

GEOLOGIA AMBIENTAL:

Tecnologias para o desenvolvimento sustentável - Vol. 1

Eduardo de Lara Cardozo
(Organizador)



Eduardo de Lara Cardozo
(Organizador)

**GEOLOGIA AMBIENTAL: TECNOLOGIAS PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Atena Editora
2017

2017 by Eduardo de Lara Cardozo

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Edição de Arte e Capa: Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza (UEPA)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Profª Drª Adriana Regina Redivo (UNEMAT)

Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Profª Drª Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatric)

Profª Drª Lina Maria Gonçalves (UFT)

Profª Drª Vanessa Bordin Viera (IFAP)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G345

Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável /
Organizador Eduardo de Lara Cardozo. – Ponta Grossa (PR):
Atena Editora, 2017.

297 p. : 57.346 kbytes – (Geologia Ambiental; v. 1)

Formato: PDF

ISBN 978-85-93243-39-4

DOI 10.22533/at.ed.3940809

Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Geologia ambiental. 3. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Cardozo, Eduardo de Lara. II. Título. III. Série.

CDD-363.70

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

www.atenaeditora.com.br

E-mail: contato@atenaeditora.com.br

Apresentação

Notícias como deslizamentos de encostas, regiões alagadas e ocupações irregulares sempre vêm à tona. E quando ocorrem, normalmente trazem junto a esses fatos, prejuízos econômicos e infelizmente anúncios relacionados à perda de vidas.

Alguns exemplos desses processos são recentes, como o caso do deslizamento de uma encosta em Angra dos Reis em 2010, onde houveram vítimas fatais, outro caso que chamou muito a atenção foi o rompimento, em 2015, de uma barragem de rejeitos no município de Mariana (Minas Gerais), bem como alagamentos em várias regiões brasileiras, são frequentemente divulgadas. Questões ambientais que ocorrem naturalmente, porém com o processo de ocupação irregular e degradação pela ação humana, os resultados nem sempre são positivos.

Os artigos aqui apresentados vêm ao encontro de muitos fatos ocorridos e que normalmente atribuímos apenas a questões ambientais. Porém, sabemos que não é bem assim! O deslizamento é um fenômeno comum, principalmente em áreas de relevo acidentado, as enchentes acontecem logo em seguida às chuvas intensas e em grandes períodos. Situações que há milhares de anos vem se repetindo, porém com o processo de urbanização, a retirada da cobertura vegetal, a ocupação de áreas irregulares, a contaminação do solo, a degradação do ambiente, entre vários outros pontos, acaba sendo intensificada pela constante alteração e ocupação desse espaço geográfico.

No primeiro volume da obra **“Geologia Ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável”** são abordadas questões como: análise da suscetibilidade a deslizamentos, avaliação de cenários sob perigo geotécnico, ordenamento territorial, a importância de estudos específicos considerando as complexidades e diversidades dos diferentes contextos, análise do comportamento geomecânico dos maciços rochosos, caracterização química-mineralógica e da resistência ao cisalhamento, estudos de resistência do meio físico em busca de segurança de instalações e a utilização de software no dimensionamento geotécnico aplicado a fundações profundas.

Neste primeiro volume também são contemplados os seguintes temas: análise da evolução da boçoroca do Córrego do Grito em Rancharia-São Paulo, estudos de áreas suscetíveis a ocorrência de inundações, diagnóstico ambiental voltado à erosão hídrica superficial e cartografia geotécnica, erosão e movimento gravitacional de massa, melhoramento fluvial do rio Urussanga - SC objetivando a redução de impactos associados às chuvas intensas, desassoreamento do Rio Urussanga - SC e caracterização do sedimento, potencialidades dos recursos hídricos na Bacia do Córrego Guariroba -MS.

E fechando este primeiro volume, temos os temas ligados ao: uso de tecnologias alternativas para auxiliar no tratamento de águas residuais, gestão de esgotamento sanitário, estudos sobre a contaminação dos solos por gasolina e

descontaminação através de bioremediação, metodologias que determinam a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, mapeamento geoambiental como subsídio à seleção de áreas para implantação de centrais de tratamento de resíduos sólidos, são apresentados.

Diferentes temas, ligados a questões que estão presentes em nosso cotidiano. Desejo uma excelente leitura e que os artigos apresentados contribuam para o seu conhecimento.

Atenciosamente.

Eduardo de Lara Cardozo

SUMÁRIO

Apresentação.....03

CAPÍTULO I

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRAS CRISTALINAS LITORÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC.

Maurício Pozzobon, Gustavo Ribas Curcio e Claudinei Taborda da Silveira.....08

CAPÍTULO II

AValiação DE CENÁRIOS SOB PERIGO GEOTÉCNICO: O CASO DA COMUNIDADE DO MORRO DA MARIQUINHA, FLORIANÓPOLIS-SC.

Gabriela Bessa, Daniel Galvão Veronez Parizoto, Rodrigo Del Olmo Sato, Nilo Rodrigo Júnior, Murilo da Silva Espíndola e Vítor Santini Müller.....30

CAPÍTULO III

AValiação DOS REMANESCENTES FLORESTAIS NA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO O CASO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP

Raquel Alfieri Galera, Fernando Cerri Costa e Ricardo de Souza Moretti.....42

CAPÍTULO IV

Caracterização E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS COMPOSTOS PELAS PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Walter dos Reis Junior e Maria Giovana Parizzi.....57

CAPÍTULO V

Caracterização GEOTÉCNICA E MINERALÓGICA DE UMA ARGILA FORMADA SOB ATIVIDADE HIDROTÉRMAL

Marcelo Heidemann, Luiz Antônio Bressani, Juan Antonio Altamirano Flores, Matheus Porto, Breno Salgado Barra e Yader Alfonso Guerrero Pérez.....73

CAPÍTULO VI

PROPOSIÇÕES PARA UM CISALHAMENTO DIRETO DE CAMPO: ALTERNATIVA EM MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS.

Vitor Santini Müller, Nilo Rodrigues Júnior, Murilo da Silva Espíndola, Regiane Mara Sbroglia, Rafael Augusto dos Reis Higashi e Juan Antonio Altamirano Flores.....89

CAPÍTULO VII

USO DE MODELO GEOLÓGICO DIGITAL COMO FERRAMENTA DE ORIENTAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO

Carlos Magno Sossai Andrade, Patrício José Moreira Pires e Rômulo Castello Henrique Ribeiro.....102

CAPÍTULO VIII

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA BOÇOROCA DO CÓRREGO DO GRITO EM RANCHARIA-SP DE 1962 A 2014

Alyson Bueno Francisco.....118

CAPÍTULO IX

CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NAS MICROBACIAS DO MÉDIO RIO GRANDE

Eduardo Goulart Collares, Ana Carina Zanollo Biazotti Collares, Jéssica Avelar Silva e Amanda Francieli de Almeida.....126

CAPÍTULO X

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUPERFICIAL DO MUNICÍPIO DE PACOTI NO ESTADO DO CEARÁ. EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE E UNIDADES DE RELEVO PARA GEOTECNIA

Francisco Kleison Santiago Mota, Jean Marcell Pontes de Oliveira, Naedja Vasconcelos Pontes, César Ulisses Vieira Veríssimo e Sônia Maria Silva de Vasconcelos.....138

CAPÍTULO XI

MAPEAMENTO DE AMEAÇAS E DESASTRES NATURAIS NA ÁREA URBANA DE SANTARÉM - PA

Fábio Ferreira Dourado e Milena Marília Nogueira de Andrade.....160

CAPÍTULO XII

MELHORAMENTO FLUVIAL DO RIO URUSSANGA PERTENCENTE À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, SUL DE SANTA CATARINA

Sérgio Luciano Galatto, Gustavo Simão, Jader Lima Pereira, Nadja Zim Alexandre e Vilson Paganini Belletini.....174

CAPÍTULO XIII

METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DO RIO URUSSANGA-SC PARA FINS DE DEPOSIÇÃO

Nadja Zim Alexandre, Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Gustavo Simão, Jader Lima Pereira e Sérgio Luciano Galatto.....190

CAPÍTULO XIV

POTENCIALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO CÓRREGO GUARIROBA, MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE-MS

Giancarlo Lastoria, Sandra Garcia Gabas, Guilherme Henrique Cavazzana, Juliana Casadei e Tamiris Azoia de Souza.....204

CAPÍTULO XV

ASPECTOS PRINCIPAIS SOBRE O USO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA AUXILIAR NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

Bruna Ricci Bicudo, Lígia Belieiro Malvezzi e Edilaine Regina Pereira.....214

CAPÍTULO XVI

AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS OPERACIONAIS PRESENTES EM ALGUMAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ

Thiago de Norões Albuquerque, Tícia Cavalcante de Souza e Wladya Maria Mendes de Oliveira.....225

CAPÍTULO XVII

COMPARATIVO DE BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR GASOLINA

Diego Moreira da Silva, Marcela Penha Pereira Guimarães, Raphael Moreira Alves e Francisco Roberto Silva de Abreu.....239

CAPÍTULO XVIII

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO E SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA EM TAQUARUÇU DO SUL - RS

Gabriel D'Avila Fernandes, José Luiz Silvério da Silva, Willian Fernando de Borba, Lueni Gonçalves Terra, Carlos Alberto Löbler e Edivane Patrícia Ganzer.....251

CAPÍTULO XIX

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO - SP

Hermes Dias Brito, Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, Claudia Vanessa dos Santos Corrêa e Lucilia do Carmo Giordano.....263

Sobre o organizador.....286

Sobre os autores.....287

CAPÍTULO VII

USO DE MODELO GEOLÓGICO DIGITAL COMO FERRAMENTA DE ORIENTAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO

**Carlos Magno Sossai Andrade
Patrício José Moreira Pires
Rômulo Castello Henrique Ribeiro**

USO DE MODELO GEOLÓGICO DIGITAL COMO FERRAMENTA DE ORIENTAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO

Carlos Magno Sossai Andrade

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Civil
Vitória - Espírito Santo

Patrício José Moreira Pires

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Civil
Vitória - Espírito Santo

Rômulo Castello Henrique Ribeiro

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Civil
Vitória - Espírito Santo

RESUMO: O presente trabalho tem o objetivo mostrar uma aplicação prática referente à utilização de um software no dimensionamento geotécnico aplicada a fundações profundas. A revisão bibliográfica introduz o conceito de fundação profunda e explana objetivamente o tipo utilizado no estudo, assim como os principais ensaios de investigação de solo aplicados ao dimensionamento de estacas profundas. É apresentado o método de capacidade de carga e alguns elementos básicos relativos ao software de modelagem utilizado neste trabalho. A metodologia mostra como deve ser feito o dimensionamento de estacas tipo hélice contínua em um determinado terreno a partir de dados de relatórios de sondagem, desde o cálculo em planilhas eletrônicas até a inserção de dados no software para a criação de modelos geológicos sólidos e de cercas de litologia e capacidade de carga, assim como o mapa de profundidades aplicado ao dimensionamento de estacas profundas tipo hélice contínua. Dessa forma, verificou-se que de softwares de modelagem podem ser utilizados como guias no dimensionamento de estacas profundas.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento de fundação. Modelo geológico. Fundação profunda.

1. INTRODUÇÃO

Toda construção de engenharia repousa sobre solo ou rocha e necessita de algum elemento que faça essa interface, sendo esse chamado de Fundação (BOWLES, 1997). A fundação é um sistema de transmissão dos esforços onde toda a carga da construção é distribuída no solo ou rocha de forma que esse seja capaz de lhe suportar e prover estabilidade.

A concepção de uma estrutura de fundação requer elementos chave para ser feita, como a localização e a posição das cargas impostas, a inspeção do terreno onde será situada a construção, a avaliação do terreno e a determinação dos parâmetros do solo e por último o dimensionamento da estrutura (BOWLES, 1997).

A quantidade de dados que devem ser analisados por vezes torna esse trabalho dispendioso e pouco preciso, e métodos manuais podem levar a grandes erros. A utilização de modelos matemáticos e ferramentas computacionais podem minimizar esses problemas, resolver de forma mais rápida e segura, e apresentar um resultado mais confiável para se trabalhar.

De acordo com Turner (2006) um dos maiores problemas na interpretação de dados geológicos do subsolo, é a falta de representatividade. Pois os ensaios realizados em campo são espaçados e possuem um número mínimo determinado por norma, e quem os executa tende a fazê-los no menor número possível a fim de economizar dinheiro e tempo. Para se estabelecer um modelo coerente com a realidade, devem-se interpolar esses pontos espaçados de dados. Este processo de interpolação geralmente requer conhecimento geológico de forma a replicar com sucesso os ambientes geológicos reais.

1.1. Objetivo do trabalho

O presente trabalho visa apresentar uma maneira objetiva de utilização de um software para traçar o perfil geotécnico de um determinado terreno e, além disso, mostrar uma aplicação prática de dimensionamento geotécnico de fundações profundas para um caso real.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1. Fundação profunda

A NBR 6122 (ABNT, 2010) define fundação profunda como:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. Nesse tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões.

De acordo com Schnaid (2000), existem basicamente 3 tipos de materiais que as fundações profundas podem ser feitas, sendo classificadas de acordo com os 4 tipos: I- Madeira, II- Concreto, III- Aço e IV-mistas. Quanto à execução podem ser feitas por cravação ou escavação.

2.2. Estacas tipo Hélice Contínua

A Estaca Hélice Contínua, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) é uma

Estaca de concreto moldado in loco, executada mediante a introdução, por rotação, de um trado helicoidal contínuo no terreno e injeção de concreto pela própria haste central do trado simultaneamente com sua retirada, sendo que a armadura é introduzida após a concretagem da estaca.

Essa estaca é utilizada fora do País desde a década de 70, possui a grande vantagem de ter uma alta produtividade assim como baixo nível de ruído (VELLOSO; LOPES, 2002) podendo ser utilizadas em áreas com restrições quanto ao nível de vibração e ruído.

O bombeamento do concreto para dentro do furo deve ser feita concomitantemente à retirada da hélice atentando aos seguintes princípios: A retirada do fuste deve ser feita sem rotação, ou com rotação lenta no mesmo sentido da perfuração e a pressão do concreto no furo deve ser mantida sempre positiva de forma que preencha todos os vazios deixados pela extração da hélice (VELLOSO; LOPES, 2002). Esse procedimento torna possível a utilização desse equipamento em solos abaixo ou acima de lençol freático, assim como em terrenos de solo não coesivo (MAGALHÃES, 2005).

A armadura é colocada sempre ao final da concretagem, devendo ser introduzida com o concreto ainda fresco, podendo ser feito manualmente por operários, com auxílio de um peso, ou com auxílio de um vibrador. As estacas submetidas somente a esforços de compressão não necessitam de armadura em toda a sua extensão, sendo utilizada somente uma armadura de ligação com o bloco de coroamento (MAGALHÃES, 2005). Para esse tipo de estaca, e/ou estacas não armadas, a norma NBR 6122 (ABNT, 2010) permite uma tensão de 5,0MPa no concreto.

2.3. SPT – Teste de Penetração Padrão

De acordo com Schnaid (2000), a sondagem SPT, ou *Standart Penetration Test*, é um dos procedimentos de investigação de subsolo mais importantes e é utilizado em todo o mundo em obras de engenharia, mais especificamente para o dimensionamento de fundações. Podendo ser empregado na obtenção de parâmetros geotécnicos preliminares de fundamental importância para os estudos da área, como a indicação da densidade de solos granulares e também na identificação da consistência de solos coesivos.

Outra aplicação do ensaio SPT é a determinação do perfil do subsolo e identificação tátil-visual das diferentes camadas a partir do material recolhido no amostrador-padrão. A caracterização do solo é normalmente obtida combinando a descrição do testemunho de sondagem com o número de golpes N_{spt} . A NBR 6484 (ABNT, 2001) fornece uma tabela com valores a serem utilizados para se determinar os estados de compactidade e consistência e classificar o solo quanto a sua compactidade (solos granulares) e consistência (solos coesivos), de acordo com

a quantidade de golpes na camada.

2.4. CPT e CPTU – Ensaio de Cone e Piezocone

Schnaid (2000) afirma que o ensaio CPT, ou Ensaio do Cone, é uma importante ferramenta de prospecção geotécnica, sendo utilizado na determinação estratigráfica de perfis de solos, na determinação de propriedades dos materiais prospectados e na previsão da capacidade de carga de fundações, sobretudo em depósitos de argilas moles e areias sedimentares.

O Ensaio do Piezocone, segundo Ceresino e Brito (2014), é uma derivação do ensaio CPT, pois além da obtenção das resistências de ponta e lateral, esse ensaio permite o monitoramento das pressões neutras (poropressões) no solo durante o processo de cravação.

2.5. Métodos de estimativa de capacidade de carga

A capacidade de carga de um elemento de fundação é obtida a partir do menor valor de resistência entre: (a) a resistência do solo que dá suporte ao elemento, e (b) a resistência estrutural do elemento de fundação.

O fato de se ter um maior controle sobre a capacidade de carga admissível dos elementos construídos em comparação com a variação da capacidade de carga do solo, nos dá uma maneira mais eficaz de se calcular uma fundação profunda. Fixando-se a carga admissível máxima que a estrutura suporta, e a partir desse valor, calcular a profundidade no solo que suporte tal carga. Deve-se atentar aos equipamentos e aos métodos de execução disponíveis no local, pois podem afetar diretamente na profundidade máxima de execução (ALONSO, 1991).

2.6. Fator de segurança

Alonso (1991) sugere que a gama de incertezas na execução de fundações seja proveniente da natureza do material em que está inserido, o solo. Por surgir de processos de formação natural, não há certeza de nenhum valor característico obtido por meio de amostras coletadas em campo. Diferentemente de produtos fabricados pelo homem, que possuem controle de qualidade e métodos mais confiáveis de previsão de falhas, não se tem garantias de que o comportamento do solo será homogêneo entre dois pontos de amostragem.

A Norma Brasileira define certos valores a serem adotados de acordo com o tipo de solo e o método de previsão de cargas admissíveis. Para a execução de fundações do tipo estaca e tubulões é necessário utilizar um coeficiente de segurança mínimo de 2 (ALONSO, 1991).

2.7. Capacidade de Carga Axial

De acordo com Velloso e Lopes (2002), o projeto de fundação de uma edificação necessita de parâmetros para ser dimensionado de forma a proporcionar a estabilidade e a segurança da estrutura. Esse projeto engloba parâmetros tanto estruturais, de resistência interna dos elementos, quanto do solo circundante, capaz de suportar solicitações externas. A metodologia básica para o cálculo de fundações do tipo profunda consiste em distribuir a carga axial aplicada na estaca de modo a dispersá-la no subsolo de duas maneiras: (a) resistência ao cisalhamento do solo ao longo do fuste, e (b) pela tensão normal atuante na ponta da estaca.

Magalhães (2005) cita que diversos métodos de capacidade de carga já foram desenvolvidos e estão divididos basicamente em Métodos Estáticos e Métodos Dinâmicos, os quais não serão discutidos neste trabalho. Os Métodos Estáticos podem ser classificados como:

- *Métodos Racionais* ou *Teóricos*: Aqueles que utilizam soluções teóricas de capacidade de carga e parâmetros do solo;
- *Métodos Semi-Empíricos*: Aqueles que se baseiam em ensaios *in situ* de penetração (CPT e SPT).

2.7.1. Método semi-empíricos que utiliza SPT: Método de Alonso (1996)

De acordo com Schnaid (2000) no Brasil, a técnica de sondagem geotécnica mais utilizada e difundida é o SPT, capaz de determinar a resistência à penetração do amostrador-padrão no subsolo. Tendo em vista sua empregabilidade em nosso meio e a necessidade de se obter a capacidade de carga no solo, há anos são desenvolvidos métodos que relacionam o resultado das sondagens desse ensaio para esse fim.

O método de Alonso (1996a,1996b, citado por VELLOSO; LOPES, 2002) foi avaliado por Francisco (2001, citado por VELLOSO; LOPES, 2002), e apresenta resultados satisfatórios para cargas de ruptura de até 250tf.

Esse método utiliza resultados de ensaio SPT-T, que é o ensaio SPT com medições de torque, e possui coeficientes de correção da adesão do solo avaliados na Bacia Sedimentar Terciária da cidade de São Paulo e também em outras duas regiões: Formação Guabirotuba – PR, e na cidade da Serra – ES.

A carga última (Q_{ult}) para o Método de Alonso (1996) é determinada de acordo com a Equação 1:

$$Q_{ult} = P1 + P2 \quad (1)$$
$$P1 = \sum U * \Delta l_i * r l_i \quad ; \quad P2 = A_p * r p$$

Sendo P1 a carga em relação à parcela da Resistência Lateral, e P2 a parcela da Resistência de Ponta. Onde:

U = Perímetro da seção do fuste;
 Δl = Comprimento vertical da estaca relacionado à distância entre medidas do SPT-T;
 $rl = \alpha * f_s$ (Adesão média na carga última ao longo do fuste da estaca);
 - α = Coeficiente de correção de f_s obtido através da interpretação de provas de carga carregadas até as proximidades da carga última na Tabela 1;
 - f_s = Adesão calculada a partir do torque máximo e a penetração total, em centímetros, do amostrador no ensaio SPT-T, obtida pela Equação 2:

$$f_s = \frac{100 * T_{m\acute{a}x}}{0,41 * h - 0,032} \quad (2)$$

Onde:

$T_{m\acute{a}x}$ = Torque máximo, em kgf.m;

h = Penetração total do amostrador na cravação, em centímetros.

Tabela 1 - Valores de α de Alonso para estacas hélice contínua

Região	α
Bacia sedimentar de São Paulo	0,65
Formação Guabirota	0,65
Cidade da Serra - ES	0,76

Fonte: Magalhães (2005)

A_p = Área da projeção da ponta da estaca sobre um plano perpendicular ao eixo da mesma;

rp = Resistência da ponta, obtida pela seguinte expressão:

$$rp = \beta \frac{T_{min}^{(1)} * T_{min}^{(2)}}{2} \quad (3)$$

Onde:

β = Parâmetro do tipo de solo em função da região (Tabela 2):

$T_{min}^{(1)}$ = Média aritmética dos valores de torque mínimos (em kgf.m) ao longo de 8 diâmetros acima da ponta da estaca;

$T_{min}^{(2)}$ = Média aritmética dos valores de torque mínimos (em kgf.m) ao longo de 3 diâmetros abaixo da ponta da estaca;

Tabela 2 - Valores do parâmetro β (em kPa/kgf.m) em função do tipo de solo

Região	β - areia	β - silte	β - argila
Bacia sedimentar de São Paulo	200	150	100
Formação Guabirota	-	-	80
Cidade da Serra - ES	260	195	130

Fonte: Magalhães (2005)

Caso não haja valores de SPT-T, é possível uma correlação com resultados de SPT da seguinte maneira: $T_{m\acute{a}x} = 1,2 * N_{spt}$ e $T_{min} = 1,0 * N_{spt}$. E ainda deve-se atentar aos limites superiores de:

- $rl \leq 200$ kPa;

- $T_{min}^{(1)} \leq 40\text{kgf.m.}$;
- $T_{min}^{(2)} \leq 40\text{kgf.m.}$

2.8. Modelagem geológica e geotécnica computacional

De acordo com Ceresino e Brito (2014) as abordagens numéricas envolvendo modelagem matemática têm se desenvolvido à medida do surgimento de novas arquiteturas de hardware que possibilitam o refinamento destes. O emprego de modelagem geotécnica computacional tem possibilitado o aumento da capacidade de soluções e resultados mais confiáveis com um tempo de processamento cada vez menor.

O software *RockWorks15*, comercializado pela *RockWare Incorporated* (1983-2014), é um programa de manipulação de dados geológicos, análises e visualização gráfica de resultados. O *RockWorks15* oferece um pacote completo para modelagem, criação de imagem e geração de relatórios que dão auxílio ao operador de forma bastante eficaz na realização de seu trabalho. É possível se trabalhar com locações, medições geofísicas e geoquímicas, observar litologia, estratigrafia, entre outros.

A suíte em duas dimensões (2D), fornece ferramentas de criação de contornos de nível, mapas, seções de estratigrafia e litologia, mapas de superfície e seções cruzadas. Já a suíte 3D produz modelos geológicos sólidos, e fornece meios de se trabalhar graficamente a amostra. De acordo com Almeida (2011), a modelagem nessa suíte permite alguns métodos geoestatísticos de interpolação de superfície, como triangulação, inverso da distância, krigagem, assim como outras funções de interpolação.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados dados de relatórios de sondagem SPT executadas em um terreno no Bairro Jardim Limoeiro do Município da Serra-ES. Tal campanha de sondagens foi executada visando projetos geotécnicos de fundações para uma série de edifícios.

O dimensionamento de fundações requer primeiramente a definição de certos parâmetros para a execução da estrutura. Deve-se escolher o tipo de estaca e seu diâmetro, assim como o método de cálculo. O trabalho toma como referência a fundação do tipo Hélice Contínua com diâmetro de 30 cm, e para os cálculos de capacidade de carga o Método de Alonso (1996).

A norma brasileira NBR 6122 (ABNT, 2010) define que para esse tipo de estaca, pode ser feito o dimensionamento para suporte de carga até 5,0MPa de tensão admissível.

Dessa forma, limitou-se a carga máxima por estaca em 5,0Mpa nos cálculos

de capacidade de carga para o Método de Alonso (1996).

3.1. Cálculo em planilhas digitais

Para este trabalho foi elaborada uma planilha digital de cálculo com base no Método de Alonso (1996). Os dados de entrada utilizados na parcela do cálculo da resistência lateral foram os dados de N_{spt} para cada profundidade e o comprimento de penetração do amostrador (comprimento padrão de 45 cm, podendo variar caso haja penetração parcial), o diâmetro da estaca em 30 centímetros, o coeficiente de correção de f_s (α) em 0,76, e intervalos entre medidas do ensaio na distância padrão em 1m.

Na parcela da Resistência de Ponta, onde se utiliza o coeficiente empírico β que é referente ao tipo de solo, foram utilizados valores interpolados, pois o solo em questão apresenta misturas granulométricas não contempladas nos trabalhos de Alonso (1991) e Magalhães (2005).

A partir da capacidade de carga admissível máxima da estaca para cada metro de profundidade, é aplicado o coeficiente de segurança para se chegar ao valor da Capacidade de Carga Admissível final do solo para a estaca calculada a cada metro de profundidade.

3.2. Entrada de dados no software RockWorks15

Neste tópico serão abordados dois procedimentos que podem ser feitos a partir dos dados obtidos com os resultados de prospecção e com os gerados nas planilhas digitais.

A modelagem Litológica e da Capacidade de carga pode ser feita a partir da inserção dos dados retirados de sondagens geotécnicas, como Nome do furo, localização, elevação e profundidade total. Dessa forma, é possível, a partir dos pontos criados, inserir os dados referentes à litologia e dos valores calculados de Capacidade de carga para cada metro de profundidade.

Para a criação do mapa de profundidade das estacas, deve-se manipular uma superfície do terreno onde é apresentada a capacidade de carga limite da estaca em questão. Como mostrado no capítulo anterior, a capacidade máxima estrutural de suporte das estacas de 30cm de diâmetro indicam que a carga máxima suportada é de 35,34tf (5,0MPa de tensão). Os resultados dos cálculos feitos para todos os pontos de sondagem devem ser inseridos no programa *RockWorks15* na aba de dados de localização subtraindo-se do valor de elevação a profundidade calculada de capacidade do solo superior a 35,04tf. Dessa forma, altera-se o valor de elevação no programa para todos os furos de sondagem de forma a apresentar uma superfície de capacidade de carga igual a 35,34tf para todos os pontos de sondagem.

Para a obtenção de modelos sólidos e mapas, o primeiro passo é a seleção

dos pontos de sondagem que se queira modelar, depois deve-se clicar no botão “Scan Enabled Boreholes” para que se faça a leitura dos dados e se crie uma borda para o modelo. Esse procedimento pode apontar algum erro caso haja dados muito discrepantes da média e que devam ser corrigidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

É possível observar pelo Modelo Sólido Litológico (Figura 13) criado a partir dos dados de todo o terreno que há uma grande variação na composição do solo tanto vertical (com locais onde há até 8 tipos diferentes de solo) quanto horizontalmente (onde é possível observar uma homogeneidade na região nordeste que apresenta uma grande concentração de areia).

A Figura 14 apresenta o Modelo Litológico com vistas em Cerca, onde é possível observar com maior clareza o interior do terreno, assim como onde há a maior concentração de pontos de sondagem.

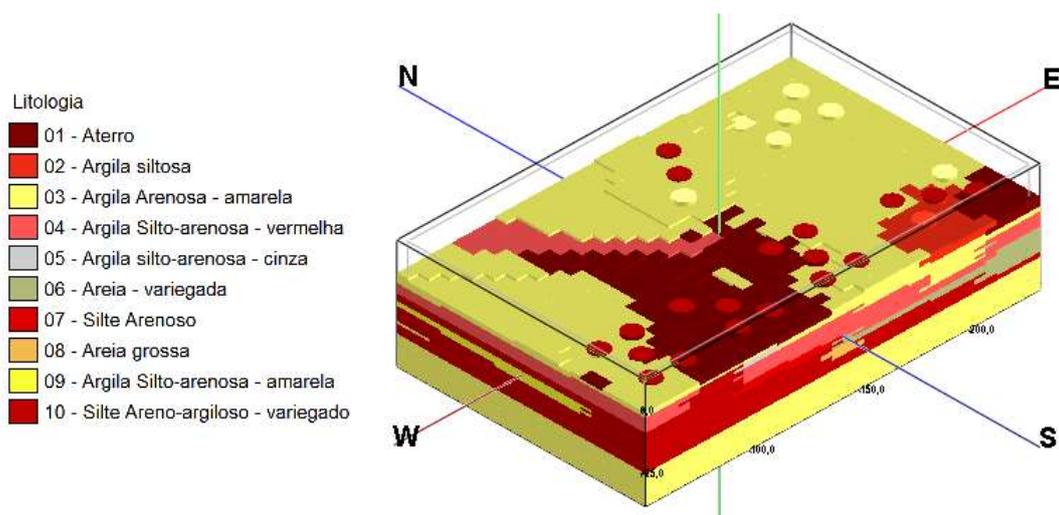


Figura 13 - Modelo Litológico - Vista Sudoeste

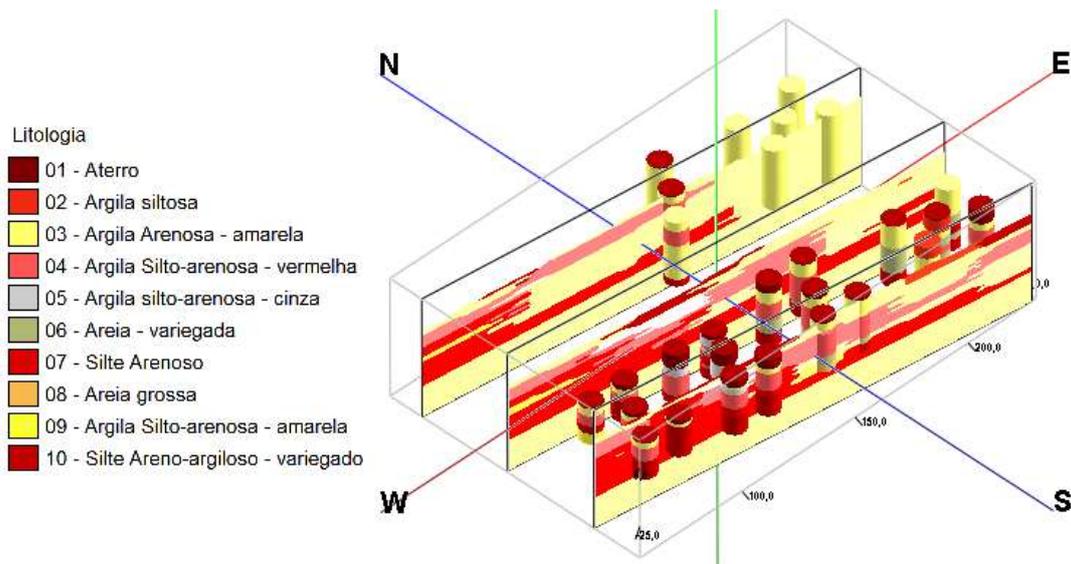


Figura 14- Modelo Litológico com vista em Cerca com furos - Vista Sudoeste

Os modelos de Capacidade de carga admissível do solo são apresentados pelas Figura 15 e Figura 16. É possível observar o gradiente de capacidade de cargas no solo de acordo com a variação das cores indicadas nas respectivas legendas.

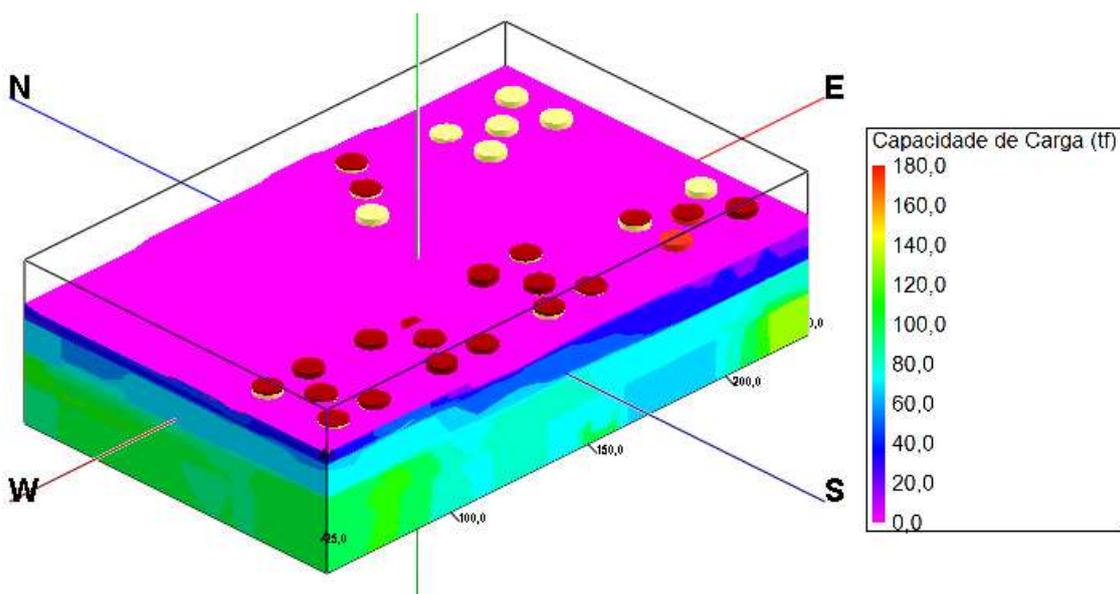


Figura 15- Modelo Sólido de Capacidade de carga admissível - Vista Sudoeste

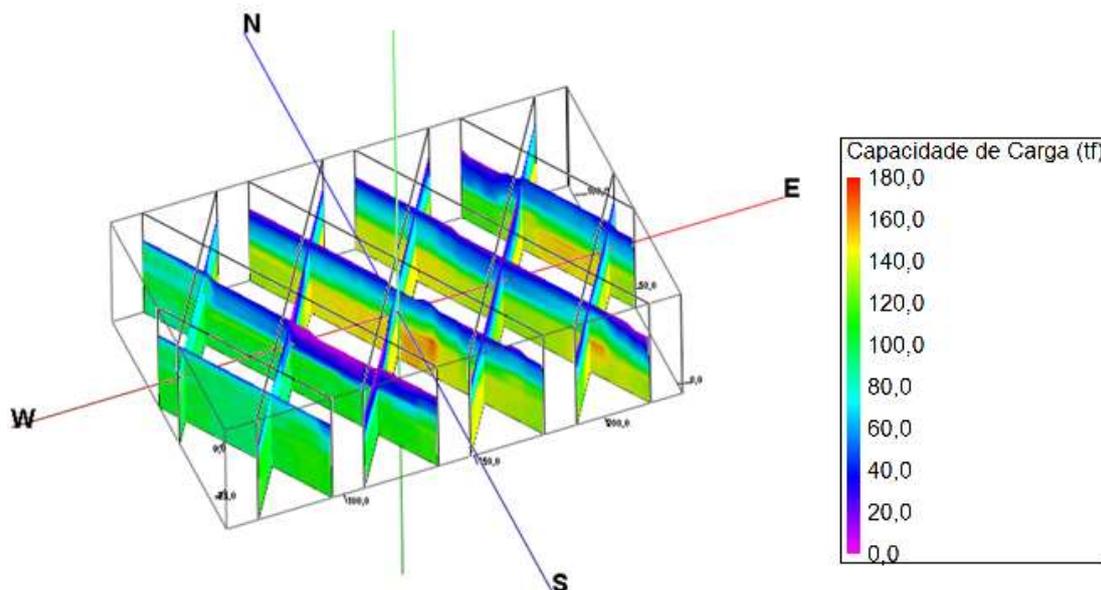


Figura 16- Modelo de Capacidade de Carga admissível com vista em Cerca - Vista Sudoeste

É possível perceber que há uma variação mais abrupta de capacidade de carga na região sudoeste que apresenta grande variedade de tipos de solos, do que na região nordeste, onde as cargas apresentam uma variação mais amena e constante. Sabe-se que essa é a região do terreno que apresenta um solo mais homogêneo composto basicamente de areia.

Pode-se observar nesse último modelo em Cerca que é conferido um incremento na capacidade de carga na maior parte do terreno à medida que a profundidade aumenta. Porém, esse aumento pode se apresentar menor em pontos onde a resistência de ponta da camada n+1 somada à resistência lateral n+1 se apresente menor que a resistência de ponta da camada n, de forma que haja uma perda da capacidade de carga nesse incremento de profundidade.

Para finalizar, tem-se o mapa de profundidades mínimas para estacas Hélice Contínua com diâmetro de 30 centímetros, calculado para uma capacidade máxima de carga de 353 kN, disposto na Figura 17.

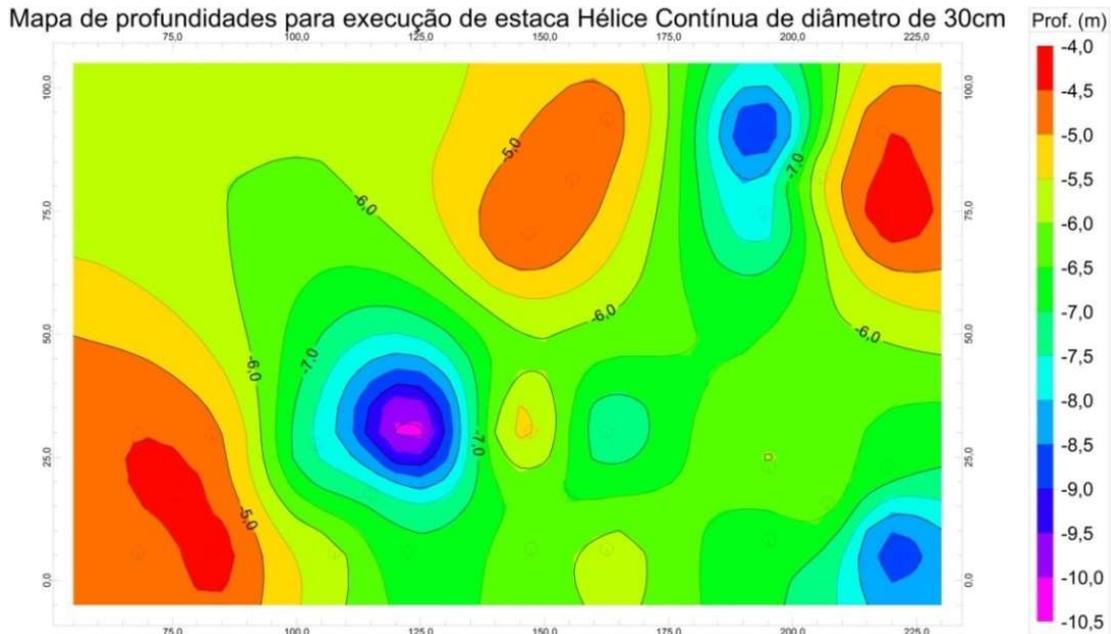


Figura 17- Mapa de profundidades para execução de estaca Hélice Contínua de diâmetro de 30cm

A inserção da planta de pilares de um dos edifícios que foi construído no local proporciona uma interface para o dimensionamento de estacas para cada região de acordo com a cor disposta. Essa inserção pode ser feita para qualquer edifício se tomando como base os pontos de sondagem para a sobreposição das imagens. A Figura 18 fornece o mapa com uma planta de pilares inserida, e a Figura 19 apresenta um mapa similar utilizando-se somente dos furos de sondagem relativos ao edifício em foco, descartando-se as informações de todos os outros furos do entorno

Mapa de profundidades para execução de estaca Hélice Contínua de diâmetro de 30cm para o Edifício em foco

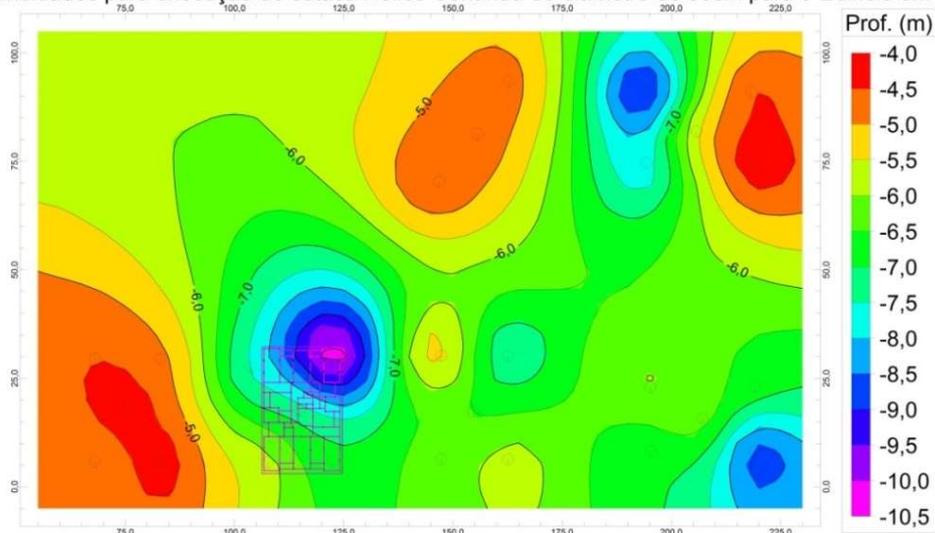


Figura 18- Mapa criado com título próprio a partir do RockWorks15

Mapa de profundidades para execução de estaca Hélice Contínua de diâmetro de 30cm para o Edifício em foco

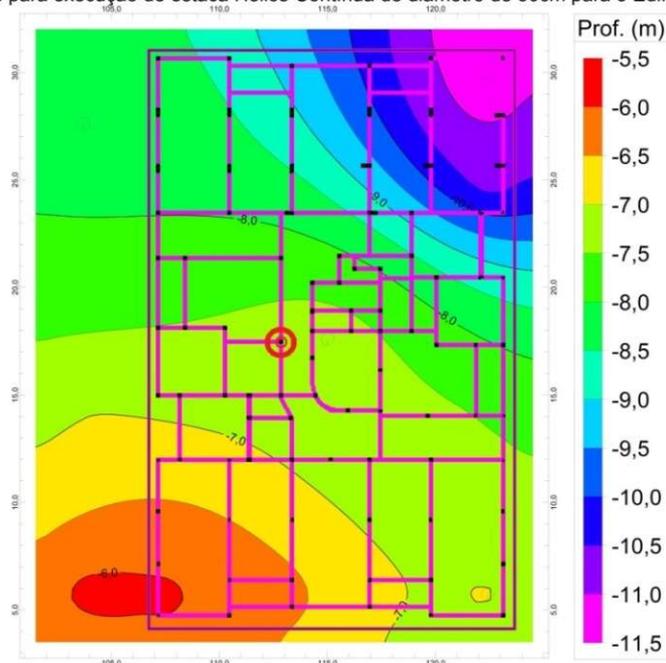


Figura 19- Mapa criado com título próprio a partir do RockWorks15 com pilar em destaque

Esse mapa apresenta certas diferenças quanto às profundidades e as linhas de contorno apresentadas. Isso ocorre, pois, o método de interpolação utilizado é o Método do inverso da distância, o qual usa uma abordagem de média ponderada para calcular todos os pontos da malha. Dessa forma, ao se descartar os pontos mais afastados, o mapa apresenta uma variação nas profundidades em relação aos mapas calculados levando em consideração todos os furos de sondagem.

Tem-se como exemplo de dimensionamento de fundação o pilar destacado no mapa acima. Esse pilar apresenta uma carga solicitante de projeto de 69,0tf. Sabe-se que a carga máxima suportada por estaca é de 35,34tf, dessa forma, é necessário utilizar duas estacas para a distribuição dos esforços. Ao analisar a Figura 19 é fácil perceber que a profundidade mínima das estacas na localização do pilar é de 7,50m. Dessa forma, o dimensionamento da fundação do pilar em questão aponta a necessidade de se utilizar duas estacas tipo hélice contínua, com diâmetro de 30cm e com comprimento mínimo de 7,50m cada.

CONCLUSÕES

Os relatórios de pontos de sondagens apresentam os resultados de forma esparsa, onde deve ser feita uma interpretação para todo o traçado do perfil geotécnico do terreno. Esse traçado geralmente é feito de forma manual sem que haja um controle rigoroso, ou um modelo seguro de interpolação dos resultados em toda a área de estudo.

É fácil perceber que a utilização do software RockWorks15 proporciona uma modelagem que segue métodos de interpolação mais seguros, de forma a se obter

resultados para cada ponto de toda a extensão do terreno em que se trabalha. Porém, deve-se ressaltar que a abrangência dos dados inseridos no programa interfere no resultado final de acordo com a quantidade de informação que se tem à disposição.

Dessa forma, vê-se que a utilização de softwares de modelagem pode auxiliar no dimensionamento de estacas. O programa não deve ser utilizado sem um profissional experiente e capacitado da área em questão, habilitado de senso crítico e conhecedor de informações não palpáveis que a máquina possa manipular. E esse profissional deve utilizar essa ferramenta apenas como guia para o dimensionamento de estacas por esse método.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à GPR PUC-RIO – Grupo de Geofísica Aplicada da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro pela disponibilização do Software Rockworks15.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações: uma introdução ao controle da qualidade em fundações**. São Paulo: E. Bulcher, c1991.

ALMEIDA, R. F. R. **Modelagem geológica do Entorno da Lagoa de Jacarepaguá**. 161p. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BOWLES, Joseph E. **Foundation Analysis and Design**. 5 ed. Peoria: McGraw-Hill Book, 1997.

CERESINO, A. B., BRITO, L. J. **Modelagem geológica e geotécnica de uma região do Vale Encantado em Vila Velha – ES**. Universidade Federal do Espírito Santo, Curso de Engenharia Civil. Vitória, 2014.

MAGALHÃES, P. H. L. **Avaliação dos métodos de capacidade de carga e recalque de estacas hélice contínua via provas de carga**. 243p. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

ROCKWORKS15. **Manual do software RockWorks15**. 3.ed. Golden, 2010. 136p.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TURNER, A. K., **Challenges and trends for geological modeling and visualizations**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. v.65, p.109-127, 2006.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. v. 2: fundações profundas. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.

ABSTRACT: This paper aims to show a practical application concerning the use of software in geotechnical design applied to deep foundations. The literature review introduces the concept of deep foundation objectively and explains the type used in the study, and the main soil research trials applied to sizing of deep piles. The load capacity method and some basic details of the modeling software used in this work is presented. The methodology shows how the continuous flight auger should be taken from field survey reports. Also the calculation spreadsheets to data entry in software for creating solid and fences geological models, and lithology and load capacity models, as well as the map of depths applied to the design of deep CFA piles. Thus, it was found that the use of modeling software might be used to guide the design of deep piles.

KEYWORDS: Sizing of foundation. Geological model. Deep foundation.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-93243-39-4



9 788593 243394