

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

AMER FOUAD ALI

DIORGENES VINICIUS CALEGARI

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO SOLO PARA APLICAÇÃO DE FUNDAÇÕES
EM ESTACAS DE BAIXA CAPACIDADE DE CARGA NA CIDADE DE CASCAVEL
- PR**

**CASCAVEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

AMER FOUAD ALI

DIORGENES VINICIUS CALEGARI

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO SOLO PARA APLICAÇÃO DE FUNDAÇÕES
EM ESTACAS DE BAIXA CAPACIDADE DE CARGA NA CIDADE DE CASCAVEL
- PR**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Engenheiro Civil Maycon André de Almeida.

**CASCAVEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

AMER FOUAD ALI

DIORGENES VINICIUS CALEGARI

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO SOLO PARA APLICAÇÃO DE
FUNDAÇÕES EM ESTACAS DE BAIXA CAPACIDADE DE CARGA NA
CIDADE DE CASCAVEL - PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA**.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. **Me. MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor **Me. GUILHERME IRINEU VENSON**
UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Engenheiro civil



Professor **Ésp. LINCOLN SALGADO**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro civil

Cascavel, 28 de Novembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,
pelo constante incentivo durante a minha formação pessoal e profissional,
por, seu amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado saúde e forças para superar todas as dificuldades.

A meus pais Fouad Ahmad Ali e Serly Farina, minha irmã Sumaya Fouad Ali, pelo incentivo, apoio incondicional, por todo o amor e calma.

A nosso orientador e amigo Maycon A. Almeida, pela atenção, paciência e principalmente pelo tempo que usou para o apoio da realização deste trabalho.

A minha dupla de TCC Diorgenes Vinicius Calegari, pela confiança, paciência, compreensão e esforço durante os dias que nos reunimos para a realização do trabalho.

A todos meus colegas de sala, que vivenciaram comigo todos os momentos felizes e as conquistas, em especial Alana Giongo, Ana Carolina Kufner, Ana Flavia Feuser, Bianca Bernardon Busatta, Bruna Reichert, Heloisa Marcon de Azevedo, Luiza Boschirolli e Murilo Americo Alves.

A este Centro Universitário, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

A Prefeitura Municipal de Cascavel que nos forneceu o mapa da Cidade e a todas as construtoras locais que aceitaram fornecer seu acervo de sondagens, em especial às empresas de fundação Solitec fundações e Fungeo.

A minha namorada Katchucia Wengrat que me incentivou e me teve com muito amor no período de realização do trabalho.

A todos os meus amigos e pessoas que me ajudaram diretamente e indiretamente para a realização deste TCC.

AGRADECIMENTOS

Aos meus Pais Lucindo Pedro Calegari e Amélia Elena Calegari, pelo amor, apoio e confiança, devo tudo a vocês dois e às minhas irmãs, que sempre se mostraram em prontidão para todas as dificuldades.

Ao nosso orientador Maycon A. Almeida, pelo apoio e paciência, conduzindo-me na orientação deste trabalho como um mestre.

A minha dupla de TCC e futuro sócio, do qual tenho pleno respeito e admiração Amer Fouad Ali.

A Prefeitura Municipal de Cascavel que nos forneceu o mapa da Cidade e todas as construtoras locais que aceitaram fornecer seu acervo de sondagens, em especial às empresas de fundação Solitec fundações e Fungeo.

A Tatiane Hort Brunetta, que em especial me instigou a procura pela profissão e sempre andou ao meu lado, trazendo o trabalho dela como fonte de inspiração para nosso trabalho.

A todos meus colegas de faculdade, que enfrentaram comigo as dificuldades decorrentes do curso e compartilharam de momentos felizes do mesmo, tornando-se amigos e futuros colegas de trabalho. Em especial Alana Giongo, Ana Carolina Kufner, Ana Flavia Feuser, Bianca Bernardon Busatta, Bruna Reichert, Heloisa Marcon de Azevedo, Murilo Américo Alves e a Luiza Boschirolli.

A todos meus amigos, que sempre me ofereceram o apoio necessário e possibilitaram tempos maravilhosos de felicidade. Em especial Nelson Wilhelms Junior, sempre presente em todos os momentos, disposto a oferecer ajuda.

A todos que, de qualquer forma, tornaram o meu sonho de ser Engenheiro Civil possível, muito obrigada!

RESUMO

Através de um banco de dados de sondagens em toda a região de Cascavel-PR, foi realizado o dimensionamento de sistemas de fundações para baixa capacidade de carga em obras de pequeno porte utilizando o método de cálculo Décourt & Quaresma (1978), onde se tem valores de diâmetro e profundidade pré-determinados. O valor da resistência da capacidade de carga das estacas obtido por dimensionamento foram inseridas no *software*, sendo submetidos à análise estatística, aplicando-se o método de krigagem ordinária, gerando e disponibilizando mapas geotécnicos com todas as informações necessárias sobre a resistência do solo, dando condições de analisar a cidade como um todo onde pode-se facilmente localizar as regiões com maior capacidade de carga, sendo a região do lago, centro e country, com valor de resistência considerável, analisando metro a metro e variando o diâmetro.

Palavra chave: Capacidade de carga em estacas. Mapeamento geotécnico. Estaca escavada com trado mecânico. Análise estatística por krigagem ordinária.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Gráfico de plasticidade	21
Figura 02: Execução de sondagem	23
Figura 03: Amostrador padrão bipartido	24
Figura 04: Laudo de sondagem	25
Figura 05: Etapas na execução da estaca.....	27
Figura 06: Planilha de entrada dos dados no <i>Surfer</i>	36
Figura 07: Escolha do método de interpolação	36
Figura 08: Mapa do nível d'água gerado com auxílio do <i>Surfer 13</i>	37
Figura 09: Pontos de amostragem (1 a 7) numa área de estudo	38
Figura 10: Isolinhas	39
Figura 11: Exemplo Semivariograma	42
Figura 12: Curva Granulométrica	45
Figura 13: Mapa base de Cascavel/PR.....	50
Figura 14: Localização dos pontos no Mapa de Cascavel/PR	51
Figura 15: Utilização do variograma ajustado	53
Figura 16: Comparação entre os variogramas.....	55
Figura 17: Mapa do nível d'água	56
Figura 18: Mapa das curvas de nível.....	57
Figura 19: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 25cm e profundidade de 3m, gerado com auxílio do <i>Surfer 13</i>	58
Figura 20: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 25cm e profundidade de 4m, gerado com auxílio do <i>Surfer 13</i>	59
Figura 21: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 25cm e profundidade de 5m, gerado com auxílio do <i>Surfer 13</i>	60

Figura 22: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 0,25m e profundidade de 6m, gerado com auxílio do <i>Surfer</i> 13.	61
Figura 23: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 30cm e profundidade de 3m, gerado com auxílio do <i>Surfer</i> 13.	62
Figura 24: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 30cm e profundidade de 4m, gerado com auxílio do <i>Surfer</i> 13.	63
Figura 25: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 30cm e profundidade de 5m, gerado com auxílio do <i>Surfer</i> 13.	64
Figura 26: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 30cm e profundidade de 6m, gerado com auxílio do <i>Surfer</i> 13.	65
Figura 27: Regiões com informações não confiáveis.	66
Figura 28: Região fora do perímetro urbano (Núcleo de Produção III)	67
Figura 29: Regiões com capacidade de carga elevada	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Sistema de Classificação do H.R.B	20
Tabela 02: Classificação do solo segundo a compacidade ou consistência de acordo com Nspt.....	24
Tabela 03: Coeficientes K e razão de atrito α	30
Tabela 04: Fatores de correção F1 e F2.....	30
Tabela 05: Valores do fator α em função do tipo de estaca e solo.	31
Tabela 06: Valores do fator β em função do tipo de estaca e solo.	31
Tabela 07: Coeficiente característico do solo.....	32
Tabela 08: Valores médios por camadas.	46
Tabela 09: Tabela com banco de dados.....	47
Tabela 10: Tabela de área de ponta e comprimento útil.....	48
Tabela 11: Tabela do coeficiente C	48
Tabela 12: Tabela de dimensionamento	49
Tabela 13: Tabela exploratória dos dados de capacidade de carga	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Carga de ruptura equação (01)	28
Carga admissível equação (02).....	28
Carga última (Aoki & Velloso) equação (03)	29
Carga última (Décourt – Quaresma) equação (04).....	31

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	17
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	17
CAPÍTULO 2.....	18
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.1 Solo	18
2.1.2 Classificação dos solos	19
2.1.2 Sondagem SPT (<i>Standard Penetration Test</i>).....	22
2.1.3 Tipos de fundação	26
2.1.3.1 Fundações profundas/indiretas	26
2.1.4 Método para dimensionamento para fundações em estacas escavadas	28
2.1.4.1 Método Aoki & Velloso (1975).....	29
2.1.4.2 Método Décourt & Quaresma (1978)	30
2.1.5 Mapeamento geotécnico	32
2.1.6 Geoprocessamento	33
2.1.7. UTM (<i>Universal Transversa de Mercator</i>)	33
2.1.7.1 Sensoriamento Remoto (SR)	34
2.1.7.2 Sistema de Posicionamento Global (GPS)	34
2.1.7.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	34
2.1.7.4 <i>SURFER</i> 13.....	35
2.1.8 Interpolação de dados	38
2.1.9 Krigagem	40
2.1.9.1 Krigagem ordinária	40

2.1.10 Análise estatística	41
2.1.11 Semivariograma	41
CAPÍTULO 3	44
3.1 METOLOGIA	44
3.1.1 Tipo de estudo e método de pesquisa.....	44
3.1.2 Caracterização da amostra.....	44
3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados	46
3.1.4 Mapa do município de Cascavel.....	49
3.1.5 Importação de dados para o <i>Software Surfer 13</i>	50
3.1.7 Estudo Variográfico	52
CAPÍTULO 4	54
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1.4 Variabilidade da capacidade de carga do solo	58
4.1.5 Discussões	66
CAPÍTULO 5	69
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
CAPÍTULO 6	71
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	71
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A – SEMIVARIOGRAMAS	75

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Cascavel é um município brasileiro localizado na região Oeste do estado do Paraná, no terceiro Planalto ou Planalto de Guarapuava, com altitude media de 800 metros do qual é o quinto mais populoso do estado, com 316.226 habitantes, conforme estimativa do IBGE, publicada em agosto de 2016. Com área de 2.100,831 km² fazendo parte de três bacias hidrográficas (Iguaçu, Piquiri e Paraná). Cascavel, capital regional do Oeste do Paraná e polo estratégico do Mercosul, seu comércio e grande estrutura industrial e de serviços demonstram toda a grandiosidade tecnológica da cidade (Portal do Município de Cascavel/PR).

O solo de Cascavel é formado a partir do intemperismo do basalto, sua coloração escura se dá devido à presença de óxido de ferro, apresentando solos espessos com boa capacidade de retenção de água, aeração e baixa permeabilidade. A cidade possui um solo residual, laterítico e colapsível. Ao norte é ondulado, constituído por colinas amplas e baixas declividades e onde o relevo apresenta-se acidentado (PELETTI, 2013).

O método mais comum para investigação geológica da fundação de edifícios é o de sondagem a percussão do tipo SPT, este método fornece um perfil com a descrição das camadas do solo e a resistência oferecida por elas à penetração de um amostrador normatizado. Determinando ainda a profundidade do nível de água. A escolha do tipo de fundação é responsabilidade do engenheiro e é feita baseado nas informações geológicas, as quais devem fornecer dados sobre o terreno de fundação (MACIEL FILHO, 1997).

Fundações são elementos que têm por finalidade transmitir as cargas de uma edificação para as camadas resistentes do solo sem provocar ruptura do terreno de fundação. As fundações rasas ou diretas são assim denominadas por se apoiarem sobre o solo a uma pequena profundidade, em relação ao solo circundante, diferente das fundações profundas, que tem como superfície de apoio cotas inferior às fundações rasas.

Fundações indiretas podem ser de deslocamento e escavadas, onde as de deslocamento são aquelas introduzidas no terreno através de algum processo que não promova retirada do solo sendo a mais comum as pré-moldadas, já as estacas escavadas são aquelas executadas *in loco* através da perfuração do terreno por um processo qualquer, com remoção de material, sendo com ou sem revestimento e ainda podendo ser utilizado lama bentonítica (NIYAMA *et al.*, 1999).

Após dimensionamento de estacas em todo perímetro da cidade de Cascavel - PR foi montado um banco de dados com informações da capacidade de carga de cada estaca e sua localização através de coordenadas cartesianas.

Através de um *software*, foi feito o dimensionamento de sistemas de fundações para baixa capacidade de carga em obras de pequeno porte utilizando o método de cálculo de Décourt – Quaresma (1978), possuindo valores de diâmetro e profundidade, sendo este *software* capaz de interpolar valores onde não havia dados para dimensionamento através de métodos estatísticos.

Com este trabalho foi possível determinar mapas relacionando capacidades de carga previstas e as diversas regiões da cidade, separando a cidade em regiões podendo facilmente melhorar a previsão da capacidade de carga de fundações de pequeno porte e assim dar subsidio para projetos de fundação de melhor qualidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Apresentar mapas geotécnicos para análise da variabilidade da capacidade de carga de fundações em estacas escavadas com trado mecânico na cidade de Cascavel/PR.

1.2.2 Objetivos específicos

- Atualizar banco de dados de sondagens SPT já existente com novos ensaios realizados;
- Dimensionar fundações de pequeno porte para as diversas sondagens reunidas ao longo da cidade;
- Apresentar mapas geotécnicos da variabilidade da capacidade de carga das fundações em diversas profundidades.

1.3 JUSTIFICATIVA

Ao executar uma obra de engenharia, é preciso se adaptar às condições do subsolo. Com frequência são relatados casos em que a pressa ou tentativa de economia ao construir e a ausência de técnicas e profissionais qualificados levam a atrasos em obras ou, ainda, a desastres completos (SILVA, 2012).

Vale ressaltar que o conhecimento das características geotécnicas do solo de uma região visa fornecer as condições iniciais que podem a princípio, orientar o tipo de fundação que deverá corresponder às condições de um determinado local, no entanto, sem eliminar a necessidade de estudos mais detalhados, sendo em todo porte de obra, nunca será dispensável realizar a sondagem SPT ou outro método de sondagem, que trará informações muito importantes para a escolha do método de fundação e o seu dimensionamento.

De acordo com Maciel Filho (1997), alguns métodos de dimensionamento de fundações rasas e profundas usam sistematicamente os resultados de SPT para seu dimensionamento, especialmente no Brasil. Observa-se que nos dias de hoje, apesar da baixa representatividade do custo deste tipo de ensaio (porcentagem em relação ao custo total da obra), várias fundações de edificações ainda são dimensionadas sem o conhecimento dos índices do solo daquela obra, ficando então, susceptíveis a problemas estruturais que poderão comprometer a estrutura, ou ainda, levar a um consumo exagerado de insumos nos elementos de fundações.

A caracterização geotécnica do solo para empreendedores com menos recursos financeiro, é ainda mais importante devido à racionalização dos recursos tornando a pesquisa de grande valia, pois disponibilizará um mapa com informações de capacidade de carga onde será possível fazer uma coleta de dados para posterior uso de um profissional da engenharia de maneira a desenvolver projetos de fundações mais seguros e econômicos, considerando a variabilidade do solo, porém nunca dispensando a investigação adequada feita por um profissional.

O mesmo estudo é de grande valia em situações como a verificação de autenticidade de uma sondagem realizada, constatando a sua fidelidade em determinar a resistência do solo em cada camada analisada ou ainda em situações como obras de pequeno porte onde o cliente não autoriza a realização de sondagem, tornando o cliente ciente que a escolha em não realizar um ensaio de sondagem para estudo do solo é uma alternativa arriscada, podendo trazer problemas a edificação e conseqüentemente as partes envolvidas.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

As ferramentas utilizadas para estudo do comportamento do solo são eficientes para a estimativa da capacidade de carga em fundações de pequeno porte?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

O mapa apresentado tem como função reduzir a falta de investigação geotécnica do subsolo em pequenas construções, onde apresenta um banco de dados com valores iniciais que através de interpolação gerou um novo conjunto de dados.

A real forma para execução de obras de pequeno porte ocorre através do método convencional, não tendo projetos específicos de compatibilização da infraestrutura e supraestrutura. O responsável segue apenas o projeto arquitetônico como base da execução, tornando assim uma obra com baixa economia e pouca segurança.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada aos dados de sondagem SPT coletados em vários pontos da Cidade de Cascavel - PR, que pelo uso de planilhas e o *software* estatístico SURFER®, foram apresentados mapas que mostram a variabilidade da capacidade de carga do solo da cidade, de modo a verificar o comportamento da camada residual.

A pesquisa é desenvolvida através de um banco de sondagens com 85 laudos cadastrados mais 56 laudos que foram cadastrados posteriormente pelos desenvolvedores do trabalho, tendo sua disponibilidade através de construtoras locais, órgãos públicos e empresas de fundações.

Como o solo varia de região para região, o programa faz um cruzamento de dados, por meio de métodos estatísticos, trazendo assim mais fidelidade aos resultados, calculando o erro automaticamente e aproximando este erro à zero.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Solo

As rochas que dão origem ao solo tem sua formação devido consolidação de minerais, onde estes apresentam características próprias e tem sua formação é devido basicamente a 8 elementos: Potássio, oxigênio, cálcio, magnésio, silício, ferro, alumínio e sódio (CAPUTO, 1996).

As rochas ígneas tem sua formação a partir do magma, já as rochas sedimentares são formadas em baixas condições de pressão e temperatura, tendo auxílio de um agente cimentante, através de fragmentos de outras rochas que são transportadas e depositadas por água, vento, gravidade e gelo. Possuindo assim quantidade variada de vazios. Já as rochas metamórficas são formadas devido recristalização dos minerais ou a mudança do mineral sobre ação de temperatura e pressão, as características das mesmas irão depender essencialmente da composição das rochas originais, das condições de temperatura e pressão além dos fluidos (CAPUTO, 1996).

Com a formação das rochas ígneas através do magma, a mesma sofre um processo de intemperismo físico (contração e expansão devido diferença de temperatura) e químico (hidrólise, hidratação, oxidação e lixiviação dos minerais), formando assim o solo que é transportado e disposto e com auxílio de agentes cimentantes formam as rochas sedimentares que ainda podem sofrer processo de metamorfismo com ação de altas temperaturas e pressão dando origem às rochas metamórficas que podem ter sua origem diretamente das rochas ígneas (CAPUTO, 1996).

As partículas variam de tamanho de acordo com seu material de formação e o grau de intemperismo, como no caso de solos que permanecem no local de origem da sua formação (residuais), o grau de intemperismo é alto, o solo apresenta características da rocha mãe, apresentando aumento de resistência em profundidade (CAPUTO, 1996).

Os solos tem uma classificação básica segundo o tamanho da sua partícula, sendo os granulares e os finos. Isso ocorre devido sua rocha de origem e momento de formação devido ao intemperismo que a rocha pode sofrer (CAPUTO, 1996).

2.1.2 Classificação dos solos

Os dois principais sistemas de classificação são: o Sistema Unificado de Classificação (*Unified Classification System* - U.S.C.), oriundo do *Airfield Classification System* (A.C.), idealizado por Casagrande e a Classificação do H.R.B. (*Highway Research Board*), originária da classificação do *Public Roads Administration* (CAPUTO, 1996).

2.1.2.1 O Sistema Unificado de Classificação

Neste sistema o solo é classificado em três grupos:

- Solos grossos: aqueles, cujo diâmetro da maioria absoluta dos grãos é maior que 0,074 mm (mais que 50% em peso, dos seus grãos, são retidos na peneira nº 200).
- Solos finos: aqueles cujo diâmetro da maioria absoluta dos grãos é menor que 0,074 mm.
- Turfas: solos altamente orgânicos, geralmente fibrilares e extremamente compressíveis.

No primeiro grupo acham-se os pedregulhos, as areias e os solos pedregulhosos ou arenosos com pequenas quantidades de material fino (silte ou argila). Estes solos são designados com as seguintes iniciais:

- G de *gravel* (pedregulho);
- S de *sand* (areia);
- C de *clay* (argila);
- W de *well graded* (bem graduado);
- P de *poorly graded* (mal graduado);
- M da palavra sueca *mo*, refere-se ao silte.

Já no grupo b são classificados os solos finos de baixa compressibilidade, que são definidos quando o limite de liquidez é menor que 50, ou alta compressibilidade com limite de liquidez maior que 50. Possuem a seguinte nomenclatura:

- O de *organic* (orgânico);
- L de *low* (baixa);
- H de *high* (alta).

Os solos do grupo c representam-se pelo símbolo *Pt* de *peat* que está relacionado a turfa (CAPUTO, 1996).

2.1.2.2 O Sistema de Classificação do H. R. B.

Nesta classificação os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função da sua granulometria e plasticidade. Os "solos granulares" compreendem os grupos A-1, A-2 e A-3, e os "solos finos", os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, três dos quais divididos em subgrupos, conforme Tabela 01 (CAPUTO, 1996).

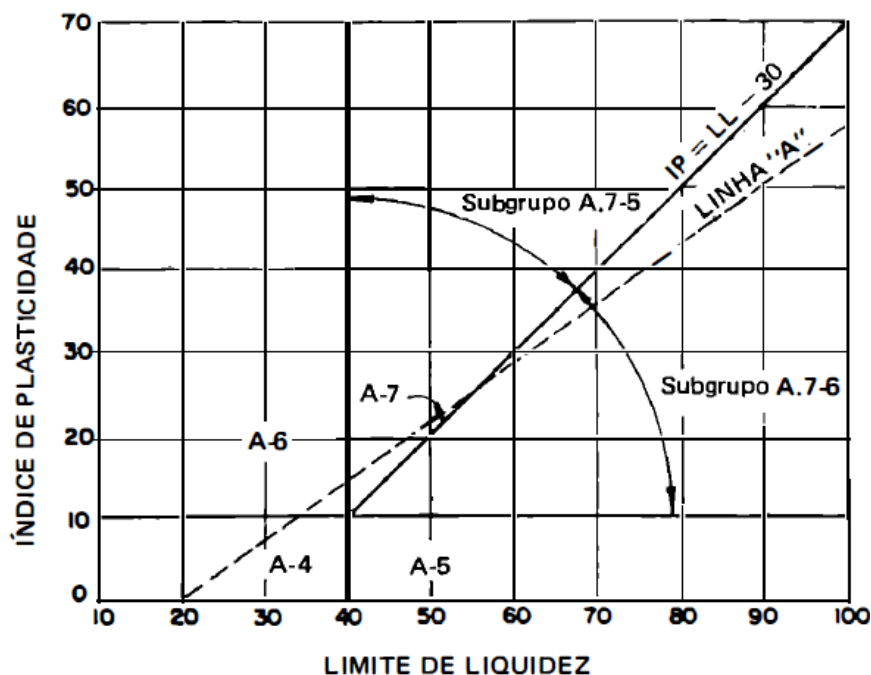
Tabela 01: Sistema de Classificação do H.R.B.

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DO H.R.B											
Classificação Geral	Solos Granulares ($P_{200} < 35\%$)							Solos Silto - Argilosos ($P_{200} > 35\%$)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
P_{10}	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_{40}	<30	<50	>50	-	-	-	-	-	-	-	-
P_{200}	<15	<25	<10	<35	<35	<35	<35	>35 5	>35	>35	>35
LL	-	-	-	<40	>40	<40	>40	<40 0	>40	<40	>40
IP	<6	<6	NP	<10	<10	>10	>10	<10 0	>10	>10	>10
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	<4	<4	<8	<12	<16	<20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia	Areia Fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas					Solos Siltosos		Solos argilosos	
Classificação com subleito	Excelente a bom					Regular a mau					

Fonte: (CAPUTO, 1996).

Através do limite de liquidez e índice de plasticidade do solo é possível classificar os solos finos através do gráfico de plasticidade, como mostra a Figura 01 (CAPUTO, 1996).

Figura 01: Gráfico de plasticidade



Fonte: (CAPUTO, 1996).

Na classificação primitiva do *Public Roads*, foi a introdução do chamado índice de grupo IG, o qual é um número inteiro, variando de 0 a 20, definidor da "capacidade de suporte" do terreno de fundação de um pavimento. Os seus valores extremos representam solos ótimos ($IG = 0$) e solos péssimos, que devem ser evitados ($IG = 20$). Os solos granulares têm índices de grupo compreendidos entre 0 e 4, os silteosos entre 1 e 12 e os argilosos entre 1 e 20 (CAPUTO, 1996).

2.1.2.3 Classificação de segundo NBR 6502/1995

Segundo a NBR 6502/1995, a areia forma solos não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm, enquanto a argila caracteriza um solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade. Já no caso do silte apresenta baixa ou nenhuma plasticidade, e exibe baixa resistência quando seco o ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm.

Segundo Caputo, 1996 o solo formado pode ser classificado em:

- Residual: é um solo superficial muito intemperizado com as características da rocha de origem
- Transportados: seu transporte é realizado através da água, gravidade, vento e gelo dando origem a solos aluvionares, coluvionares, eólicos e glaciais consecutivamente.
- Orgânicos: solos com altas concentrações de MO (matéria orgânica), encontrados principalmente em beira de rios e lagos.
- Lateríticos: solos de regiões tropicais que apresentam alta porosidade devido terem sofrido muitos processos de intemperismo, apresentando resistência no estado natural, porém perdem a mesma quando em contato com a água.
- Colapsíveis: solos que quando umedecidos perdem a resistência drasticamente apresentando recalque consideráveis.

2.1.2 Sondagem SPT (*Standard Penetration Test*)

Existem diversos métodos de sondagens entre eles os mais usados são: sondagens a trado, poços de inspeção, sondagens a percussão e sondagens rotativas. As diretrizes para realização destas sondagens encontram-se na ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (1990) e os equipamentos a serem utilizados são encontrados em Monticeli (1980).

A sondagem SPT (*Standard Penetration Test*) é considerada uma das mais utilizadas, tendo como intuito conhecer o perfil geológico, a capacidade de carga das diferentes camadas do subsolo, a identificação do lençol freático e a consistência dos solos arenosos e argilosos (MONTICELI, 1980).

Segundo a NBR 6484, a mesma é realizada principalmente para conhecer o índice de resistência à penetração, que consiste na medição do número de golpes necessários à penetração de um amostrador padrão, conhecido como número N, usado para determinar a capacidade de carga que o solo pode resistir (MONTICELI, 1980).

Esta sondagem tem uma execução simples, cujo método de perfuração é realizado por meio de trado, sendo utilizada a cravação de um amostrador padrão para a obtenção do valor N que corresponde à resistência, a penetração, a coleta de amostra do solo estudado e determinação do nível de água (MONTICELI, 1980).

Segundo a NBR 6484/2001, o ensaio consiste na cravação vertical do amostrador no solo para obtenção do índice de resistência à penetração, feita com auxílio de um cilindro

(amostrado padrão) com diâmetro externo de $50,8\text{mm} \pm 2\text{mm}$ e diâmetro interno de $34,9\text{mm} \pm 2\text{mm}$ através de golpes de um martelo com massa padronizada de 65 kg, solto em queda livre de uma altura de 75 cm com auxílio de um tripé, conforme a Figura 02.

Figura 02: Execução de sondagem



Fonte: Batista (2002).

O ensaio é realizado metro a metro, cravando 45cm o amostrador, já os 55cm restantes são escavados com auxílio do trado helicoidal ou trépano.

A haste deve ter um segmento de 45 cm marcado com giz, dividido em três trechos iguais de 15 cm, tendo o valor de golpes anotados em cada trecho. Após término da primeira camada o valor da resistência à penetração consiste na somatória dos dois últimos segmentos, dando origem ao número N, que representa o número de golpes aplicados na cravação do amostrador padrão apenas 30 cm finais em cada camada de análise, só então o solo pode ser classificado segundo sua resistência de acordo com o número N como mostra a Tabela 02.

Tabela 02: Classificação do solo segundo a compacidade ou consistência de acordo com Nspt.

Solo	N	Compacidade/Consistência
Areias e siltes arenosos	< 4	Fofa (o)
	5 – 8	Pouco compacta (o)
	9 – 18	Medianamente compacta(o)
	19 – 40	Compacta (o)
	>40	Muito compacta (o)
Argilas e siltes argilosos	< 2	Muito mole
	3 – 5	Mole
	6 – 10	Média (o)
	11 – 19	Rija (o)
	>19	Dura (o)

Fonte: NBR 6484/2001.

Após a realização de cada ensaio, o amostrador é retirado do furo e a amostra é coletada, para posterior classificação que geralmente é feita pelo método Tátil-visual, que consiste em primeiro momento na identificação das amostras de solo pela sua granulometria, procurando-se separá-las em duas grandes divisões: solos grossos (areias e pedregulhos) e solos finos (argilas e siltes), através da fricção da amostra com os dedos, que permite separar os solos grossos, que são ásperos ao tato, dos solos finos, que são macios. Ainda no exame visual das amostras permite avaliar a predominância do tamanho de grãos, sendo possível individualizar grãos de tamanho superior à décimo de milímetro, admitidos como visíveis a olho nu, através da amostragem obtida pelo amostrador bipartido como mostra a Figura 03 (MARIANE, 2013).

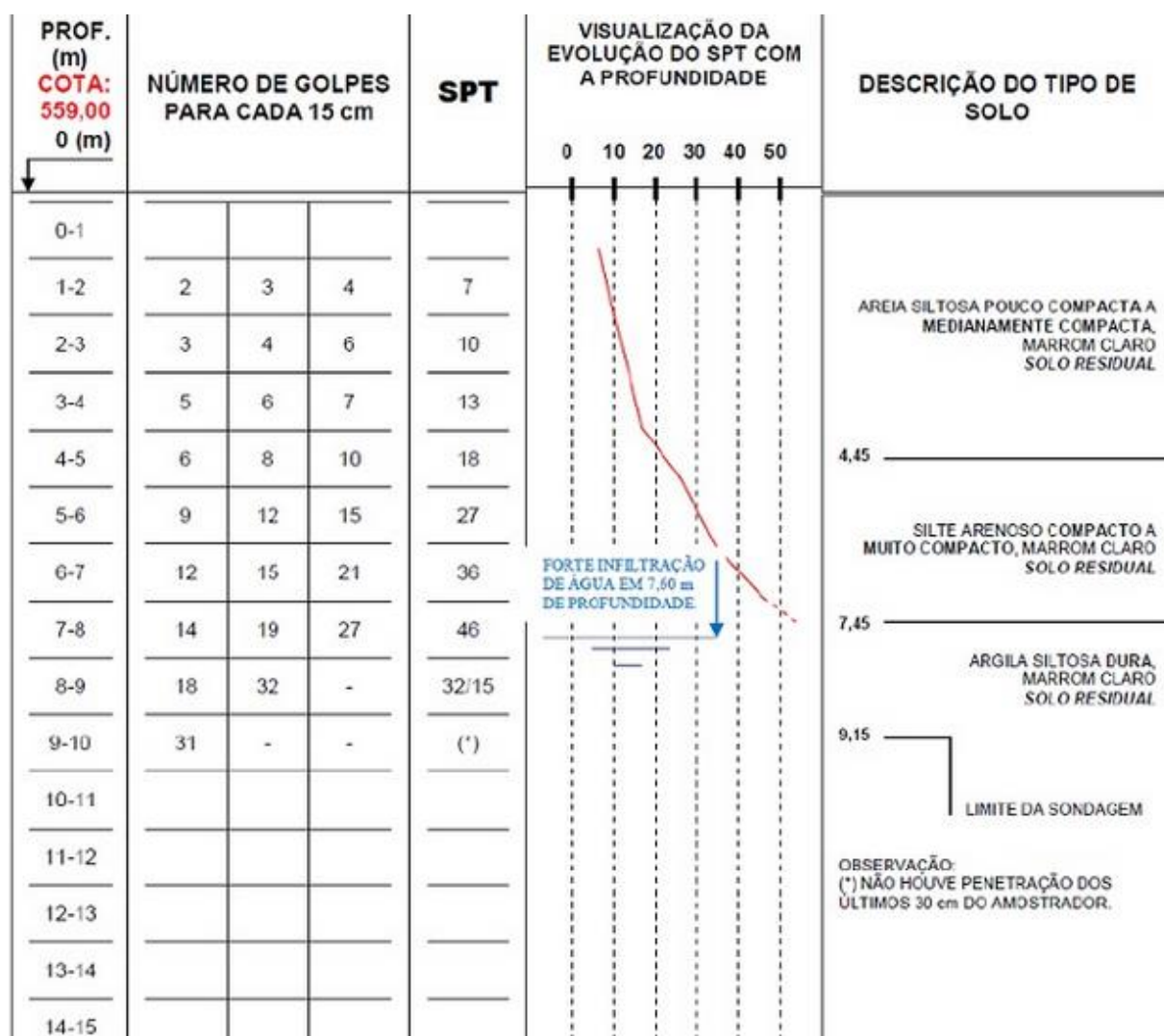
Figura 03: Amostrador padrão bipartido

Fonte: Batista (2002).

Quando a sondagem é realizada acima do nível de água, a perfuração deve ser executada com o auxílio de um trado concha ou helicoidal até atingir o lençol freático. Abaixo do nível do lençol freático deve ser utilizado o método de percussão com circulação de água (método de lavagem) com utilização obrigatória de revestimento (MARIANE, 2013).

Após ensaio de sondagem é feita análise dos dados e gerado um laudo como da Figura 04, contendo informações como o tipo de solo e profundidade das camadas, o número N para cada metro analisado, o nível d'água e ainda um gráfico representando a evolução do N_{SPT} com o avanço da profundidade de sondagem (MARIANE, 2013).

Figura 04: Laudo de sondagem



Fonte: Netti (2015).

2.1.3 Tipos de fundação

2.1.3.1 Fundações profundas/indiretas

São fundações com comprimento predominante sobre a seção, utilizadas essencialmente para transmissão de cargas a camadas mais profundas do terreno que possuem maior resistência em profundidades mais elevadas, onde fundações rasas não atingem tal camada para dissipar a carga da edificação com segurança (AZEVEDO, 1992).

As fundações profundas são normalmente utilizadas quando os solos superficiais não apresentam capacidade de suportar elevadas cargas, ou estão sujeitos a processos erosivos, e também, quando existe a possibilidade de realização de uma escavação futura nas proximidades da obra (AZEVEDO, 1992).

Segundo a NBR 6122/1996, define-se como fundação profunda aquela que transmite a carga proveniente da superestrutura ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste), ou pela combinação das duas.

De acordo com a NBR 6122/1996, nas fundações profundas a profundidade de assentamento deve ser maior que o dobro da menor dimensão em planta do elemento de fundação.

Atualmente é grande a variedade de estacas empregadas como elementos de fundação nas obras civis correntes, diferindo-se entre si basicamente pelo método executivo e materiais de que são constituídas (AZEVEDO, 1992).

Vários são os critérios para a classificação das estacas, dentre os quais se destacam o efeito produzido no solo (grande deslocamento, pequeno deslocamento e sem deslocamento).

As estacas podem ser moldadas *in loco* e pré moldadas, tendo características básicas de cada grupo e emprego adequado em cada situação. Estacas moldadas *in loco*, estacas tipo Franki, ômega, Strauss, hélice contínua, trado manual, trado mecânico, estacão, barrete, estacas injetadas do tipo microestacas e as estacas-raiz já as estacas pré-moldadas são estacas de concreto, madeira e metálicas (AZEVEDO, 1992).

Em relação a sua forma de funcionamento há as estacas de ponta que trabalham basicamente pela resistência de ponta, estacas de atrito ou flutuante que trabalham somente por atrito lateral, desenvolvido no fuste e as estacas mistas que são a combinação das duas definições citadas (AZEVEDO, 1992).

Já segundo a forma de carregamento há as estacas de compressão que agem quando o carregamento do pilar é transferido ao eixo da estaca, já as estacas de tração são utilizadas em

caso de ancoramento, onde são utilizadas vigas de equilíbrio em casos extremos como de fundações de divisa e as estacas de flexão são estacas que resistem este tipo de esforço, como as estacas raízes (AZEVEDO, 1992).

As estacas escavadas mecanicamente com trado helicoidal, são amplamente utilizadas em obras de pequeno porte, sendo executadas através de torres metálicas, apoiadas em chassis metálicos ou apoiadas em caminhões. Em ambos os casos são empregados guinchos, conjunto de tração e hastes de perfuração, podendo esta ser helicoidal em toda sua extensão ou constituída de um conjunto de trados e hastes, chegando ao comprimento entre 2 e 6 m em sua extremidade, procedendo-se ao avanço através de prolongamento telescópico, existindo em obras de pequeno porte o emprego de estacas escavadas manualmente, menos utilizadas devido seu tempo de execução e confiabilidade dos resultados (AZEVEDO, 1992).

O processo consiste na perfuração até a cota desejada, armada posteriormente com auxílio de espaçadores para garantir cobrimento necessário indicado em projeto e concretado a partir da boca da estaca em funil de concretagem, conforme Figura 05. Seu emprego é restrito a perfurações acima do nível do lençol freático (AZEVEDO, 1992).

Figura 05: Etapas na execução da estaca



Fonte: Bolonha (2013).

2.1.4 Método para dimensionamento para fundações em estacas escavadas

Os métodos para dimensionamento da capacidade de carga do solo sempre foram um instrumento de pesquisa de muitos engenheiros da área, trazendo para a bibliografia, várias contribuições, gerando um imenso repertório de fórmulas. Isso ocorre devido dificuldade de se estipular um bom modelo matemático e físico que se adeque a diferentes situações de solo, carga e tipo de fundação (AOKI & VELLOSO, 1975).

No dimensionamento tem-se que levar em consideração a resistência imposta pelo solo na lateral e na ponta da estaca, impedindo assim que ela se desloque, sendo esse limite entre a força máxima aplicada na estaca e o início do deslocamento do solo (ruptura) define a capacidade de carga da estaca que pode variar conforme o tipo de estaca escolhido, possuindo atrito lateral e de ponta diferente em cada tipo de fundação (AOKI & VELLOSO, 1975).

De acordo com a NBR 6122/2010 é denominada por carga última a somatória da resistência lateral com a resistência de ponta, conforme a Equação 01.

$$P_{ult} = R_L + R_P \quad (01)$$

Onde:

P_{ult} : Carga de ruptura

R_L : Resistência lateral da estaca

R_P : Resistência de ponta da estaca

A carga de ruptura sofre uma minoração devido ao fator de segurança que pode variar entre 1,6 e 2. Quando há a necessidade de realização de prova de carga, exigida em grupos superiores a 100 estacas, o fator de segurança estipulado em norma que pode ser utilizado no projeto é de 1,6, já em situações onde a mesma não é necessária, o fator a ser utilizado é de 2, segundo a Equação 02.

$$P_{adm} = \frac{P_{ult}}{F_s} \quad (02)$$

Onde:

P_{adm} : carga admissível (projeto)

F_s : fator de segurança

No dimensionamento em projeto das fundações profundas, houve desenvolvimento de métodos teóricos que promovem interação entre a estaca e o solo, envolvendo diversos parâmetros relacionados ao solo, parâmetros estes que, muitas vezes, não eram facilmente obtidos. Por esta complexidade foram desenvolvidos métodos denominados semi-empíricos, que levam em consideração as características do solo de determinada região. No Brasil, os métodos mais utilizados são os de Aoki & Velloso e de Décourt & Quaresma (AZEVEDO, 1992).

2.1.4.1 Método Aoki & Velloso (1975)

Método desenvolvido nos anos 1970 a partir de comparações entre provas de carga em estacas e ensaios de sondagem, é um método amplamente utilizado no meio da engenharia de fundações, por sua confiabilidade e rapidez de uso. Apresenta uma maneira de correlacionar dados de ensaio de sondagens CPT ou SPT com a capacidade de carga do sistema estaca-solo (AOKI & VELLOSO, 1975).

Segundo Aoki e Velloso (1975) o valor da carga última do solo é obtido pela Equação 03.

$$P_{ult} = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_1^n (\alpha \cdot K \cdot N_L \cdot \Delta_L) \quad (03)$$

Onde:

P_{ult} : Carga última;

K/α : Coeficiente de acordo com o solo (Tabela 03);

N_p : N_{SPT} da ponta da estaca;

F_1/F_2 : Coeficiente que leva em consideração o sistema de fundação adotado (Tabela 04);

A_p : Área de ponta da estaca;

U : Perímetro da estaca;

N_L : N_{SPT} médio ao longo da camada considerada;

Δ_L : espessura da camada.

Tabela 03: Coeficientes K e razão de atrito α

Tipos de solo	K (kgf/cm²)	α (%)
Areia	10,00	1,40
Areia siltosa	8,00	2,00
Areia silto-argilosa	7,00	2,40
Areia argilosa	6,00	2,80
Areia agilo-siltosa	5,00	3,00
Silte	4,00	3,00
Silte arenoso	5,50	2,20
Silte areno-argiloso	4,50	2,80
Silte argiloso	2,30	3,40
Silte argilo-arenoso	2,50	3,00
Argila	2,00	6,00
Argila arenosa	3,50	2,40
Argila areno-siltosa	3,00	2,80
Argila siltosa	2,20	4,00
Argila silto arenosa	3,30	3,00

Fonte: Aoki & Velloso (1975).

Tabela 04: Fatores de correção F1 e F2

Tipo de estaca	F1	F2
Franki	2,5	2.F1
Metálica	1,75	2.F1
Pré-moldada	1+D/0,8	2.F1
Escavada	3	2.F1

Fonte: Aoki & Velloso (1975).

2.1.4.2 Método Décourt & Quaresma (1978)

Em 1978, os engenheiros Luciano Décourt e Arthur Quaresma apresentaram ao 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações um método para determinação da capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT, este método correlaciona diretamente os dados do ensaio de sondagem SPT com a resistência do sistema estaca-solo. Assim como o método de Aoki & Velloso, ele divide a capacidade de carga da estaca em duas parcelas: resistência de ponta da estaca e a resistência do atrito lateral (DÉCOURT & QUARESMA, 1978).

Segundo Décourt & Quaresma (1978) o valor da carga última do solo é obtido pela Equação 04.

$$P_{ult} = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_L}{3} + 1\right) \cdot U \cdot L \quad (04)$$

Onde:

P_{ult} : Carga última;

α/β : Coeficientes que levam em consideração o sistema de fundação adotado (Tabela 05 e 06);

C : Coeficiente tabelado de acordo com o solo (Tabela 07);

N_p : Média NSPT na área da ponta (um antes, o valor da ponta e um depois da cota de apoio);

A_p : Área de ponta da estaca;

N_L : Média N_{SPT} ao longo do comprimento útil da estaca;

U : Perímetro da estaca;

L : Comprimento útil (Comprimento total - 1 metro).

O valor de N_L a ser adotado, deve-se adotar $N_L = 3$ quando os valores forem inferiores a este, já em caso do valor de N_L extrapolar 50, adotar $N_L = 50$ (DÉCOURT & QUARESMA, 1978).

Tabela 05: Valores do fator α em função do tipo de estaca e solo.

Tipos de solo	Escavada em geral	Escavada (betonita)	Hélice continua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,30	0,85	1
Solos intermediários	0,60	0,60	0,30	0,60	1
Areias	0,50	0,50	0,30	0,50	1

Fonte: Décourt (1978).

Tabela 06: Valores do fator β em função do tipo de estaca e solo.

Tipos de solo	Escavada em geral	Escavada (betonita)	Hélice continua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,80	0,90	1	1,5	3
Solos intermediários	0,65	0,75	1	1,5	3
Areias	0,50	0,60	1	1,5	3

Fonte: Décourt (1978).

Os parâmetros α e β são considerados valores de majoração ou de minoração, respectivamente para a resistência de ponta e resistência lateral, variando de acordo com o tipo do solo e o método de fundação adotado, podendo sofrer variação quando os elementos sofrem prova de carga (DÉCOURT & QUARESMA, 1978).

Tabela 07: Coeficiente característico do solo.

Solo	C (KPa)
Argila	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

Fonte: Décourt e Quaresma (1978).

2.1.5 Mapeamento geotécnico

Umas das primeiras tentativas de representações cartográficas das condições geotécnicas surgiram 1913, na exposição técnica de Leipzig. Apenas em 1954 e 1956, Gwinner, realizou a primeira tentativa de integrar os dados relativos às propriedades físicas e ao comportamento mecânico dos solos num contexto geológico. O maior desenvolvimento do mapeamento geotécnico se deu nos países da Europa Oriental, a partir da década de 50 (FILHO, 1997).

O mapeamento geotécnico tem sido amplamente utilizado nos mais diferentes países, como uma ferramenta que ajuda a definir e fiscalizar a ocupação territorial das regiões de uma maneira ajustada tecnicamente e respeitando as áreas de interesse ambiental e as condições necessárias para que a população desfrute-as sem alterar as suas condições básicas de vida (FILHO, 1997).

A UNESCO define mapa geotécnico, como “Um tipo de mapa que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente”. Já Abel (2002), afirma que o mapeamento possui a finalidade de fornecer informações do ambiente geológico, da variação das condições geotécnicas, seus componentes individuais e suas inter-relações, de forma a auxiliar na mitigação de problemas

em curso e na prevenção de problemas futuros. Estas informações devem ser apresentadas de tal modo que não somente os dados da natureza, mas também os dados de significado em engenharia possam ser entendidos e completamente analisados.

O mapa geotécnico deve mostrar as relações espaciais e dinâmicas dos domínios geoambientais, possibilitando o conhecimento prévio das relações do meio diante de qualquer tipo de intervenção natural ou antrópica (ABEL, 2002).

De acordo com os autores, a representação espacial de uma superfície, deve ser obtida através da realização de investigações, estudos e correlações de dados diversos. O mapa deve ter finalidade, uso, aplicação, precisão, funcionalidade e clareza, tendo uma linguagem que atinja os usuários não especializados, podendo assim servir como auxílio para maioria das pessoas que necessitarem das informações neles contidas para os mais diversos fins.

2.1.6 Geoprocessamento

Geoprocessamento representa um conjunto de tecnologias capazes de coletar e tratar informações georreferenciadas, que permitam o desenvolvimento constante de novas aplicações como armazenar e representar as informações de distribuição geográfica de recursos minerais, de características geotécnicas e outras de interesse (GOMES, 2011).

Ferramentas computacionais de geoprocessamento permitem realizar análises complexas, integrar dados de diversas fontes e criar banco de dados georreferenciados, neste sentido, as tecnologias que são englobadas nesta concepção, e que a cada momento fazem cada vez mais parte do dia-a-dia, são o Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Posicionamento Global (GPS) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) (GOMES, 2011).

2.1.7. UTM (*Universal Transversa de Mercator*)

De acordo com Matias (2010), o sistema de coordenadas UTM é baseado no plano cartesiano, eixo X e Y, e utiliza o metro como unidade de medida, tendo como origem o Equador e o Meridiano Central. O sistema de coordenadas não acompanha a curvatura da Terra, por conta disso também é conhecida como coordenadas planas.

Conforme Perna (2011) o sistema UTM é dividido em 60 fusos de 6 graus de amplitude em longitude. Cada zona também é chamada de Zona UTM que é numerada, iniciando em '1' da esquerda para direita em relação à longitude 180 graus oeste. Pode-se identificar também o fuso a partir do seu Meridiano Central que fica exatamente no centro do fuso.

O *Universal Transversa de Mercator* possui a característica de não possuir coordenadas negativas e apenas dois eixos: E(x) e N(y), indicando respectivamente, longitude e latitude (MATIAS, 2010).

2.1.7.1 Sensoriamento Remoto (SR)

O Sensoriamento Remoto é uma técnica para obter informações sobre objetos através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos investigados, por este motivo a forma de transmissão dos dados só pode ser realizada pela radiação eletromagnética, sendo esta a única forma de energia capaz de se propagar pelo vácuo (GOMES, 2011).

2.1.7.2 Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O Sistema de Posicionamento Global foi criado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e tem como função básica identificar a localização de um receptor, na superfície terrestre, que capte sinais emitidos por satélites. Trata-se de um sistema de posicionamento geográfico que dá as coordenadas de determinado lugar da Terra. Muito utilizado em situações onde haja necessidade de localização precisa (GOMES, 2011).

2.1.7.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) constitui o tipo de estrutura mais importante em termos de viabilização do geoprocessamento. O SIG difere dos demais sistemas computacionais, pela sua capacidade de estabelecer relações espaciais entre elementos gráficos, sendo mais adequado para análise e tratamento de dados geográficos processando dados gráficos (mapas) e alfanuméricos (tabelas) com a finalidade de desenvolver análises espaciais e modelagens da superfície (GOMES, 2011).

Coelho (2009), conclui que os dados espaciais são caracterizados por qualquer tipo de informação ou dados que possuem localização no espaço e estão relacionados a um sistema de coordenadas sobre a Terra de latitude “X” e longitude “Y”, e o atributo “Z” representado por uma base de dados espaciais, no caso do presente trabalho com dados de capacidade de carga admissível das fundações em estacas.

SIG pode ser definido como um conjunto organizado de hardware, software, dados geográficos e pessoal, com o objetivo de armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informações georreferenciadas em um banco de dados do qual pode ser posteriormente conferido e alterado (COELHO, 2009).

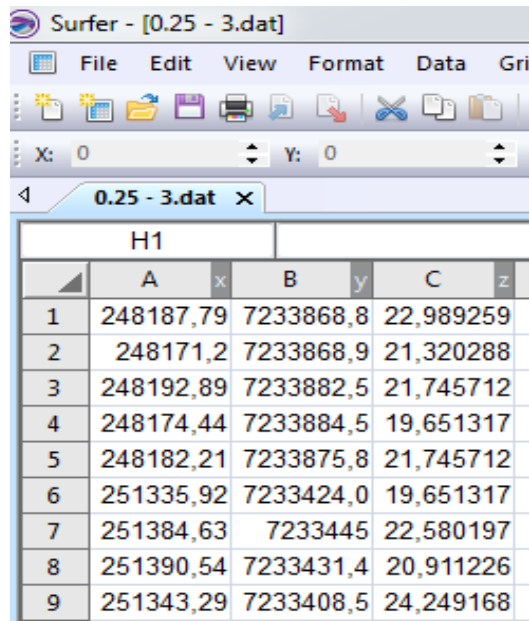
O sistema é conhecido por ter um banco de dados georreferenciados espacialmente, que funciona como um modelo da realidade, tendo vários *Softwares* semelhantes ao utilizado como *ArcView 9.1* (LISBOA FILHO; IOCHPE, 1996).

2.1.7.4 SURFER 13

O SURFER® é um pacote de programas comerciais desenvolvidos pela *Golden Software Inc.* que pode ser utilizado para a confecção de mapas de variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos. O programa usa mapas com projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), em metros ou quilômetros que devem utilizar o mesmo *datum*, como por exemplo, SAD-69 (“Sistema geodésico Sul-Americano” topocêntrico) ou WGS-84 (“Sistema de Referência Geodésico global” Geocêntrico), tais medidas que devem ser obtidas com equipamentos GPS (posicionamento global por satélite) (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

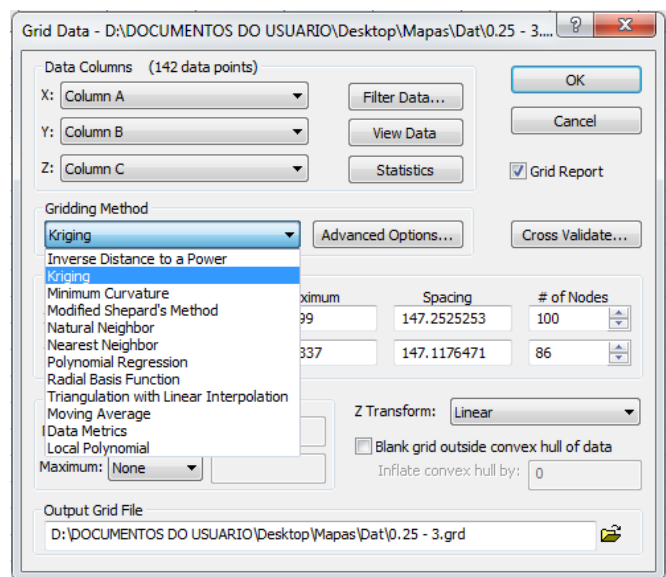
Como entrada de dados o *Surfer* possui uma planilha que permite importar tabelas de outros programas, como *Excel* e *Lotus* como demonstra a Figura 06 e então é necessário escolher o método de interpolação que os dados serão tratados como apresentado na Figura 07 (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

Figura 06: Planilha de entrada dos dados no **Figura 07:** Escolha do método de interpolação
Surfer



	A	x	B	y	C	z
1	248187,79		7233868,8		22,989259	
2	248171,2		7233868,9		21,320288	
3	248192,89		7233882,5		21,745712	
4	248174,44		7233884,5		19,651317	
5	248182,21		7233875,8		21,745712	
6	251335,92		7233424,0		19,651317	
7	251384,63		7233445		22,580197	
8	251390,54		7233431,4		20,911226	
9	251343,29		7233408,5		24,249168	

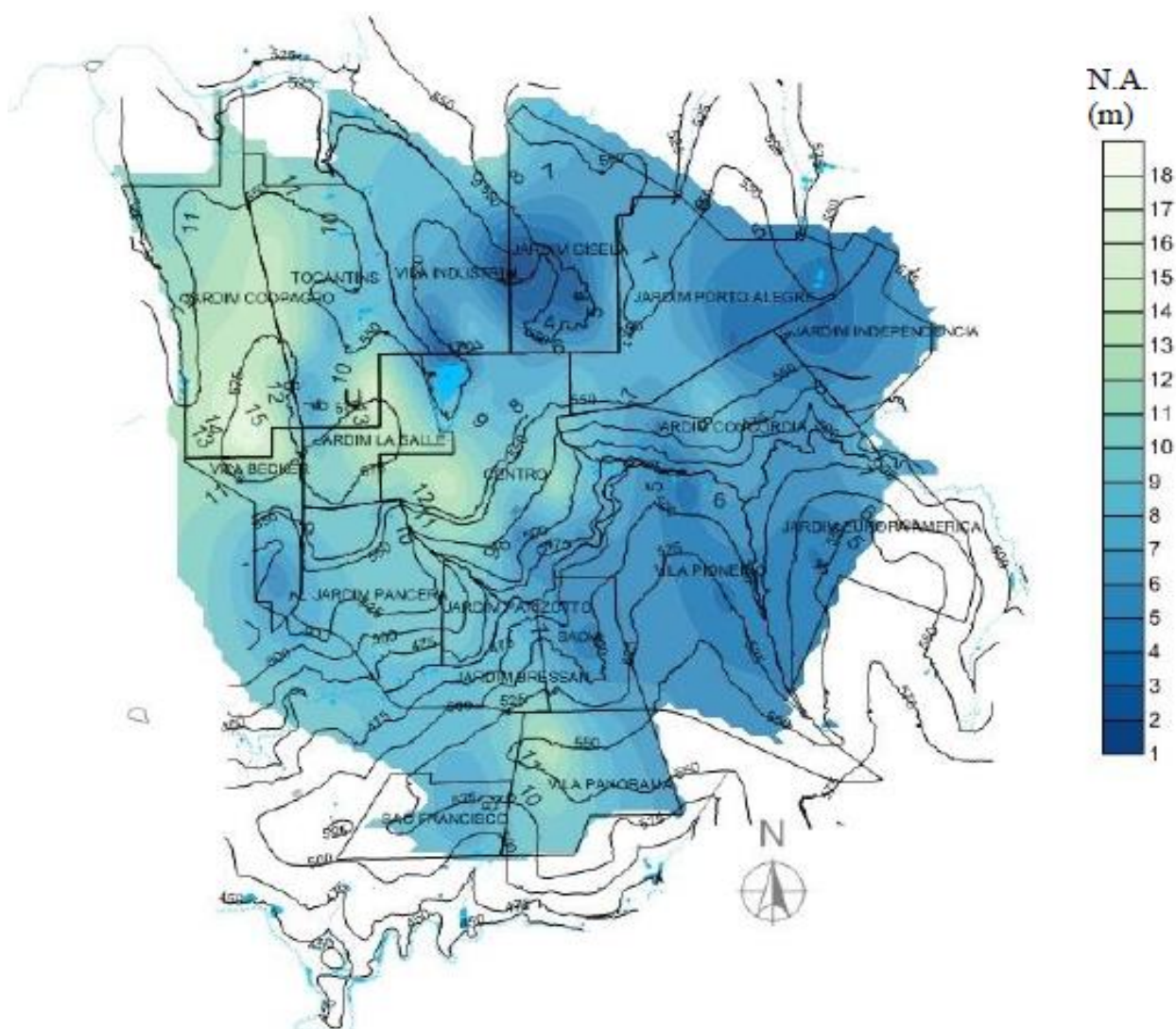
Fonte: Autor (2017).



Fonte: Autor (2017).

Segundo Landim, Monteiro e Corsi (2002), um mapa é construído usando-se a posição espacial de um determinado ponto e o valor correspondente à variável medida, seja qual for sua natureza, normalmente representados pelos valores X, Y e Z. Assim, as coordenadas são os valores X, posição do ponto no eixo da ordenada leste-oeste, e Y, posição na abscissa norte-sul, e Z é o valor observado da variável nesse ponto, gerando mapas geotécnicos parecidos com a Figura 08, que exemplifica uma região com a delimitação dos bairros, representando as curvas de nível do terreno e com as diferentes tonalidades em azul demonstrando o nível d'água na região.

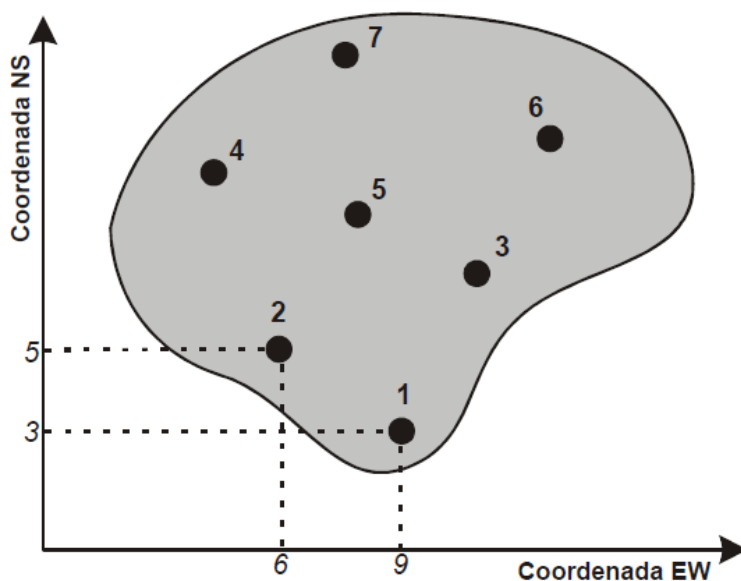
Figura 08: Mapa do nível d'água gerado com auxílio do *Surfer 13*



Fonte: Pereira (2016).

Na Figura 09, observa-se uma área cinza representando uma unidade espacial qualquer com pontos de 1 a 7 representando amostras quaisquer de um conjunto de coordenadas dentro de um mapeamento geotécnico, sendo elas Norte/Sul (NS) e Leste/Oeste (EW). O número sobre cada ponto é a sua identificação, e os números dos eixos das coordenadas e abscissas são suas coordenadas geográficas. Nesses pontos são medidas as variáveis em estudo (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

Figura 09: Pontos de amostragem (1 a 7) numa área de estudo



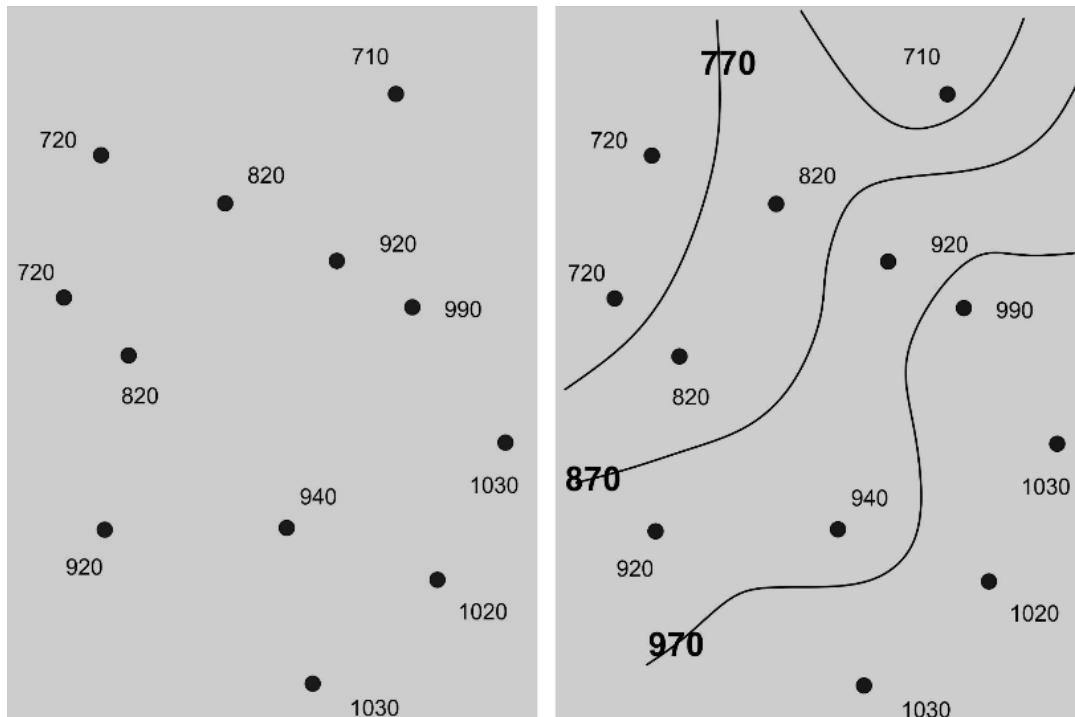
Fonte: Landim, Monteiro e Corsi (2002).

A partir das coordenadas do ponto e dos valores assumidos pela variável nesses pontos, pode-se obter um mapa de distribuição espacial para cada variável, utilizando-se um algoritmo de interpolação alcançado através do programa *SURFER 13*. As coordenadas para cada ponto devem ser obtidas no mesmo sistema de referência, no caso do presente trabalho *Universal Transversa de Mercator* (UTM), em metros ou quilômetros, utilizando o mesmo *datum* do mapa base (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

2.1.8 Interpolação de dados

O objetivo principal de uma interpolação de dados é estimar valores em áreas não contempladas pela amostragem. Variáveis espaciais apresentam muitas vezes correlação com sua vizinhança sendo que as amostras coletadas em pontos próximos possuem grande probabilidade de apresentar valores similares (dependência espacial) ou ainda quando é aplicado para representações contínuas (geocampo) (KAWAKUBO, 2017).

A Figura 10 representa um dos métodos mais simples de interpolação espacial que consiste em traçar linhas de mesmo valor (denominadas de isolinhas) a partir de pontos dispersos (KAWAKUBO, 2017).

Figura 10: Isolinhas

Fonte: (Kawakubo, 2017)

Segundo Kawakubo (2017), há quatro maneiras de fazer uma interpolação espacial, sendo elas:

- Global: Aproximam de uma única vez todos os dados do mapa, permitindo se interpolar o valor da função em qualquer ponto dentro do domínio dos pontos originais dos dados. A retirada ou acréscimo de um único ponto irá se propagar por todo o resultado da Interpolação;

- Local: São definidas funções para pequenas porções do mapa sucessivamente até cobrir toda a área do mapa. A alteração de um ponto irá afetar apenas localmente o resultado, normalmente na área próxima ao ponto alterado;

- Exato: O resíduo, ou seja, a diferença entre o valor real e o estimado é nulo;

- Aproximado: O resíduo não é nulo.

Dentre os diversos métodos de interpolação utilizados pode-se se citar Krigagem, ponderação do inverso da distância, interpolação polinomial global, interpolação polinomial local, funções de base radial e Krigagem Ordinária (KAWAKUBO, 2017).

2.1.9 Krigagem

De acordo com Silva (2008), do sobrenome do engenheiro sul-africano Daniel G. Krige, surgiu o termo utilizado para denominar o método de interpolação utilizado na geostatística: kriging (inglês) ou krigagem (português). Daniel G. Krige foi o pioneiro a introduzir o uso das médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas de mineração. Na comunidade estatística, a krigagem também é conhecida como “Processo Gaussiano de Regressão”.

Segundo Landim (1998), krigagem pode ser entendida como uma série de técnicas de análises de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio que leva em conta a dependência estatística entre os dados distribuídos no espaço.

Para Abel (2002), o método da krigagem se diferencia dos demais métodos por atribuir pesos diferentes as amostras, determinando-os a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental, fornecendo geralmente estimativas não tendenciosas e com variância mínima.

A krigagem engloba um conjunto de métodos de estimação, como por exemplo: krigagem simples; krigagem ordinária; krigagem universal; co-krigagem e krigagem disjuntiva.

2.1.9.1 Krigagem ordinária

Segundo Abel (2002), o método geostatístico da krigagem ordinária pode ser considerado o melhor estimador devido:

- As estimativas são feitas através uma combinação linear dos dados;
- O método procura calcular que o erro residual seja igual zero;
- Tem como objetivo minimizar a variância de erros.

A krigagem ordinária baseia-se em um método probabilístico, cujo erro residual médio como a variância de erros podem ser estimados. Desta forma, pode-se atribuir peso às amostras utilizadas nas estimativas de tal modo que o erro médio seja zero e a variância dos erros seja mínima. Segundo Silva (2008), as amostras que estão mais próximas do ponto a ser estimado terão maior peso, à medida que a distância aumenta, o peso ou influência diminui (ABEL, 2002).

2.1.10 Análise estatística

2.1.10.1 Média Aritmética Simples

A média aritmética simples é a soma total dos termos dividida pelo número total de termos analisados, dando origem a um valor médio (SICSU; DANA, 2012).

2.1.10.2 Desvio Padrão

Uma medida de dispersão em torno da média populacional de uma variável aleatória. Um baixo desvio padrão indica que os pontos dos dados, tendem a estar próximo da média ou do valor esperado, já um alto desvio padrão indica que os pontos dos dados estão espalhados por uma ampla gama de valores (SICSU; DANA, 2012).

O desvio padrão é a raiz quadrada da variância, de modo a ser uma medida de dispersão que seja um número não negativo e que use a mesma unidade de medida dos dados fornecidos (SICSU; DANA, 2012).

2.1.10.3 Variância

A variância é uma medida da sua dispersão estatística, indicando o quão longe em geral os seus valores se encontram do valor esperado, quanto menor é a variância, mais próximos os valores estão da média, consecutivamente, quanto maior ela é, seus valores estão mais distantes da média (SICSU; DANA, 2012).

2.1.11 Semivariograma

O semivariograma é uma função básica que dá suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço, calculando os valores da variância, para uma dada distância (LANDIM, 2006).

Segundo Landim (2006), uma correta interpretação do variograma permite obter parâmetros que descrevem o comportamento espacial das variáveis regionalizadas e definem:

- O tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, pois toda amostra cuja distância ao ponto a ser estimado for menor ou igual ao alcance, fornece informações sobre o ponto;

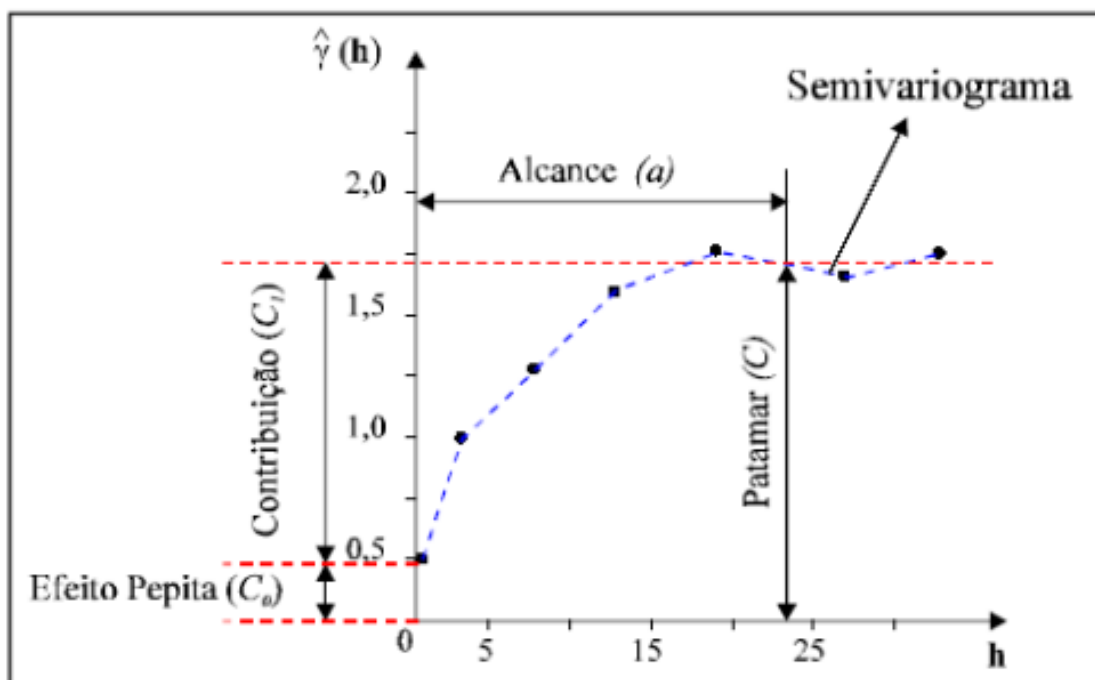
- A anisotropia, quando os variogramas mostram diferentes propriedades para diferentes direções de linhas de amostragem e de estudo da variável em uma mesmo meio, sendo geométrica quando o alcance varia de acordo com as diversas direções consideradas, mantendo constante a soleira, ou zonal quando o alcance permanece constante e a soleira varia conforme for modificada a direção.

O semivariograma expõe a medida do grau de dependência espacial entre os valores e é uma medida de variabilidade em relação à distância (LANDIM, 2006).

A krigagem usa essas informações para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras que irão estimar o ponto. A variância da krigagem é independente dos valores ou dos pontos usados para obter os estimadores Z_i , e mede somente a configuração espacial dos dados (LANDIM, 2006).

Segundo Silva (2011) no semivariograma experimental observam-se os seguintes componentes representados na Figura 11.

Figura 11: Exemplo Semivariograma



Fonte: Silva (2011).

- Alcance (a): distância que as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. O alcance também é utilizado para definir o raio de ação ("range") máximo de interpolação por krigagem, onde os pesos utilizados na ponderação podem afetar os valores estimados;

- Patamar (C): valor do semivariograma correspondente ao alcance. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras;

- Efeito pepita (C_0): valor de y quando $h=0$, revela a descontinuidade do semivariograma. Quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial do atributo em estudo.

Silva (2011) considera que, os dados encontrados fora do alcance não possuem mais dependência espacial, passando a serem analisados pela estatística clássica, ainda encontra-se o modelo teórico representado pela linha e o semivariograma experimental representado pelos pontos, o Alcance (a), reflete o grau de homogeneização entre as amostras, quanto maior seu valor, mais homogêneo será o processo estudado.

É importante que o modelo ajustado represente a tendência de $y(h)$ em relação à h . Deste modo, as estimativas obtidas a partir da posterior krigagem serão mais exatas (mais confiáveis). O procedimento de ajuste não é direto e automático, como no caso de uma regressão, mas interativo, pois nesse processo o intérprete faz um primeiro ajuste e verifica a adequação do modelo teórico. Dependendo do ajuste obtido, pode-se ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório (STURARO, 2000).

O modelo do variograma experimental deve ser ajustado a um modelo variográfico teórico, podendo ser utilizadas técnicas de ajustamento automático como é o caso do critério de variowin ou ainda ser realizado uma adaptação manual (STURARO, 2000).

CAPÍTULO 3

3.1 METOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e método de pesquisa

O estudo é de caráter quantitativo, utilizando-se de instrumentos estatísticos para o tratamento de dados numéricos. Ainda assim, faz-se uma abordagem de análise de dados em forma da própria pesquisa quantitativa.

Para desenvolvimento dos mapas de capacidade de carga em toda cidade de Cascavel-PR, seguiu uma metodologia organizada, conforme as etapas:

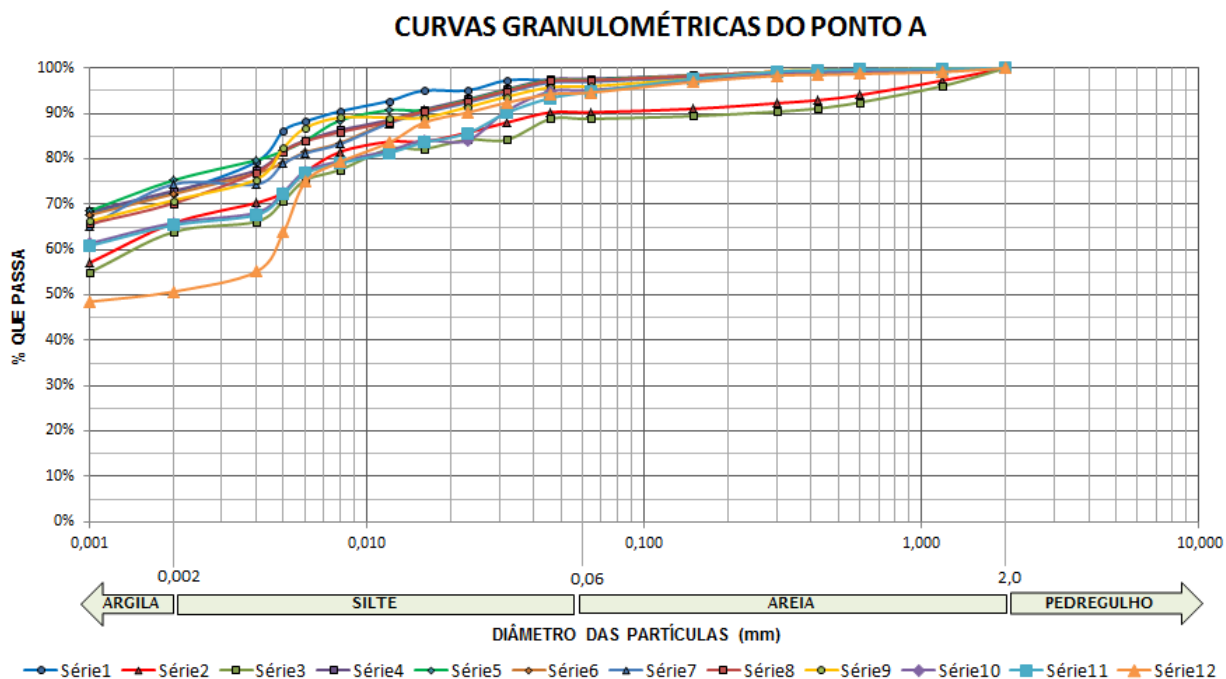
- Coletados novos laudos de sondagem;
- Atualizou-se o banco de dados de sondagens SPT já existente;
- Fixaram variáveis como profundidade e diâmetros utilizados em obras de pequeno porte;
- Georreferenciamento dos furos de sondagem;
- Dimensionaram-se fundações de pequeno porte para as diversas sondagens reunidas ao longo da cidade;
- Definição do mapa base;
- Inseriram-se dados no *Software (Surfer 13)*;
- Análise variográfica;
- Krigagem (Interpolação);
- Geração e ajustes dos mapas;
- Apresentaram-se os mapas geotécnicos;
- Avaliou-se a variabilidade da capacidade de carga do solo da região estudada.

3.1.2 Caracterização da amostra

O solo de Cascavel/PR apresenta certa homogeneidade, portanto para sua classificação foi considerado análises conduzidas no solo do Centro universitário da FAG em outros trabalhos acadêmicos.

Segundo Zen (2016), o solo localizado na região do Centro Universitário Assis Gurgacz, possui uma alta porcentagem de argila, seguido de silte, como mostra a Figura 12 que representa curva granulométrica, com varias curvas de metro a metro sobrepostas, gerada através de amostras até 12 metros de profundidade.

Figura 12: Curva Granulométrica



Fonte: Zen (2016).

Como mostra as curvas é possível notar que o solo possui certo índice de argila, silte e areia. Conforme as características granulométricas é possível classificar o solo como argila silto arenosa.

Devido à rocha local ser um basalto e a região ser uma área de intemperismo muito forte e acelerado devido ao clima, há a formação de solos muito finos e extremamente porosos, devido a liberação de oxido de ferro na constituição do solo. Ele é considerado laterítico e em termos de textura, o solo de Cascavel-PR apresenta-se fino e com floculação, tendo comportamento de areia no estado natural devido aos flocos e com baixa capacidade de carga quando umedecido, classificando-o como laterítico como demonstra a Tabela 08.

Tabela 08: Valores médios por camadas.

VALORES MÉDIOS	CAMADA 1	CAMADA 2
	1m a 9m	10m a 15m
w(%)	38	58
LL(%)	53	59
LP(%)	38	42
IP(%)	14	17
Argila (%)	70	56
Silte (%)	25	34
Areia (%)	4,	8
Pedregulho (%)	0	0
Peso específica dos Sólidos (KN/m ³)	26	27
Consistência	Muito mole e média	Rija a Dura
Peso Específico natural (KN/m ³)	16,68	16,16
Índice de vazios (e)	1,22	1,66

Fonte: Zen (2016).

Como o estudo engloba toda a cidade de Cascavel/PR é difícil analisar toda a região, porém, com conhecimento dos laudos de sondagem de alguns pontos, foi possível obter a capacidade de carga destes e com interpolação, através do método de krigagem ordinária, obter resultados da capacidade de carga do solo não analisado.

Nesse trabalho, optou-se pela krigagem ordinária, pois ela considera a média flutuante ou móvel por toda a área. De acordo com Salgado (2013), ela é indicada para modelar fenômenos onde não possui total conhecimento das variáveis envolvidas e seus comportamentos.

Apesar de ter um terreno extenso, a cidade possui considerável uniformidade no seu solo, porém tem variação no nível do lençol freático, altura da camada de rocha e ainda na espessura das camadas do solo, acarretando assim em diferentes resistências ao longo de uma determinada área.

3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

O método de dimensionamento das estacas selecionado foi de Décourt & Quaresma (1978), devido sua simplicidade em relação à análise em camadas de solo. O resultado da carga última de resistência sofreu uma minoração pelo fator de segurança de valor igual a 2,

usual em estacas que não possuem prova de carga, resultando assim, em um valor de carga admissível.

O sistema de fundação adotado foi de estaca escavada com trado mecânico que leva em consideração o porte de obra, a profundidade e diâmetro, sendo os mais usuais na cidade de Cascavel/PR, sendo dimensionado para estacas com profundidades fixas de 3,00m, 4,00m, 5,00m e 6,00m e com diâmetros de 0,25m e 0,30m, através da Equação 04.

A coleta de dados tem como base laudos de sondagem ao longo de todo território da cidade e para localização de cada sondagem SPT, foi utilizado o sistema de coordenadas UTM todas na zona 22J, sendo coordenadas longitudinais e latitudinais obtidas através do *Google Earth* e consideradas como X e Y respectivamente, em coordenadas cartesianas formando pontos georreferenciados e organizados conforme a Tabela 09.

Tabela 09: Tabela com banco de dados

Furo	Zona	X	Y	NSPT (4º metro)	N.A
SPT 060517	22J	252354,85	7238668,75	12	10,2
SPT 032117	22J	253874,80	7237680,64	17	6

Fonte: Autor (2017).

O dimensionamento foi realizado com os dados do banco de sondagem SPT e através da Tabela 10, criada a partir dos dados básicos para se realizar o dimensionamento. Cada tabela possui seu diâmetro de estaca, profundidade de estaca e cota de apoio, através desses dados é possível calcular área de estaca, perímetro e comprimento útil, conforme Equação 04 de Décourt & Quaresma (1978).

$$P_{ult} = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_L}{3} + 1\right) \cdot U \cdot L \quad (04)$$

Tabela 10: Tabela de área de ponta e comprimento útil

Diâmetro	Comprimento útil	Cota de apoio	Área de ponta da estaca	Perímetro da estaca* Comprimento útil
0,25 m	3 metros	- 4 metros	0,0491 m ²	1,571 m ²
0,25 m	4 metros	- 5 metros	0,0491 m ²	2,356 m ²
0,25 m	5 metros	- 6 metros	0,0491 m ²	3,142 m ²
0,25 m	6 metros	- 7 metros	0,0491 m ²	3,927 m ²
0,30 m	3 metros	- 4 metros	0,0707 m ²	1,885 m ²
0,30 m	4 metros	- 5 metros	0,0707 m ²	2,827 m ²
0,30 m	5 metros	- 6 metros	0,0707 m ²	3,770 m ²
0,30 m	6 metros	- 7 metros	0,0707 m ²	4,712 m ²

Fonte: Autor (2017).

Valores fixos como o coeficiente C, representado pelo tipo característico do solo analisado em cada sondagem segundo as camadas estudadas, determinados conforme a Tabela 11.

Tabela 11: Tabela do coeficiente C

Sigla	Descrição	C
ASMAv	ARIGLA SILTOSA MARROM AVERMELHADA	120
AMAv	ARGILA MARROM AVERMELHADA	120
AC	ARGILA CINZA	120
ASPAR	ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA ROXA	120
ASAv	ARGILA SILTOSA AVERMELHADA	120
AR	ARGILA ROXA	120
SAMAv	SILTE ARGIOLOSO MARROM AVERMELHADO	120
AMAm	ARGILA MARROM AMARELADA	120
ARE	ARGILA ROXA ESCURA	120
ARC	ARGILA ROXA CLARA	120
ASCM	ARGILA SILTOSA ACORES MESCLADAS	120
ASR	ARGILA SILTOSA ROXA	120

Fonte: Autor (2017).

Foi utilizado 120 KPa para todos os solos, devido o solo da região ser basicamente composto por argila siltosa, com pequenas variações. A determinação da classificação do solo

das sondagens SPT é feita de forma visual tátil, por conta disso, solos com característica de argila possuem padronização do valor C.

Valores como α e β foram padronizados, sendo todas as estacas com valores de 0,85 e 0,8 respectivamente, relacionando estacas escavadas em geral e o tipo de solo a qual esta sendo empregada (argila).

A localização da capacidade de carga ocorreu através de coordenadas UTM de longitude e latitude, que foram transferidas do banco de dados para a Tabela 12 de dimensionamento.

O NP é a média do NSPT de ponta e NL a media ao longo do comprimento efetivo da estaca, que é desconsiderado o primeiro metro devido ao arrasamento. Assim sendo, com todos os dados é possível calcular a resistência de ponta e lateral, este conjunto dá origem a carga de ruptura, sendo minorizado para carga admissível sendo o valor de 2, devido não existir prova de carga, conforme Tabela 12.

Tabela 12: Tabela de dimensionamento

X	Y	NP	NL	Rp+Rl	Pult/2
				Carga de ruptura	Carga admissível
248187,79	7233868,78	5	2	61,180 kN	30,60 kN

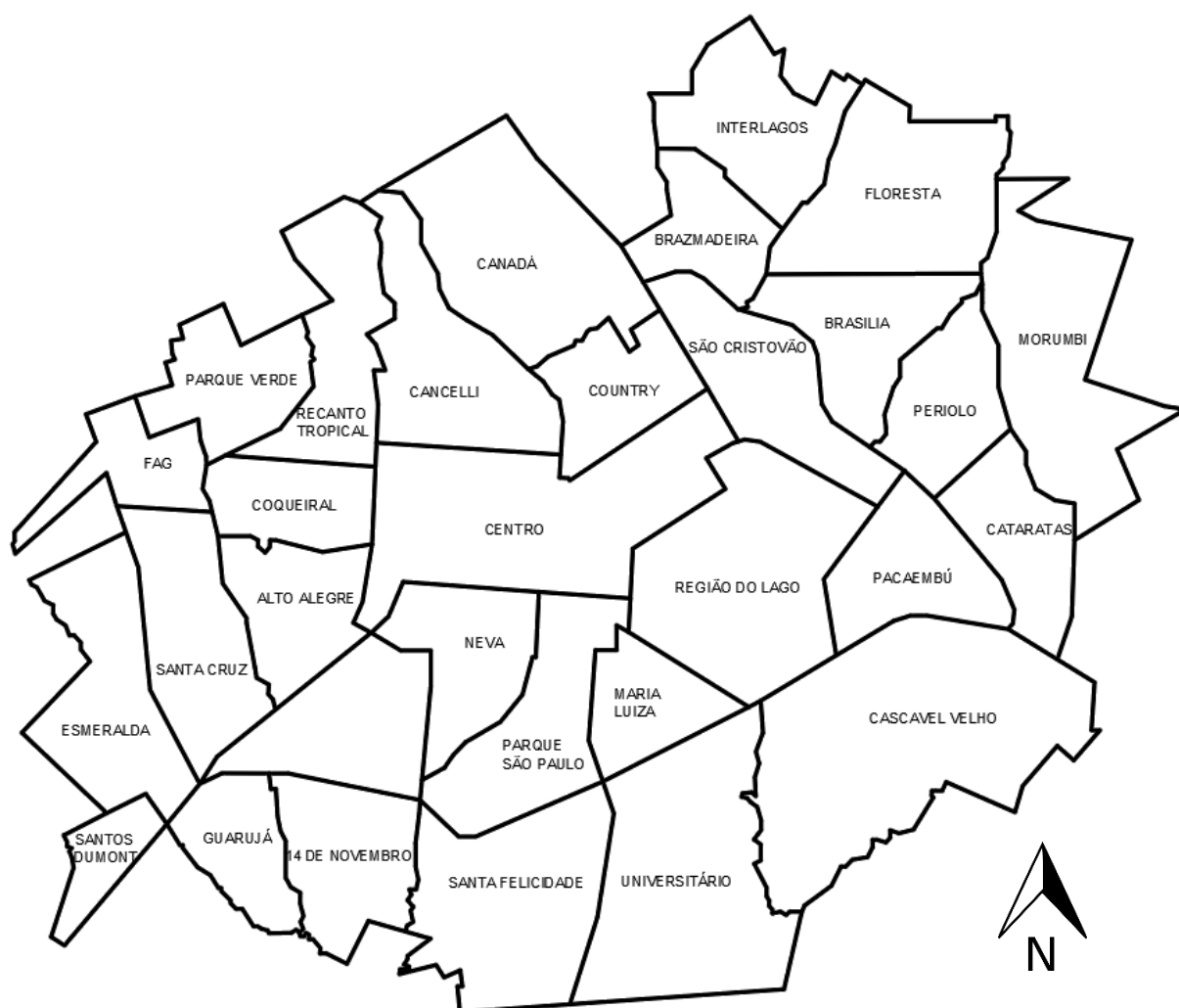
Fonte: Autor (2017).

Gerou-se então oito tabelas de dimensionamento que se relacionam com seu diâmetro e comprimento. Totalizando quatro tabelas de dimensionamento para um diâmetro de 0,25m e comprimento de 3m, 4m, 5m e 6m. Quatro tabelas de dimensionamento para um diâmetro de 0,3m e comprimento de 3m, 4m, 5m e 6m.

3.1.4 Mapa do município de Cascavel

O mapa utilizado como base, foi com o traçado do perímetro urbano e bairros do município de Cascavel, que foi fornecido pelo órgão público no formato de *DWG*. Para apresentação final o mapa base passou por ajustes, deixando visível o contorno do perímetro urbano do município e excluído o contorno de bairros e nome de bairros, para mais clara apresentação, conforme Figura 13.

Figura 13: Mapa base de Cascavel/PR



Fonte: Autor (2017).

3.1.5 Importação de dados para o *Software Surfer 13*

Seguindo diversos modelos de interpoladores, o presente estudo contempla a krigagem como meio de interpolação, sendo classificada como local e exato, trazendo uma estimativa de erro e ajuste global (KAWAKUBO, 2017).

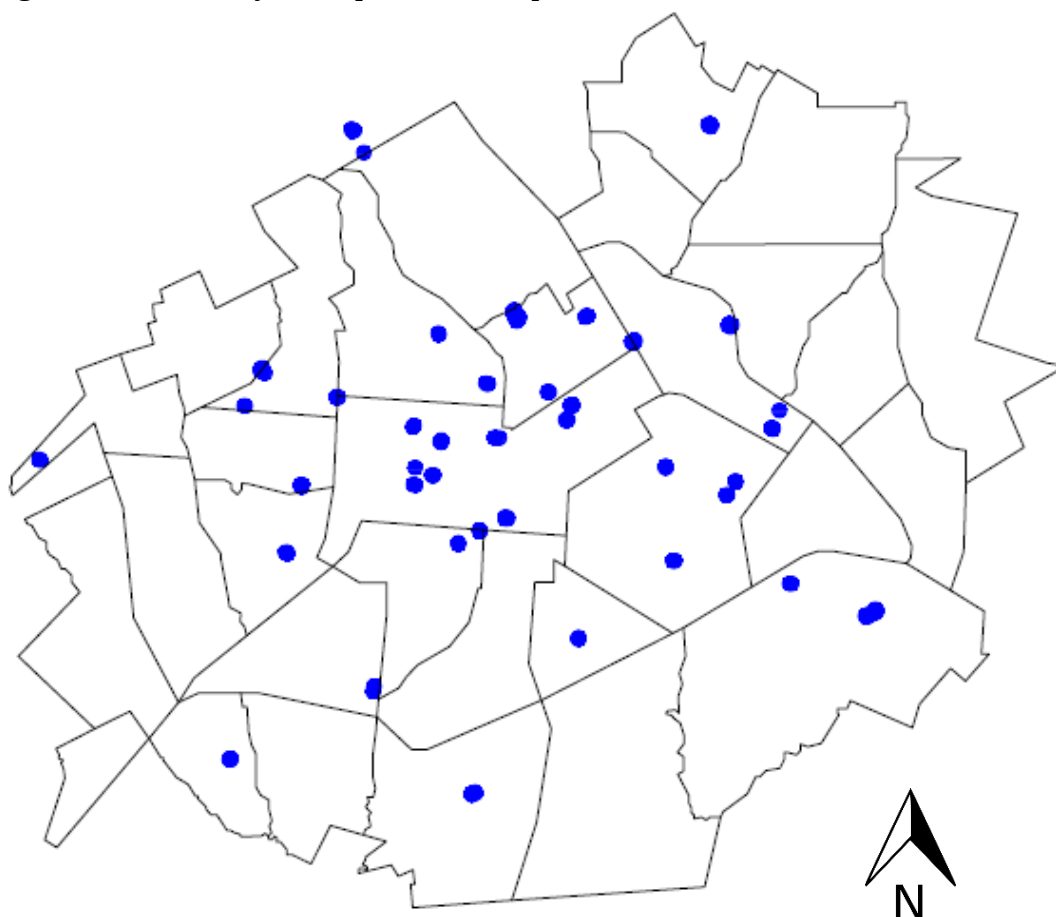
O *Software Surfer 13* é executado com coordenadas X, Y e Z. Sendo X e Y as coordenadas no ponto e Z a respectiva capacidade de carga da estaca calculada. O software possui técnicas de interpolação que transformam os dados X, Y, Z em uma superfície em grades, que serão utilizadas para gerar os mapas.

3.1.6 Mapa com a Localização dos Pontos

Com a tabela de dimensionamento completa, foi possível relacionar coordenadas e capacidade de cargas através do *software Surfer 13*, que gerou um mapa com todos os pontos ou furos de sondagens que foram fornecidas.

O mapa base utilizado como plano de fundo é o mapa com contorno do perímetro urbano de Cascavel, devidamente editado e convertido para extensão *DXF*. Para inserir um mapa base basta pressionar o menu *MAP/ BASE MAP* e selecionar o arquivo no formato e diretório desejados. Já para o mapa com a locação dos pontos se consegue pelo menu *MAP/ NEW POST MAP*, o qual indica a posição espacial das amostras na área, conforme Figura 14.

Figura 14: Localização dos pontos no Mapa de Cascavel/PR



Fonte: Autor (2017).

3.1.7 Estudo Variográfico

Com o auxílio do *software Surfer 13* foi realizado o estudo variográfico, obtido pelos comandos *GRID/ VARIOGRAM/ NEW VARIOGRAM*. A partir disso foram feitas as verificações e ajustes do variograma, para se conseguir o melhor modelo teórico, para posterior interpolação pelo método da krigagem ordinária.

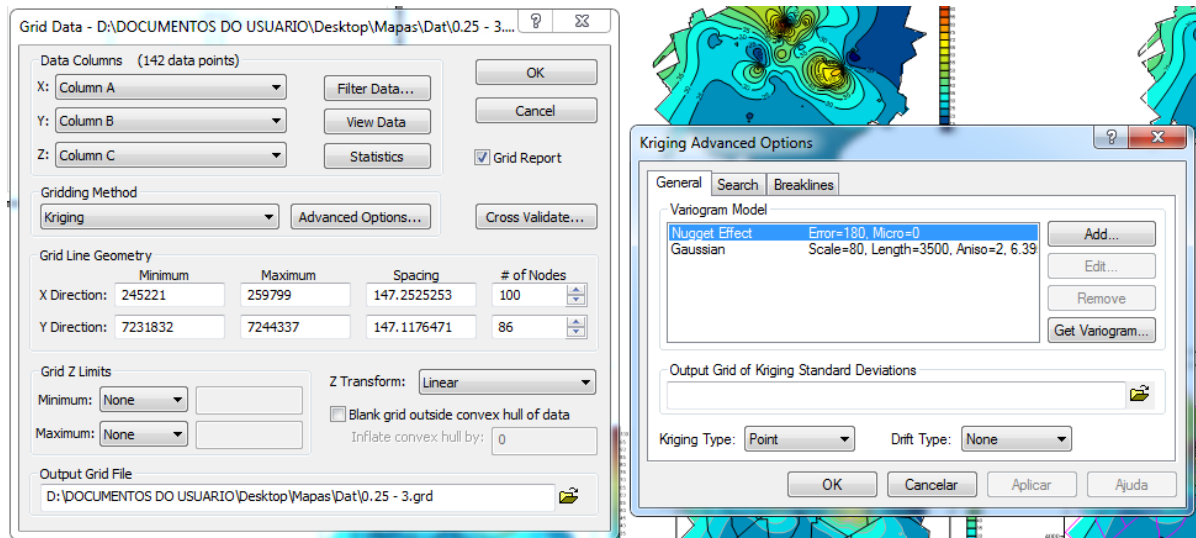
3.1.8 Krigagem (Interpolação)

Após o estudo variográfico realizado e o variograma devidamente ajustado, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, havendo dependência espacial entre as amostras, sem tendência e com variância mínima.

O tratamento estatístico foi realizado por meio de krigagem ordinária e através de interpolação é feita uma combinação linear dos dados. Este método procura calcular o erro residual seja igual zero e tendo o objetivo de minimizar a variância de erros (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

Para a realização da interpolação por krigagem ordinária, deve-se selecionar o menu *GRID/ DATA*. Esse procedimento gerou um arquivo do tipo *.grd*, o qual foi utilizado pelo *software* para gerar os mapas. Na caixa de diálogo subsequente foi especificado as coordenadas X, Y e da variável Z, para qual o semivariograma foi ajustado, o método de interpolação (krigagem) e a pasta onde foi criado o arquivo *.grd*. Na opção *ADVANCED OPTIONS*, permitiu a seleção dos parâmetros do variograma ajustado pelo comando *GET VARIOGRAM*, conforme demonstra a Figura 15.

Figura 15: Utilização do variograma ajustado



Fonte: Autor (2017).

3.1.9 Geração e ajustes dos mapas

O mapa base foi adicionado através dos comandos *MAP/ BASE MAP*, mapa este que possui apenas o contorno do perímetro urbano de Cascavel/PR, e através do comando no menu *MAP/ NEW/ CONTOUR MAP* gerou o mapa com os dados que foram interpolados. Depois que gerado foi modificado a tonalidade das cores do contorno das linhas de nível da capacidade de carga para melhor visualização final.

O mapa com os dados é sobreposto ao mapa base que possui contorno e nome dos bairros e através do comando *MAP/ DIGITALIZE*, é possível fazer o corte das áreas interpoladas que não serão necessárias para o estudo, deixando o mapa com os dados interpolados, moldado conforme o mapa base.

Após essa delimitação da área interpolada, foi executada a geração final dos mapas, para possível análise da variabilidade da capacidade de carga.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Análise geral dos resultados

Relatórios com análise estatística clássica foram emitidos através do *Surfer 13*, o qual permite verificar a falta de dados em alguma variável ou presença de valores discrepantes em outras variáveis, permitindo compreender algumas características dos dados coletados.

Na Tabela 13, é apresentada uma análise estatística dos dados utilizados em cada parâmetro, representando por sua vez com seu diâmetro e profundidade:

- O número de amostras (N°);
- A capacidade de carga mínima e máxima obtida para cada diâmetro e profundidade;
- A média dos valores obtidos (Média);
- O desvio padrão (S);
- A Skewness (medida da assimetria de uma determinada distribuição de frequência);
- A Curtose (medida de dispersão que caracteriza o pico ou "achatamento" da curva da função de distribuição de probabilidade);
- A Mediana;
- O Alcance.

Tabela 13: Tabela exploratória dos dados de capacidade de carga

Diâm.	Profun.	N°	Mín (KN)	Máx (KN)	Média (KN)	S	Skewness	Curtose	Mediana (KN)	Alcance (KN)
0,25m	3m	142	11.71	99.87	32.98	0.47	1.55	5.38	27.03	88.16
0,3m	3m	142	14.85	134.27	43.35	0.47	1.61	5.78	35.90	119.41
0,25m	4m	142	15.06	111.42	43.28	0.40	1.32	4.55	36.96	96.35
0,3m	4m	142	18.68	152.54	56.42	0.41	1.37	4.93	48.27	133.85
0,25m	5m	142	25.10	149.87	54.19	0.36	1.42	5.87	47.13	124.77
0,3m	5m	142	32.12	202.08	70.54	0.38	1.46	6.15	60.29	169.95
0,25m	6m	142	37.02	184.84	69.49	0.34	1.26	5.47	60.96	147.81
0,3m	6m	142	47.03	243.24	89.88	0.35	1.23	5.56	81.28	196.20

Fonte: Autor (2017).

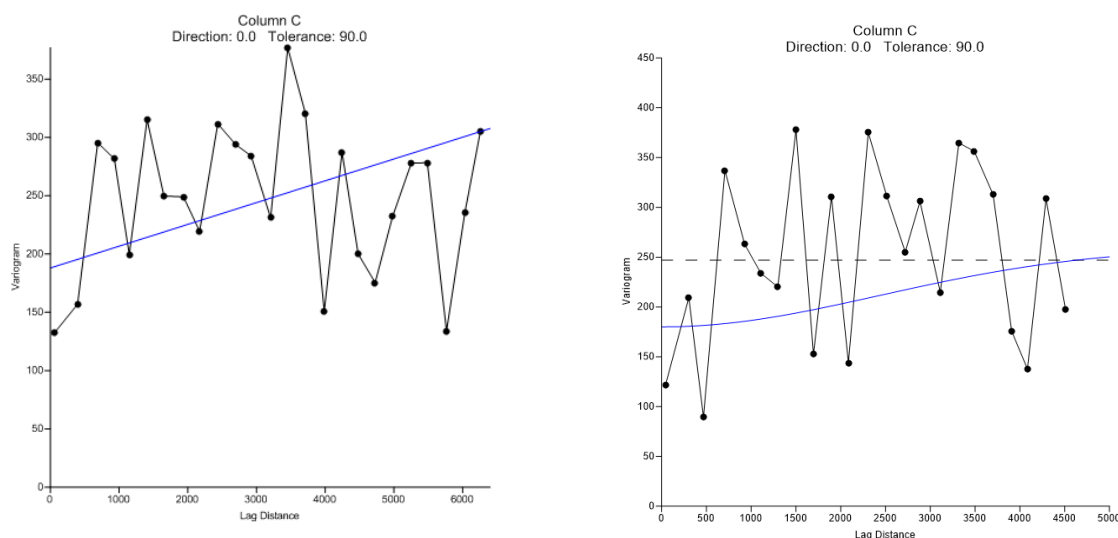
Conforme a Tabela 13 percebe-se que com o aumento da profundidade em cada metro, mantendo o valor de diâmetro igual, há um acréscimo no valor de capacidade de carga. A diferença entre mínimos e máximos, pode ser verificada pelo alcance, pode-se notar também que com o aumento do alcance há a redução no número de amostras e consequente diminuição no desvio padrão (S), como representado na Tabela 13.

A média apresentada na Tabela anterior é obtida com todos os resultados de capacidade de carga levando em consideração os N° de sondagem cadastrados para uma mesma profundidade e diâmetro.

Os dados de Skewness expressam uma medida de assimetria das amostras, onde valores mais próximos a zero referem-se uma maior homogeneidade na distribuição espacial das amostras. Já com a Curtose, pode-se proceder a análise de como o pico de uma distribuição difere da distribuição normal, que os dados mais próximos de zero, tem uma distribuição normal. Analisando estes dois itens constata-se a variabilidade da distribuição espacial das amostras, bem como de suas propriedades, e tal análise serve de parâmetro para uma compreensão inicial dos dados utilizados, a qual deve ser complementada com uma análise dos mapas gerados.

Os variogramas gerados de cada tabela de dimensionamento foram verificados e modificados para obter um modelo teórico ajustado, como por exemplo, demonstra a comparação entre o variograma original e o ajustado da estaca de 25 centímetros de diâmetro e 3 metros de comprimento na Figura 16.

Figura 16: Comparação entre os variogramas



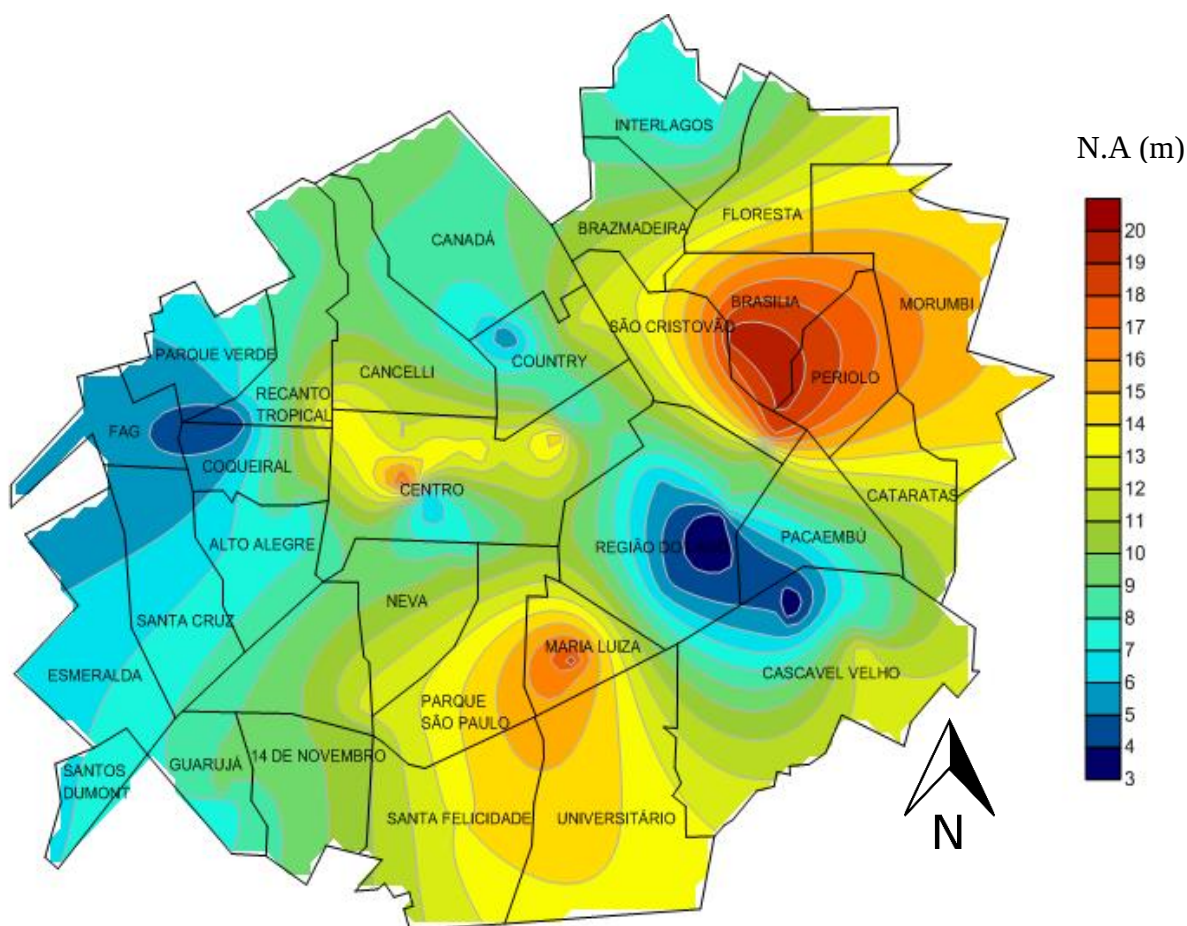
Fonte: Autor (2017).

No Apêndice A, encontram-se os semivariogramas gerados com o auxílio do *Surfer* 13, os quais permitem complementar a análise exploratória de dados, analisando-se o modelo teórico ajustado ao semivariograma de cada parâmetro.

4.1.2 Variabilidade do nível d'água

Para melhor análise dos mapas de capacidade de carga foi gerado uma mapa referente ao nível d'água de toda região através das sondagens coletadas conforme Figura 17.

Figura 17: Mapa do nível d'água



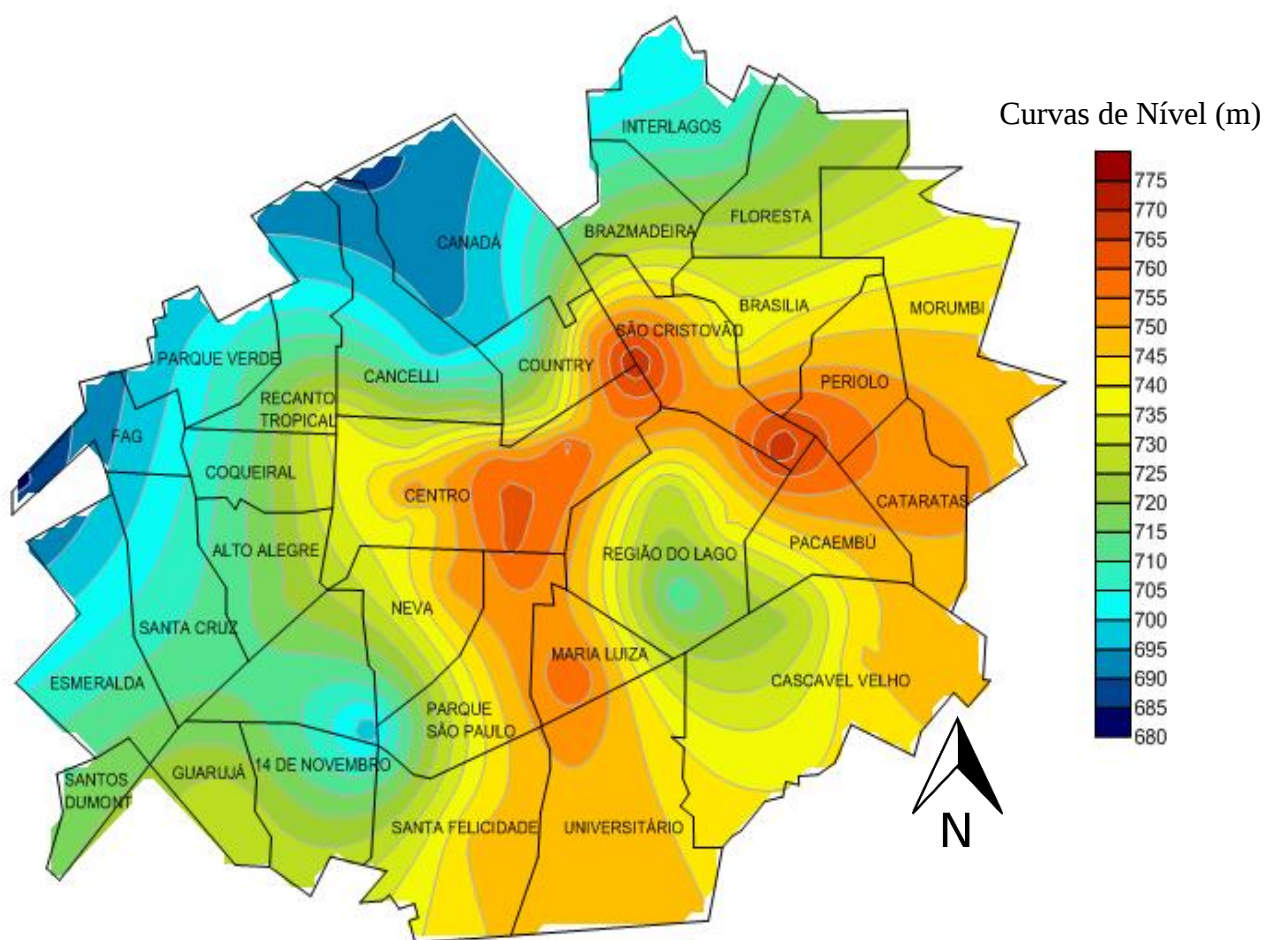
Fonte: Autor (2017).

A legenda representa a variação do nível d'água em relação à superfície em metros. Podendo ser observado um valor mínimo em que se encontra a 3 metros, localizado na Região do Lago. E um valor máximo de 19 metros localizado no Bairro Brasília.

4.1.3 Curvas de nível

Como os dados de sondagem possuem localização é possível identificar o nível referente ao mar, sendo assim gerando um mapa de curvas de nível de toda região de Cascavel/PR, conforme Figura 18.

Figura 18: Mapa das curvas de nível



Fonte: Autor (2017).

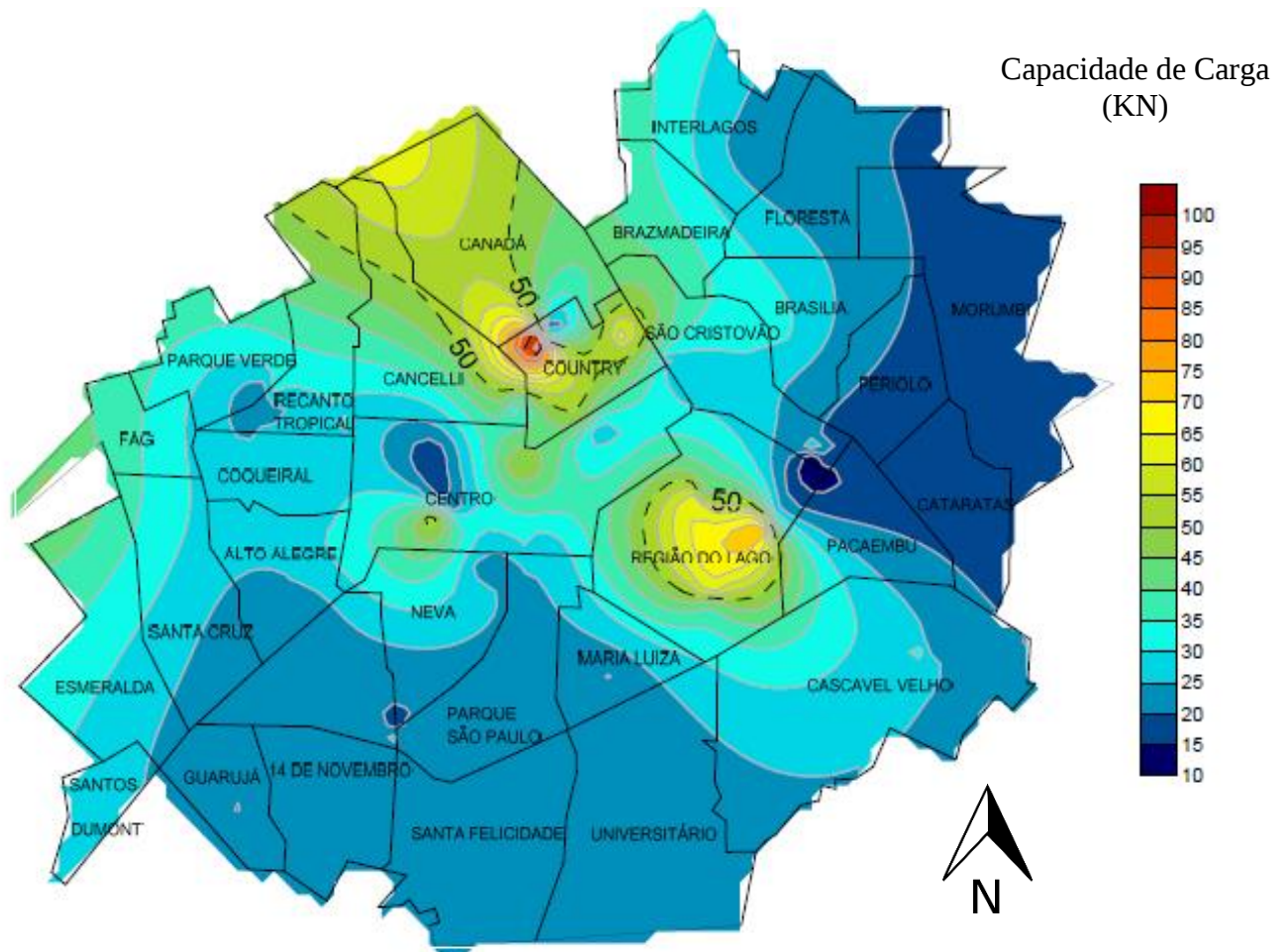
A legenda representa em metros a altitude das curvas em relação ao nível do mar. Expondo a região mais baixa com 695 metros entre os Bairros 14 de Novembro e Parque São Paulo.

4.1.4 Variabilidade da capacidade de carga do solo

As Figuras de 19 a 26 possuem mapas com a variabilidade da capacidade de carga do solo da cidade de Cascavel/PR, tendo como variável entre eles o diâmetro e profundidade.

O mapa representa em cores a capacidade de carga que o solo pode resistir variando das cores mais frias com menor capacidade de carga para as cores mais quentes, que representam uma maior resistência do solo segundo o dimensionamento realizado. Sendo que a legenda é independente em cada mapa com tonalidades de cores.

Figura 19: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 25cm e profundidade de 3m, gerado com auxílio do *Surfer 13*.



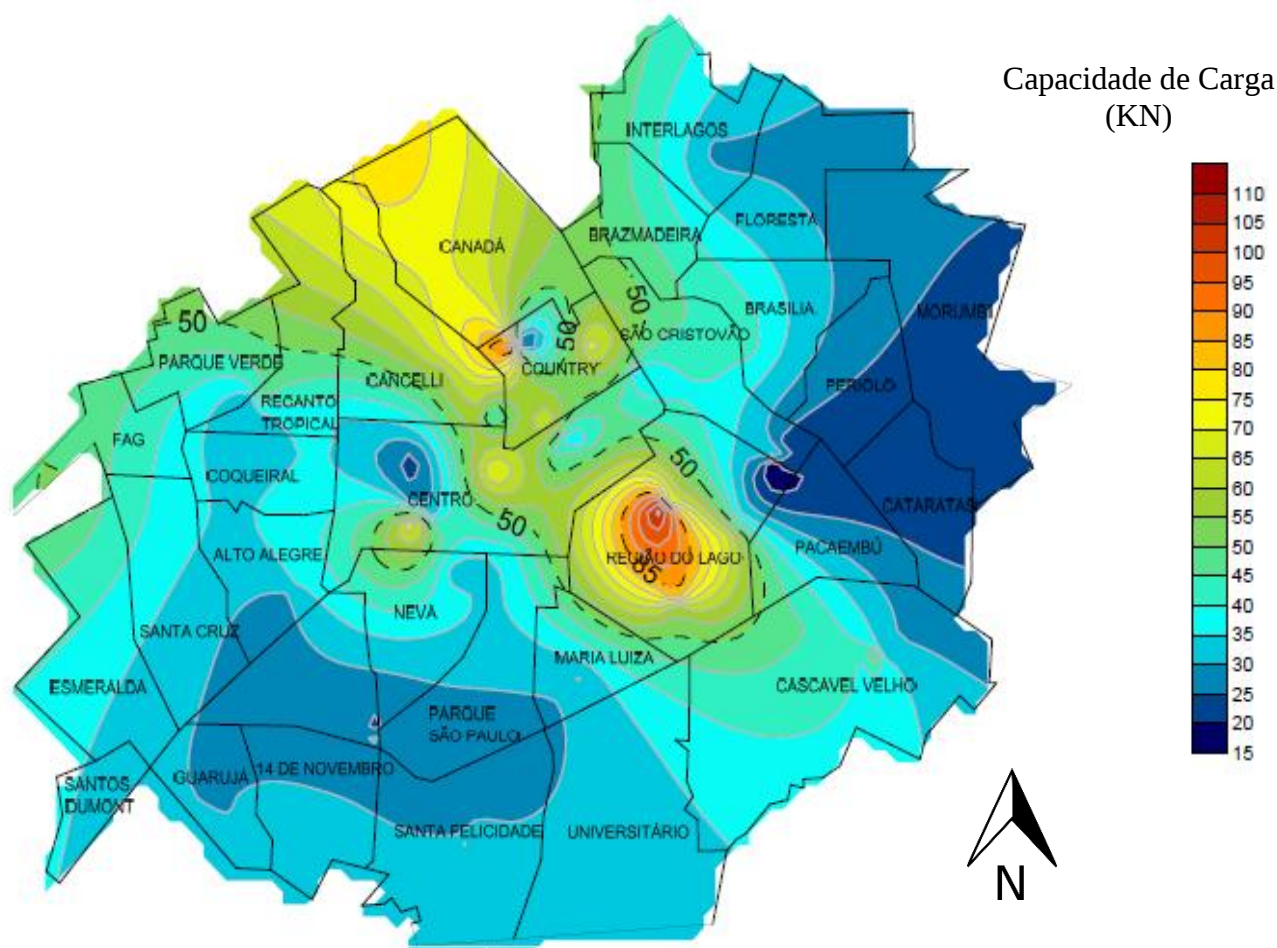
Fonte: Autor (2017).

A primeira análise, o mapa da Figura 19 apresenta as menores capacidades de carga devido ter como base o menor diâmetro e menor profundidade.

Em relação à Figura 13, que representa o mapa base da cidade de Cascavel/PR, é notável que a região central, próximo ao Bairro Country possui maiores resistências a capacidade de carga.

Já na região a direita do mapa as estacas de 3 metros com 25 centímetros de diâmetro apresentam resistência entre 10 e 20 KN, tendo várias situações que podem levar a este resultado, como a falta de sondagem, a altitude sofre influência do nível d'água sobre a capacidade de carga.

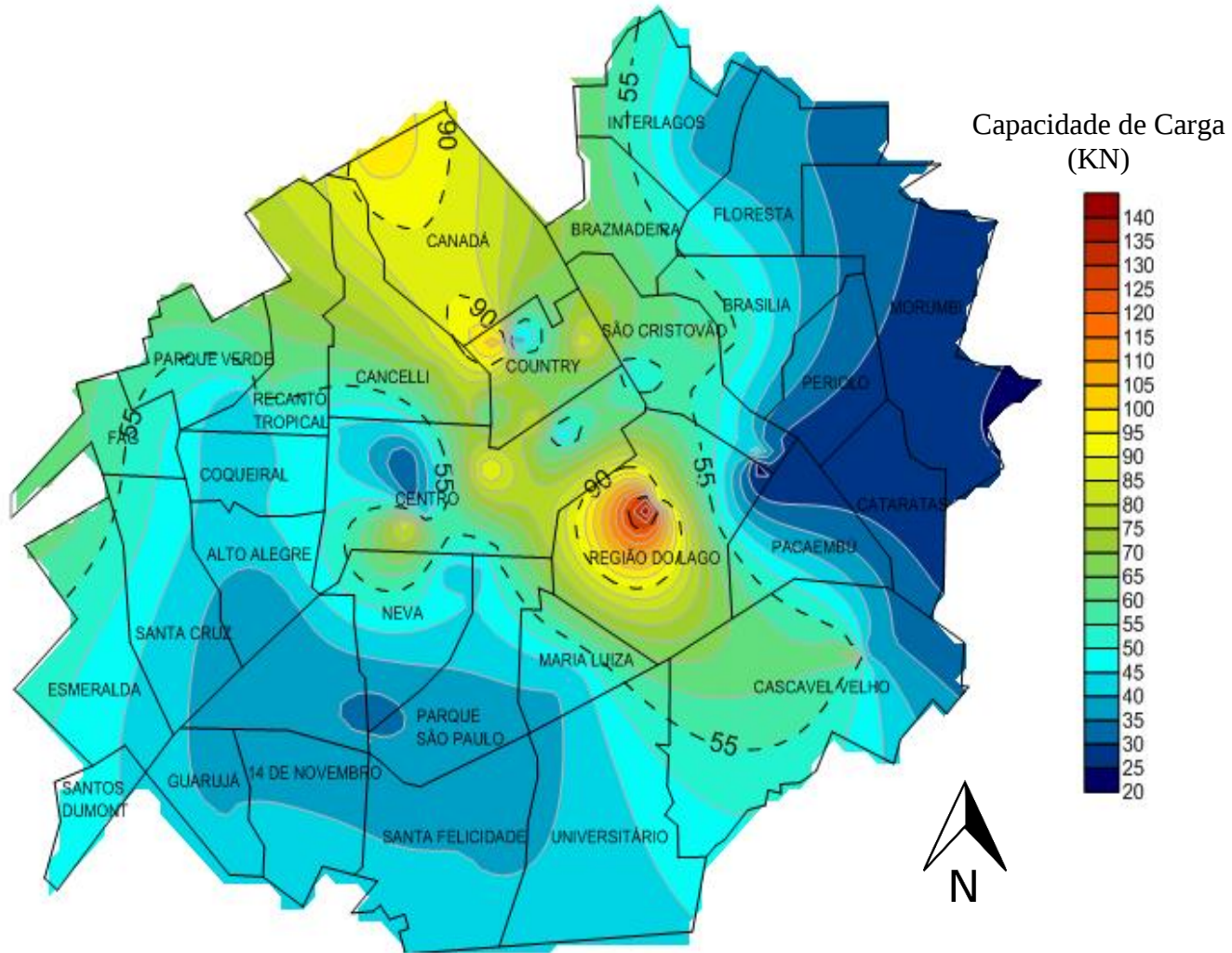
Figura 20: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 25cm e profundidade de 4m, gerado com auxílio do *Surfer 13*.



Fonte: Autor (2017).

Conforme Figura 20, a estaca permanece com o diâmetro de 0,25m e agora com 4m de profundidade. Com este aumento, a maior capacidade de carga chega a 100 KN na região do lago, mantendo uma baixa capacidade (15 KN) na região próximo ao Pacaembu.

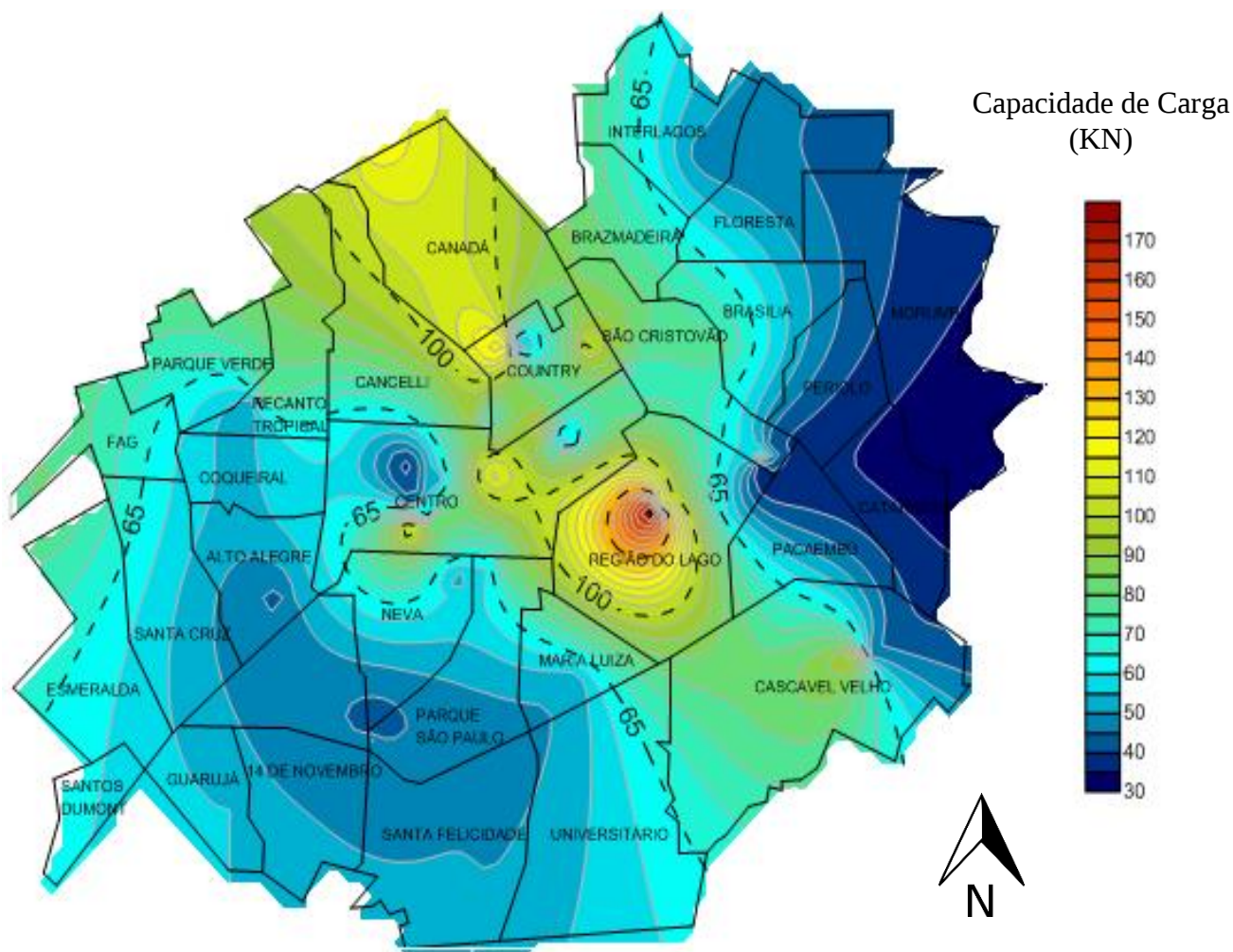
Figura 21: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 25cm e profundidade de 5m, gerado com auxílio do *Surfer 13*.



Fonte: Autor (2017).

Com a profundidade total de 5m e permanecendo com diâmetro de 0,25m a resistência começa a crescer consideravelmente e deixar nítido alguns picos de capacidade de carga como é o caso da região do Lago, picos estes que não eram consideravelmente aparentes, conforme Figura 21 representa.

Figura 22: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 0,25m e profundidade de 6m, gerado com auxílio do Surfer 13.

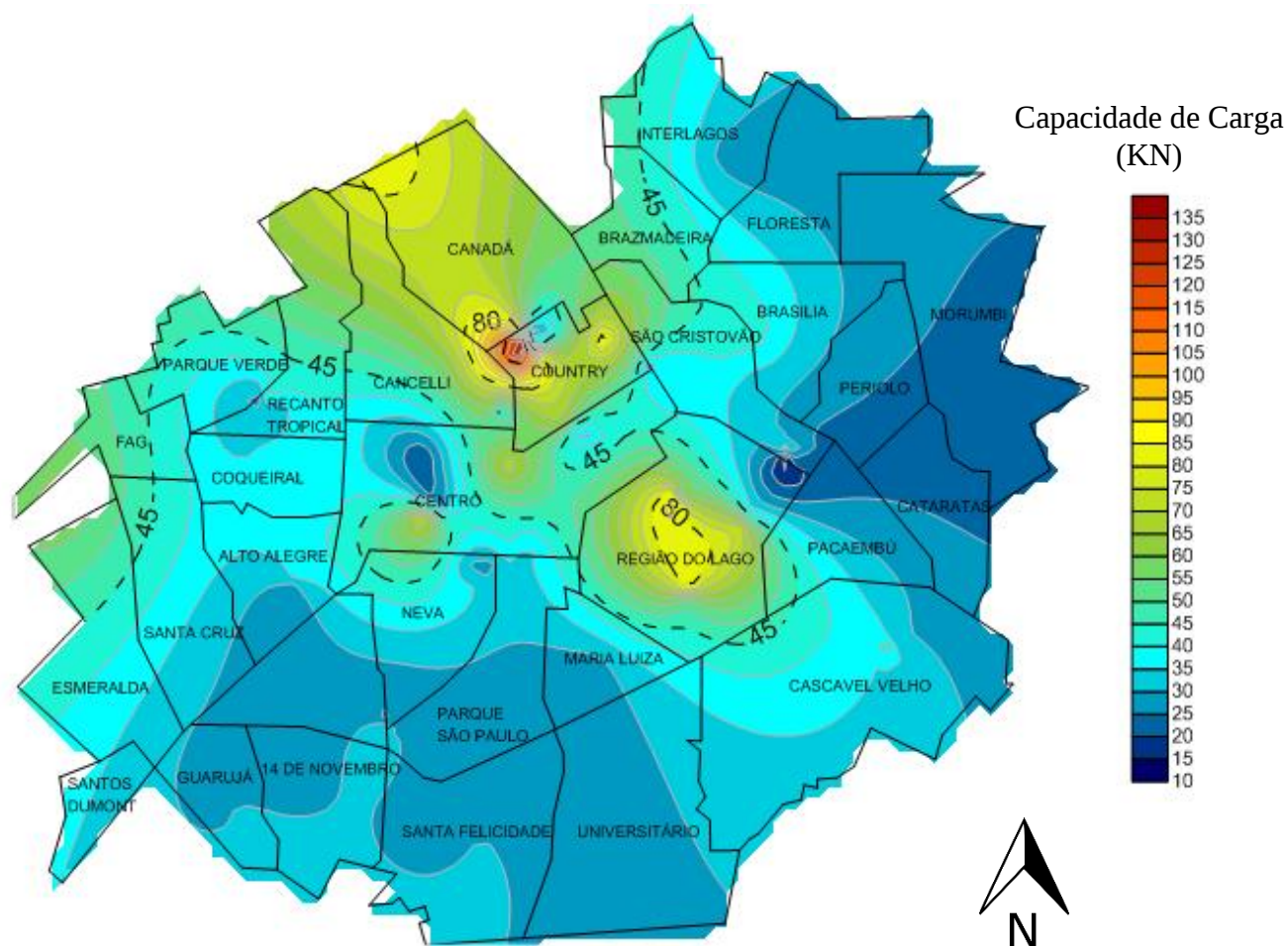


Fonte: Autor (2017).

Agora com profundidade de 6 metros e mesmo diâmetro, os pontos que já apresentaram resistência significativa, sofrendo um aumento considerável, conforme a Figura 22 representa.

Isso ocorre por conta que os NSPT's levados em consideração no dimensionamento possuem um valor superior, pois se aproximam a camada de rocha. Pode-se notar que conforme aumenta a profundidade, o valor da capacidade de carga tem um acréscimo.

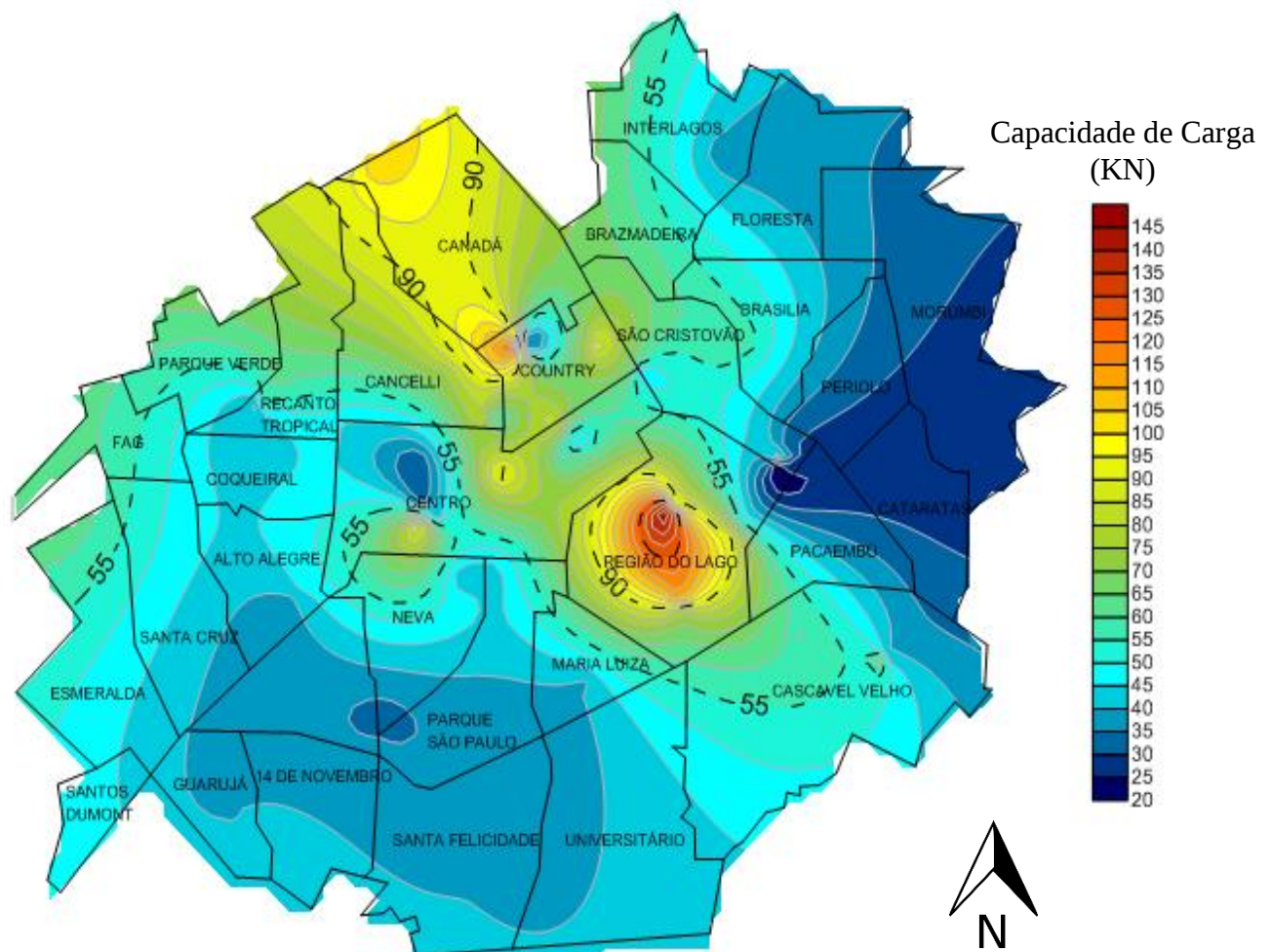
Figura 23: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 30cm e profundidade de 3m, gerado com auxílio do Surfer 13.



Fonte: Autor (2017).

Utilizando a profundidade de 3m e o diâmetro de 30cm, conforme a Figura 23 é possível analisar que o comportamento de distribuição de cargas em todo o perímetro de Cascavel/PR permanece semelhante às estacas que possuem diâmetro de 0,25m conforme mapa da Figura 19. Porém como fator diferencial, a capacidade de carga admissível das estacas teve um aumento considerável.

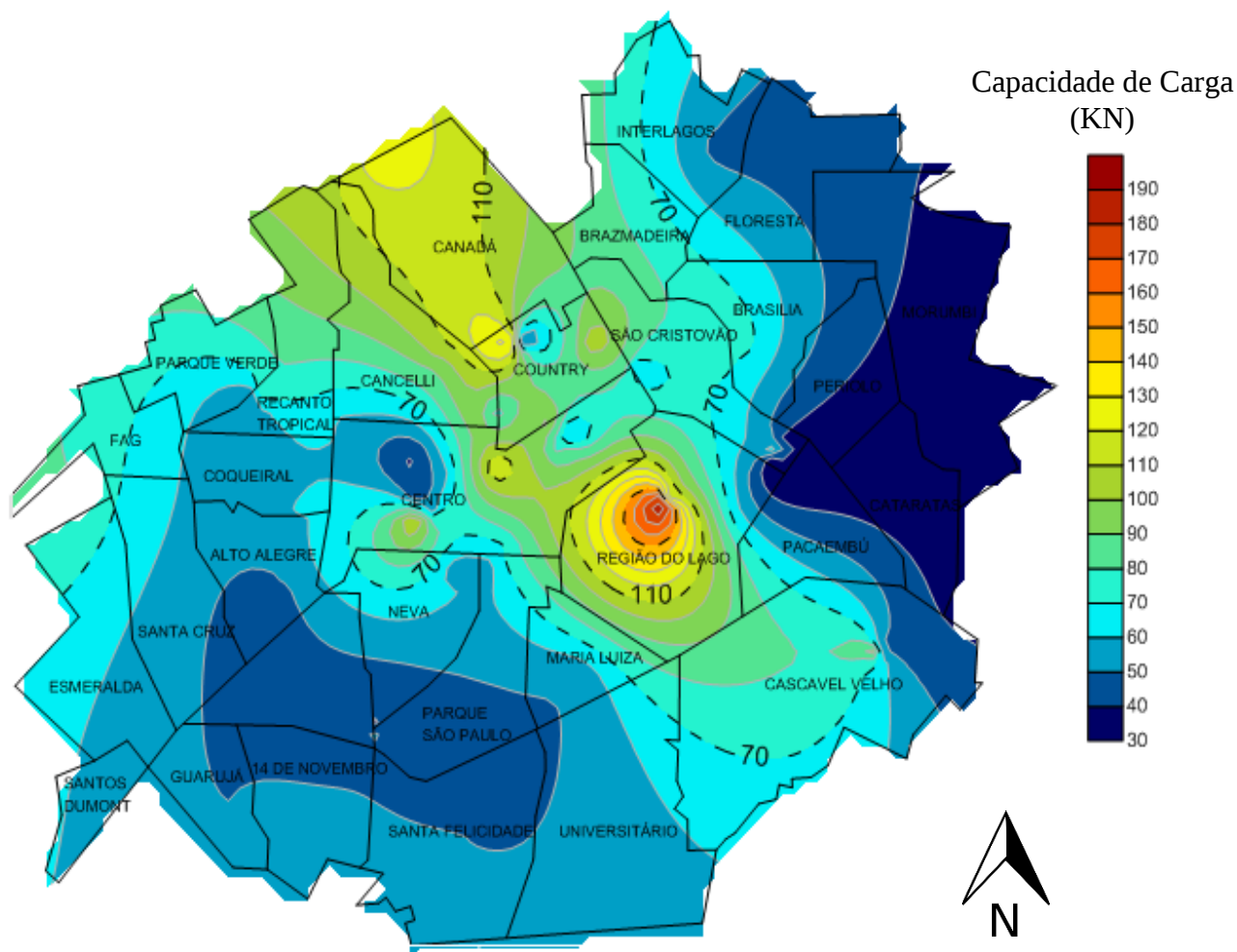
Figura 24: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 30cm e profundidade de 4m, gerado com auxílio do Surfer 13.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 24 representa a variabilidade da capacidade de carga que o solo pode resistir mantendo o diâmetro de 30cm, e profundidade de 4m. É possível verificar que nas regiões sudoeste e noroeste a carga permanece alta, variando consideravelmente nos contornos da cidade.

Figura 25: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 30cm e profundidade de 5m, gerado com auxílio do *Surfer 13*.

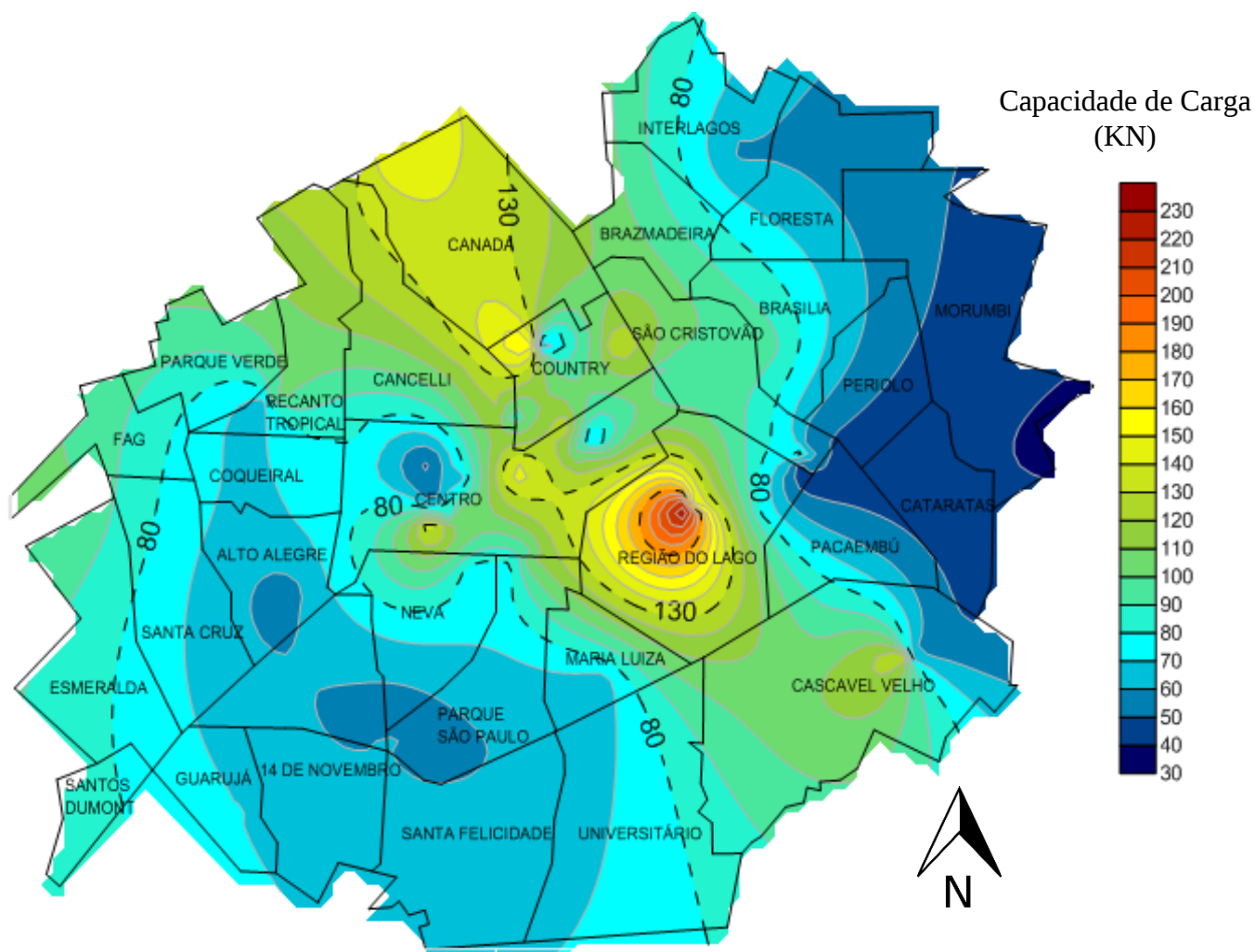


Fonte: Autor (2017).

A Figura 25 demonstra o mapa da que possui diâmetro de 30cm e comprimento útil de estaca de 5m, é possível avaliar novos picos de capacidade de carga localizados no centro do mapa, como analisado com a estaca de 0,25m esses picos são notáveis apenas na profundidade de 5m.

As cargas são consideravelmente mais elevadas, existindo picos mais ao centro de capacidade de carga de 200KN, porem mais ao leste é visível uma a carga relativamente baixa chegando a 40KN.

Figura 26: Mapa da resistência de capacidade de carga para estaca com diâmetro de 30cm e profundidade de 6m, gerado com auxílio do *Surfer 13*.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 26 representa o mapa que possui diâmetro de 30cm e profundidade de 6m, possuindo as maiores dimensões de estacas dimensionadas, consequentemente possui os maiores valores de capacidade de carga. Os picos mais altos estão localizados ao centro da região, com valores de 230KN.

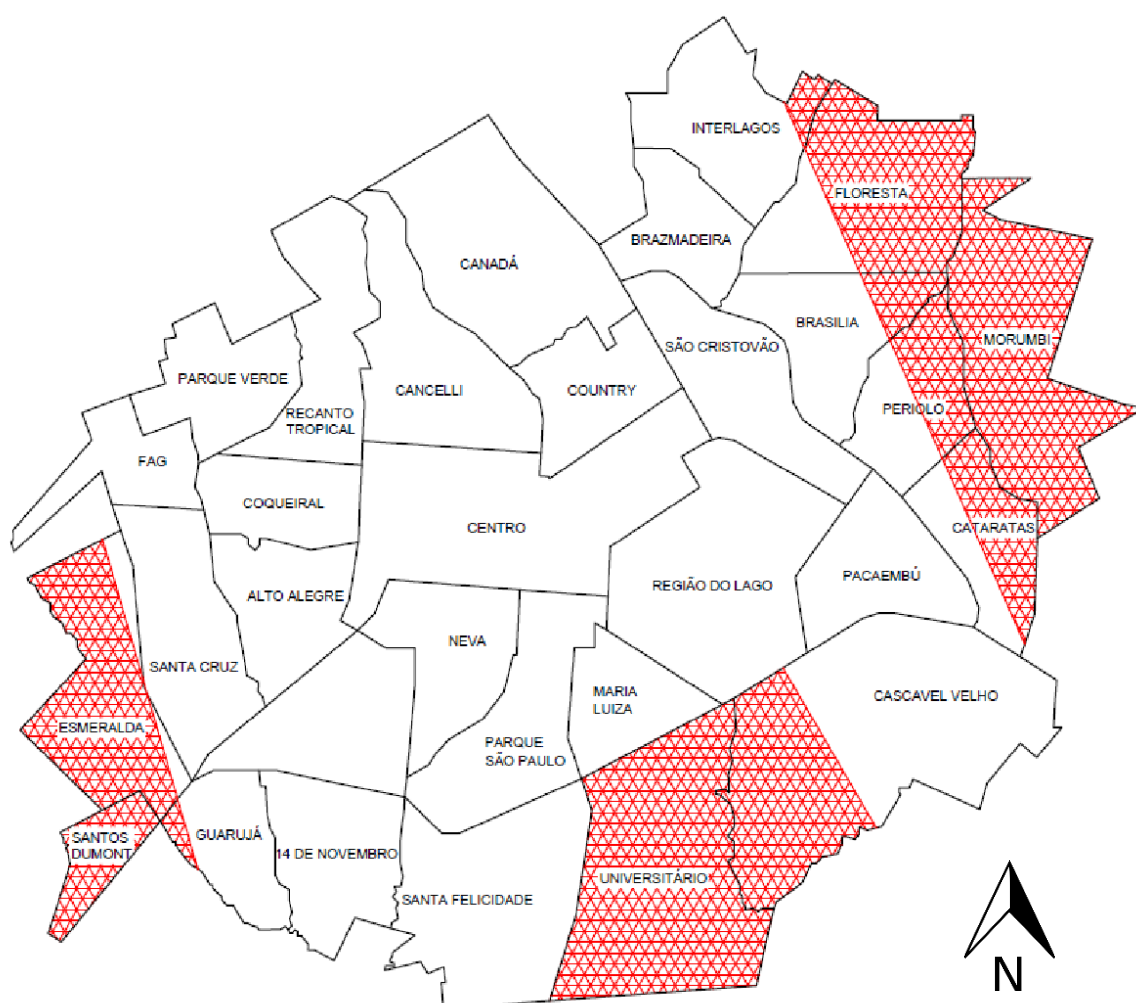
A disposição da carga possui um comportamento parecido com o mapa da Figura 22, que possui diâmetro de 0,25m e profundidade de 6m, porem quando se analisa o valor da capacidade de carga e possível verificar uma diferença elevada em cada ponto.

4.1.5 Discussões

Em áreas onde foram obtidos os dados, os resultados mostram-se satisfatórios. Porém, vale ressaltar que, devido à distribuição espacial dos dados coletados, as zonas periféricas da cidade, locais que não foram coletados dados, apesar de terem sido apresentado a continuidade espacial, essas informações não são confiáveis.

Na Figura 27 destacam-se as regiões com informações não confiáveis devido à falta de dados, conforme demonstrando no mapa de localização dos pontos Figura 14.

Figura 27: Regiões com informações não confiáveis.



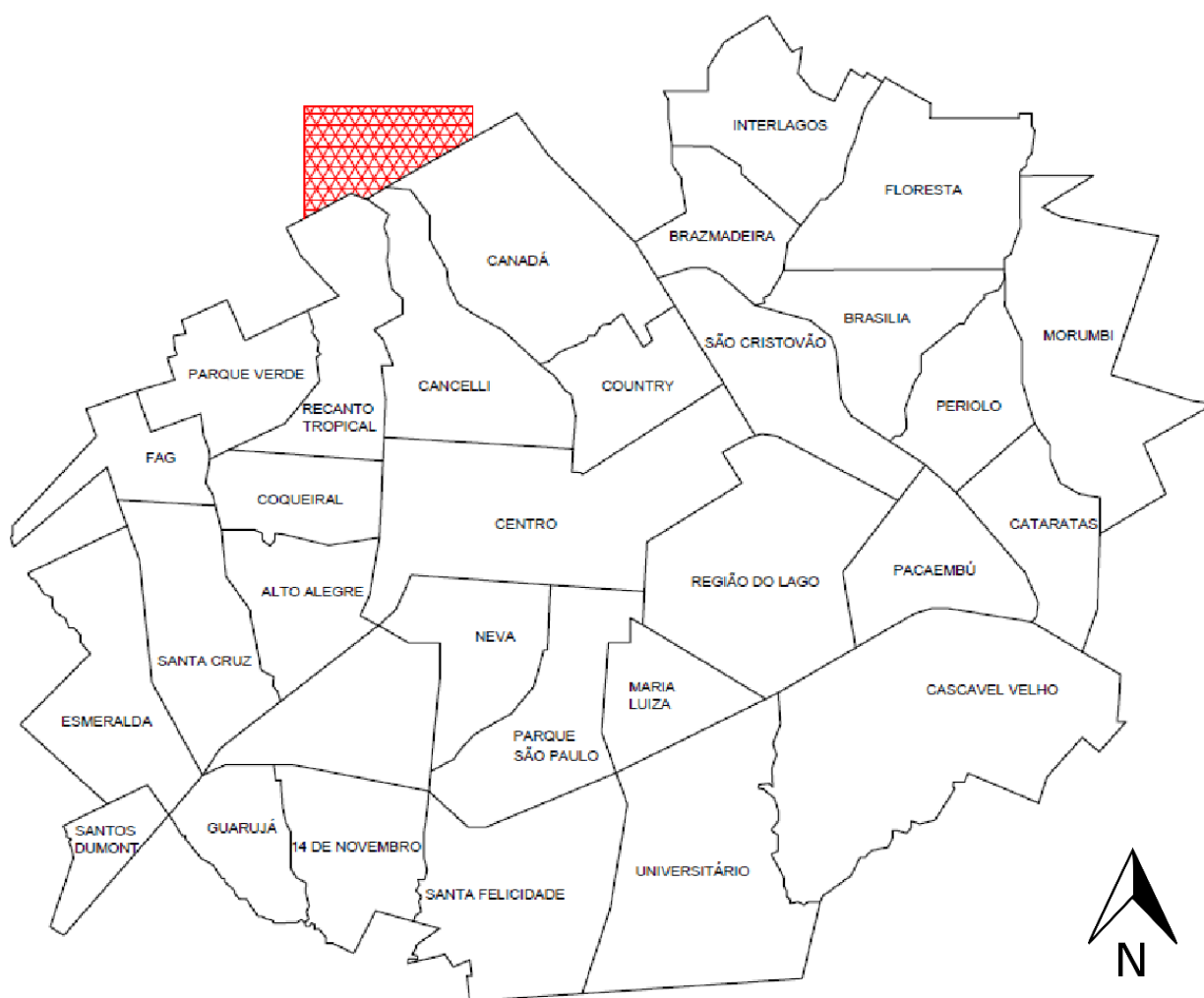
Fonte: Autor (2017).

Essas zonas periféricas que não foram encontrados dados, são em decorrência da dificuldade em encontrar empreendimentos em determinadas áreas por se tratarem de zonas menos atrativas para investimentos de maior porte, seja pelo afastamento da região central da

cidade ou pelo zoneamento estipulado pelo plano diretor, ou ainda a simples falta de investigação geotécnica por parte das construtoras.

A região destacada na Figura 28 teve sua interpolação apresentada por se tratar de uma região onde há uma aglomeração fora do perímetro urbano, devido implantação do Núcleo de Produção III, localizado em uma região que ainda não estava atualizada no mapa base utilizado, que leva em consideração o perímetro urbano, fazendo com que na apresentação dos mapas, tivessem informações fora do contorno do perímetro, conforme mapa com localização dos pontos da Figura 14.

Figura 28: Região fora do perímetro urbano (Núcleo de Produção III)

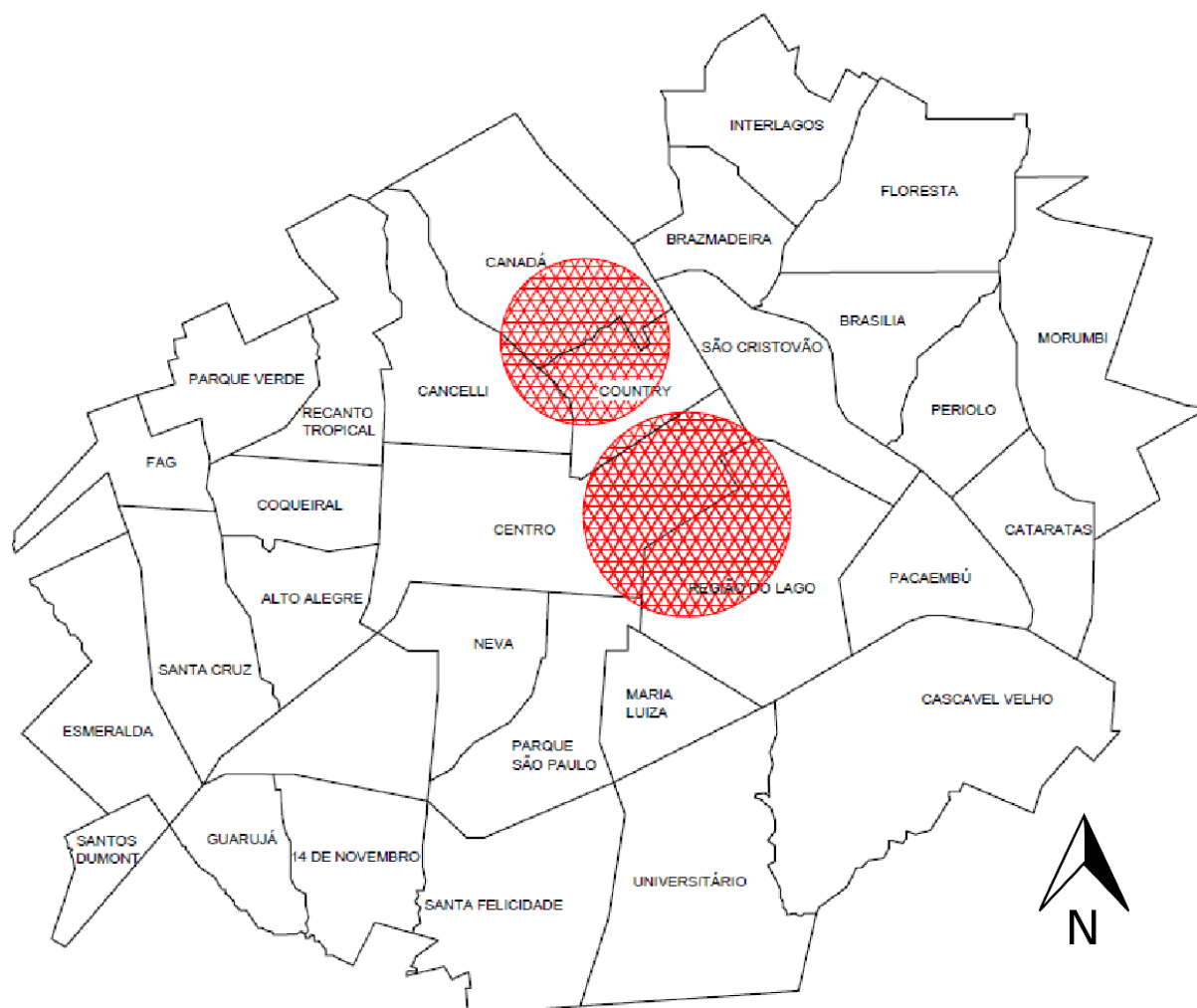


Fonte: Autor (2017).

Ao final da análise de todos os mapas com diferentes diâmetros e profundidades, percebe-se que as regiões vermelhas da Figura 29, localizada nos Bairros expostos da figura

apresentam em todos os resultados picos significativamente mais altos de resistência da capacidade de carga do solo quando comparados às demais regiões.

Figura 29: Regiões com capacidade de carga elevada



Fonte: Autor (2017).

Os maiores índices de capacidade de carga que o solo pode resistir, de todos os mapas, são localizados na Região do Lago, pode se entender este fator, já que esta região é caracterizada como um dos pontos mais baixos da cidade, possuindo uma altitude de 700 metros e nível d'água com altura de 3 metros, sendo assim a camada de solo com maior resistência acaba se encontrando mais próxima da superfície.

CAPITULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os mapas gerados através do *software Surfer 13* foi possível representar a variabilidade da capacidade de carga do solo de Cascavel/PR, através de mapas que possuem como variáveis diâmetro e profundidade de estaca para fundações de baixa capacidade de carga. Os mapas podem servir de base para: possível verificação de autenticidade da capacidade de carga, situações em que o cliente opta por realização de sondagem para determinar a carga que o solo pode resistir.

Os mapas gerados utilizaram dados originados de laudos de sondagens que foram realizados por empresas de fundações, portanto a qualidade dos mapas está diretamente relacionada com o banco de dados que foi atualizado. Como o solo é considerado heterogêneo, é possível encontrar capacidade de carga de diferentes valores em um mesmo terreno, o programa *Surfer 13* faz um tratamento dos dados através de interpolação pelo método de krigagem para se obter valores que na teoria são bem próximos ao que se tem na prática, no entanto, não se deve eliminar a necessidade de estudos mais detalhados, sendo em todo porte de obra, nunca será dispensável realizar a sondagem SPT ou outro método de sondagem.

Com a análise da variabilidade da capacidade de carga do solo através dos mapas foi possível identificar que quanto maior o diâmetro da estaca maior vai ser sua capacidade de carga. Existe também a opção de aumentar o comprimento da estaca, mas conforme se encontram os parâmetros do solo de Cascavel/PR, pode ser menos eficiente, a fórmula do método de Décourt – Quaresma, que está apresentada no Capítulo 2 (Revisão Bibliográfica), pode explicar o fato, devido que, quando se acrescenta 1m no comprimento de estaca os fatores considerados são: as características do solo e o próprio comprimento pra se calcular principalmente a resistência lateral, sem ter relevância na resistência de ponta. Já quando o diâmetro da estaca aumenta e o comprimento continua o mesmo pode se notar que a área de ponta da estaca (A_p) é maior, conseqüentemente sua resistência de ponta sofre um acréscimo, e sua resistência lateral também aumenta, já que o diâmetro favorece o perímetro da estaca (U).

Portanto em casos gerais é mais vantajoso trabalhar com profundidades maiores a fim de encontrar solos mais resistentes e rígidos do que trabalhar com diâmetros maiores e

profundidades menores, porque evita possíveis recalques e influência de água em épocas de chuvas, atrapalhando contato grão x grão, porém com os mapas gerados é possível identificar que em Cascavel/PR o mais vantajoso é aumentar o diâmetro de estaca, já que o solo da região possui características homogêneas.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas propostas em continuidade e complementação da pesquisa, para que se tenha um conhecimento maior do comportamento e características do solo de Cascavel, referem-se a:

- Desenvolvimento de campanhas de sondagem em áreas pouco amostradas, com o objetivo de aumentar o número de amostras para alimentar o banco de dados da pesquisa, trazendo mais credibilidade ao trabalho;
- Análise comparativa da viabilidade de tipos de fundações diferentes, com base nos valores de capacidade de carga calculados;
- Ampliação deste trabalho para outros municípios.

REFERÊNCIAS

ABEL, L. S. **Caracterização Geológica-Geotécnica do solo de Laulane para fundações de edifícios**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília/DF.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: Abnt, 1996. 33 p. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/nbr-06122-1996-projeto-e-execucao-de-fundacoes>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Diretrizes para execução de sondagens**. São Paulo: ABGE, 1990. 35p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: Abnt, 2001. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/11/spt-metodo_de_ensaio_nbr_6484.pdf>. Acesso em: 28 set. 2017.

A CINTRA, Jose Carlos; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas: Projeto geotécnico**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 96 p.

AZEVEDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura: Prática na construção civil**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992. 182 p.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1996. (234). Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

COELHO, André Luiz Nascentes. **SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) COMO SUPORTE NA ELABORAÇÃO DE PLANOS DIRETORES MUNICIPAIS**. 2009. 93 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Ufu, Uberlândia, 2009. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acesso em: 02 out. 2017.

CORSI, Alessandra Cristina; LANDIM, Paulo Barbosa; MONTEIRO, Rubens Caldeira. **Introdução à confecção de mapas pelo Software Surfer**. Rio Claro: Igce, 2002.

Fundações rasas. São Paulo: Técnica, v. 83, fev. 2014. Mensal. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/83/artigo287301-1.aspx>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

GOMES, Marcos Aurélio de Araújo. **Geoprocessamento**. 2011. Disponível em: <<http://www3.unifai.edu.br/pesquisa/publicacoes/artigos-cientificos/professores/sequenciais/o-que-e-e-para-que-serve-o>>. Acesso em: 01 out. 2017.

HACHICH, Waldemir. **Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2004.

KAWAKUBO, Fernando Shinji. **Teoria e Método em Geoprocessamento**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3338001/mod_resource/content/1/TMG_4.pdf>. Acesso em: 01 out. 2017.

LANDIM, Paulo Barbosa. **Sobre Geoestatística e mapas**. 2006. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/CienciadoSolo/gepag/t_didatica_2006_v02n01_p019-033_landim.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

LEAL, Ubiratan. **Fundações rasas**. 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/83/artigo287301-1.aspx>>. Acesso em: 01 fev. 2004.

LISBOA FILHO, Jugurta; IOCHPE, Cirano. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados**. 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/papers/sig-bd-jai.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2017.

MACIEL FILHO, Carlos Leite. **Introdução à geologia de engenharia**. 2. ed. Brasília: Santa Maria, 1997. 284 p.

MARIANE, Aline. **Veja os detalhes de execução da sondagem SPT-T**. 2013. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/148/artigo300986-1.aspx>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

MATIAS, Diego. **Sistema de Coordenadas UTM**. 2010. Disponível em: <<http://georeference.blogspot.com.br/2010/02/sistema-de-coordenadas-utm.html>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

MONTICELI, J. J. et al. **Glossário de equipamentos de sondagens**. São Paulo: ABGE, 1980. 62p.

NIYAMA, Sussumo et al. **Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1999. 751 p.

NORMAS BRASILEIRAS. **NBR 6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro: Abnt, 1995. Disponível em: <<https://www.scribd.com/doc/30915157/NBR-06502-1995-Rochas-e-Solos>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

PELETTI, Amilton Benedito. **História e geografia Cascavel**. 2013. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/amiltonp/histria-e-geografia-cascavel>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

PEREIRA, Diego Fernando. **Mapeamento geotécnico: estudo das propriedades geotécnicas do solo de toledo-pr**. 2016. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Centro Universitário Assis Gurgacz, Toledo, 2016.

PERNA, Marco Antonio. **O Sistema UTM**. 2011. Disponível em: <<http://www.carto.eng.uerj.br/cgi/index.cgi?x=utm.htm>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

SALGADO, Samuel. **Uso de sondagem com ensaio spt para desenvolvimento de mapeamento geotécnico tridimensional para a cidade de cascavel/pr**. 2013. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel, 2013.

SICSU, Abraham Laredo; DANA, Samy. **Estatística Aplicada: Análise exploratoria de dados**. São Paulo: Saraiva, 2012. 160 p.

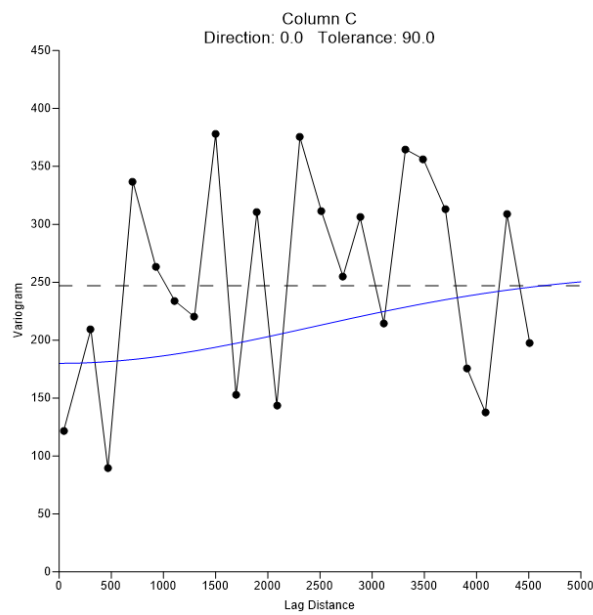
SILVA, Daniel Fermino da. **Mapeamento Geoestatístico dos Parâmetros NSPT e Torque Máximo de Solos em Parte da Bacia do Ribeirão Cambezinho em Londrina/Pr**. 2008. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?view=vtls000149824>>. Acesso em: 10 maio 2017.

SILVA, Kleber. **A importância da sondagem do solo para uma obra**. 2012. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/a-importancia-da-sondagem-do-solo-para-uma-obra/96080/>>. Acesso em: 23 março. 2017.

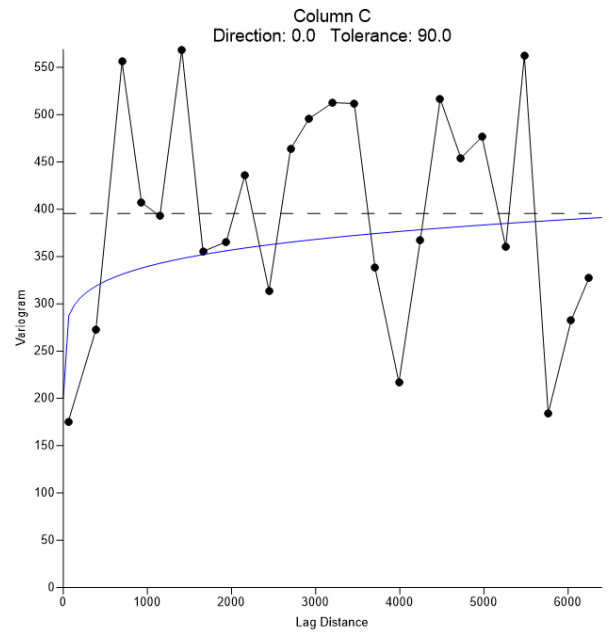
STURARO, JosÉ Ricardo. **Geoestatística Básica**. Rio Claro: Igce, 2000. Disponível em: <<http://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/geologiaaplicada/apostila-basica.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2017.

ZEN, Beatriz Anne Bordin. **Caracterização geotécnica do subsolo do campo experimental do centro acadêmico da fag em cascavel/pr**. 2016. 109 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel, 2016.

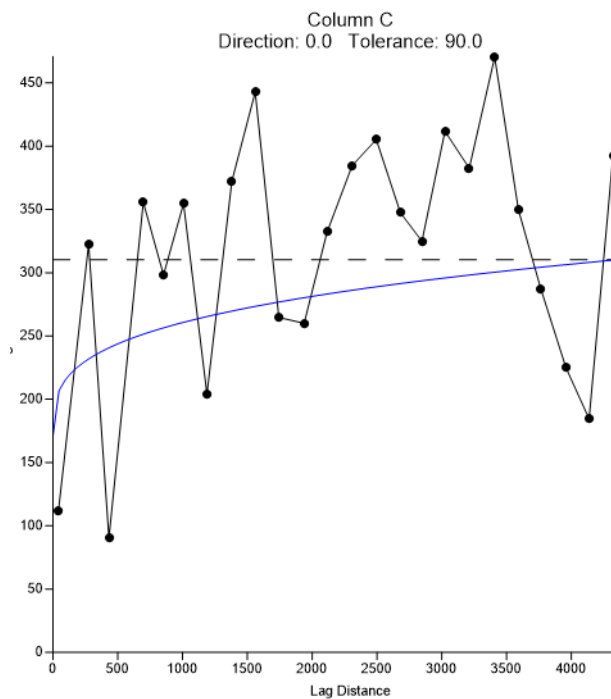
APÊNDICE A – SEMIVARIOGRAMAS



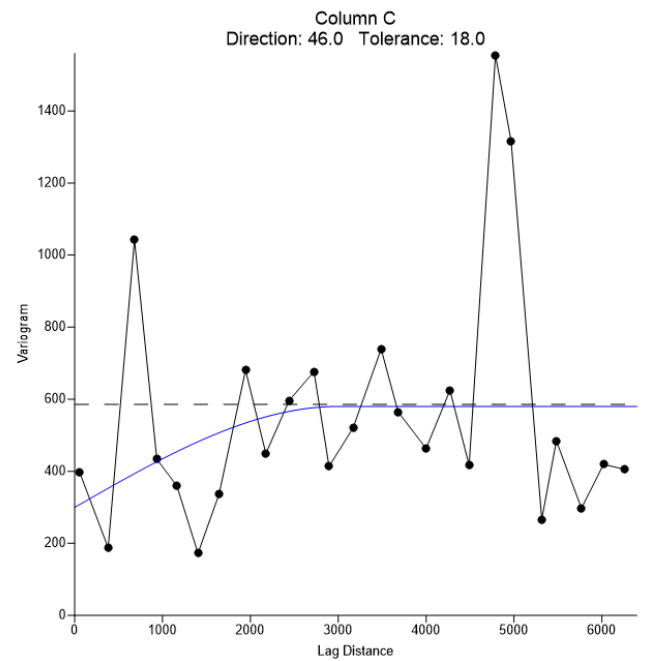
Semivariograma – Diâm: 0,25m e Profun: 3m



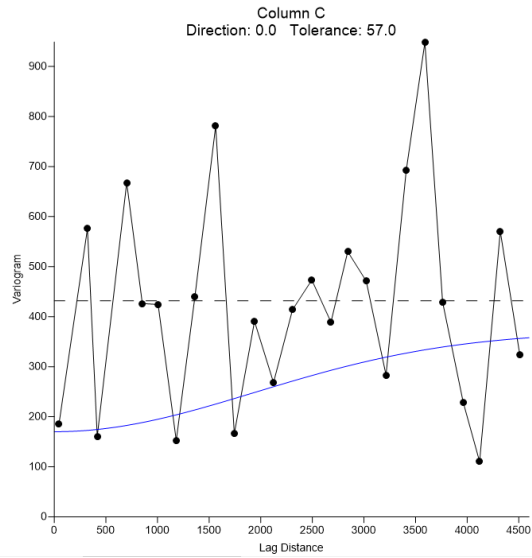
Semivariograma – Diâm: 0,25m e Profun: 5m



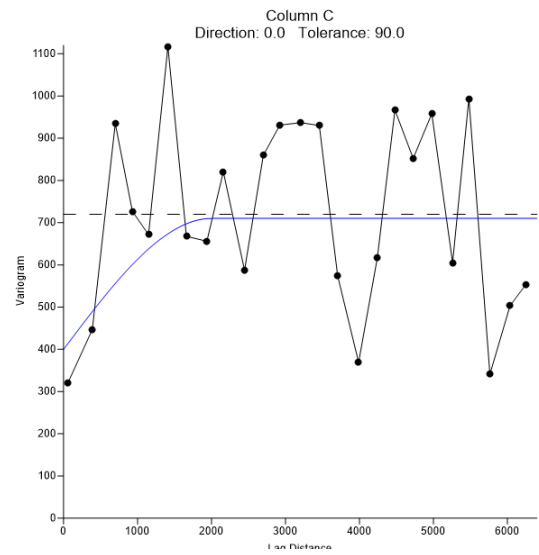
Semivariograma – Diâm: 0,25m e Profun: 4m



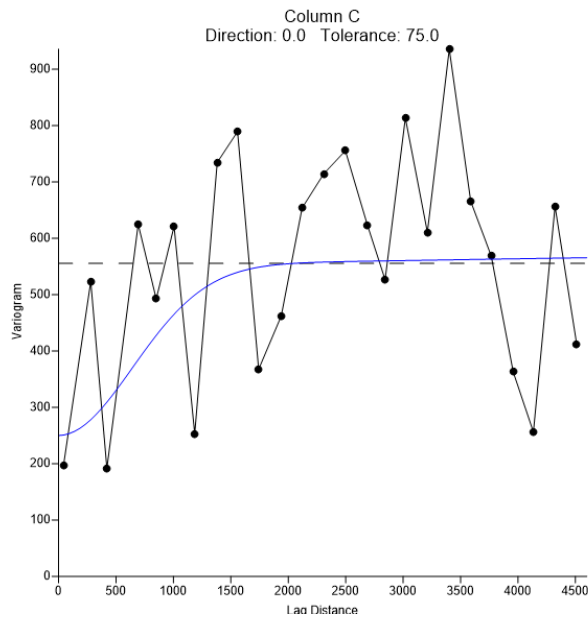
Semivariograma – Diâm: 0,25m e Profun: 6m



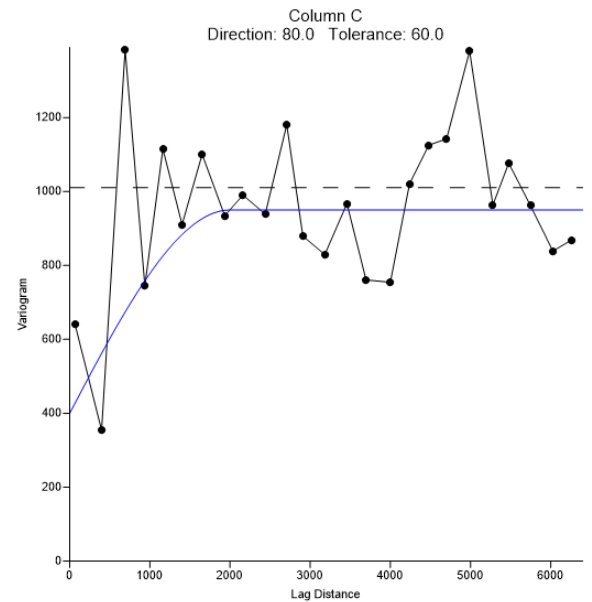
Semivariograma – Diâm: 0,3m e Profun: 3m



Semivariograma – Diâm: 0,3m e Profun: 5m



Semivariograma – Diâm: 0,3m e Profun: 4m



Semivariograma – Diâm: 0,3m e Profun: 6m