

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO COMPUTACIONAL COMO AUXÍLIO PARA ENSINO NA ÁREA DE GEOTECNIA

Jorge de Souza Henriques – e-mail: jorge.engecivil@gmail.com

Universidade do Grande Rio Professor José de Souza Herdy (UNIGRANRIO), Curso de Engenharia Civil

*Endereço: Rua Professor José de Souza Herdy, 1160 - Jardim Vinte e Cinco de Agosto
CEP: 25070-000 – Duque de Caxias - RJ*

Leandro da Rocha Vaz – e-mail: leandro.vaz@bol.com.br

Universidade do Grande Rio Professor José de Souza Herdy (UNIGRANRIO), Curso de Engenharia Civil

*Endereço: Rua Professor José de Souza Herdy, 1160 - Jardim Vinte e Cinco de Agosto
CEP: 25070-000 – Duque de Caxias - RJ*

Júlio César da Silva – e-mail: jcesarop@gmail.com

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente (DESMA); Universidade Veiga de Almeida (UVA), Curso de Engenharia Civil; Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Curso de Engenharia Civil

*Endereço: Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã
CEP: 20550-900 - Rio de Janeiro - RJ*

Iara da Silva Almeida – e-mail: iaralmeida@gmail.com

Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Curso de Engenharia Civil

*Endereço: Av. Paris, 84 - Bonsucesso
CEP: 21041-020 - Rio de Janeiro - RJ*

Elizandra Cananea de Sá Elias – e-mail: elizandracs@gmail.com

Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Curso de Engenharia Civil

*Endereço: Av. Paris, 84 - Bonsucesso
CEP: 21041-020 - Rio de Janeiro - RJ*

Resumo: *No território brasileiro é comum a presença de camadas espessas de solos moles, caracterizados por baixa resistência, elevada compressibilidade e baixa permeabilidade, fazendo-se necessário o estudo de uma solução geotécnica para permitir a execução de um aterro sobre o local ao qual se deseja a execução de algum empreendimento. Com o passar dos tempos, foram desenvolvidas diversas alternativas para construção destes aterros, mas para isso o engenheiro precisa saber qual possui maior exequibilidade técnica, a melhor solução para o local a ser construído o aterro e o que pode ser uma tarefa mais demorada. Com o intuito de agilizar essa decisão foi desenvolvida um aplicativo computacional em VBA (Visual Basic Application) para análise preliminar dos aterros sobre solos moles, este possibilita ao usuário ter uma visão de qual é a melhor viabilidade. O aplicativo calcula os métodos de sobrecarga temporária: aterro convencional, aterro convencional com camada fina de solo drenante e aterro de sobrecarga com drenos verticais. O aplicativo permite, ainda, o cálculo de aterro necessário para atingir a cota desejada de projeto no tempo determinado, a altura crítica para cada solução de aterro, o devido fator de segurança*

quanto a estabilidade global, a análise gráfica da evolução do recalque elástico e primário ao longo do tempo devido à construção de um aterro sobre o solo mole e a evolução do aterro ao longo do tempo.

Palavras-chave: Aplicação VBA. Solos Moles. Drenos. Análise Gráfica.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação de terrenos sobre solos moles vem se tornando cada vez mais frequente no Brasil, que é um tipo de solo recorrente em toda sua costa, particularmente, no estado do Rio de Janeiro. A concepção de projetos sobre solos moles se diferencia de projetos tradicionais por se tratar de um solo com baixíssima resistência ao cisalhamento, baixa permeabilidade e alta compressibilidade, se carregados o tempo para seu adensamento se tornam extremamente elevados, comprometendo o cronograma de execução e término da obra.

A engenharia com a intenção de minimizar estes fenômenos ou até evitá-los desenvolveu técnicas construtivas para diminuir as deformações verticais, acelerar os recalques – expulsando a água do interior desse solo saturado – e aumentando os fatores de segurança em relação à ruptura. Dentre as técnicas desenvolvidas, o engenheiro necessita escolher qual se adequa mais a seu projeto, comparando questões, tais como tempo de execução, técnica e viabilidade econômica. Toda esta análise demanda conhecimento de teorias da Engenharia Geotécnica e tempo adequado. Porém, faltam no mercado ferramentas que o auxiliem neste processo, de simples utilização, de maneira preliminar, mas que sedam os parâmetros necessários, otimizando a escolha da técnica adequada.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um aplicativo computacional, utilizando a linguagem de programação VBA (*Visual Basic Application*) do Excel, para auxílio aos estudantes de Engenharia Civil, podendo servir, também, aos profissionais da área como objeto de consulta, sendo assim, ferramenta otimizadora da análise preliminar de projeto geotécnico. O aplicativo tem como finalidade calcular o recalque primário proveniente do carregamento de aterro aplicado, as tensões existentes (tensão efetiva inicial, tensão de pré-adensamento e tensão efetiva final), irá gerar os parâmetros como: fator tempo (T), grau de adensamento (U%), altura de aterro necessária para atingir o recalque necessário no tempo determinado, o recalque total gerado por essa sobrecarga temporária para U=100%, altura crítica do aterro e fator de segurança quanto a ruptura, para cada solução proposta, irá possibilitar também a análise gráfica do aterro ao longo tempo e recalque ao longo do tempo. O autor chamará o aplicativo de “Geostudent” e os métodos construtivos propostos são: aterro convencional de sobrecarga temporária, aterro com camada drenante e aterro com emprego de drenos verticais.

2 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

A ferramenta computacional para auxílio de estudo geotécnico de aterro sobre solos moles, intitulada como “GeostudentPro” foi desenvolvida no Excel, utilizando componentes de VBA. É importante ressaltar que o mesmo considera apenas uma camada homogênea de solo mole. A ferramenta irá ceder os parâmetros de auxílio do estudo de viabilidade técnica e, caso seja necessário, além do aterro convencional, dispõe de outras duas soluções para tratamento de solos moles, ou seja, contemplando no total as soluções:

- Aterro convencional de sobrecarga temporária;

- Aterro de sobrecarga temporária com drenos verticais;
- Aterro convencional com camada drenante sobre o solo mole.

A ferramenta auxilia calculando a espessura do aterro necessário para atingir a cota requerida de projeto, o recalque por adensamento primário atingido pelo aterro necessário para atingir a cota de projeto, a altura de aterro necessária (aterro convencional de sobrecarga temporária, aterro com drenos verticais ou aterro de sobrecarga com camada drenante sobre o solo natural) para atingir o recalque no tempo estipulado, bem como os gráficos de aterro x tempo e recalque por adensamento x tempo, também, calcula a altura crítica de cada solução e os fatores de segurança em relação a estas alturas críticas.

2.1 Descrição da Ferramenta

Ao abrir o programa o usuário irá se deparar com a tela de login de usuários “Figura 1”, onde possuem os campos de “usuário” e “senha”, preenchidos estes campos e clicando em “entrar”, se dará início a tela do menu inicial “Figura 2”, onde é possível acessar as instruções para utilização, um breve fluxograma do funcionamento do programa, poderá acessar, também, a tela que contém uma breve descrição sobre o programa e, por fim, o botão de início de um novo projeto.

Figura 1 – Tela login de usuários



Fonte: Autoria Própria

Figura 2 – Tela menu inicial do programa



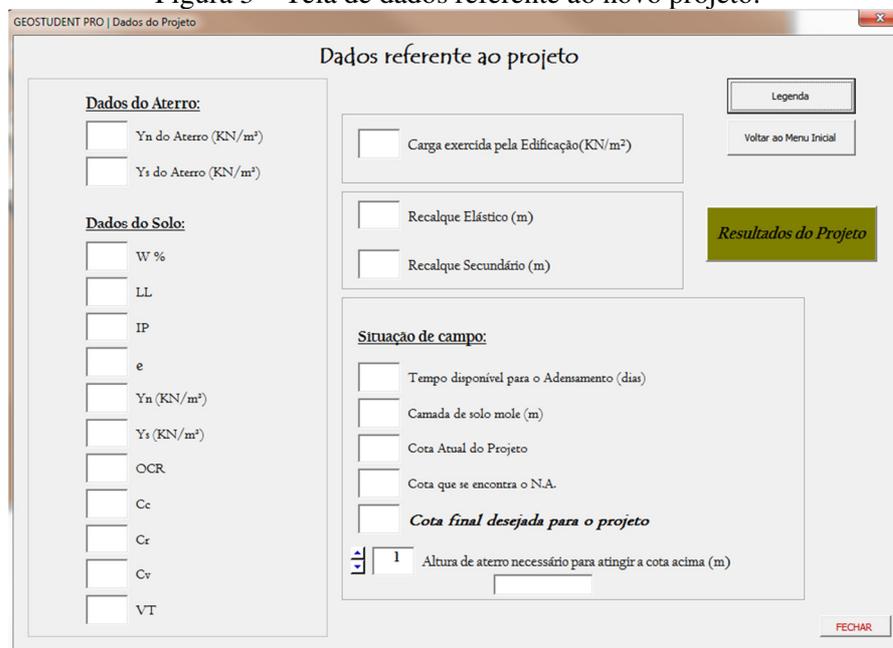
Fonte: Autoria Própria

2.2 Entrada de dados para um novo projeto

Quando o usuário clica em “Novo projeto” é aberta a tela de dados, referente ao projeto “Figura 3” onde é necessário preencher todas as lacunas com os dados necessários para o cálculo, sem o devido preenchimento, não é possível passar à próxima etapa: a tela de resultados. Os dados essenciais a serem inseridos são:

- Dados do aterro;
- Dados do solo mole;
- A carga exercida pela edificação ou construção que se deseje;
- O recalque instantâneo ou elástico e o recalque por adensamento secundário, caso o usuário não os deseje considerar deverá ser inserido zero na lacuna;
- As condicionantes de projeto e as situações de campo, estes campos devem apresentar o panorama existente no local da obra e o que o usuário deseja para o determinado projeto.

Figura 3 – Tela de dados referente ao novo projeto.



Fonte: Autoria Própria

Nos campos da situação de campo, é necessária serem preenchidas as lacunas do tempo para o adensamento, é o tempo que o usuário possui para realização da obra ou o tempo que possui disponível para o adensamento do solo mole; a lacuna da altura da camada de solo mole e as das cotas de projeto (Cota atual, cota do nível d’água e a cota final que se deseja atingir). Na caixa de altura do aterro necessário, o usuário irá clicar na seta que aumenta ou diminui a quantidade de aterro, com isso o programa irá calcular automaticamente a altura necessária para atingir as cotas desejadas de projeto, estando à altura em conformidade com o desejado, irá aparecer na caixa imediatamente abaixo um “OK”, significando que foram satisfeitas as condições para o atingimento das cotas de projeto.

Vale ressaltar que o programa considera o ensaio *Vane Test* com palhetas de 5cm de diâmetro e 10cm de altura, para mostrar o instante de ruptura da argila mole, com o intuito de através do momento aplicado no ensaio, seja determinada a resistência não-drenada S_u , que representa a resistência da argila na profundidade de referência. O usuário deve inserir no

campo “VT” o momento aplicado no ensaio, caso não o preencha será considerado por padrão um momento de 65kg.cm, para realização dos cálculos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tela de resultados do projeto “Figura 4” apresenta os valores calculados pelo programa, que são eles: o recalque por adensamento primário, a tensão inicial no solo, a tensão de pré-adensamento, a tensão final (tensão após a execução do aterro) e a variação de tensões. Para o aterro convencional, geraram-se os dados de grau de adensamento (O grau em que irá se encontrar o adensamento no tempo solicitado de projeto), o fator tempo, o recalque total gerado pelo aterro, a altura necessária de aterro para sobrecarga temporária, a altura crítica do solo e o fator de segurança quanto o aterro de sobrecarga executado, o programa, ainda, diz se está seguro ou não a execução desse aterro, caso não esteja, será ativado um botão “possíveis soluções”.

Figura 4 – Tela de resultados do projeto.



The screenshot shows the 'GEOSTUDENT PRO | Resultados do Projeto' window. It is divided into two main sections: 'Recalque | Cálculo de Tensões' and 'Resultados para o aterro convencional'.

Recalque | Cálculo de Tensões:

- Input field: Recalque Primário (m)
- Buttons: CALCULAR RECALQUE PRIMÁRIO, CALCULAR TENSÕES
- Input fields: Tensão Efetiva - Inicial (KPa), Tensão de Pré-Adensamento (KPa), Variação das Tensões (KPa), Tensão Efetiva - Final (KPa)
- Input field: Recalque total (Elastico+Primário+Secundário)
- Buttons: Voltar ao Menu Inicial, Voltar aos Dados, GRÁFICOS, Gerar Relatório

Resultados para o aterro convencional:

- Input field: FATOR TEMPO
- Button: CALCULAR FATORES
- Input fields: Grau de Adensamento - U % (No tempo solicitado), Hc (m), Fs
- Input fields: Recalque total causado pela sobrecarga de aterro (m), Está seguro???
- Input field: Altura de Aterro necessário (Para o adensamento no tempo determinado) - (m)
- Button: Possíveis soluções
- Button: FECHAR

Fonte: Autoria Própria

Na tela de possíveis soluções “Figura 5” conforme dito anteriormente, irá contemplar o aterro com aplicação de drenos verticais de malha triangular e o aterro convencional com camada de solo drenante, gerando os dados referentes a essas soluções. Será necessário o usuário preencher a largura dos drenos ou diâmetro equivalente de um geodreno com seção retangular (Dw) e o espaçamento entre eles, após isso, será possível verificar se as soluções 1 ou estão seguras para execução.

Figura 5 – Tela de possíveis soluções:



The screenshot shows the 'Possíveis Soluções' (Possible Solutions) screen in the GEOSTUDENT PRO software. It is divided into two main sections: '1ª Solução' (1st Solution) and '2ª Solução' (2nd Solution).
1ª Solução: Camada de Solo Drenante
 - Title: Camada de Solo Drenante
 - Description: O que consiste na primeira solução sugerida?? Consiste na aplicação de uma camada drenante entre o aterro e a camada de solo mole. O que iria diminuir a distância de percolação da água.
 - Input fields: Recalque total provocado (m) - após aplicar camada; Altura de Aterro necessário (Para o adensamento no tempo determinado) - (m); FATOR TEMPO - Com camada drenante; Grau de Adensamento - U (%) - Aplicando camada.
 - Verification: - Verificação do Fator de segurança: Hc (m); Fs; Está seguro???.
 - Button: VERIFICAR 1ª SOLUÇÃO
2ª Solução: Drenos Verticais
 - Title: Drenos Verticais
 - Description: O que consiste na segunda solução sugerida?? Consiste na aplicação de uma camada drenante entre o aterro e a camada de solo mole e instalação de drenos verticais. O que iria diminuir a distância de percolação da água do interior da camada de solo mole até a camada drenante.
 - Input fields: Recalque total provocado (m) - após instalação de drenos e camada drenante; Altura de Aterro necessário (Para o adensamento no tempo determinado) - (m); N; m; Tr; λ; Ur; Uv; I-U; U.
 - Additional fields: DW - Largura do dreno (m); DE - Espaçamento (m).
 - Verification: - Verificação do Fator de segurança com drenos: Hc (m); Fs; Está seguro???.
 - Button: VERIFICAR 2ª SOLUÇÃO
 - Navigation buttons: Voltar ao Menu Inicial, Voltar aos Dados, Resultados Anteriores, Gerar Relatório, FECHAR.

Fonte: Autoria Própria

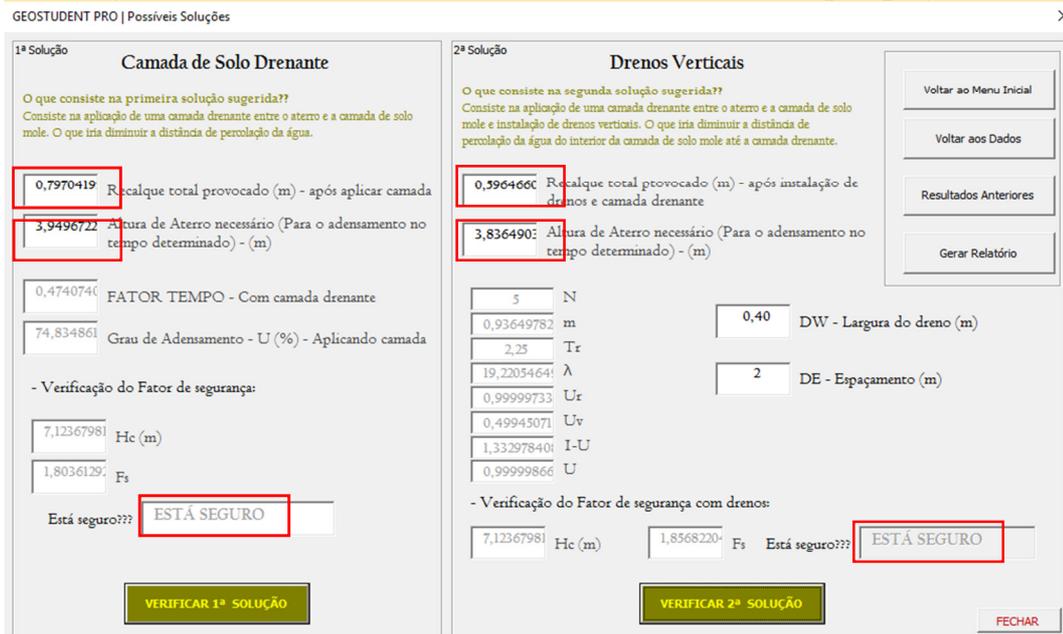
Como forma de calibração do programa utilizou-se o exercício 11.8 e 11.9 do livro Curso Básico de Mecânica dos Solos (SOUSA PINTO, 2006).

No exercício 11.8 são dados os parâmetros de projeto e do solo mole em que será construído um conjunto habitacional de dois pavimentos às margens do rio Tietê, e pede-se para determinar a altura de aterro de sobrecarga convencional para satisfazer as condições de projeto, considerando uma camada drenante sobre o solo natural, ou seja, duas camadas drenantes “Figura 6” e “Figura 7”.

Dados:

- Cota da superfície do terreno: +0,5
- Cota do nível d'água: 0,0
- Cota para construção: +2,0
- Camada de argila mole: 4,5m de espessura
- Tempo de permanência do aterro de sobrecarga: 60 dias
- Recalque por adensamento secundário: 0,10m
- γ_n do aterro: 18,5 kN/m³
- Carga das edificações: 12kN/m²
- $w = 75\%$
- $LL = 80\%$
- $IP = 48\%$
- $e = 1,95$
- γ_n do solo = 15,9 kN/m³
- RSA ou $OCR = 2$
- $C_c = 1,2$
- $C_r = 0,15$
- $C_v = 0,04$ m²/dia

Figura 6 – Resultados (aterro com a camada drenante) obtidos pelo programa



1ª Solução: Camada de Solo Drenante

O que consiste na primeira solução sugerida??
Consiste na aplicação de uma camada drenante entre o aterro e a camada de solo mole. O que irá diminuir a distância de percolação da água.

0,7970419 Recalque total provocado (m) - após aplicar camada

3,9496722 Altura de Aterro necessário (Para o adensamento no tempo determinado) - (m)

0,4740740 FATOR TEMPO - Com camada drenante

74,834861 Grau de Adensamento - U (%) - Aplicando camada

- Verificação do Fator de segurança:

7,12367981 Hc (m)

1,8036129 Fs

Está seguro??? **ESTÁ SEGURO**

VERIFICAR 1ª SOLUÇÃO

2ª Solução: Drenos Verticais

O que consiste na segunda solução sugerida??
Consiste na aplicação de uma camada drenante entre o aterro e a camada de solo mole e instalação de drenos verticais. O que irá diminuir a distância de percolação da água do interior da camada de solo mole até a camada drenante.

0,5964666 Recalque total provocado (m) - após instalação de drenos e camada drenante

3,836490: Altura de Aterro necessário (Para o adensamento no tempo determinado) - (m)

5 N

0,93649782 m

2,25 Tr

19,2205464 λ

0,99999733 Ur

0,49945071 Uv

1,33297840 I-U

0,99999866 U

0,40 DW - Largura do dreno (m)

2 DE - Espaçamento (m)

- Verificação do Fator de segurança com drenos:

7,12367981 Hc (m)

1,8568220 Fs

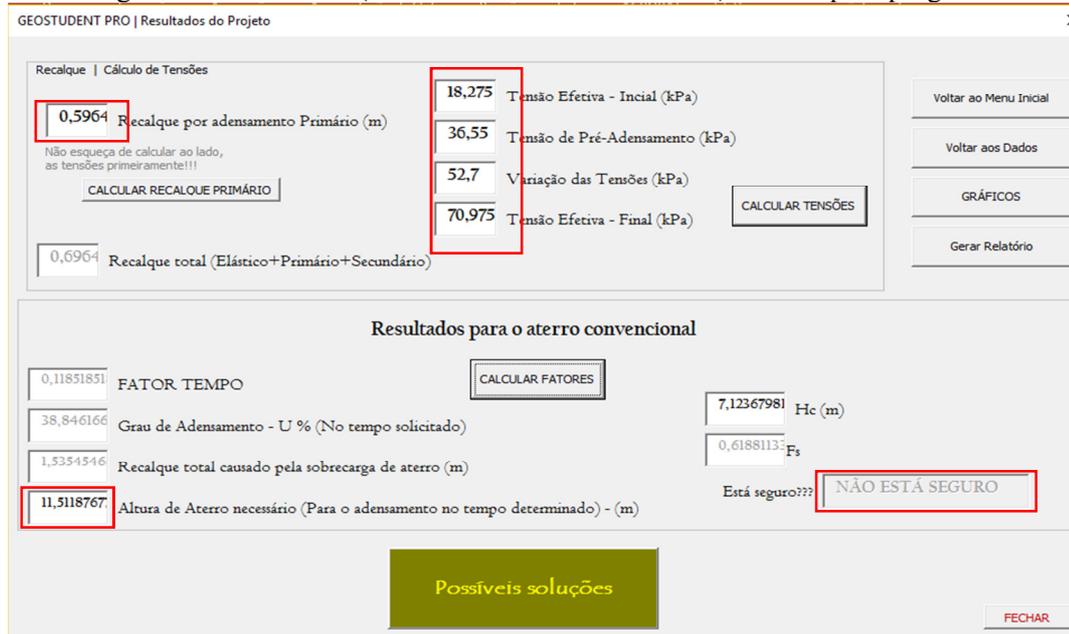
Está seguro??? **ESTÁ SEGURO**

VERIFICAR 2ª SOLUÇÃO

FECHAR

Fonte: Autoria Própria

Figura 7 – Resultados (aterro sem a camada drenante) obtidos pelo programa



Recalque | Cálculo de Tensões

0,5964 Recalque por adensamento Primário (m)

Não esqueça de calcular ao lado, as tensões primeiramente!!!

CALCULAR RECALQUE PRIMÁRIO

18,275 Tensão Efetiva - Inicial (kPa)

36,55 Tensão de Pré-Adensamento (kPa)

52,7 Variação das Tensões (kPa)

70,975 Tensão Efetiva - Final (kPa)

CALCULAR TENSÕES

0,6964 Recalque total (Elástico+Primário+Secundário)

Resultados para o aterro convencional

0,11851851 FATOR TEMPO

CALCULAR FATORES

38,846166 Grau de Adensamento - U % (No tempo solicitado)

7,12367981 Hc (m)

1,5354546 Recalque total causado pela sobrecarga de aterro (m)

0,6188113 Fs

11,5118767 Altura de Aterro necessário (Para o adensamento no tempo determinado) - (m)

Está seguro??? **NÃO ESTÁ SEGURO**

Possíveis soluções

FECHAR

Fonte: Autoria Própria

Todos os valores obtidos condizem com os calculados no livro citado, com isso, provando a eficácia do programa e testando sua calibragem.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final caso o usuário deseje, é possível gerar um relatório em PDF (*Portable Document Format*) com dados inseridos, com os resultados obtidos, bem como com as soluções propostas.

O aplicativo desenvolvido neste trabalho tem importância na otimização do estudo de viabilidade técnica para construção de aterro sobre solos moles, visto que permite o usuário tomar decisões com menor esforço e de forma mais rápida. Vale lembrar que o aplicativo será útil, também, aos estudantes de Engenharia Civil, para as disciplinas pertinentes a obras de terra, por exemplo.

A ferramenta se mostrou eficaz e com precisão satisfatória, quando comparada aos valores analíticos calculados, para fins de calibragem no exemplo 1 deste trabalho. Porém, possui limitações, pois considera apenas 1 camada argilosa, quando há diversos tipos de solo a análise pode se tornar imprecisa.

Algumas recomendações para futuros trabalhos é a implementação de cálculo do recalque por adensamento secundário. O presente trabalho utilizou a teoria de Terzaghi e Frölich para o cálculo do recalque por adensamento primário, aconselha-se futuramente calcular utilizando a teoria de Taylor e Merchant, outra recomendação é a de realizar a análise do ganho de resistência quando a construção é feita por etapas e, por fim, recomenda-se que seja ampliada esta ferramenta sendo adicionadas novas alternativas como aterro sobre colunas de brita, aterro com bermas de equilíbrio e demais soluções.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S. S., MARQUES, M. E. S., Aterros Sobre Solos Moles: Projeto e Desempenho, Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

BARRON, R. A., Consolidation of fine-grained soils by drain wells, Journal of the soil mechanics and foundation division, ASCE, 1948.

LOUISE, R. B., Contribuição ao Estudo dos Recalques por Adensamento Unidimensional, Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2011.

MADEIRA, H. U. R., Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para Projeto Geotécnico de Aterro Sobre Solo Mole – Aplicação ao Caso do Trecho Rodoviário Ramo 300, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2016.

MARTINS, I.S.M., ABREU, F.R.S., Uma Solução Aproximada para o Adensamento Unidimensional com Grandes Deformações e Submersão de Aterros, 2002.

MARTINS, I.S.M., SANTA MARIA, P.E.L., LACERDA, W.A., 1997, A brief review about the most significant results of COPPE research on rheological behavior of saturated clays subjected to one-dimensional strain. In: Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, v.1, Ed. Balkema, pp 255 a 264.

PINTO, C. S., Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas, 3ª edição, Oficina de Textos, São Paulo, 2006.

TAYLOR, D. W., Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York, 1948.

TERZAGHI, K., FRÖLICH, O. K., Theorie der Setzung von Tonschichten, Viena: Franz Deuticke, 1936.

COMPUTATIONAL APPLICATION DEVELOPMENT AS A SUPPORT FOR TEACHING THE GEOTECHNICAL AREA

Abstract: *In Brazilian territory, layers of thick layers of soft soils, characterized by low resistance, high compressibility and low permeability, are usually present, making it necessary to study a geotechnical solution to allow a landfill to be carried out on the site to which it is exposed. wishes to execute some enterprise. With the passage of time several alternatives have been developed for the construction of these landfills, but for this the engineer needs to know which one has the greatest technical feasibility, the best solution for the site to be built the landfill, which can be a time consuming task. In order to speed up this decision, a VBA (Visual Basic Application) computational application was developed for the preliminary analysis of landfills on soft soils, which enables the user to have the vision of which is the best feasibility. The application calculates the methods of temporary overload being: the conventional landfill, conventional landfill with thin drainage soil and overflow landfill with vertical drains. The application also allows the calculation of landfill required to reach the desired project quota at the given time, the critical height for each landfill solution, the due safety factor for overall stability, the graphical analysis of the evolution of elastic and primary over time due to the construction of a landfill on the soft soil and the evolution of the landfill over time.*

Keywords: *VBA Application. Soft Soil. Drains. Graphic Analysis*