



# MAPEAMENTO E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE CHAPECÓ-SC

Andressa Vigne Xavier

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil, andressa\_vignex@hotmail.com

Claudinei Rodrigues de Aguiar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Brasil, rodrigues.aguiar@gmail.com

Mauro Leandro Menegotto

Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, Brasil, mauromenegotto@gmail.com

**RESUMO:** A execução de sondagem de simples reconhecimento de solo com ensaio SPT (Standart Penetration Test) é uma importante ferramenta para o estudo das propriedades geotécnicas do solo de uma determinada região. Por meio dos resultados deste ensaio, é possível efetivar a escolha do tipo de fundação ideal para o empreendimento e evitar um sub ou superdimensionamento desta estrutura. Desde modo, o presente trabalho apresenta o mapeamento da resistência à penetração do solo de Chapecó-SC, através de valores N-SPT (resistência a penetração dinâmica) extraídos em 70 ensaios de sondagens realizadas em diversas regiões do município. Os atributos foram modelados pelo método de krigagem ordinária em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas) e como produto foram gerados mapas com os valores de resistência em 1, 5, 10, 15 e 20 m de profundidade, nas regiões do perímetro urbano de Chapecó.

**PALAVRAS-CHAVE:** investigação geotécnica, geoestatística, sondagem SPT.

## 1 INTRODUÇÃO

O município de Chapecó vem sendo alvo de grandes transformações no setor da construção civil. Novas propostas de edifícios residenciais, comerciais e até para fins de estacionamento estão sendo concretizadas, sendo esses projetos inovadores e contemporâneos. Essas novas demandas incluem edifícios com elevado número de pavimentos e projetos que abrangem o aproveitamento de andares subterrâneos.

Como consequência, o conhecimento prévio das características geotécnicas da área urbana tornou-se obrigatório, pois do contrário, erros de planejamento de obras e de projetos acabam se tornando recorrentes e, principalmente, onerosos.

Simultaneamente aos projetos individuais

em desenvolvimento, é importante também o ordenamento da expansão pela qual o município vem sendo condicionado. Assim, todo o planejamento urbano de uso e ocupação do solo, é definido a partir do conhecimento prévio das características geológicas e geotécnicas de cada região.

A sondagem SPT é um dos principais instrumentos para estudos geotécnicos em regiões de interesse. Esse tipo de sondagem é muito executado no Brasil por profissionais da construção civil, por apresentar informações importantes do subsolo e possibilitar a caracterização do material existente entre seus horizontes, sendo que aliado à isso, seu custo é inferior às demais opções de ensaios relacionados (Pimentel, 2015).

A sondagem consiste na perfuração do solo,



geralmente a partir da cravação de um trado helicoidal e através de lavagem. O ensaio SPT é realizado ao final de cada metro perfurado, concomitantemente à coleta de amostras do solo ao longo dos 45 centímetros ensaiados.

Dentre as informações fornecidas pelo ensaio SPT, pode-se ressaltar o índice N-SPT, o qual se refere à resistência à penetração dinâmica do amostrador no solo. Conhecendo esse parâmetro, juntamente com a posição do lençol freático e a caracterização tátil-visual do solo da área, é possível efetivar a escolha do tipo de fundação para o empreendimento que se busca construir. Ainda, dispondo de valores de N-SPT ao longo da profundidade das camadas de solo, a determinação da cota de apoio e da distribuição de carga de fundações torna-se mais adequada, evitando assim o seu sub ou superdimensionamento.

A cartografia geotécnica, segundo Franco *et al.* (2010), é um importante instrumento de análise de dados espaciais variados, pois permite definir, com o apoio dos modelos estatísticos, a previsibilidade da ocorrência dos materiais constituintes dos terrenos. Isso se dá a partir de análises da geologia característica do meio físico em questão, as quais têm como finalidade ordenar o planejamento urbano, avaliar as áreas que apresentam suscetibilidade e riscos à processos de desequilíbrio geológico e mapear locais viáveis para a implantação de empreendimentos.

A representação de características geotécnicas a partir de mapas vem sendo praticada em todo o mundo, por meio de estudos como o de Al-Jabban (2013), onde foram estimados resultados de N-SPT para a cidade de Al-Hillah, no Iraque, através de pontos de mais de 110 ensaios de sondagem georreferenciados, distribuídos em diversos locais do município. A partir da análise da variabilidade do N (número de golpes) conforme a profundidade de avanço das sondagens, foi desenvolvido um modelo estatístico no *software Statistica*, que prevê o

N-SPT de acordo com o horizonte de solo e a localização da região no mapa, através do acompanhamento das coordenadas geográficas. Esse modelo determinou uma equação geral, a qual foi validada para determinar o N-SPT de qualquer região dentro do perímetro urbano do município.

Já Câmara *et al.* (2005) utilizou os resultados de aproximadamente 96 pontos de sondagem executados em Natal-RN, para propor uma caracterização geotécnica dos solos de grande parte da área urbana do município. Foram delimitadas quatro zonas de estudo, onde além das sondagens, alguns ensaios de caracterização complementares foram programados, como densidade das partículas, granulometria, determinação da umidade e deformabilidade. Nesse contexto, o N-SPT foi utilizado para a determinação do ângulo de atrito e do módulo eodométrico. Por fim, cada uma das zonas destacadas puderam ser classificadas quanto à estratigrafia, o N-SPT máximo e mínimo e o nível do lençol freático, em caso de identificação. Também, foi possível calcular a tensão admissível do solo em profundidades de até seis metros, através de equações empíricas aplicadas.

Wan-Mohamad e Abdul-Ghani (2011) utilizaram o método dos polígonos de Thiessen para modelar os atributos em ambiente SIG e elaborar mapas de caracterização geotécnica contendo informações de resistência a penetração e de caracterização do solo, resultantes de 15 ensaios SPT, no município de Seri Iskandar, na Malásia. Foram apresentados os mapas com as características identificadas aos 3, 5, 10, 20 e 25 metros de profundidade, com o intuito de disponibilizar informações da área que são úteis para a elaboração de projetos locais mais seguros e econômicos.

Ainda, seguindo esta prática do uso de ferramentas de SIG para mapear parâmetros geológico-geotécnicos, é possível citar outros estudos desenvolvidos com o intuito de fornecer diversas características de determinadas regiões



como no caso de Silva (2002), Basarir et al. (2010), Talamini Neto (2001), Mendes e Lorandi (2008) e Santos (2016), entre outros.

Deste modo, o presente estudo busca apresentar a variação do índice de resistência à penetração em diversos horizontes de solo na cidade de Chapecó-SC, por meio de mapas geotécnicos, elaborados a partir de ensaios de sondagens realizadas pela empresa Sondaoeste Sondagens e Geologia, em diversos pontos do perímetro urbano do município.

Os dados foram organizados em um *geodatabase* em ambiente SIG. Para a modelagem espacial foi aplicado o modelo estatístico de krigagem ordinária, que permitiu a interpolação dos dados a partir de análises envolvendo as variações entre a média da população e a média das amostras. Silva *et al.* (2008) destaca que a krigagem é capaz de atribuir pesos ótimos para a base de dados (amostras) com valores conhecidos, para que a partir de técnicas de regressão, possa atribuir valores aos pontos desconhecidos, com a menor variância possível.

Como produto desta modelagem, os mapas geotécnicos com as estimativas da resistência do solo predominante em cada região do município, foram gerados.

### 1.1 Área de Estudo

Chapecó é um município localizado na Microrregião Oeste do estado de Santa Catarina e Mesorregião Grande Fronteira do Mercosul, nas coordenadas de Latitude 27° 5' 47" e Longitude 52° 37' 6", a cerca de 674 m de altitude em relação ao nível médio do mar e 550 km de distância da capital Florianópolis. Estima-se que no ano de 2017 o município possuía pouco mais de 213.000 habitantes (IBGE, 2019). Na Figura 1, a localização do município em âmbito nacional é apresentada.

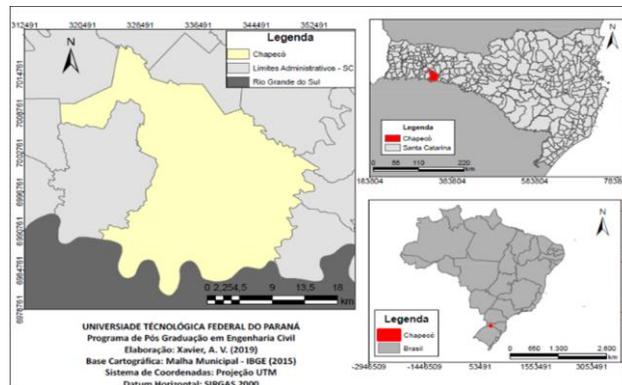


Figura 1 - Mapa de Localização do Município de Chapecó-SC.

Em relação a geologia, o município está inserido na Formação Serra Geral, Grupo São Bento, onde há o predomínio de rochas de composição basáltica. Os solos da região são predominantemente argilosos, sendo originados do intemperismo físico e químico das rochas basálticas. Sua coloração apresenta-se entre marrom a avermelhado e está atrelada à presença de minerais, tais como, ferro e magnésio (ICMBio, 2013).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados das sondagens SPT foram disponibilizados pela empresa Sondaoeste, onde se obteve o acesso aos relatórios das sondagens executadas no município de Chapecó, a partir do ano de 2014. Após a consulta ao acervo, foram selecionados 70 relatórios de sondagens executadas em diferentes regiões do município. Nesta etapa, tomou-se o cuidado de realizar a escolha de testes executados em locais relativamente distantes entre si, sendo que os ensaios selecionados ficaram distribuídos conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Localização das sondagens ao longo da área urbana do município de Chapecó.

Outra medida estabelecida para o critério de escolha dos relatórios, foi a seleção de estudos de sondagens, os quais juntos pudessem abranger todo o perímetro urbano do município, de modo a existir ao menos uma sondagem em cada bairro da cidade.

A partir da seleção dos relatórios, uma nova consulta a todos os documentos foi realizada, para identificar a existência das coordenadas geográficas nos furos de sondagem executados. Nos relatórios onde esta informação não era apresentada, havia um croqui com o desenho do terreno, suas dimensões e o endereço completo, por isso coube a identificação de cada local através de imagens de satélite com o auxílio da ferramenta de GPS do *software* Google Maps.

Com a identificação das coordenadas geográficas de todos os ensaios de sondagem, uma tabela de atributos (Figura 3) contendo o número e as coordenadas de cada sondagem, o número do relatório e os valores de N-SPT médios, apresentados nos perfis de sondagem em profundidades de 1, 5, 10, 15 e 20 m, foi elaborada para a organização dos dados e posterior utilização em ambiente SIG.

NS	N RELATÓRIO	COORDENADA X	COORDENADA Y	NSPT_1M	NSPT_5M	NSPT_10M	NSPT_15M	NSPT_20M
1	32	339457	7000179.13	10	13	11	18	15
2	172	340581.35	7001215.62	5	37	45	45	45
3	297	335394.19	6997872.19	9	11	14	15	19
4	140	340181.45	6996897.92	11	15	22	19	15
5	132	341608.18	7003551.56	6	12	18	29	15
6	10	340980.63	6998883.69	19	36	45	45	45
7	450	339732.29	7002007.72	7	11	14	45	45
8	202	339831.78	6997666.45	8	45	45	45	45
9	40	338808.06	7001060.91	7	10	13	39	45
10		341598.26	7000682.96	9	36	45	45	45
11	224	340703.87	7000158.04	0	45	45	45	45
12	160	334308.43	7001071.84	45	45	45	45	45
13	270	341985.74	7002600.55	5	12	45	45	45
14	216	339620.31	6998743.04	8	16	30	45	45
15	323	340084.11	7001083.34	7	10	19	45	45
16	460	340175.9	7001327.73	1	26	45	45	45
17	434	342495.88	7000804.78	7	12	11	19	45
18	369	342981.07	7002365.5	10	16	11	13	45
19	222	342292.79	7002549.04	6	12	22	39	45
20	157	336391.8	7001791.81	7	23	42	45	45
21	107	342138.73	7000018.03	8	24	36	45	45
22	243	340018.49	6996894.37	7	18	45	45	45

Figura 3 - Tabela de atributos montada a partir dos dados das sondagens.

Como cada relatório de sondagem estudado apresentava de mais um furo por terreno, foi aplicada a média aritmética para a modelagem dos valores a fim de se obter um valor único de N-SPT que pudesse representar as cotas estudadas.

Com o apoio do *software* ArcGis a tabela de atributos deu origem ao *geodatabase* contendo todos os dados das amostras. A partir dessa integração de dados, foi desencadeado o processo de modelagem estatística com o auxílio método de krigagem ordinária.

A krigagem ordinária é um modelo estatístico muito utilizado para fins de previsão da probabilidade de ocorrência de fenômenos ambientais. Este método também foi utilizado para a previsão de valores de N-SPT de sondagens por Santos (2016) e Soares (2011), em estudos semelhantes a este desenvolvido.

Após o tratamento dos dados através da krigagem, foram elaborados os cinco mapas representando a resistência a penetração de cada profundidade de solo estudada da área urbana do município de Chapecó-SC.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os mapas a seguir foram gerados a partir dos dados de N-SPT médios obtidos a partir de 70 ensaios de sondagem executados na área urbana da cidade de Chapecó. A Figura 4 apresenta o mapa com a estimativa da resistência a penetração do solo na profundidade de 1 metro.

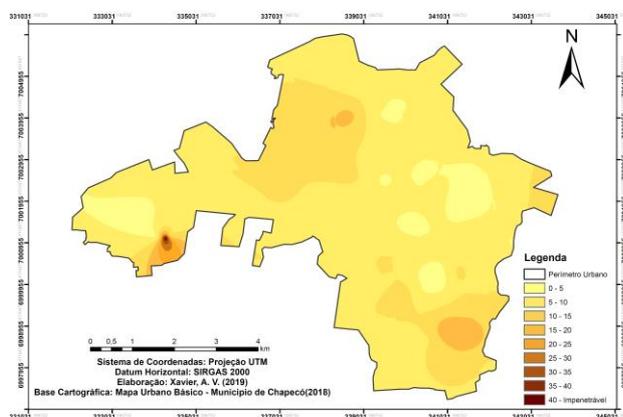


Figura 4 – Estimativa do N-SPT em 1 metro de profundidade.

A partir do mapa apresentado é possível destacar que nas regiões onde há o predomínio da coloração mais clara, incidem as menores resistências N-SPT em um metro de profundidade. Neste caso também é possível observar que a probabilidade de se identificar o impenetrável à percussão já no primeiro metro sondado é maior apenas em um ponto específico da região oeste do município, mais especificamente no Bairro Efapi.

Em geral, o N-SPT predominante no primeiro metro varia entre 0 e 15, podendo assim ser atribuída a classificação do solo argila muito mole a rija, de acordo com a NBR 7250 (ABNT, 1982).

A Figura 5 apresenta o mapa com os valores de N-SPT aos 5 metros de profundidade.

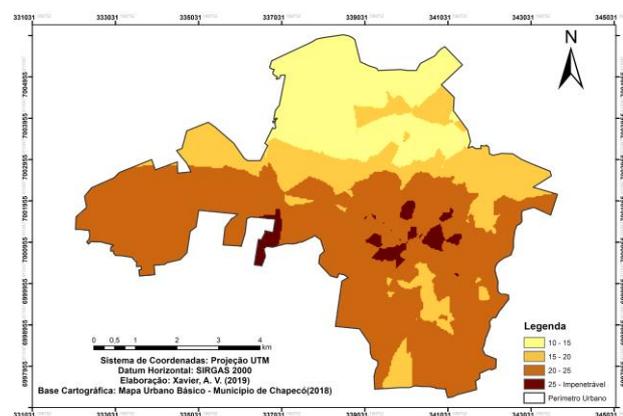


Figura 5 – Estimativa do N-SPT aos 5 metros de profundidade.

Conforme se dá o avanço da profundidade perfurada, é notório que o N-SPT aumenta em grande parte da área de estudo. Na Figura 5 é possível observar que os valores de N-SPT entre a região central e sul do município são maiores em relação a região norte. Neste caso, pode-se concluir que já na cota de 5 metros de profundidade há diversas regiões, representadas pela mancha mais escura, que podem ser consideradas impenetráveis a percussão. Em geral, o mapa acima nos traz que os valores de N-SPT estimados nesta profundidade variam entre 10 a 25, podendo assim atribuir a classificação média a dura ao solo argiloso, segundo a NBR 7250 (ABNT, 1982).

A Figura 6, apresenta a estimativa do N-SPT na profundidade de 10 metros. Neste caso, é possível observar que as regiões sul e central de Chapecó, onde predomina a coloração mais escura, ainda apresentam os valores de N-SPT mais elevados, os quais variam de 25 até o impenetrável.

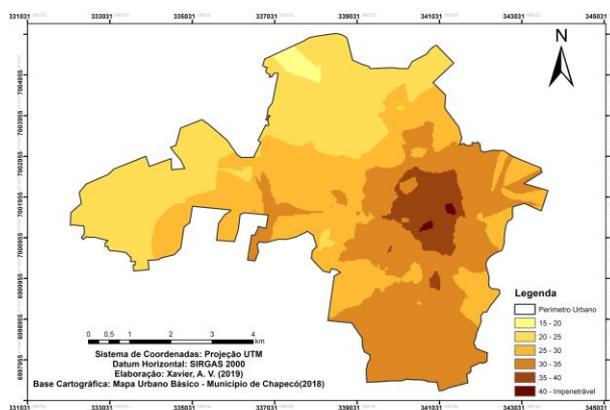


Figura 6 – Estimativa do N-SPT aos 10 metros de profundidade.

Outra consideração importante é que conforme se dá o aumento da profundidade, em geral, a ocorrência de argila mole é minimizada e a região considerada como impenetrável a percussão aumenta, principalmente na região centro-sul do município.

Na Figura 7 estão apresentados os valores de N-SPT estimados ao se atingir 15 metros de



profundidade perfurados. Nesta cota, o solo apresenta uma boa resistência a penetração já na maior parte do município, inclusive na região norte.

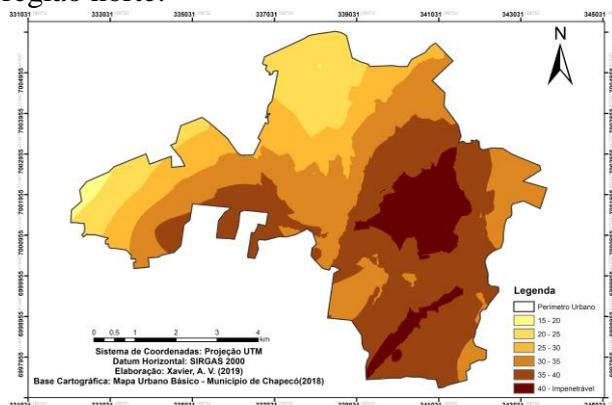


Figura 7 – Estimativa do N-SPT aos 15 metros de profundidade.

A previsão da camada impenetrável também já incide com muita intensidade, nas mais variadas regiões do município. A resistência N-SPT já ultrapassa os 25 em quase todo o perímetro urbano, exceto em uma pequena região no noroeste do município.

Ao atingir os 20 metros de profundidade, conforme mostrado na Figura 8, o solo apresenta característica de argila dura, com resistência N-SPT variando, entre 30 a 45, até atingir a camada impenetrável. Nesta profundidade, o mapa aponta que o avanço da sondagem ainda é possível em algumas regiões, porém a partir do N-SPT maior de 30 metros já se pode concluir que o ensaio atingiu a camada impenetrável, considerando o critério de parada da NBR 6484 (ABNT, 2001).

A partir da análise da Figura 8, também é possível constatar que as regiões onde predominam as maiores resistências são a região central, a sul, leste, nordeste e sudoeste.

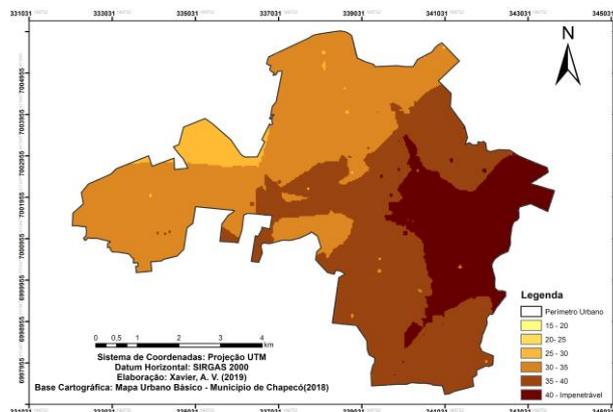


Figura 8 – Estimativa do N-SPT aos 20 metros de profundidade.

Alguns ensaios estudados atingiram profundidades maiores do que os 20 metros pré-definidos como limite de sondagem no presente estudo. No entanto, os mapas mostrados anteriormente já apontam um panorama bastante abrangente em relação a previsão de resistência e, mais do que isso, como as elas variam de acordo com as regiões do município de Chapecó-SC.

A elaboração deste estudo com a previsão da resistência N-SPT ao longo do perímetro urbano da cidade é um grande desafio, visto que as características geológico-geotécnicas do município, embora o solo sendo predominantemente caracterizado como argila siltosa, variam rigorosamente muitas vezes em pequenas distâncias. No entanto, neste estudo foi apresentada uma tendência de que a região norte do município apresenta uma camada de solo maior e com valores menores de N-SPT se comparada às demais.

#### 4 CONCLUSÕES

O principal objetivo do presente estudo era montar um banco de dados capaz de reunir dezenas de ensaios de sondagem executadas no município de Chapecó-SC, com o intuito de analisar o comportamento geotécnico do solo em suas mais diversas regiões. Com o auxílio da modelagem estatística foi possível



desenvolver os mapas temáticos representando a resistência a penetração ao longo da área urbana da cidade nas profundidades de 1, 5, 10, 15 e 20 metros.

A partir da interpretação dos mapas gerados, foi possível identificar que entre a região centro-sul tende a apresentar maiores resistências N-SPT e o capeamento de solo menor em relação às demais regiões. Outra informação importante de destacar, é que o município de maneira geral apresenta um capeamento de solo espesso, visto que no mapa representando o N-SPT a 1 metro de profundidade, foi identificada a camada impenetrável apenas em um ponto da região oeste do município. Por isso, pode-se assegurar que para fins de projetos civis e de planejamento urbano, não se pode contar com afloramentos rochosos nesta área de estudo.

Para precisar ainda mais essas análises, em estudos futuros, sugere-se que sejam adicionadas mais sondagens ao banco de dados, bem como, outros modelos estatísticos devem ser testados para a modelagem das amostras, a fim de possibilitar comparações entre mapas.

## AGRADECIMENTOS

À empresa Sondaoeste Sondagens e Geologia LTDA, por incentivar o desenvolvimento deste estudo ao disponibilizar acesso ao seu banco de dados de sondagens.

## REFERÊNCIAS

- Al-Jabban, W. J. M. (2013). Estimation of Standard Penetration Test (SPT) of Hilla City-Iraq by Using GPS Coordination, *Journal of Civil Engineering*, Vol. 7 nº 2, p. 133-145
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6484: Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7250: Identificação e Descrição de Amostras de Solos Obtidas em Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos. Rio de Janeiro, 1982.
- Basarir, H. *et al.* (2010). Geostatistical Modeling of Spatial Variability of SPT Data for a Borax Stockpile Site, *Engineering Geology*, Vol. 114, p. 154-163
- Câmara, K. R. R. e Pereira, A. C. (2005). Análise de Perfis de Sondagem SPT e Caracterização Geotécnica de Solos do Município de Natal, *Holos*, ano 21, p. 38-53
- Franco, G. B. *et al.* (2010). *Cartografia Geotécnica: Estágio Atual do Conhecimento*, Caminhos de Geografia, Vol. 11, p. 158-172
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Cidades – dados estatísticos dos municípios brasileiros: Chapecó. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/chapeco/panorama>. Acesso: 16 mai. 2019.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), *Plano de Manejo – Floresta Nacional de Chapecó*, Vol. I – diagnóstico, Florianópolis, 2013, 221 p.
- Mendes, R. M. e Lorandi, R. (2008). Analysis of Spatial Variability of SPT Penetration Resistance in Collapsible Soils Considering Water Table Depth, *Engineering Geology*, Vol. 101, p. 218-225.
- Pimentel, H.W. (2015). *Banco de Dados Georeferenciado e Carta Geotécnica Preliminar de Fundações da Região Centro-Norte de Fortaleza-CE*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, 138 p.
- Santos, J. V. (2016). *Aplicação de SIG para Análise do Perfil Geológico-geotécnico do Campus Sede da UFSC e Elaboração de Cartas de Aptidão para Fundações Utilizando Sondagem SPT*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 200 p.
- Silva *et al.* (2008). Avaliação de Interpoladores Estatísticos e Determinísticos na Estimativa de Atributos do Solo em Agricultura de Precisão. *IDESIA*, Vol. 26, n. 2, p. 75-81.
- Silva, D. D. (2002). *Sistema de Informação Georeferenciada na Análise Geotécnica da Área Urbana de Novo Hamburgo/RS*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 101 p.
- Soares, W. C. (2011). *Banco de Dados Geológico-Geotécnico com Base em Sondagens à Percussão e Uso de SIG: Análise Espacial da Profundidade do Lençol Freático e do Nspr para Obras de Fundação em João Pessoa – PB*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos,



Universidade de São Paulo, 215 p.

Talamini Neto, E. (2001). *Caracterização Geotécnica do Subsolo de Curitiba para o Planejamento de Ocupação do Espaço Subterrâneo*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 223 p.

Wan-Mohamad, W. N. S. e Abdul-Ghani, A. N. (2011). The Use of Geographic Information System (GIS) for Geotechnical Data Processing and Presentation, *Procedia Engineering* 20, p. 397-406