- No tempo $t = 0$, $u = u_i$ (poropressão inicial);
- $u = 0$ no topo da camada ($z = 0$);
- $u = 0$ na base da camada ($z = H_t$);
- u constante ao longo da camada ($u_i = u_0$).

A solução é dada em por (7) [4].

$$u = \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2u_0}{M} \sin \frac{Mz}{H} \exp(-M^2 T_v) \quad (7)$$

onde u é a poropressão, T_v é o fator adimensional tempo, como em (8), u_0 é a poropressão inicial, H é a espessura da camada de argila e M é dado por (9).

$$T_v = \frac{C_v t}{H_d^2} \quad (8)$$

$$M = (2m+1) \frac{\pi}{2} \quad (9)$$

O grau de adensamento (U_z), por sua vez, pode ser definido de acordo com (10).

$$U_z = \frac{\text{Excesso de poropressão dissipada}}{\text{Poropressão Inicial}} \quad (10)$$

No entanto, normalmente é de interesse o conhecimento do grau de adensamento médio da camada (U_{av}), definido em (11).

$$U_{av} = \frac{(1/H_t) \int_0^{H_t} u_i dz - (1/H_t) \int_0^{H_t} u dz}{(1/H_t) \int_0^{H_t} u_i dz} \quad (11)$$

Combinando (7) e (11):

$$U_{av} = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v) \quad (12)$$

Várias formas analíticas foram propostas para a solução de (12), neste trabalho foi escolhida a de Sivaram e Prabhata [9], representada por (13), em razão de oferecer uma única equação para a solução e apresentar um erro em T_v menor que 1% para $0\% < U_{av} < 90\%$ e menor que 3% para $90\% < U_{av} < 100\%$ [4].

$$U_{av} = \frac{(4T_v/\pi)^{0.5}}{[1 + (4T_v/\pi)^{2.8}]^{0.179}} \quad (13)$$

Além das soluções analíticas existentes, Braja [4] apresenta uma solução numérica para (3), pelo método das diferenças finitas, apresentada em (14).

$$\bar{u}_{0,\bar{i}+\Delta\bar{i}} = \frac{\Delta\bar{i}}{(\Delta\bar{z})^2} (\bar{u}_{1,\bar{i}} + \bar{u}_{3,\bar{i}} - 2\bar{u}_{0,\bar{i}}) + \bar{u}_{0,\bar{i}} \quad (14)$$

onde, \bar{u} , \bar{i} e \bar{z} são os adimensionais para a poropressão, o tempo e a profundidade, respectivamente, e os pontos 0, 1 e 3 referem-se às posições ilustradas na Fig. 2.

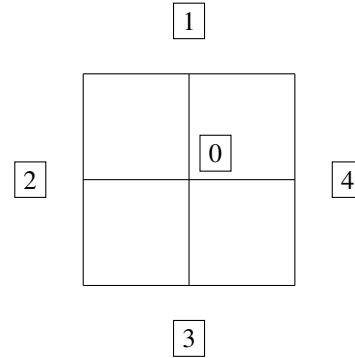


Fig. 2. Solução numérica para o adensamento. Adaptado de Braja [4].

2) *Adensamento devido à drenagem radial*: A Equação (4) pode ser resolvida para um cilindro de solo com dreno cilíndrico vertical, considerando as deformações da coluna e do solo mole iguais [5]. A solução para o grau de adensamento médio devido à drenagem exclusivamente radial (U_r) é apresentada em (15).

$$U_r = 1 - \exp^{-[8T_h/F(n)]} \quad (15)$$

onde, T_h é o fator tempo, análogo ao apresentado na solução para o adensamento devido à drenagem vertical, porém considerando a distância de drenagem H_d como a metade da distância entre eixos de drenos e o coeficiente de adensamento horizontal do solo (C_h), e $F(n)$ é uma função de densidade de drenos dada por (16) [1].

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (16)$$

onde n é a razão entre o diâmetro de influência de um dreno (d_e) e o diâmetro do dreno (d_w).

A teoria apresentada foi desenvolvida para o caso de drenos verticais cilíndricos, porém pode ser adaptada para o uso de geossintéticos considerando-se um diâmetro equivalente, dado por (17) [10].

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \quad (17)$$

onde, a e b são as dimensões do geodreno utilizado.

Assim como para o caso de drenagem exclusivamente vertical, Braja [4] apresenta a solução por diferenças finitas para o caso de adensamento devido à drenagem unicamente radial (4), apresentado em (18) tomando como referência os pontos representados na Fig. 2.

$$\bar{u}_{0,\bar{r}+\Delta\bar{r}} = \frac{\Delta\bar{r}}{(\Delta\bar{r})^2} \left[\bar{u}_{2,\bar{r}} + \bar{u}_{4,\bar{r}} + \frac{\bar{u}_{4,\bar{r}} - \bar{u}_{2,\bar{r}}}{2(\bar{r}/\Delta\bar{r})} - 2\bar{u}_{0,\bar{r}} \right] + \bar{u}_{0,\bar{r}} \quad (18)$$

onde, \bar{u} , \bar{r} e \bar{r} são os adimensionais para a poropressão, o tempo e a distância radial do centro do dreno, respectivamente.

III. METODOLOGIA

A aplicação foi desenvolvida utilizando conceitos de programação orientada a objeto e utilizando a linguagem de programação *Python*. Essa é uma linguagem orientada a objeto com semântica dinâmica, de simples aprendizagem, sintaxe que preferencia a legibilidade e muito atrativa para o desenvolvimento rápido de aplicações, bem como para criação de rotinas, além de ser muito utilizada para computação científica [11].

A linguagem possui vasta comunidade ativa, documentação robusta e extensa bibliografia, o que facilita ao desenvolvedor a consulta e solução de problemas durante o processo de desenvolvimento da aplicação [12], [13]. Associado a isso a orientação a objeto permite a expansão e adaptação dos algoritmos implementados, de forma a permitir a colaboração da comunidade no desenvolvimento após a distribuição e manter o software atualizado [14].

Inicialmente, foi realizada a modelagem conceitual do problema proposto, do cálculo e análise de aterros sobre solos moles, para identificação das variáveis necessárias à construção do modelo de cálculo. Essas variáveis podem ser tratadas como possíveis objetos na estrutura do programa, tendo sido identificadas as seguintes necessidades:

- 1) Representação dos materiais;
- 2) Representação das etapas construtivas;
- 3) Representação das condições de contorno;
- 4) Cálculo e armazenagem de resultados;

A partir da identificação das necessidades foram determinados os seguintes objetos, representados esquematicamente na Fig. 3:

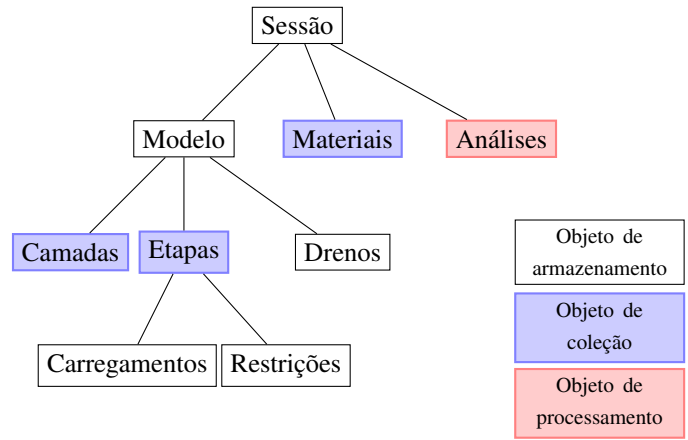


Fig. 3. Representação esquemática da estrutura de objetos.

- 1) Sessão: objeto que armazena todas as informações dos modelos construídos e gerencia a aplicação;
- 2) Modelo: objeto que reúne as informações necessárias para o estabelecimento do modelo de cálculo;
- 3) Materiais: coleção de objetos que representam os materiais e suas intrínsecas características;
- 4) Análises: objeto que reúne as informações de entrada, implementa as formulações apresentadas na seção II e armazena os resultados;

O objeto “Modelo” é composto ainda por outros três objetos: “Camadas”, que corresponde a uma coleção de entidades que representam as camadas de solo presentes no local; “Etapas”, coleção de entidades que representam as etapas construtivas adotadas; e “Drenos”, que reúne as informações relativas aos drenos, como tipo, espaçamento e material. Cada objeto contido em “Etapas”, por sua vez, reúne informações sobre as condições de contorno do problema, como as restrições geométricas ou de compatibilidade e os carregamentos aplicados em cada etapa construtiva.

Foram implementadas na aplicação as soluções analítica de Sivaram e Prabhata [9], em razão da vasta utilização dessa forma na prática de engenharia, e numérica, pelo método das diferenças finitas, da equação diferencial do adensamento (3). Implementou-se ainda cálculos iterativos, como a consideração da submersão do aterro, e modificações da metodologia clássica de cálculo de forma a refinar as análises realizadas. Uma dessas modificações foi a subdivisão da camada de solo em várias subcamadas.

Na previsão de recalques totais, é comum o cálculo de recalques tomando como referência um ponto no centro da camada de solo, independentemente de sua espessura. Logo, em camadas espessas a discretização pode acabar não retratando fielmente o comportamento do solo mole.

Para determinar o número de subdivisões adotado para cada situação, foi gerado um conjunto aleatório de diferentes parâmetros geotécnicos e verificado o número de subdivisões necessário para a convergência do valor de recalque final calculado, considerando um erro de, no máximo, 10%, entre o resultado calculado com n e $n + 1$ camadas. A precisão de

10% adotada é usualmente utilizada em projetos e considerada satisfatória frente às grandezas dimensionais e incertezas envolvidas no problema.

Foram desenvolvidos, neste trabalho dois modelos de cálculo: Modelo 1, a fim de avaliar a influência do número de divisões da camada; e Modelo 2, para comparação dos resultados analíticos e numéricos obtidos. Para avaliar a influência do número de subdivisões adotado, o Modelo 1 foi calculado com 1, 3 e 4 subdivisões e comparados com os recalques previstos entre si e com o modelo proposto por Almeida e Marques [1]. A Figura 4 apresenta o Modelo 1.

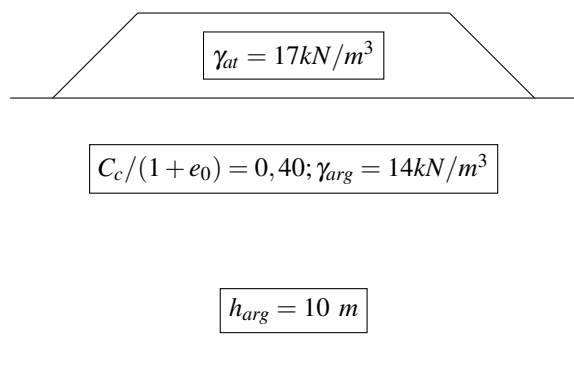


Fig. 4. Representação do Modelo 1, proposto por Almeida e Marques [1].

A outra situação investigada, foi a comparação entre os resultados obtidos de forma numérica e analítica, para os recalques de um aterro construído em etapas. Para tal, foi elaborado o Modelo 2 (Fig. 5), considerando um aterro sobre camada de solo mole de 10 m de espessura, construído em duas etapas: uma com duração de 10 meses e outra até que seja atingido 95% do adensamento. Pretende-se avaliar a curva de recalques ao longo do tempo para aterros construídos em etapas e a distribuição de poropressões ao longo da profundidade, bem como apresentar algumas saídas do programa.

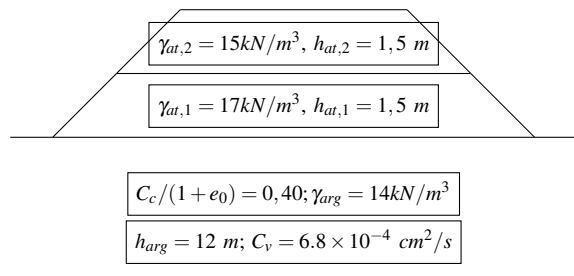


Fig. 5. Representação do Modelo 2.

IV. RESULTADOS

A. Consideração da divisão da camada de solo mole

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos para o Modelo 1 (Fig. 4).

Conforme esperado, as curvas onde foi considerada uma única camada de solo mole se sobrepõem, em preto a obtida

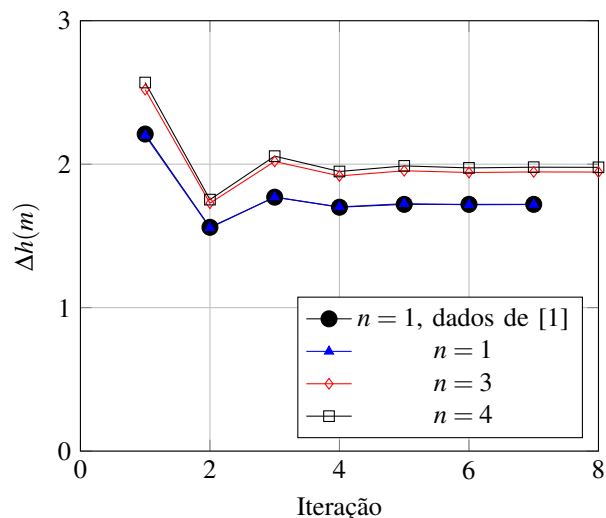


Fig. 6. Gráfico de recalque total de acordo com o número de iterações realizadas

por Almeida e Marques [1] e em azul com a utilização do programa desenvolvido. Além disso, é possível verificar que o número de iterações para convergência não apresentou mudança com a variação do número de camadas adotada em cada caso.

Com relação à previsão de recalques totais, observou-se uma diferença de 13% entre a consideração de 1 ou 3 camadas e de 15% entre 1 e 4 camadas. O número de camadas determinado de acordo com o modelo de previsão desenvolvido foi de 4, de forma que a diferença na previsão de recalques totais considerando 3 e 4 camadas foi de 1.7%, que atende ao critério estabelecido de que o erro seja inferior a 10%.

B. Comparação de resultados analíticos e numéricos

A Figura 7 apresenta o gráfico de desenvolvimento de recalques no tempo para o aterro construído em etapas (Modelo 2) produzido através do software.

Os resultados, analíticos e numéricos, são visualmente semelhantes, tendo sido obtido para o Erro Quadrático Médio (EQM) entre as curvas o valor de 0.00064. A Tabela I resume os resultados obtidos para a previsão de recalques totais e para o tempo necessário para que ocorra 95% do adensamento previsto (t_{95}).

Tabela I
RESULTADOS OBTIDOS PARA O MODELO 2.

Analítico	
Recalque total (m)	t_{95} (meses)
2,206	233,79
Numérico	
Recalque total (m)	t_{95} (meses)
2,203	223,34

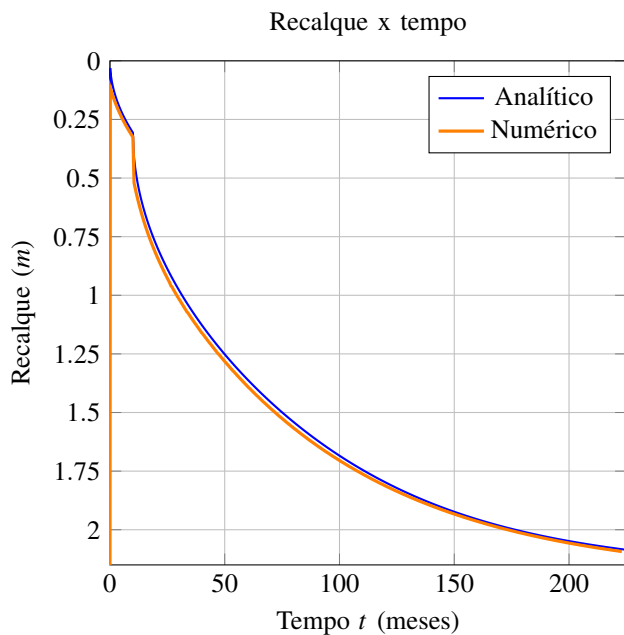


Fig. 7. Saída do programa para o gráfico de desenvolvimento de recalques no tempo para aterro em etapas.

A diferença encontrada entre as soluções analítica e numérica foi de 0.13% para os recalques totais previstos e de 4.68% para a previsão do tempo necessário para que ocorra 95% do adensamento.

A partir da implementação numérica, pode-se obter o gráfico de variação da poropressão ao longo da profundidade na camada para um determinado tempo. A Figura 8 apresenta o resultado gráfico para a distribuição de poropressão ao longo da camada no tempo t_{95} , gerado pelo software.

V. CONCLUSÃO

As obras sobre solos moles apresentam diversas complexidades práticas, teóricas e executivas, sendo muitas vezes evitadas. Algumas das soluções alternativas empregadas, no entanto, acarretam severos prejuízos econômicos e ambientais. Uma das etapas para a evolução na situação de obras sobre esses materiais é a difusão dos conhecimentos desenvolvidos na academia, onde os solos moles são objeto constante de estudo. Nesse aspecto, o desenvolvimento de uma aplicação computacional possui relevância ao ponto que implementa o uso das soluções clássicas, possibilita o refinamento das análises realizadas e oferece aos profissionais meios de aplicação direta desses métodos em projetos e pesquisas.

Os resultados obtidos mostraram concordância com valores encontrados na literatura, verificando a validade dos algoritmos implementados. Além disso, a boa convergência entre resultados analíticos e numéricos indica que os critérios de discretização do modelo e precisão adotadas estão de acordo com a proposta da aplicação.

O desenvolvimento do programa de acordo com os princípios de orientação a objeto permite fácil expansão dos algoritmos existentes e elaboração de novos, inclusive para

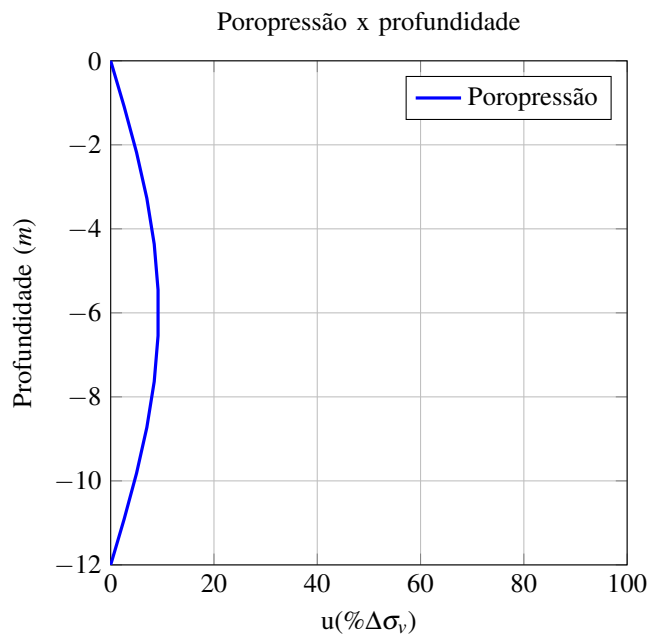


Fig. 8. Poropressão ao longo da profundidade no tempo t_{95} .

outras situações de projeto. A implementação da solução numérica, associada à orientação a objeto, oferece ainda a possibilidade de atualização para a consideração de condições de contorno diferentes das adotadas nas soluções clássicas, o que possibilita o refinamento das análises realizadas. Alguns dos benefícios oriundos seriam a possibilidade de consideração de diferentes distribuições de poropressão inicial e de adaptação dos algoritmos a diferentes técnicas, já existentes ou que vierem a ser desenvolvidas.

O atual estágio de desenvolvimento contempla algumas situações de projeto e pretende-se acrescentar outras, como a consideração da carga variável durante o tempo da construção e verificações de estabilidade do aterro. Após desenvolvidas essas etapas, pretende-se que a aplicação seja distribuída sob a tutela de uma licença, para ser utilizada na prática de engenharia geotécnica, bem como no âmbito acadêmico, no auxílio ao aprendizado ou em estudos onde possam ser aplicados todos os recursos disponíveis do software.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FURG e ao CNPq pela concessão de bolsas de financiamento do projeto de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

- [1] M. S. S. Almeida and M. E. S. Marques, *Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho*, 2nd ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2014.
- [2] K. V. Terzaghi, "Erdbaumechanik auf Boden-physikalischen Grundlagen," Vienna, Austria, 1925.
- [3] D. W. Taylor, "Fundamentals of soil mechanics," 1948.
- [4] B. M. Das, *Advanced Soil Mechanics*, 4th ed. United States of America: CRC Press, 2014.
- [5] R. A. Barron, "Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells," in *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. ASCE, 1948, pp. 811–836.

- [6] G. Mesri and Y. Choi, "Settlement Analysis of Embankments on Soft Clays," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 111, no. 4, pp. 441–464, 1985.
- [7] E. M. Palmeira, *Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente*, 1st ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
- [8] C. C. Ladd, "Stability Evaluation during Staged Construction," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 117, no. 4, pp. 540–615, 1991.
- [9] B. Sivaram and K. S. Prabhata, "A computational method for consolidation-coefficient," *Soils and Foundations*, vol. 17, no. 2, 1977.
- [10] S. Hansbo, M. Jamiolkowski, and L. Kok, "Consolidation by vertical drains," *Géotechnique*, vol. 31, pp. 45–66, 1981.
- [11] G. v. Rossum, "Python Reference Manual," 2002.
- [12] J. Hunt, *Advanced Guide to Python 3 Programming*, 1st ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2019.
- [13] K. D. Lee and S. Hubbard, *Data structures and algorithms with Python*, 1st ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2015.
- [14] B. Dathan and S. Ramnath, *Object-Oriented Analysis, Design and Implementation*, 2nd ed. India: Universities Press (India) Private, 2015.