

SOFTWARE EDUCACIONAL PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS PARA CÁLCULO DE CAPACIDADE DE CARGA EM SAPATAS ISOLADAS

Antônio Sergio Alves do Nascimento – asergion@gmail.com
TecGraf/PUC – Instituto de Desenvolvimento de Software Técnico-Científico
Rua Marquês de São Vicente, n° 225, Gávea
CEP – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Camila Loures da Silva Padilha – camilalouressp@gmail.com
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica da UFRJ – Centro de Tecnologia – Bloco 1, Ilha do Fundão
21941-972 – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Mariana Moraes de Souza Cid – marianacidrj@gmail.com
UNESA – Universidade Estácio de Sá
Avenida Presidente Vargas, n° 2560, Cidade Nova
20210-031 – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.

Resumo: O avanço e crescimento da informática proporciona o desenvolvimento de softwares que ajudam na propagação do conhecimento, simulando situações favoráveis aos estudantes em seu ensino-aprendizagem. Com base nisto, tem-se como propósito, modelar e desenvolver um aplicativo educacional para dispositivos móveis, capaz de calcular a capacidade de carga de uma sapata isolada, tendo como base a NBR 6122/2010 - Projeto e Execução de Fundações. O intuito é de auxiliar no ensino da disciplina de Fundações e Contensões para engenharia civil, e que por si só, seja capaz de ajudar um estudante na compreensão de todos os cálculos envolvidos no projeto de fundação, possibilitando uma visão ampla das possibilidades de comportamento da fundação e interação com o solo. O projeto tem como base a linguagem de programação Python, o ambiente de desenvolvimento integrado Pycharm e a biblioteca Kivy.

Palavras-chave: Software Educacional. Fundações. Solo. Engenharia Civil. Python.

1 INTRODUÇÃO

As fundações são elementos estruturais que tem a finalidade transmitir as cargas vindas de uma edificação para o solo, podendo ser classificadas em Fundações Profundas e Fundações Rasas. Segundo a NBR 6122, as fundações superficiais (ou rasa ou direta) são:

Elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. (NBR 6122, 2010).

Para determinar a fundação ideal é imprescindível não só o conhecimento das forças atuantes no solo, como também das características do solo que irá suportar tais esforços. Para tanto, sondagens são realizadas, que têm por finalidade o conhecimento adequado do subsolo,

que inclui a resistência a penetração, profundidade da camada resistente, parâmetros do solo e nível da água.

Em contrapartida, com os avanços da tecnologia, ferramentas computacionais vêm sendo cada vez mais utilizadas no meio profissional, por engenheiros para auxiliá-los tanto na produtividade, otimizando o tempo, quanto numa maior precisão de resultados, reduzindo falhas de projetos, nos mais diversos campos da Engenharia. Para mais, Ramos (2003), verificou em alguns estudos, que a tecnologia tem facilitado o processo de ensino-aprendizagem nas escolas e universidades, já que ela vem impregnando-se cada vez mais nos ambientes acadêmicos e têm demonstrado que a utilização da Informática na Educação pode potencializar o ensino. Além disso, os computadores pessoais (Smartphones, celulares, Tablets e E-readers), destacam as possibilidades e benefícios na utilização das tecnologias móveis para acesso aos conteúdos educacionais em qualquer lugar e horário.

Inseridos neste cenário, onde a sociedade tem sido atingida pelos avanços tecnológicos e estudos em informática na educação demonstram que computadores e celulares podem fomentar o aprendizado em vários aspectos, escolheu-se desenvolver e modelar um software educacional (SE) para dispositivos móveis capaz de calcular a capacidade de carga de uma sapata isolada, tendo como base a NBR 6122/2010 - Projeto e Execução de Fundações, auxiliando no ensino da disciplina de Fundações e Contencções, de modo que os estudantes possam ter uma maior e melhor compreensão dos problemas físicos e teóricos envolvidos nos cálculos em sala de aula, oferecendo um novo recurso aos educadores para o ensino dos conteúdos da disciplina.

Para mais, este trabalho utiliza as formulações de Terzaghi (1943) e a proposição de Vesic (1975) para casos de camadas únicas e multicamadas, buscando a total compreensão dos conceitos teóricos e dos cálculos relacionados com capacidade de cargas das fundações diretas, que depende de uma série de variáveis como: dimensões dos elementos de fundações, profundidade de assentamento, nível do lençol freático e características do solo.

O software será elaborado em linguagem de programação Python, e inteiramente no ambiente de desenvolvimento integrado Pycharm, e a criação da interface gráfica será realizada por meio da biblioteca de Kivy.

2 CAPACIDADE DE CARGA

Segundo a NBR 6122/2010, “a capacidade de carga de uma fundação (σ_r) é definida como a tensão transmitida pelo elemento de fundação capaz de provocar a ruptura do solo ou a sua deformação excessiva.” A capacidade de carga das fundações depende de três tipos de variáveis: dimensões do elemento de fundação, da profundidade de assentamento e dos parâmetros do solo.

Aleksander S. Vesic (1975), baseando-se nas teorias e formulações de Terzaghi, observou três modos de ruptura no maciço de solo para o cálculo de capacidade de carga, sendo eles: Geral, que ocorre em solos mais resistentes (areias compactas a muito compactas e argilas rijas a duras) é um tipo de ruptura repentina e catastrófica, partindo da base até a superfície, onde é formada uma protuberância na superfície do terreno, levando a um possível tombamento da fundação; a por Puncionamento, nomeada por Terzaghi como ruptura local, ocorre em solos mais deformáveis (como areias pouco compactadas a fofas e argilas moles a muito moles), sendo sua ruptura do tipo dúctil tende a afundar a fundação para baixo, sem desaprumar, devido à compressão do solo subjacente, mantendo o equilíbrio da fundação nos sentidos horizontal e vertical; e a Local, que ocorre em solos intermediários (areias medianamente compactas e argilas médias), é definida somente sob a base do elemento estrutural de fundação, não havendo

colapso nem tombamento. Como este tipo de ruptura não apresenta um mecanismo próprio institui-se um caso intermediário dos outros dois tipos de ruptura.

2.1 Equação geral de capacidade de carga

A capacidade de carga do solo, segundo a proposta de Vesic (1975) é dada pela Equação (1):

$$\sigma_r = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma \quad (1)$$

Onde:

σ_r - capacidade de carga (kPa);

c - coesão do solo (kPa);

q - tensão efetiva ao nível da base (kPa);

γ - peso específico do solo seco (kN/m);

B - Largura da base da sapata (m);

N_c, N_q, N_γ - fatores de capacidade de carga.

S_c, S_q, S_γ - fatores de forma da sapata;

Para a implementação no software, Vesic (1975) considerou as seguintes formulações do fator de capacidade de carga (Equações 2, 3 e 4):

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45^\circ + \phi/2) \quad (2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (3)$$

$$N_\gamma \approx 2 (N_q + 1) \tan \phi \quad (4)$$

Para os fatores de forma utilizaram-se as formulações de De Beer (1967, apud VESIC, 1975), na qual depende do ângulo de atrito ϕ e da geometria da sapata, conforme mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de forma.

| Sapata | S_c | S_q | S_γ |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Corrida | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Retangular | $1 + (B/L) (N_q/N_c)$ | $1 + (B/L) \tan \phi$ | $1 - 0,4 (B/L)$ |
| Circular ou Quadrada | $1 + (N_q/N_c)$ | $1 + \tan \phi$ | 0,60 |

Fonte: Elaborado pelas autoras apud Vesic, 1975.

Com relação aos parâmetros dos solos, consideraram-se as formulações de Teixeira e Godoy (1996) para coesão e ângulo de atrito (Equações 5, 6, 7).

$$c = 10 N_{spt} \quad (\text{kPa}) \quad (5)$$

$$\phi = 28^\circ + 0,4 N_{spt} \quad (6)$$

$$\phi = \sqrt{20 N_{\text{spt}} + 15^\circ} \quad (7)$$

Para definição do peso específico em solos argilosos e arenosos, utilizam-se as Tabelas (2,3) de Godoy (1972).

Tabela 2 - Peso específico de solos argilosos.

| N (SPT) | Consistência | Peso Específico (kN/m ³) |
|---------|--------------|--------------------------------------|
| ≤ 2 | Muito Mole | 13 |
| 3 a 5 | Mole | 15 |
| 6 a 10 | Média | 17 |
| 11 a 19 | Rija | 19 |
| ≥ 20 | Dura | 21 |

Fonte: Elaborado pelas autoras apud Godoy, 1972.

Tabela 3 - Peso específico de solos arenosos.

| N (SPT) | Compacidade | Peso específico (kN/m ³) | | |
|---------|-----------------------|--------------------------------------|-------|----------|
| | | Areia seca | Úmida | Saturada |
| < 5 | Fofa | | | |
| 5 a 8 | Pouco compacta | 16 | 18 | 19 |
| 9 a 18 | Medianamente compacta | 17 | 19 | 20 |
| 19 a 40 | Compacta | | | |
| > 40 | Muito compacta | 18 | 20 | 21 |

Fonte: Elaborado pelas autoras apud Godoy, 1972.

No caso das areias saturadas, utiliza-se o peso específico efetivo, descontando o peso específico da água γ_a . Pois, o valor presente na Tabela 3 está relacionado com o peso específico submerso.

No caso de solos fofos ou moles (ruptura local) Terzaghi propõe a utilização da equação de ruptura geral com os valores reduzidos (c' e ϕ') dos parâmetros de resistência do solo, segunda as Equações (8 e 9):

$$c' = \frac{2}{3} c \quad (8)$$

$$\text{tg } \phi' = \frac{1}{2} \text{tg } \phi \quad (9)$$

Para o cálculo da capacidade de carga também deve-se considerar o bulbo de tensões que é onde acontece a propagação das tensões pelas camadas do solo abaixo da sapata. Segundo Cintra (2011), "a existência de uma segunda camada distinta, sob a base da sapata, deve ser considerada somente se for atingida pelo bulbo de tensões". Na qual, para efeitos práticos em fundação, leva-se em consideração a geometria da sapata utilizada de acordo com a Tabela 4:

Tabela 4 - Valores de z para cálculo do Bulbo de Tensões.

| Sapata | Valor de z |
|------------------------------|------------|
| Circular ou Quadrada (L = B) | z = 2B |
| Retangular (L = 2a 4B) | z = 3B |
| Corrida (L ≥ 5B) | z = 4B |

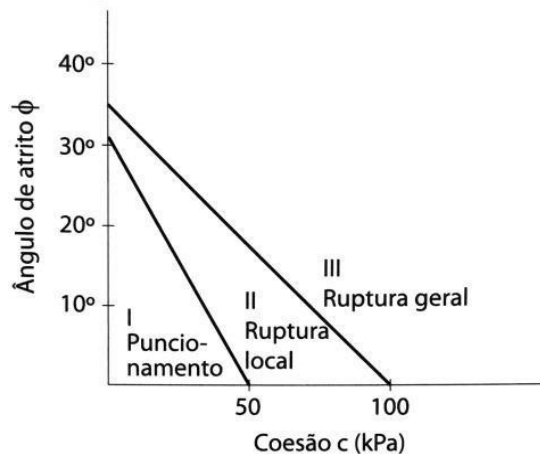
Fonte: Elaborado pelas autoras apud Simons et al (1981).

No caso de solos arenosos deve-se levar em consideração o posicionamento do nível d'água para os cálculos de capacidade de carga dentro do bulbo de tensões, pois a água, ao submergir o solo, afeta o valor do peso específico γ . De acordo com Das (2011) há três condições que podem ser estabelecidas:

- O nível d'água acima da base da sapata;
- O nível d'água na cota da base da sapata;
- O nível d'água abaixo da cota da base da sapata;

Para identificar o modo de ruptura dos solos coesão e ângulo de atrito ($c - \phi$), cujo valor de N_{spt} não é dado, utiliza-se o gráfico da Figura 1, onde é caracterizado três regiões de ruptura do solo, que correlaciona os valores obtidos através das Tabelas 2 e 3, mais as correlações de coesão (c) e de ângulo de atrito (ϕ) com o índice de resistência à penetração (N_{spt}), tendo os valores de c nas abscissas e dos de ϕ nas ordenadas.

Figura 1 - Modos de ruptura dos solos coesão - ângulo de atrito.



Fonte: Cintra et al, 2011.

3 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Para a elaboração de um software educacional (SE) para dispositivos mobiles houve a necessidade da utilização algumas aplicações para suporte à implementação do projeto. Utilizou-se a linguagem de programação Python para codificar o aplicativo mobile, o ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) Pycharm, que fornece uma ampla gama de ferramentas essenciais para desenvolvedores Python, além de reunir uma série de ferramentas que facilitam a vida do programador. Comtempla também a biblioteca de interface gráfica é Kivy, que é uma biblioteca Python de código aberto para o rápido desenvolvimento de aplicativos que utilizam interfaces de usuário inovadoras, como aplicativos multitoque e seus inúmeros subprojetos constituem uma ampla plataforma para o desenvolvimento de aplicações gráficas com o Python.

O aplicativo foi desenvolvido no período no qual o professor Antônio Sergio Alves do Nascimento ministrou as aulas de Fundações (NASCIMENTO, 2018). Suas notas de aulas mostravam passo-a-passo a solução de cada exercício, isso foi uma fonte de pesquisa fundamental para que o software tivesse um design educacional.

3.1 Limitações

Dependendo da estratigráfica do solo, ele pode possuir diversas camadas, sendo assim, software está implementado para dar resultados de no máximo duas camadas, conforme

abordam os principais autores de livros acadêmicos, como Aoki-Velloso (1975), de Décourt-Quaresma (1978), entre outros.

3.2 Considerações

O peso específico da água ($\gamma_{\text{água}}$) é de 9810 N/m^3 (considerando a temperatura 20°C , pressão 1 atm e a gravidade de $9,81 \text{ m/s}^2$), porém alguns autores consideram para 10.000 N/m^3 , o mesmo valor é considerado para efeitos de cálculo do software.

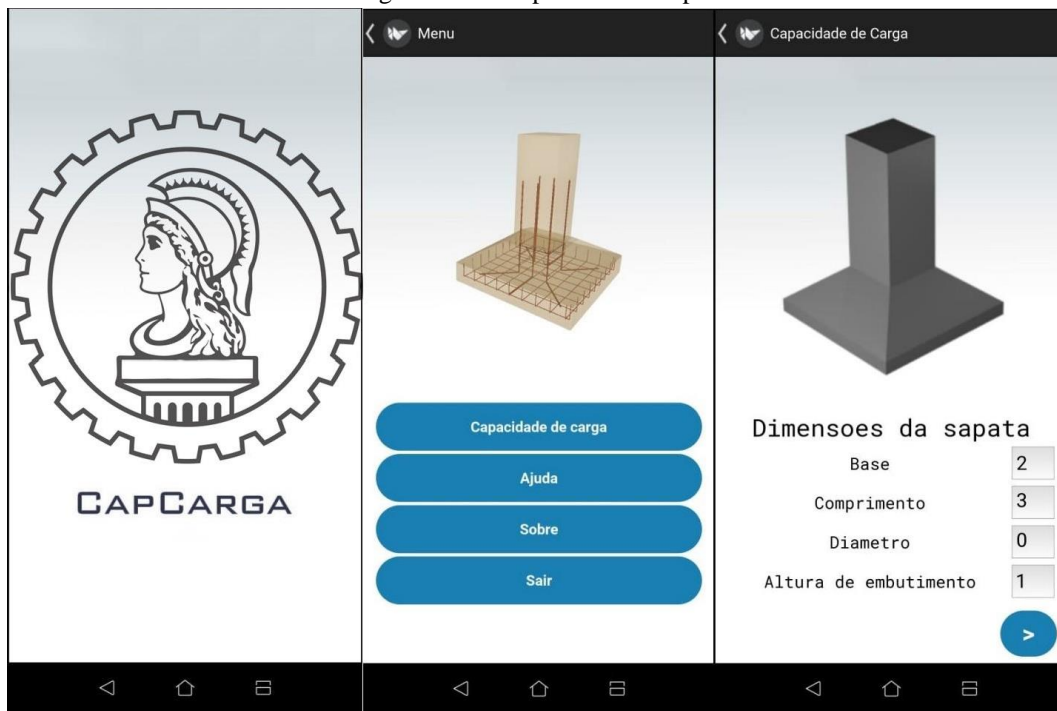
3.3 Apresentação do aplicativo móvel

A Figura 2, expõe as principais telas do aplicativo, cujo nome é “CapCarga”.

Procurou-se facilitar a compreensão do usuário na entrada de dados, com textos claros e objetivos, e ao lado campos destinados a inserção de dados, na cor branca. Interação do software com usuário.

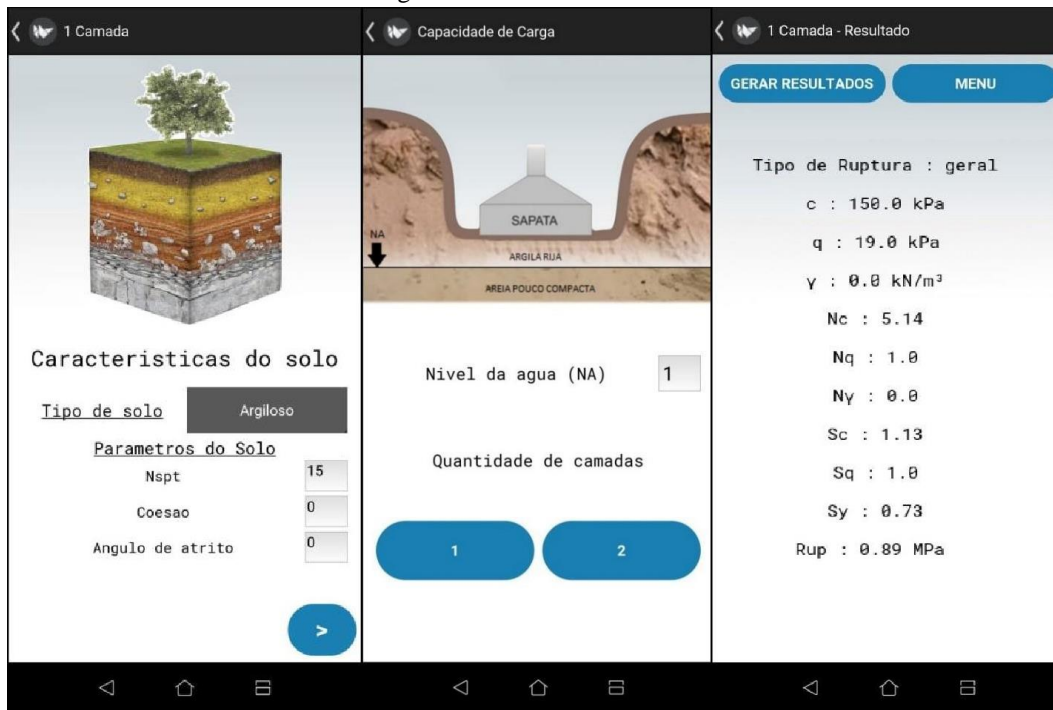
O software só realiza cálculo com base nas informações de entrada, faz-se necessário que o usuário conheça no mínimo as propriedades geométricas da sapata, um parâmetro do solo, e o nível do lençol freático. Caso o usuário não possua um dos itens solicitados, o mesmo deverá preencher zero, para prosseguir. Além disso, desenvolveu-se um mecanismo de análise de falha de entrada de dados, com o propósito de minimizar erros durante a execução do aplicativo, onde informa ao usuário, que os dados foram inseridos incorretamente caso não sejam caracteres alfanuméricos, e ao mesmo tempo não permite a continuidade do cálculo antes da devida correção.

Figura 2 - Principais telas do aplicativo



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 3 - Tela de entrada de dados



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Na Figura 3 observa-se algumas telas de entrada de dados referentes, como: a nível da água, quantidades de camadas e características do solo. Na obtém-se os resultados obtidos pelo aplicativo.

3.4 Validação dos resultados

A validação foi realizada comparando-se os resultados do software com os exercícios resolvidos do livro Fundações Diretas - Projeto Geotécnico de Cintra et al (2011). Para facilitar essa análise, os resultados encontrados pelo autor do livro foram colocados em tabelas.

Como exemplo de validação, tem como referência exercício 5, apresentado por Cintra et al (2011) na página 57, onde o autor considera uma sapata de concreto armado com dimensões 3 x 3 m, numa profundidade em relação ao terreno de 1 m. Na primeira camada encontra-se um solo de Argila rija, com Nspt 15. A segunda camada inicia-se a uma profundidade de 5 m, sendo um solo com areia pouco compacta, com Nspt 6.

A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados pelos Autores do livro e na Figura 4, encontram-se os valores obtidos pelo aplicativo.


Verifica-se que há pequenas variações de resultados, porém deve-se considerar que o software ao longo de sua execução não trabalha com fatores de capacidade de carga tabelados, como consta na Tabela 2, e sim com as formulações teóricas de Vesic (1975), sendo o cálculo do aplicativo mais preciso, além disso, o programa não efetua quaisquer tipos de arredondamento, trabalha apenas com os valores exatos, apenas há um truncamento na tela de resultados para melhor visualização dos valores.

Tabela 5 – Exercício do livro para validação do aplicativo.

| 1° CAMADA | | 2° CAMADA | |
|-----------------------------|------------|-----------------------------|---------------|
| Tipo de ruptura: | Geral | Tipo de ruptura: | Puncionamento |
| Parâmetros | Resultados | Parâmetros | Resultados |
| c | 150 | c | - |
| q | 19 | q | 95 |
| γ | 19 | γ | 19 |
| Fatores | | Fatores | |
| Nc | 5,14 | Nc | - |
| Nq | 1 | Nq | 7,07 |
| Ny | - | Ny | 6,2 |
| Nq/Ny | 0,2 | Nq/Ny | 1,14 |
| Sc | 1,2 | Sc | - |
| Sq | 1 | Sq | 1,38 |
| Sy | - | Sy | 0,6 |
| Tensão de Ruptura: 0,94 Mpa | | Tensão de Ruptura: 1,04 Mpa | |
| $\sigma_r = 0,94$ | | | |

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 4- Resultados do aplicativo.



1 Camada - Resultado

GERAR RESULTADOS MENU

Primeira Camada

Tipo de Ruptura : geral

c : 150.0 kPa Nc : 5.14 Sc : 1.19
q : 19.0 kPa Nq : 1.0 Sq : 1.0
γ : 19 kN/m³ Ny : 0.0 Sy : 0.6

Rup : 0.94 MPa

Segunda Camada

Tipo de Ruptura : punc

c : 0.0 kPa Nc : 16.19 Sc : 1.45
q : 95.0 kPa Nq : 7.33 Sq : 1.39
γ : 9.0 kN/m³ Ny : 6.52 Sy : 0.6

Rup : 1.09 MPa

Tensão de ruptura: 0.94 MPa

Fonte: Elaborado pelas autoras.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como consequência do estudo deste trabalho, obteve-se o aplicativo “CapCarga”, o qual é uma ferramenta didática, e acessível de qualquer lugar sem conexão à internet, capaz de estimar a capacidade de carga sapatas isoladas, por meio das formulações teóricas desenvolvidas por Terzaghi (1943) e Vesic (1975), visto que utilizam os resultados das sondagens a percussão (com a realização do SPT), além de respeitar as recomendações da NBR 6122/2010 - Projeto e Execução de Fundações.

A rotina computacional desenvolvida favorece o aumento da produtividade e eficiência no ensino favorecendo, tanto alunos quanto professores, na busca de novos recursos e formas de ensinar. A partir dos resultados obtidos pelo programa, conclui-se que ele se mostrou apto para atender sua proposta, sendo eficaz na resolução dos problemas sugeridos, sem apresentar nenhum tipo de defeito, falha ou erro no código.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

BOGDANCHIKOV, A.; ZHAPAROV, M.; SULIYEV, R. **Python to learn programming**. IOPscience ScieTech 2013, p. 6, 2013. Disponível em: iopscience.iop.org. Acesso em: 20 set 2018.

BORGES, L. E. **Python para desenvolvedores**. Editora Novatec, 360 p. 27, 29. Rio de Janeiro, 2014.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações Diretas: Projeto Geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

_____. **Tensão admissível em fundações** 4. ed. São Carlos: Rima, 2003.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia diretas. Geotécnica**. 6º edição. p. 488 – 514. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

GODOY, N. S. **Fundações: Notas de Aula, Curso de Graduação**. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1972.

_____. **Estimativa de capacidade de carga de estaca a partir de resultados de penetrômetro estático**. Palestra. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1983.

Kivy. **Kivy**. Disponível em: <https://kivy.org/>. Acesso em: 20 set. 2018.

Lamounier, Hudson (2016). **Atividades básicas ao processo de desenvolvimento de Software**. Artigo publicado no canal DEVMEDIA (www.devmedia.com.br). Disponível em: <http://www.devmedia.com.br/atividades-basicas-ao-processo-de-desenvolvimento-de-software/5413>. Acesso em 16 ago. 2018.

NASCIMENTO, Antonio Sergio Alves do. **Notas das Aulas de Fundações**. UNESA, 2018.

PyCharm, Python IDE for Professional Developers. Disponível em:
<https://www.jetbrains.com/pycharm/>. Acesso em: 02 out. 2018

Python, **Quotes About Python**. Disponível em: <<https://www.python.org/about/quotes>>
Acesso em: 19 set. 2018.

RAMOS, E.M.F. (Org.). **Informática na escola: um olhar multidisciplinar**. Fortaleza:
Editora UFC, 2003.

REIS, Christian Robottom. **Python na prática**: Um curso objetivo de programação em Python.
Async Open Source, 2004. Disponível em:
<http://www.rra.etc.br/linux/python/documents/pnp.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

SIMONS, N. E.; MENZIES, K. E. **Introdução à engenharia de fundações**. Rio de Janeiro:
Interciência, 1981.

TERZAGHI, K. *Theoretical soil mechanics*. New York: John Wiley and Sons, 1943.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. *Soil mechanics in engineering practice*. New York: John Wiley
and Sons, 1967.

TEXEIRA, A. H. **“Projeto e execução de fundações”**. 3º Seminário de Engenharia de
Fundações Especiais e Geotecnia. n. 1, p. 33-50. São Paulo, 1996.

TEXEIRA, A.H.; GODOY, N.S. “Análise, projeto e execução de fundações rasas”, in:
HACHICH, W. et al. (ed.) **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: PINI, 1998. p. 227-264.

VELLOSO, Dirceu Alencar; LOPES, Francisco de Rezende Waldemar. **Fundações: Critérios
de Projeto – Fundações Superficiais**. Nova Edição - São Paulo. Oficina de Texto, 2011.

VESIC, A. S. “*Bearing capacity of shallow foundations*”, in: WINTERKORN, H. F e FANG,
H. Y. (ed.) **Foundation Engineering Handbook**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1975. p.
121 - 147.

EDUCATIONAL SOFTWARE FOR MOBILE DEVICES TO CALCULATE LOAD CAPACITY IN ISOLATED FOOTING

Abstract: *The advancement and growth of computer science provides the software development that helps in the propagation of knowledge, simulating situations favorable to students in their teaching-learning. Based on this, the purpose is to model and develop educational software for mobile devices, capable of calculating the load capacity of an isolated footing, based on NBR 6122/2010 - Projeto e Execução de Fundações. The intent is in order to assist in the teaching of the Foundations and Constraints discipline for civil engineering, and that by itself, being able to help a student in understanding all the calculations involved in the foundation project, allowing a broad view of the behavior possibilities of the foundation and interaction with the soil. The project is based on the Python programming language, the integrated development environment (IDE), Pycharm and the Kivy library.*

Keywords: *Educational Software. Foundations. Soil. Civil Engineering. Python.*