



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Thaís Sousa Lucena

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA
ESTÁTICA A PARTIR DE ENSAIOS SPT**

Natal

2018

Thaís Sousa Lucena

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA
ESTÁTICA A PARTIR DE ENSAIOS SPT**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Yuri Daniel Jatobá Costa

Natal
2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Lucena, Thaís Sousa.

Análise geoestatística da estimativa de resistência
estática a partir de ensaios SPT / Thaís Sousa Lucena. - 2018.
162 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do
Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia. Natal, RN, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Yuri Daniel Jatobá Costa.

1. Ensaio SPT - Dissertação. 2. Eficiência - Dissertação. 3.
Prova de carga no amostrador SPT - Dissertação. 4. Resistência
estática - Dissertação. 5. Geoestatística - Dissertação. I. Costa,
Yuri Daniel Jatobá. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 691:620.1

THAÍS SOUSA LUCENA

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA
ESTÁTICA A PARTIR DE ENSAIOS SPT**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Yuri Daniel Jatobá Costa – Orientador

Prof. Dr. José Neres da Silva Filho – Examinador interno

Prof. Dr. Alexandre da Costa Pereira – Examinador externo (IFRN)

Natal, 30 de julho de 2018.

ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA ESTÁTICA A PARTIR DE ENSAIOS SPT

Thaís Sousa Lucena

Orientador: Prof. Dr. Yuri Daniel Jatobá Costa

RESUMO

A previsão da resistência estática do sistema solo-estrutura é uma etapa fundamental do projeto de fundações. O uso de métodos de estimativa de capacidade de carga de estacas a partir de resultados de sondagens SPT é corrente, visto que a simplicidade de execução e o baixo custo deste ensaio o tornam uma das ferramentas mais empregadas em investigações geotécnicas. O mecanismo de transferência da energia envolvida no ensaio tem sido objeto de estudo de diversos autores nas últimas quatro décadas, motivados por questões acerca da dispersão de resultados do índice N_{spt} . Foi verificado que o conhecimento da eficiência da energia do ensaio permite normalizar seus resultados para um valor de referência padrão. Neste contexto, Aoki e Cintra (2000) analisaram o evento dinâmico do golpe do martelo sob a ótica do Princípio da Conservação da Energia. O estudo foi suporte teórico para a metodologia proposta por Aoki (2013), que permite quantificar a resistência de ponta e o atrito lateral usando resultados de ensaios SPT. O método é aplicável aos ensaios em que a eficiência e os comprimentos das amostras de solo recuperadas do interior do amostrador (embuchamento) são conhecidos. Esta pesquisa fez previsões de resistências estáticas de ponta e de atrito lateral, utilizando a metodologia proposta por Aoki (2013) aplicada aos resultados de 58 ensaios SPT. As sondagens ocorreram em um depósito de areia fina e tiveram os embuchamentos medidos. Um ensaio SPT adicional foi realizado, com seis provas de carga estática de tração no amostrador, a fim de investigar o atrito desenvolvido no fuste. O valor da razão entre as resistências por atrito nas paredes interna e externa do amostrador, conhecida como

“fator a”, ficou próximo a dois para areia fina e aumentou para as camadas com maior porcentagem de finos. Por fim, procedeu-se uma comparação entre resultados de resistência obtidos pelo método de Aoki (2013) e os resultados de oito ensaios CPT realizados no mesmo campo. A comparação foi fundamentada em conceitos da geoestatística, por meio de análises do comportamento espacial da resistência estática, usando como ferramenta o software Geokrige, que auxiliou na obtenção de variogramas e de inferências espaciais por krigagem ordinária. Embora a magnitude dos valores de resistência lateral previstos pelo método de Aoki (2013) tenha correspondido a dos ensaios de campo, houve uma grande dispersão. Porém, a maioria das previsões de resistência de ponta foi bem sucedida, apresentando relação com os resultados dos ensaios de cone variando entre 1,0 e 1,6, sem grande dispersão. Concluiu-se que as previsões de resistência de ponta a partir dos ensaios SPT foram consistentes.

Palavras-chave: Ensaio SPT; Eficiência; Prova de carga no amostrador SPT; Resistência estática; Geoestatística.

GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF STATIC RESISTANCE PREDICTED FROM SPT TEST RESULTS

Thaís Sousa Lucena

Orientador: Prof. Dr. Yuri Daniel Jatobá Costa

ABSTRACT

Prediction of the soil-structure static resistance is primordial in foundation engineering design projects. Use of methods for prediction of pile bearing capacity based on standard penetration test (SPT) results is a common practice. Simplicity and low costs make the SPT one of the most employed tests in geotechnical investigation. In the last four decades, the mechanisms of energy transfer within the test have been studied by several authors, who were motivated by questions related to the dispersion of the N_{spt} blow-count values. It has been verified that knowing the test energy efficiency allows to normalize the SPT blow-count resistance to a standard reference value. In this context, Aoki and Cintra (2000) investigated the dynamic SPT hammer blow event by means of the Hamilton's energy conservation principle. The study was a theoretical background to the methodology put forward by Aoki (2013), which allows to quantify pile tip and side friction resistances from the SPT test results. The method can be applied to tests in which the efficiency and the length of the recovered soil samples are known. In the present study, predictions of pile tip and side friction static resistances were achieved by using the methodology of Aoki (2013) and the results of 58 SPT tests. Borings were carried out in a site composed of fine sand layers. All tests had the length of the recovered samples measured. An additional SPT test was also carried out, which included six static pullout tests on the SPT sampler, in order to investigate the lateral skin friction of the sampler. The ratio between the internal and the external skin friction of the sampler, known as the "a" parameter, was close to two for fine sand and increased for deeper layers with higher percentage of fines. Finally, a comparison was made between the

results of resistance predicted by Aoki (2013) method and the results of eight CPT tests performed at the same site. Comparisons between predicted and experimental results were based on concepts of Geostatistics. Specifically, an analysis of the spatial behavior of the static resistance was conducted using the software Geokrige, which made calculations of variograms and spatial inferences by ordinary kriging. Although the magnitude of the side friction static resistance values predicted by the method proposed by Aoki (2013) corresponded to that of the field tests, a large dispersion in the values has been identified. However, most predictions of pile toe resistance were successful. Ratios of predicted to experimental toe resistance values ranged from 1.0 to 1.6 and remained within acceptable dispersion levels. Predictions of pile toe static resistances based on SPT tests were found to be consistent.

Keywords: Standard Penetration Test; Efficiency; Load test on SPT sampler; Static resistance; Geostatistics.

Aos meus pais, à minha irmã e aos
meu avós, por todo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Yuri Costa, pela orientação, pela confiança e pelo incentivo ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Serei sempre grata pela oportunidade e tomarei como exemplo o seu profissionalismo.

À Profa. Dra. Carina Costa, ao Prof. Dr. Alexandre Pereira e ao Prof. Dr. José Neres, pelas importantes contribuições dadas durante o exame de qualificação e durante a defesa deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto, representando a empresa Geokrigagem, pela disponibilização do software GEOKRIGE e pelo auxílio na modelagem geoestatística.

À Secopa, responsável pelas obras da Copa do Mundo 2014, pelo acesso aos resultados dos ensaios.

Ao Eng. Avelino Lourenço, representando a Geoquality Geotecnia, por fornecer os equipamentos e disponibilizar a equipe para a execução do ensaio SPT e das provas de carga à tração.

À Prefeitura do Centro Administrativo do RN, por conceder o espaço para a realização dos ensaios.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRN, pelos ensinamentos valiosos durante esta etapa.

Aos amigos, que deixaram mais leve esta caminhada. Agradeço principalmente às amigas da pós-graduação, Daniela e Ana Paula, com quem compartilhei muitos dos momentos desta fase e construí uma linda relação que pretendo conservar.

A Ana Carolina e a Ana Maria, pelo acolhimento afetuoso durante minha estada em São Paulo.

Ao meu amado João Paulo, presente em todos os momentos desta etapa, sempre com palavras de incentivo, de carinho e de conforto. Obrigada pela confiança em

meu potencial, pela dedicação e pelo companheirismo pleno. Agradeço também aos seus pais, Ana e Pacelli, por terem me acolhido de uma forma especial.

Aos maiores presentes que recebi na vida, minha família. Agradeço aos meus pais, Ana Célia e Wagner, por não medirem esforços em prol do meu crescimento pessoal e profissional. À minha irmã, Fernanda, melhor amiga e companheira de todas as horas. Vocês são o melhor de mim e a razão da minha felicidade. À vocês, todo o meu amor e gratidão.

Aos meus avós, aos meus tios e também a Hindem, Lucimar e Rosa. Sou grata especialmente à minha tia Kátia, que sempre se dedicou à minha educação e registro ainda, meus eternos agradecimentos à minha tia Márcia e à minha avó Elza, por cuidarem de mim como filha, por me acompanharem em todos os momentos, pelas orações e pelo apoio incondicional.

A Deus, em todas as suas formas e manifestações, pela existência.

Sumário

Lista de figuras	
Lista de tabelas	
Lista de equações	
Lista de siglas e abreviaturas	
CAPÍTULO 1	1
Introdução	1
1.1. Objetivos da pesquisa	2
1.1.1. Objetivo Geral.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. Organização do texto	3
CAPÍTULO 2	5
Revisão da literatura	5
2.1. Investigação geotécnica	5
2.1.1. <i>Standard penetration test</i> (SPT)	5
2.1.1.1. Energia no ensaio SPT	7
2.1.1.2. Proposição de Aoki (2013).....	14
2.1.1.3. Fator a , de Aoki (2013).....	19
I. Fator a por ensaios SPT-T.....	19
II. Fator a por ensaios de extração de amostras.....	20
III. Fator a por ensaios de arrancamento do amostrador	21
IV. Valores encontrados na literatura	23
2.1.2. <i>Cone penetration test</i> (CPT e CPTu).....	24
2.2. Geoestatística	25
2.2.1. Análise variográfica	27
2.2.2. Inferência espacial.....	31
CAPÍTULO 3	33
Metodologia	33
3.1. Visão geral	33

3.2. Área de estudo	33
3.2.1. Características geológicas.....	33
3.2.2. Características geotécnicas.....	34
3.3. Campanha experimental.....	35
3.3.1. Disposições gerais.....	35
3.3.2. Ensaio SPT	37
3.3.2.1. Equipamentos	37
3.3.3. Ensaio de arrancamento do amostrador.....	38
3.4. Revisão do valor da eficiência dos ensaios SPT	40
3.5. Previsão de resistência estática	41
3.6. Avaliação da qualidade das previsões.....	42
Resultados.....	46
4.1. Eficiência revisada.....	46
4.2. Ensaio de arrancamento do amostrador.....	47
4.3. Resistência estática por Aoki (2013)	51
4.4. Análise das previsões de resistência.....	53
4.4.1. Resistência lateral	53
4.4.2. Resistência de ponta	63
4.4.3. Avaliação da análise geoestatística.....	71
4.4.3.1. Nível de confinamento	71
4.4.3.2. Qualidade da análise geoestatística em diferentes regiões da área em estudo.....	73
CAPÍTULO 5.....	77
Conclusões.....	77
REFERÊNCIAS.....	79
ANEXO - Previsão de resistência estática de acordo com Aoki (2013).....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Configuração dos equipamentos do ensaio SPT antes e depois da cravação do amostrador.....	6
Figura 2.2 – Transformação da energia no ensaio SPT, adaptado de Neves (2004)..	9
Figura 2.3 – Resultado de uma prova de carga estática realizada sobre o amostrador (Neves, 2004).....	11
Figura 2.4 – Acréscimos de energia potencial devido à penetração do amostrador (Odebrecht, 2003).	13
Figura 2.5 – Equilíbrio das forças atuantes no amostrador (Aoki, 2013).....	15
Figura 2.6 – Equilíbrio estático de forças na ponta do amostrador (Aoki, 2013).	16
Figura 2.7 – Atrito lateral por Aoki (2013) e por ensaios de cone mecânico (CPTm) e elétrico (CPTe) – Adaptado de Rocha <i>et al.</i> (2015).....	18
Figura 2.8 – Comparação da capacidade de carga dada por diferentes métodos - Adaptado de Aguiar <i>et al.</i> (2016).....	19
Figura 2.9 – Equipamento extrator de amostras (Zapata Galvis, 2015).	20
Figura 2.10 – Ensaio de arrancamento do amostrador, adaptado de Ferreira (2015).	22
Figura 2.11 – Equilíbrio estático de forças durante a cravação no ensaios SPT (a) e CPT (b) (Schmertmann, 1979).	25
Figura 2.12 – Metodologia integrada de caracterização do subsolo (Adaptado de Krage <i>et al.</i> , 2016).....	26
Figura 2.13 – Variograma experimental (azul) e modelo ajustado (vermelho) (Adaptado de Yamamoto & Landim, 2013).	28
Figura 2.14 – Alguns modelos teóricos de Variograma (Adaptado de Yamamoto & Landim, 2013).	29
Figura 2.15 – Parâmetros de um variograma com patamar (Adaptado de Farias <i>et al.</i> 2005).	30

Figura 2.16 – Inferência espacial por krigagem (Adaptado de Yamamoto & Landim, 2013).	31
Figura 3.1 – Mapa de cobertura cenozóica de Natal, modificado de Angelim <i>et al.</i> , 2007.	34
Figura 3.2 – Perfil típico do subsolo.	35
Figura 3.3 – Localização dos ensaios.....	36
Figura 3.4 – Execução do ensaio SA-01.	38
Figura 3.5 – Esquema da montagem dos ensaios de arrancamento.	39
Figura 3.6 – Fotos dos equipamentos usados para o arrancamento: (a) trava; (b) manômetro; (c) bomba; (d) cilindro hidráulico; e) sistema de reação.....	40
Figura 3.7 – Fluxograma das etapas de avaliação da qualidade das previsões.	42
Figura 3.8 – Vista em planta da localização dos dados amostrais.	43
Figura 3.9 – Elipsoide de anisotropia.	44
Figura 4.1 – Curvas carga x deslocamento dos ensaios de arrancamento do amostrador.	47
Figura 4.2 – Gráfico de $N_{spt} \times a$	49
Figura 4.3 – Estatísticas descritivas das resistências laterais.	54
Figura 4.4 – Variância da resistência lateral em função de sucessivas distâncias entre pares de pontos situados em cada direção do plano horizontal,.....	55
Figura 4.5 – Variogramas experimentais e seus ajustes teóricos.	55
Figura 4.6 – Resultados das inferências de resistência lateral por krigagem.....	57
Figura 4.7 – Dispersão entre r_{Le03} e resistência lateral do ensaio SM03.	59
Figura 4.8 – Dispersão entre r_{Le04} e resistência lateral do ensaio SM04.	59
Figura 4.9 – Dispersão entre r_{Le05} e resistência lateral do ensaio SM05.	60
Figura 4.10 – Dispersão entre r_{Le06} e resistência lateral do ensaio SM06.	60
Figura 4.11 – Dispersão entre r_{Le07} e resistência lateral do ensaio SM07.	61
Figura 4.12 – Dispersão entre r_{Le08} e resistência lateral do ensaio SM08.	61

Figura 4.13 – Estatísticas descritivas das resistências laterais.....	63
Figura 4.14 – Variância da resistência de ponta em função de sucessivas distâncias entre pares de pontos situados em cada direção do plano horizontal.....	64
Figura 4.15 – Variogramas experimentais e seus ajustes teóricos.	64
Figura 4.16 – Resultados das inferências de resistência de ponta por krigagem.....	66
Figura 4.17 – Dispersão entre rP03 e resistência lateral do ensaio SM03.	68
Figura 4.18 – Dispersão entre rP04 e resistência lateral do ensaio SM04.	68
Figura 4.19 – Dispersão entre rP05 e resistência lateral do ensaio SM05.	69
Figura 4.20 – Dispersão entre rP06 e resistência lateral do ensaio SM06.	69
Figura 4.21 – Dispersão entre rP07 e resistência lateral do ensaio SM07.	70
Figura 4.22 – Dispersão entre rP08 e resistência lateral do ensaio SM08.	70
Figura 4.23 – Superfície do terreno.	72
Figura 4.24 – Bloco P e os pontos considerados na estimativa de suas resistências.	72
Figura 4.25 – Dispersão entre as resistências inferidas por krigagem e as resistências previstas a partir do ensaio SP22.....	74
Figura 4.26 – Dispersão entre as resistências inferidas por krigagem e as resistências previstas a partir do ensaio SP69.....	74
Figura 4.27 – Dispersão entre as resistências inferidas por krigagem e as resistências previstas a partir do ensaio SP101.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores do fator a encontrados na literatura.	23
Tabela 2.2 – Modelos teóricos de variograma com patamar (Adaptado de Yamamoto & Landim, 2013).	30
Tabela 3.1 – Especificações dos equipamentos	37
Tabela 3.2 – Resultados de Eficiência de Costa <i>et al.</i> (2012).	40
Tabela 4.1 – Eficiência dos ensaios SPT revisada.	46
Tabela 4.2 – Resultados do ensaio SA-01 e dos ensaios de arrancamento.	47
Tabela 4.3 – Determinação do fator a.	48
Tabela 4.4 – Variações de N_{spt} e a.	49
Tabela 4.5 – Valores de fator a por tipo de solo.	51
Tabela 4.6 – Resultados de previsão para SP049.	52
Tabela 4.7 – Ajustes teóricos dos variogramas.	56
Tabela 4.8 – Resistência lateral (kPa).	58
Tabela 4.9 – Ajustes teóricos dos variogramas.	65
Tabela 4.10 – Resistência de ponta (MPa).	67
Tabela 4.11 – Características dos pontos considerados na inferência.	73

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (2.1).....	8
Equação (2.2).....	8
Equação (2.3).....	10
Equação (2.4).....	10
Equação (2.5).....	11
Equação (2.6).....	11
Equação (2.7).....	12
Equação (2.8).....	12
Equação (2.9).....	12
Equação (2.10).....	13
Equação (2.11).....	16
Equação (2.12).....	16
Equação (2.13).....	16
Equação (2.14).....	17
Equação (2.15).....	17
Equação (2.16).....	20
Equação (2.17).....	21
Equação (2.18).....	21
Equação (2.19).....	22
Equação (2.20).....	22
Equação (2.21).....	22
Equação (2.22).....	28
Equação (2.23).....	29
Equação (2.24).....	30
Equação (2.25).....	30

Equação (2.26).....	30
Equação (2.27).....	30
Equação (2.28).....	32
Equação (2.29).....	32
Equação (2.30).....	32
Equação (4.1).....	48
Equação (4.2).....	48
Equação (4.3).....	56
Equação (4.4).....	56
Equação (4.5).....	56
Equação (4.6).....	56
Equação (4.7).....	56
Equação (4.8).....	56
Equação (4.9).....	65
Equação (4.10).....	65
Equação (4.11).....	65
Equação (4.12).....	65
Equação (4.13).....	65
Equação (4.14).....	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a – Fator de atrito (Aoki, 2013)

cm – Centímetro

CPT – *Cone Penetration Test*

CPTu – Ensaio de piezocone

D_{ext} – Diâmetro externo do amostrador

D_{int} – Diâmetro interno do amostrador

D_p – Diâmetro da ponta do amostrador

ef – Eficiência do ensaio SPT

ENTHRU – Energia do ensaio SPT medida abaixo da cabeça de bater

E_t – Energia teórica do ensaio SPT

$E_{t_{sist}}$ – Energia teórica do ensaio SPT que considera a parcela adicional de energia potencial devido à cravação do amostrador

f_s – Atrito lateral do ensaio de cone

$\gamma(h)$ – Função variograma

g – Aceleração da gravidade

h_m – Altura de queda do martelo

J - Joule

kg – Quilograma

kgf – Quilograma-força

kN – Quilonewton

kPa – Quilopascal

L – Comprimento do chanfro

L_{ext} – Penetração total do amostrador no solo

L_{int} – Comprimento da amostra de solo recuperada do interior do amostrador a cada medida de N_{spt}

L_p – Comprimento vertical do chanfro

m – Metro

m_a – Massa do amostrador

m_c – Massa da cabeça de bater

m_h – Massa da composição de hastes

m_m – Massa do martelo

mm – Milímetro

N - Newton

N_{60} – Índice de resistência à penetração normalizado para uma eficiência de 60%

NBR – Norma Brasileira

N_{spt} – Índice de resistência do solo à penetração

ρ_{es} – Deformação elástica do solo

ρ_p – Penetração permante do amostrador

ρ_{pm} – Penetração média por golpe do ensaio SPT

q_c - Resistência de ponta do ensaio de cone

Q_{res} – Carga residual

Q_u – Carga de ruptura

R_a – Resistência inercial

R_d – Resistência de amortecimento dinâmico

R_f – Razão de atrito

r_{Le} – Tensão de atrito desenvolvida na parede externa do amostrador

R_{Le} – Resistência total por atrito lateral externo

r_{Li} – Tensão de atrito desenvolvida na parede interna do amostrador

r_p – Resistência sob a ponta aberta do amostrador

RN – Rio Grande do Norte

R_t – Resistência dinâmica total à cravação

R_u – Resistência estática

S_a – Área da superfície externa do amostrador

S_L – Área da superfície do chanfro

SPT – *Standard Penetration Test*

SPT-T – Ensaio SPT com medição de torque

T – Energia cinética

T_A – Energia cinética que chega ao amostrador

u – Pressões neutras

V – Energia potencial

V_{es} – Energia potencial elástica armazenada no solo

W_a – Peso do amostrador

W_h – Peso do conjunto de hastes e cabeça de bater

W_{nc} – Trabalho das forças não conservativas

W_p – Trabalho gerado pela cravação do amostrador

z – Profundidade

$Z *_{x_0}$ – Valor estimado por krigagem ordinária

CAPÍTULO 1

Introdução

A previsão da resistência do sistema solo-estrutura, etapa fundamental dos projetos de fundações, é um dos grandes desafios da engenharia geotécnica, ou, de forma mais ampla, da engenharia civil.

Os métodos para a previsão de capacidade de carga de fundações por estacas que utilizam os resultados de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*) são muito usuais, tendo em vista que tal ensaio é uma das ferramentas de investigação geotécnica mais difundidas no mundo, devido a aspectos como a simplicidade de sua execução e a fácil interpretação dos seus resultados, aliados ao baixo custo envolvido em seu processo operacional.

Por ser o SPT um ensaio constantemente empregado nos programas de investigação do solo, nas últimas quatro décadas tem sido levantadas questões a respeito dos fatores que influenciam os seus resultados. O estudo do mecanismo de transferência de energia durante o golpe do ensaio (Schmertmann & Palacios; 1979) marcou o início de uma série de pesquisas voltadas para quantificar a energia que atua no amostrador no momento de sua cravação. O conhecimento das energias envolvidas no evento dinâmico permite medir a eficiência do ensaio.

Diversos fatores, como equipamentos utilizados e escolha da equipe executora, alteram a quantidade de energia que chega ao amostrador, gerando distinções nos valores do índice de resistência do solo à penetração (N_{spt}). A determinação da eficiência permite normalizar o índice para uma energia padrão, tornando comparáveis entre si resultados obtidos por ensaios realizados sob diferentes condições. Desta forma, a consideração da eficiência do ensaio SPT na previsão de capacidade de carga proporciona uma interpretação racional dos resultados.

Recentemente, Aoki (2013) propôs uma metodologia inovadora de previsão de capacidade de carga, desenvolvida com base no Princípio da Conservação da

Energia e no equilíbrio estático de forças atuantes no amostrador SPT. O método é aplicável aos resultados de ensaios SPT com medições adicionais de eficiência e dos comprimentos das amostras de solo recuperado da ponta do amostrador (embuchamento). Por considerar o valor da eficiência dos ensaios, a proposta de Aoki (2013) propicia o uso padronizado das informações das sondagens SPT, permitindo uma interpretação sensata da capacidade de carga obtida a partir do uso da sua metodologia.

Neste contexto, o presente estudo utiliza o método de Aoki (2013) para fazer estimativas das resistências lateral e de ponta a partir de resultados de ensaios SPT. A fim de avaliar a qualidade das estimativas, é feita uma comparação entre os resultados teóricos obtidos e os resultados de ensaios de cone executados no mesmo depósito de areia fina em que procederam-se as sondagens SPT. Considerando a natureza geotécnica das variáveis comparadas neste trabalho, é utilizada uma abordagem geoestatística, em virtude da contribuição positiva proporcionada pela inclusão deste ramo da estatística espacial no estudo.

A geoestatística é o conjunto de ferramentas dedicadas à análise do comportamento espacial dos fenômenos naturais com distribuição estruturada no espaço. Suas técnicas são largamente utilizadas em estudos geológicos e geotécnicos, dado que conseguem associar o aspecto espacial ao aspecto aleatório das variáveis em foco, fazendo assim, o melhor uso possível das informações disponíveis. Esta pesquisa adota as ferramentas geoestatísticas com o intuito de considerar a distribuição estruturada no espaço das resistências do solo comparadas.

1.1. Objetivos da pesquisa

1.1.1. Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal estimar a resistência estática do solo a partir de resultados de ensaios SPT realizados em um depósito de areia fina e avaliar a qualidade da estimativa tomando como referência os resultados de ensaios de cone executados no mesmo local.

1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos podem ser subdivididos em duas etapas, sendo a primeira referente à previsão da resistência estática a partir de ensaios SPT e a segunda referente à avaliação da qualidade dos resultados obtidos na etapa anterior.

Objetivos da primeira etapa:

- Redefinir o valor da eficiência dos ensaios SPT, determinada por Costa *et al.* (2012), para um novo valor de energia teórica;
- Investigar o atrito desenvolvido nas paredes interna e externa do amostrador a partir da realização de ensaios de arrancamento;
- Estimar as resistências de ponta e lateral a partir de resultados de ensaios SPT, utilizando a proposta de Aoki (2013);
- Determinar a razão de atrito obtida no ensaio SPT.

Objetivos da segunda etapa:

- Analisar o comportamento da distribuição espacial das resistências a partir de um estudo variográfico;
- Estimar, por processo geoestatístico de inferência espacial, valores de resistência de ponta e de resistência lateral em locais onde não houve realização de ensaio SPT;
- Fazer uma comparação entre as inferências geostatísticas e os resultados de resistência de ponta e de resistência lateral dos ensaios CPT.

1.2. Organização do texto

Além deste capítulo introdutório, que apresenta uma contextualização da presente pesquisa, abordando sua importância e seus objetivos, este trabalho apresenta os seguintes capítulos:

- Revisão da literatura (capítulo 2): Sintetiza os conhecimentos necessários ao desenvolvimento da pesquisa, adquiridos a partir do material

consultado. O capítulo introduz o ensaio SPT e aborda aspectos a respeito da energia envolvida durante o ensaio. Em seguida, é apresentada a metodologia de previsão de resistência estática de Aoki (2013). Também são abordados aspectos básicos do ensaio de cone, com o objetivo de expor suas semelhanças e diferenças em relação ao ensaio SPT. Ainda neste capítulo, discorre-se sobre a geoestatística e as principais técnicas utilizadas na modelagem de problemas que admitem a sua aplicação;

- Metodologia (capítulo 3): Apresenta a área de estudo, descreve o programa de investigação geotécnica, especificando os ensaios realizados e os respectivos materiais e métodos utilizados. São explicadas as etapas da análise geoestatística dos dados;
- Resultados (capítulo 4): Apresenta a análise dos resultados obtidos. O capítulo inclui resultados da redefinição da eficiência dos ensaios SPT, do atrito desenvolvido nas paredes do amostrador e das resistências de ponta e lateral previstas pela metodologia de Aoki (2013). Ainda é apresentada a comparação entre resultados de ensaios de cone e os valores obtidos por modelagem geoestatística das previsões de resistência por Aoki (2013);
- Conclusões (Capítulo 5): Expõe as principais conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 2

Revisão da literatura

2.1. Investigação geotécnica

A investigação geotécnica é o conjunto de etapas adotadas para o reconhecimento das características do solo, por isso deve ser a atividade precedente a qualquer projeto geotécnico. O programa de investigação deve ser planejado em concordância com a complexidade da obra em questão e do subsolo do local onde ela será instituída. De acordo com Schnaid & Odebrecht (2012), para estruturas convencionais (que não envolvam riscos excepcionais) associadas à ocorrência de solos resistentes e estáveis, há apenas a necessidade das informações rotineiras provenientes de ensaios SPT e CPT. Embora exista uma série de ensaios que podem ser empregados na identificação geotécnica de um sítio, as próximas seções abordarão aspectos referentes aos dois supracitados.

2.1.1. *Standard penetration test* (SPT)

Schnaid & Odebrecht (2012) apresentaram o *standard penetration test* (SPT) como a ferramenta de investigação mais popular, rotineira e econômica em praticamente todo o mundo. No Brasil, além de ser o método mais utilizado para prospecção geotécnica, este ensaio é, muitas vezes, o único a ser empregado. Sua normatização é dada pela NBR 6484/2001.

O SPT é, basicamente, um ensaio de resistência dinâmica, complementado de análise tátil e visual de amostras do solo local. Sua execução compreende a repetição a cada metro do processo dado por três etapas: uma perfuração, seguida da cravação de um amostrador realizada por golpes de um peso em queda, com conseguinte recuperação de uma amostra de solo.

De forma mais detalhada, o amostrador padrão é situado na profundidade do ensaio e sobre seu topo são posicionados os elementos que transferirão a energia dos golpes a ele: as hastes, seguidas da cabeça de bater. Os golpes são gerados

pela elevação de um martelo (elemento de aço com massa de 65 kg) a uma altura de 750 mm, seguida de sua liberação.

O resultado do ensaio é o N_{spt} , a quantidade de golpes necessária para cravar os últimos 300 mm de uma cravação total de 450 mm do amostrador. As amostras de solo, coletadas do interior do amostrador após sua retirada do terreno, são recuperadas e analisadas para observar aspectos como granulometria, cor, origem e presença de matéria orgânica.

A Figura 2.1 representa, de forma simplificada, o equipamento do ensaio e sua posição antes do início da cravação e ao final do último golpe.

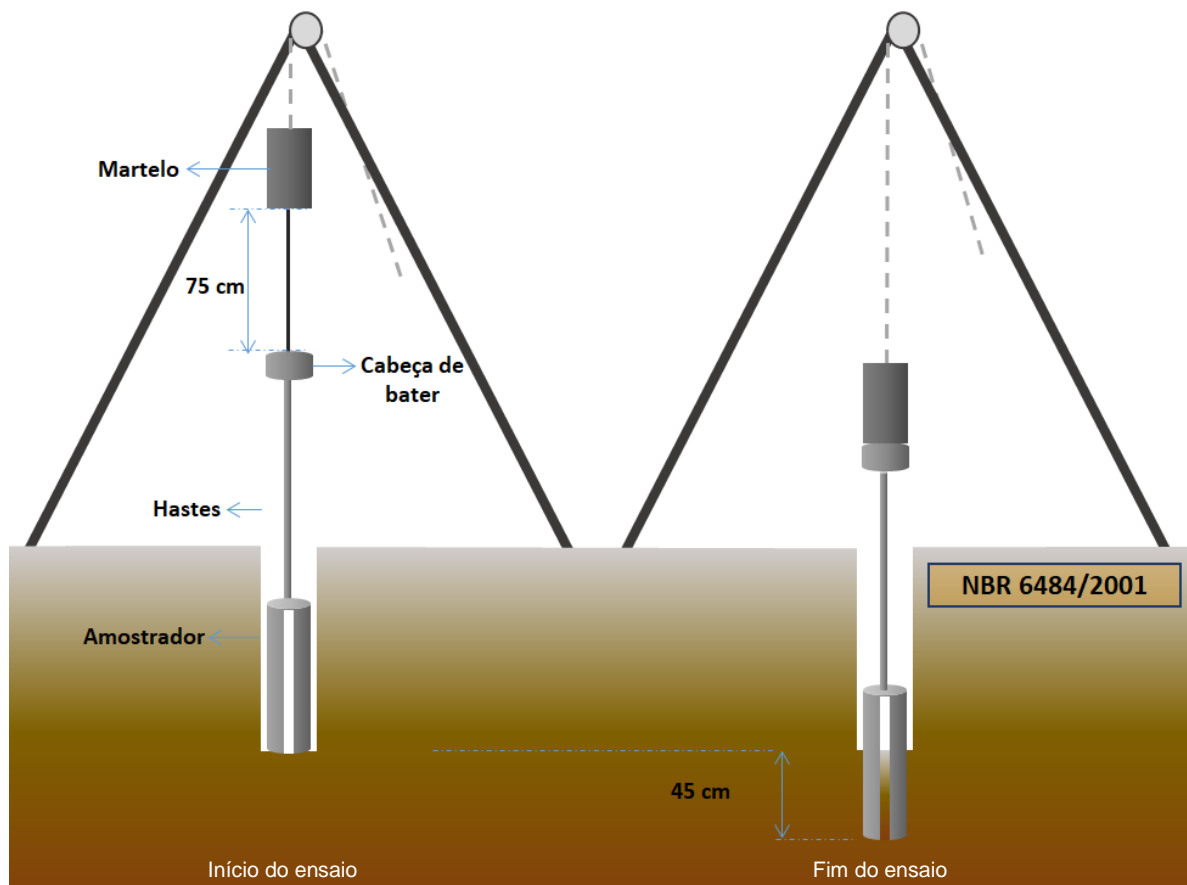


Figura 2.1 – Configuração dos equipamentos do ensaio SPT antes e depois da cravação do amostrador.

O resultado do ensaio SPT tem diversas aplicações na geotecnia, entre elas estão a determinação da estratigrafia do solo, bem como a definição das propriedades geotécnicas a partir de correlações teóricas, empíricas ou semi-empíricas. A previsão da tensão admissível, ou da capacidade de carga, em projetos de fundações, também é um dos possíveis usos dos resultados deste ensaio.

2.1.1.1. Energia no ensaio SPT

Sabe-se que o índice de resistência à penetração, N_{spt} , tem grande aplicação na determinação de parâmetros necessários aos projetos geotécnicos e, por isso, muitos trabalhos vêm sendo dedicados ao estudo do que diz respeito à dispersão de resultados da referida medida e seus fatores intervenientes, como equipamentos utilizados, procedimentos de execução e condições do solo.

Pioneiros no estudo da energia envolvida no ensaio SPT, Schmertmann & Palacios (1979) analisaram detalhadamente a dinâmica do evento que compreende o espaço de tempo entre o início da queda do martelo e a cravação de parte do amostrador no solo. A teoria da equação da onda, considerada por eles nas suas análises, diz que no momento do impacto entre o martelo e a cabeça de bater, são geradas duas ondas de tensão que viajam na mesma velocidade, uma propagando-se para baixo, ao longo das hastes até o amostrador, o qual recebe a energia responsável por sua cravação; e a outra para cima, ao longo do martelo.

Os autores instrumentaram seções no início e no fim do comprimento da composição de hastes. Interpretando os resultados, admitiram que a perda de energia em sua extensão era insignificante. Portanto, sugeriram uma metodologia prática empregando a instrumentação na extremidade superior do conjunto de hastes, a fim de medir, nesta seção, a energia da onda de compressão dinâmica que chega ao amostrador. Esta energia, medida logo abaixo da cabeça de bater, foi denominada de ENTHRU. É importante entender que durante o evento, há dissipação da energia e, por isso, a ENTHRU corresponde a uma parcela da energia disponível no momento inicial, conhecida como energia nominal ou teórica do ensaio.

Schmertmann & Palacios (1979) perceberam que o valor do N_{spt} variava inversamente com a ENTHRU e por isso recomendaram que o índice N_{spt} fosse corrigido para um valor padronizado dela. A partir dessa publicação, vários pesquisadores direcionaram seus estudos à energia envolvida no processo de cravação do amostrador SPT.

Visando uma boa consistência nos resultados de parâmetros do solo estimados a partir de correlações com o N_{spt} , Seed *et al.* (1985) aconselharam a padronização deste índice para um valor equivalente a uma eficiência da ENTHRU

de 60% em relação à energia nominal. Com reconhecimento internacional, o valor de referência foi denominado de N_{60} e é obtido pela Equação 2.1, em que ef denota a eficiência da energia que chega ao amostrador, identificada no ensaio.

$$N_{60} = N_{spt} \times \frac{ef}{60\%} \quad (2.1)$$

Schinaid & Odebrecht (2012), com base em uma revisão da literatura voltada para a determinação da eficiência (ef) dos ensaios SPT, concluíram que no Brasil, a eficiência está entre 70% e 80% da energia nominal.

Para o entendimento da determinação da eficiência de um ensaio, faz-se necessário o conhecimento do mecanismo de transferência de energia que ocorre durante o golpe do martelo. De acordo com o Princípio da Conservação da Energia de Hamilton, a energia total de um evento dinâmico se conserva em dois instantes quaisquer, ou seja, a variação das energias potencial (V) e cinética (T) iniciais é igual ao trabalho das forças não conservativas (W_{nc}) durante o evento (Equação 2.2).

$$\int_{t_i}^{t_f} \delta (T - V) dt + \int_{t_i}^{t_f} \delta (W_{nc}) dt = 0 \quad (2.2)$$

Aoki & Cintra (2000) usaram o princípio de Hamilton, pela primeira vez, para a interpretação do ensaio SPT. Ao longo do evento da liberação do martelo até a cravação do amostrador, a energia teórica do ensaio é transformada em energia potencial de deformação (V), energia cinética (T) e trabalho (W).

Neves (2004), baseado em Aoki & Cintra (2000), ilustrou a evolução da transformação da energia durante o golpe, como pode ser visto na Figura 2.2. A seguir, encontra-se a explicação resumida do que acontece durante o processo ilustrado. Belincanta (1998) explica detalhadamente os possíveis fatores que atuam na dissipação da energia em cada uma das etapas.

O ensaio tem início no momento t_0 , quando o martelo começa a ser erguido. Ao chegar no instante t_1 , é encerrado o seu levantamento e, com isso, a energia disponível é a teórica (E_t), dada pela energia potencial (V_1) gerada a partir da sua elevação.

A partir de t_1 , o martelo é liberado e segue até atingir a cabeça da bater no momento t_2 , fazendo com que, durante a queda, a energia potencial (V_1) se transforme em energia cinética (T_2), energia potencial de deformação elástica (V_2) e

trabalho (W_2). O trabalho se deve, principalmente, aos atritos gerados no equipamento, enquanto a energia de deformação elástica fica armazenada nas deformações reversíveis do cabo de suspensão do martelo.

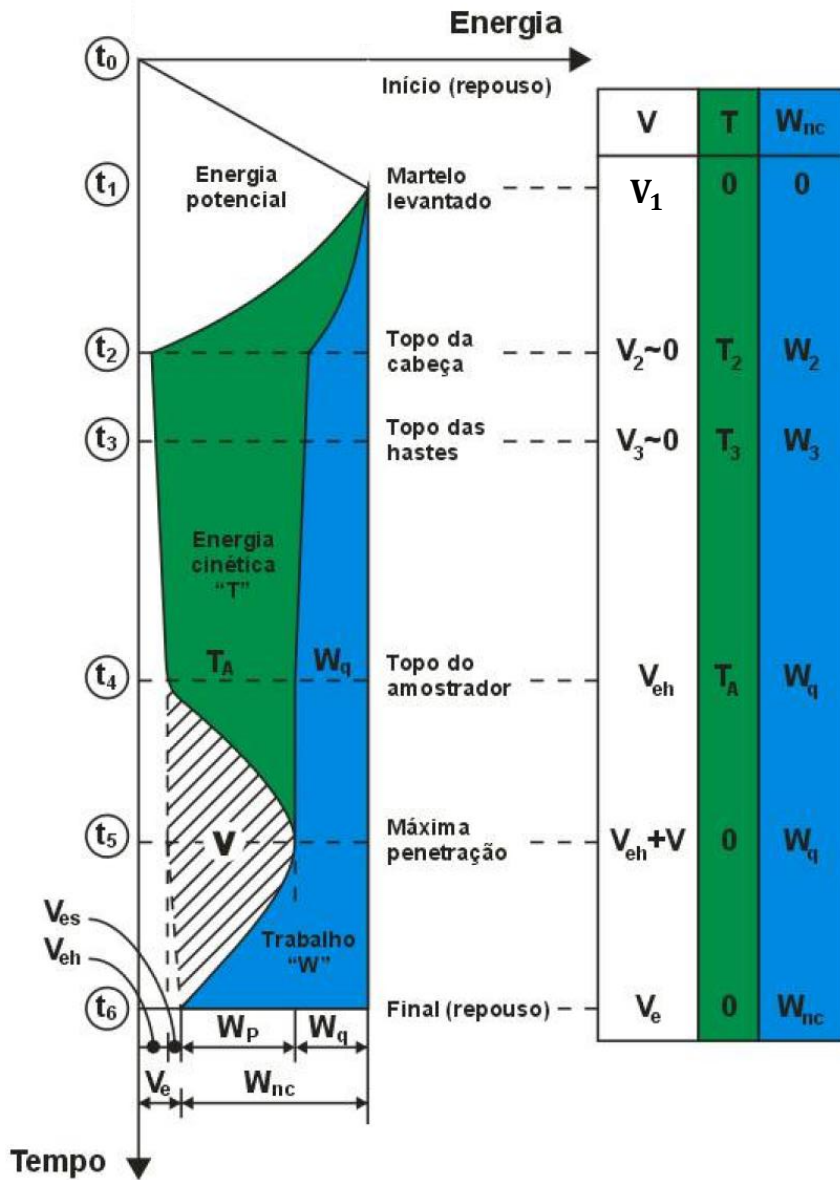


Figura 2.2 – Transformação da energia no ensaio SPT, adaptado de Neves (2004).

Durante o intervalo de tempo de t_2 a t_4 , a onda de compressão dinâmica, gerada pelo impacto, viaja do topo da cabeça de bater, passando ao longo do comprimento das hastes, até chegar ao topo do amostrador. Neste percurso, a energia cinética tem uma pequena redução de T_2 para T_3 , quando a onda atinge o topo das hastes e em seguida sofre uma redução maior para T_A . O trabalho tem um aumento suave de W_2 para W_3 e, por causa das deformações nas hastes, segue

crescendo até W_q . A energia de deformação elástica também tem um acréscimo de V_2 para V_{eh} , dado pelas deformações não permanentes nas hastes.

O intervalo de t_4 à t_5 ocorre simultaneamente ao período entre t_5 e t_6 . Neste tempo, acontece a penetração do amostrador no solo. A energia cinética (T_A) se transforma em energia potencial de deformação (V), que rapidamente vai se convertendo em trabalho (W_p) - em razão das forças não conservativas resistentes à cravação - e uma pequena parcela de energia potencial elástica (V_{es}), ocasionada pela deformação elástica do solo (ρ_{es}). O instante t_6 configura o repouso e término do evento.

A Figura 2.2 apoia as afirmações de Aoki & Cintra (2000). Os autores apontaram que a ENTHRU é a energia cinética máxima (T_2) observada no ensaio, aplicada no topo do conjunto de hastes. Estando a ENTHRU sujeita às perdas energéticas que ocorrem no comprimento da composição de hastes, Aoki & Cintra (2000) sugeriram a redefinição da eficiência (ef^*) do golpe do martelo (Equação 2.3) – eles propuseram que, em seu cálculo, fosse utilizada a relação entre energia cinética (T_A), medida na seção do topo do amostrador, e a energia teórica (E_t).

$$ef^* = \frac{T_A}{E_t} \times 100\% \quad (2.3)$$

Aoki & Cintra (2000) também observaram que (T_A) é equivalente à soma das parcelas de deformação elástica do solo (ρ_{es}) e de trabalho gerado pela cravação do amostrador (W_p); de forma que a eficiência do golpe tem relação direta com a penetração permante observada (ρ_p). Sendo o comprimento de cravação definitivo diretamente proporcional ao trabalho W_p , os autores concluíram que a definição da eficiência teria uma boa correlação com o trabalho realizado, como mostra a Equação 2.4.

$$ef^* = \frac{W_p}{E_t} \times 100\% \quad (2.4)$$

A partir da publicação de Aoki & Cintra (2000), pesquisas foram direcionadas à interpretação e à medição da energia (T_A) e do trabalho (W_p) observados durante o evento dinâmico do golpe do ensaio SPT. Como exemplos, Odebrecht (2003), Neves (2004), Aoki *et al.* (2007), Noreña (2011), Lukiantchuki (2012) e Morais (2014).

Neves (2004) e Aoki *et al.* (2007) apresentaram uma metodologia para a obtenção da eficiência de ensaios SPT a partir de provas de carga estática executadas no amostrador. Mesmo sendo dinâmica a solicitação gerada pelo golpe, os autores constataram, a partir da Equação 2.5 (Abou-Matar *et al.*, 1996), que para um instante (t), a resistência dinâmica total à cravação (R_t) se resumia ao valor da resistência estática (R_u), Equação 2.6. Tal conclusão se deu por observarem que as demais parcelas – relativas à força de amortecimento dinâmico (R_d) e à força inercial (R_a) – eram desprezíveis.

$$R_t(t) = R_u(t) + R_d(t) + R_a(t) \quad (2.5)$$

$$R_t(t) \cong R_u(t) \quad (2.6)$$

Noreña (2011), Lukiantchuki (2012) e Morais (2014) confirmaram a validade da Equação 2.6 por análises experimentais comparando as resistências R_t e R_u . Diante da interpretação da Equação 2.6, junto à análise do ensaio SPT sob a ótica do princípio de Hamilton, Neves (2004) e Aoki *et al.* (2007) constataram que o gráfico resistência \times deslocamento de uma prova de carga estática – realizada sobre o amostrador – delimita, entre as curvas de carregamento e descarregamento, uma área numericamente igual ao trabalho (W_p) (Figura 2.3).

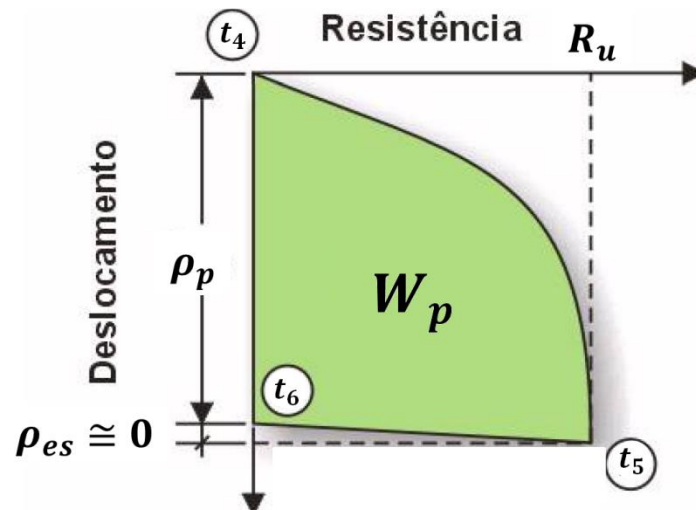


Figura 2.3 – Resultado de uma prova de carga estática realizada sobre o amostrador (Neves, 2004).

Os instantes t_4 , t_5 e t_6 da Figura 2.2, por analogia, podem ser comparados aos momentos da Figura 2.3 relativos ao início do carregamento e ao início ao fim do descarregamento, respectivamente. No instante t_6 , os autores observaram uma

curva de descarregamento muito próxima a uma reta horizontal e com isso verificaram que para as areias e siltes arenosos que eles analisaram, o valor da deformação elástica do solo (ρ_{es}) é desprezível, assim como a parcela de energia potencial elástica (V_{es}) a ela relacionada.

Como o índice N_{spt} indica a quantidade de golpes dados para uma penetração de 30 cm, é possível calcular a penetração média por golpe do ensaio SPT (ρ_{pm}) pela Equação 2.7.

$$\rho_{pm} = \frac{30 \text{ cm}}{N_{spt}} \quad (2.7)$$

Combinando as Equações 2.3 e 2.7 com a relação física entre trabalho, força e deslocamento, Neves (2004) e Aoki *et al.* (2007) propuseram a Equação 2.8 para o cálculo da eficiência em termos da resistência à penetração estática do amostrador (Ru), determinada pela prova de carga estática (Figura 2.3).

$$ef^* = \frac{Ru \cdot 30cm}{E_t \cdot N_{spt}} \quad (2.8)$$

Quintero-Baños (2016) forneceu a informação de que, atualmente, a norma NBR 6484/2001 encontra-se em revisão e a nova versão apresentará como parte complementar, mas não obrigatória, uma metodologia para avaliação da energia em ensaios SPT. A proposta de Neves (2004) e Aoki *et al.* (2007) é uma boa alternativa, considerando seu baixo custo e simples aplicação, quando comparada às metodologias tradicionais de obtenção da eficiência que utilizam instrumentação com acelerômetros e medidores de deformação.

Quanto à energia teórica (E_t) considerada para o cálculo da eficiência, a princípio, foi definida como a energia potencial relativa à posição inicial do martelo (Equação 2.9), considerando sua massa (m_m), sua altura de queda (h_m) e a aceleração da gravidade (g). Para ensaios regidos pela NBR 8464/2001, o valor de E_t , por tal consideração, é de aproximadamente 478,2 J, relativo à queda de um martelo de 637,4N a uma altura de 0,75 m.

$$E_t = m_m \cdot g \cdot h_m = 65 \times 9,81 \times 0,75 = 478,2 \text{ J} \quad (2.9)$$

Entretanto, Odebrecht (2003) demonstrou que ao longo dos golpes para a cravação do amostrador, ocorrem acréscimos na energia teórica, tendo em vista que a altura de queda do martelo é acrescida da penetração permanente que acontece.

A Figura 2.4 mostra a posição do martelo e do sistema formado pela cabeça de bater, hastes e amostrador nos momentos t_1 , t_2 e t_6 .

No instante t_6 , é possível visualizar que os centros de massa do martelo e das hastes tiveram um deslocamento em relação às suas posições nos instantes t_1 e t_2 . O deslocamento sofrido, que é igual à penetração definitiva do amostrador, é responsável pela parcela adicional da energia teórica que deve ser considerada. A variação na energia potencial, correspondente à diferença de posição do conjunto de hastes, pode ser significativa no caso em que se tem comprimentos longos.

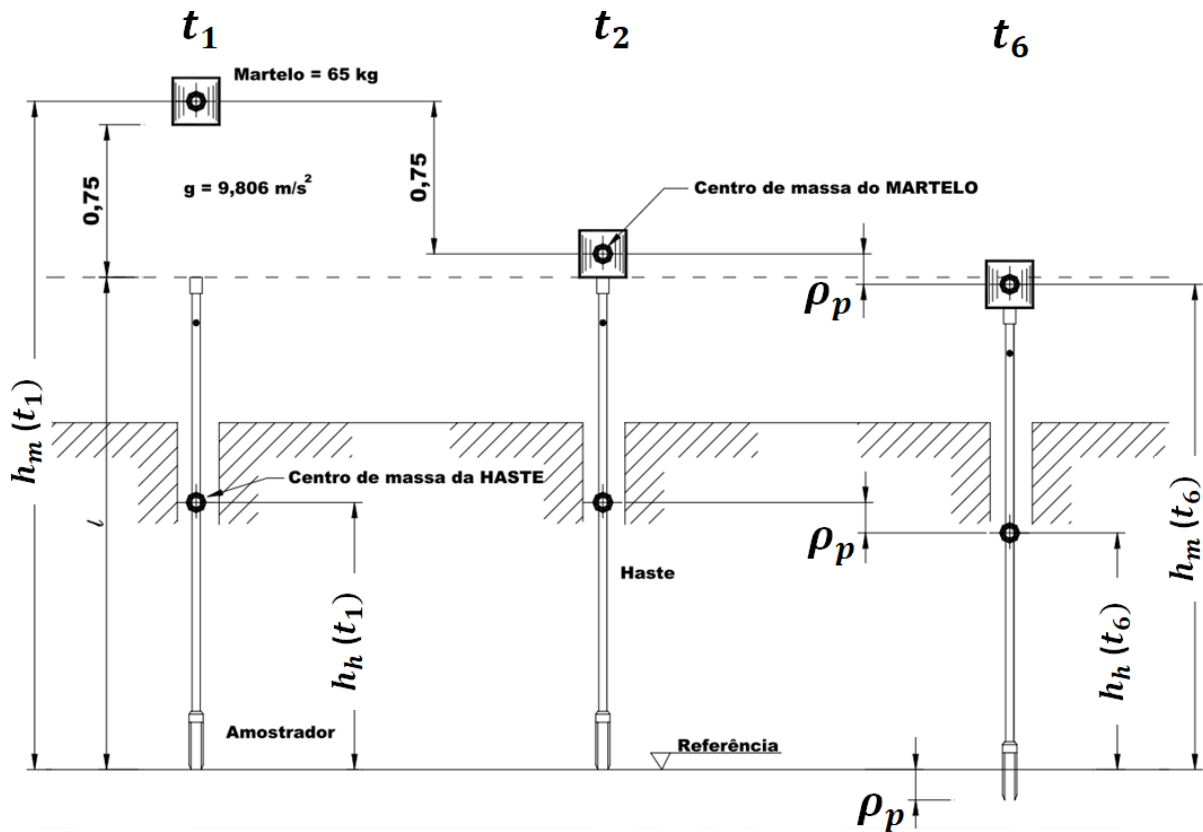


Figura 2.4 – Acréscimos de energia potencial devido à penetração do amostrador (Odebrecht, 2003).

Como proposta para a inclusão dos acréscimos energéticos, Odebrecht (2003) sugeriu a Equação 2.10 para obter uma energia teórica corrigida ($E_{t_{sist}}$), que além dos parâmetros já considerados na Equação 2.9, leva em conta a massa da composição de hastes (m_h) e a penetração permanente do amostrador (ρ_p).

$$E_{t_{sist}} = m_m g (h_m + \rho_p) + m_h g \rho_p \quad (2.10)$$

Tendo em vista os estudos a respeito da energia envolvida no ensaio SPT e embasado na interpretação deste ensaio considerando o Princípio da Conservação da Energia, Aoki (2013) propôs uma metodologia para a determinação da resistência de ponta e do atrito lateral para fins de dimensionamento de estacas. O método proposto visa proporcionar uma abordagem mais teórica e racional na estimativa destes parâmetros, que são majoritariamente estimados por métodos empíricos e semi-empíricos. O autor também usou como referência Belincanta (1985), Cavalcante (2002) e Odebrecht (2003), que desenvolveram análises de teórico-experimentais do impacto do martelo baseadas na teoria da equação da onda longitudinal.

2.1.1.2. Proposição de Aoki (2013)

A proposta de Aoki (2013) para a determinação de resistência de ponta e de atrito lateral foi desenvolvida a partir da análise do equilíbrio estático das forças atuantes no amostrador (Figura 2.5).

As tensões de atrito r_{Le} – desenvolvida na parede externa do amostrador e no chanfro – e r_{Li} – desenvolvida na parede interna – resultam nas forças de atrito R_1 , R_2 e R_4 e R_5 . As forças R_1 e R_2 são relativas ao atrito nas paredes verticais externa e interna, respectivamente; enquanto R_4 e R_5 correspondem, nesta ordem, às componentes vertical e horizontal da força de atrito resultante ao longo da superfície biselada troncônica do amostrador. A força de reação vertical na seção anelar da ponta do amostrador é R_3 .

As medidas D_{ext} , D_{int} e D_p são os diâmetros externo, interno e da ponta do amostrador, respectivamente. L é o comprimento do chanfro, L_p seu comprimento vertical e S_L a área de sua superfície. Para os ensaios realizados de acordo com a norma brasileira, a NBR 6484/2001 especifica as dimensões do amostrador padrão e nela são encontrados os valores destas medidas.

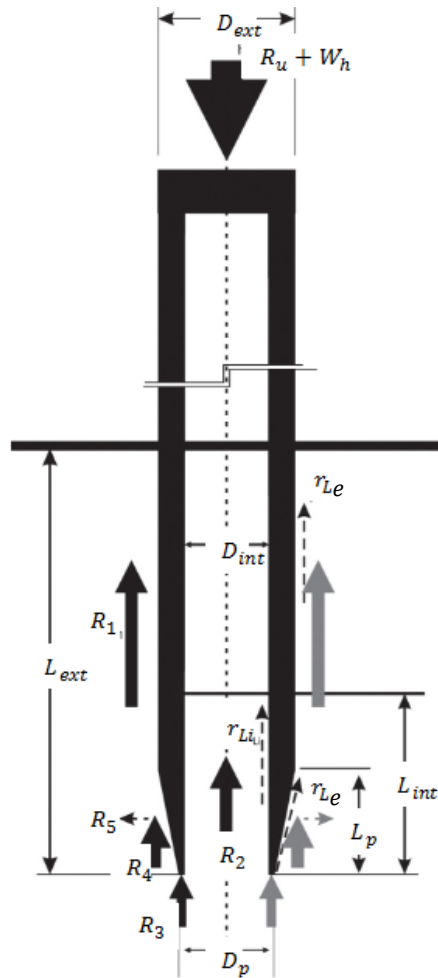


Figura 2.5 – Equilíbrio das forças atuantes no amostrador (Aoki, 2013).

Chamado de embuchamento, L_{int} é o comprimento da amostra de solo recuperada do interior do amostrador a cada medida de N_{spt} . Aoki (2013) inovou ao sugerir que durante o ensaio sejam obtidos adicionalmente os valores de L_{int} , que são imprescindíveis à aplicação do método proposto pelo autor. Também representada na Figura 2.5, a penetração total do amostrador no solo, normatizada pela NBR 6484/2001 em 450 mm, é denotada por L_{ext} .

O equilíbrio estático das forças exibidas na Figura 2.5 é dado pela Equação 2.11, em que R_u é a resistência do solo à penetração estática do amostrador. Sua determinação é dada pelo rearranjo da Equação 2.8 e deve considerar a variação da energia teórica (Odebrecht, 2003; Aoki, 2013) e eficiência do ensaio, medida previamente. W_h é o peso do conjunto de hastes e cabeça de bater. As equações de R_1 , R_2 , R_3 e R_4 estão disponíveis em Aoki (2013) e são funções das dimensões do amostrador e das tensões dos atritos unitários r_{Le} e r_{Li} .

$$Ru + W_h = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (2.11)$$

Para o desenvolvimento do método, o autor definiu a relação entre r_{Li} e r_{Le} como o fator a (Equação 2.12). Formas de obtenção deste fator e valores encontrados na literatura são apresentados na Seção 2.1.1.3.

$$a = \frac{r_{Li}}{r_{Le}} \quad (2.12)$$

O método considera, pelo equilíbrio de forças da Figura 2.6, que a força de atrito R_2 é igual à resultante da resistência sob a ponta aberta do amostrador (r_p). Esta premissa é uma simplificação, que despreza a parcela de R_3 (reação na seção anelar da ponta do amostrador), assumindo-se que ela é muito pequena em relação a R_2 . Além disso, foi utilizada a definição de R_f empregada nos ensaios de cone, ou seja, a razão entre as resistências unitárias de ponta (r_p) e de atrito lateral r_{Le} . Assim, foi estabelecida a Equação (2.13) que visa à determinação da razão de atrito (R_f) em termos de a .

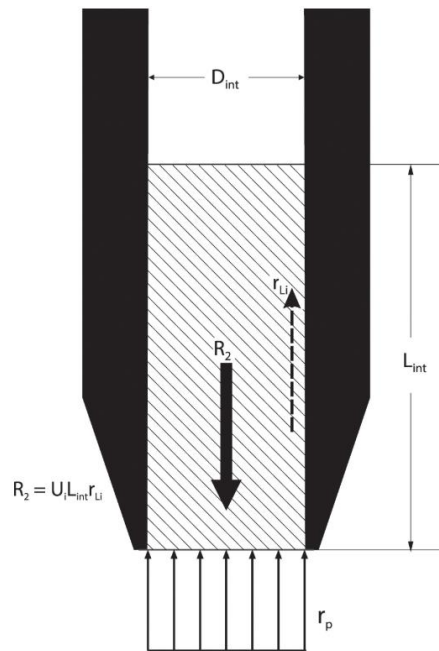


Figura 2.6 – Equilíbrio estático de forças na ponta do amostrador (Aoki, 2013).

$$R_f = \frac{D_{int}}{(4 \times a \times L_{int})} \quad (2.13)$$

As equações do método de Aoki (2013) para resistência lateral (Equação 2.14) e de ponta (Equação 2.15) foram deduzidas com base nas considerações abordadas nesta seção, que discorre brevemente sobre os principais aspectos do

desenvolvimento do método. A dedução de equações pode ser encontrada detalhadamente em sua publicação.

$$r_{Le} = \frac{R_u + W_h}{\pi D_{ext}(L_{ext} - D_p) + \alpha \pi D_{int} L_{int} + \frac{\alpha \pi L_{int}}{4 D_{int}} (D_p - D_{int})^2 + \frac{\pi L_p}{2} (D_{ext} + D_p)} \quad (2.14)$$

$$r_p = \frac{r_{Le}}{R_f} \quad (2.15)$$

Observando a Equação 2.14, pode-se perceber que para a sua resolução é necessário conhecer o valor de L_{int} . Portanto, para a aplicação deste método, o ensaio SPT utilizado para as previsões das resistências com o método de Aoki (2013) precisa apresentar em seus resultados as medidas do embuchamento do solo.

Mesmo sendo um método recente, existem alguns estudos direcionados à avaliação de sua eficácia na interpretação de r_{Le} e r_p . Entre eles, Rocha *et al.* (2015), Aguiar *et al.* (2016), Morais (2014) e Quintero-Baños (2016). Todos estes citados concluíram que é possível determinar experimentalmente as resistências unitárias de atrito e ponta e que essa forma de interpretação confere ao ensaio um maior embasamento científico, aumentando sua credibilidade.

Rocha *et al.* (2015) fizeram uma comparação entre as resistências unitárias de atrito lateral obtidas por resultados de cone elétrico e mecânico e as resistências estimadas pela aplicação da proposta de Aoki (2013) a ensaios SPT (Figura 2.7). Os ensaios foram realizados nos campos experimentais da Unicamp, em Campinas (Figura 2.7a), e da USP, em São Carlos (Figura 2.7b).

De acordo com os resultados da Figura 2.7, Rocha *et al.* (2015) concluíram que para os ensaios procedidos, o método mostra-se eficiente para a previsão de atrito até a profundidade de seis metros, faixa de solo em que é observada uma argila arenosa. Os autores não mencionaram se chegaram a essa conclusão a partir de análises estatísticas, o que seria o mais adequado a ser feito. Pelo que se pode ver na Figura 2.7, a diferença absoluta entre os resultados de cone e as estimativas pelo SPT realmente é menor nas profundidades iniciais, mas isso é esperado por causa da magnitude dos valores, que também é menor. O cálculo das diferenças relativas ajudaria a suportar a conclusão dos autores.

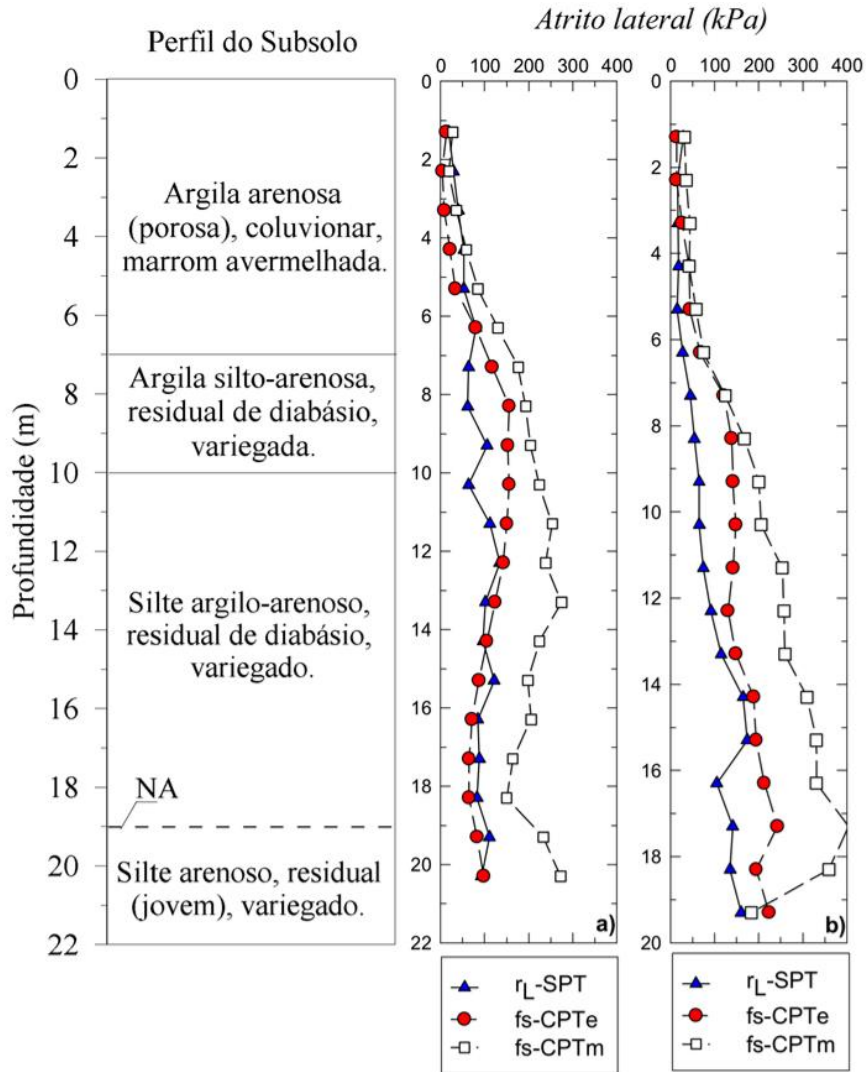


Figura 2.7 – Atrito lateral por Aoki (2013) e por ensaios de cone mecânico (CPTm) e elétrico (CPTe) – Adaptado de Rocha *et al.* (2015).

Aguiar *et al.* (2016) estabeleceram uma comparação entre resultados de prova de carga e previsões de capacidade de carga dadas por diversos métodos da literatura que usam o índice N_{spt} , incluindo o de Aoki (2013). Foram realizadas três sondagens com medição de torque (SPT-T) e embuchamento no campo experimental da Universidade de Fortaleza e duas provas de carga em estacas do tipo raiz com seis metros de comprimento e diâmetro de 310 mm. O perfil do solo do local indicou uma camada de areia siltosa até os seis primeiros metros de profundidade e silte argiloso na camada imediatamente inferior. As estimativas obtidas pelos métodos foram comparadas com a média das cargas de ruptura dadas pelas provas de carga, de 630 kN. O gráfico comparativo dos resultados encontra-se na Figura 2.8.

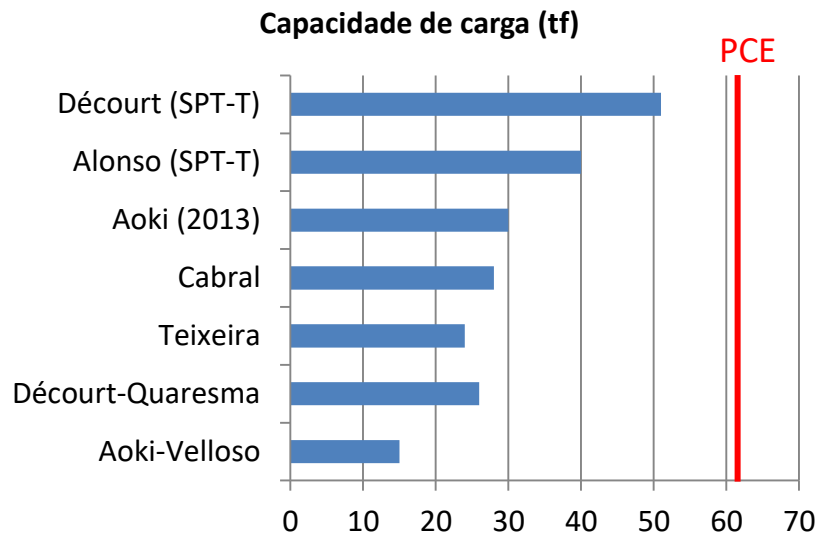


Figura 2.8 – Comparação da capacidade de carga dada por diferentes métodos - Adaptado de Aguiar *et al.* (2016).

Aguiar *et al.* (2016) concluíram que o método de Aoki (2013) e os métodos baseados no SPT-T apresentam os melhores desempenhos dentre os analisados, de forma que pode ser reforçada a importância da busca por procedimentos complementares no ensaio SPT, como a medição de torque e a verificação da medida de solo recuperado no amostrador padrão, a fim de proporcionar melhorias na qualidade e embasamento teórico dos métodos de previsão de parâmetros utilizados em projetos de fundações.

2.1.1.3. Fator α , de Aoki (2013)

Para a determinação do fator α , dado pela Equação 2.12, é preciso que sejam conhecidos os valores dos atritos desenvolvidos nas paredes interna e externa do amostrador. Aoki (2013), estabeleceu a unidade como valor mínimo, o que garante que o atrito na parede interna seja sempre maior que o atrito na parede externa. A obtenção do valor de α foi abordada por Morais (2014), Zapata Galvis (2015) e Ferreira (2015), a partir de análises experimentais.

a) Fator α por ensaios SPT-T

Morais (2014) buscou a obtenção do atrito lateral externo desenvolvido na interface solo-amostrador pela proposta de Ranzini (1988), que consiste na medida do esforço de torção aplicado ao topo da composição de hastes. A idealização de que essa medida fosse obtida após a etapa final de penetração do amostrador a

cada metro, foi de Lutenegeger & Kelley (1998). O ensaio SPT seguido da medição do torque é chamado de SPT-T. Morais (2014) registrou os valores de torques máximos alcançados ($T_{m\acute{a}x}$) e torques residuais (T_{res}), estes últimos medidos nas duas voltas completas dadas pela rotação do sistema haste-amostrador após a obtenção de $T_{m\acute{a}x}$. Foi utilizada a Equação 2.16 (Ranzini, 1988; Ranzini, 1994) que assume que o atrito lateral é constante ao longo da superfície em que é desenvolvido.

$$r_{Le} = \frac{1000 T_{m\acute{a}x}}{(4,0537 L_{ext}^{-0,003171})} \quad (2.16)$$

Com os valores de r_{Le} , a autora utilizou a Equação 2.14 para a obtenção dos valores de a a cada profundidade.

b) Fator a por ensaios de extração de amostras

Para avaliar o atrito entre o solo e o amostrador, Zapata Galvis (2015) desenvolveu um equipamento de extração de amostras Figura 2.9.

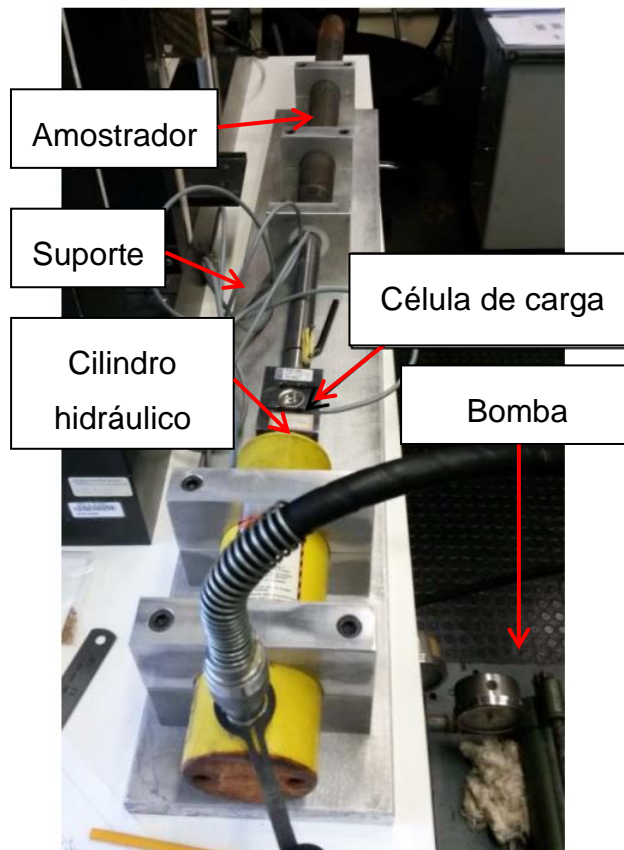


Figura 2.9 – Equipamento extrator de amostras (Zapata Galvis, 2015).

O equipamento é composto por um suporte metálico, onde são posicionados o amostrador e um cilindro hidráulico, responsável por transmitir à amostra de solo no interior do amostrador a carga necessária para deslocá-la.

Ao ser acionada, a bomba começa a aplicar a força, que é medida e registrada ao longo do tempo por uma célula de carga. A força de cisalhamento interna apresenta um pico, equivalente ao momento em que o movimento da amostra se inicia. A esse pico corresponde o atrito interno R_2 da Figura 2.5. A determinação do fator a foi feita pela solução por método iterativo das Equações 2.14 e 2.17 (Aoki, 2013).

$$R_2 = a \pi D_{int} L_{int} r_{Le} \quad (2.17)$$

O procedimento descrito foi realizado a cada metro de profundidade do ensaio. Para isso, após a cravação, o amostrador foi retirado do solo e desacoplado do conjunto de hastes.

c) Fator a por ensaios de arrancamento do amostrador

Ferreira (2015) estimou valores do fator a a partir dos resultados de ensaios de arrancamento do amostrador realizados após a sua cravação. O autor não dispunha de cilindro hidráulico vazado, então usou um cilindro maciço, posicionado abaixo de uma viga de reação, para aplicar uma carga estática crescente de tração, transmitida ao sistema de hastes e amostrador (Figura 2.10).

Os arrancamentos aconteceram imediatamente após cada ensaio SPT, requisito adotado pelo autor para que fosse simulada a mesma condição não drenada do ensaio dinâmico.

A curva carga \times deslocamento típica do ensaio apresentou uma carga de ruptura (Q_u), da qual descontado o peso das hastes (W_h) e o peso do amostrador (W_a), obteve-se o valor da resistência por atrito lateral externo (R_{Le}), conforme a Equação 2.18.

$$R_{Le} = Q_u - (W_h + W_a) \quad (2.18)$$

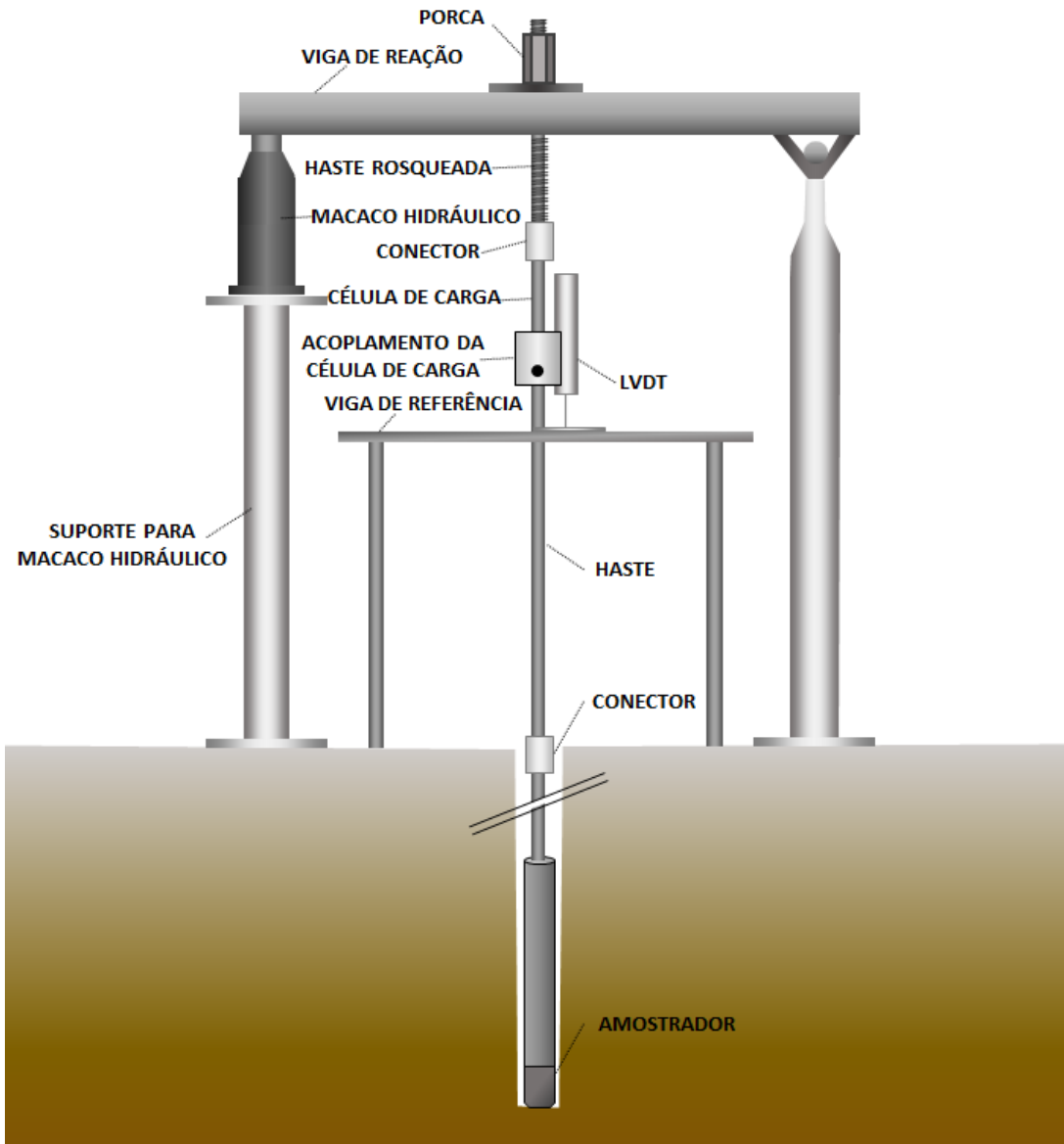


Figura 2.10 – Ensaio de arrancamento do amostrador, adaptado de Ferreira (2015).

O valor da tensão de atrito externo (r_{Le}) foi facilmente obtido pela Equação 2.19, dividindo R_{Le} pela área da superfície externa do amostrador (S_a). Quanto à tensão de atrito interno (r_{Li}), esta pôde ser determinada rearranjando a Equação 2.20 de Aoki (2013). O valor de R_2 foi dado pela Equação 2.21, que representa o equilíbrio estático das forças verticais (R_u , W_h , R_{Le} e R_2) envolvidas na Figura 2.5.

$$r_{Le} = \frac{R_{Le}}{S_a} \quad (2.19)$$

$$R_2 = \pi D_{int} L_{int} r_{Li} \quad (2.20)$$

$$R_2 = R_u + W_h - R_{Le} \quad (2.21)$$

Com esta rotina de cálculos, o autor determinou os valores do fator a .

d) Valores encontrados na literatura

A tabela 2.1 resume os resultados encontrados por Morais (2014), Zapata Galvis (2015) e Ferreira (2015).

O perfil geotécnico do local estudado por Morais foi o mesmo da Figura 2.7. A autora observou a diminuição do fator a com o aumento da fração de areia ao longo da profundidade do perfil investigado e constatou o crescimento do valor de a à medida que ocorre o aumento da proporção de argila no solo. Em contrapartida, Ferreira (2015) observou a diminuição dos valores de a à medida que a porcentagem de argila aumentava.

Zapata Galvis (2015) encontrou, para areia argilosa, resultados próximos à unidade, embora muitos dos valores tenham ficado abaixo do mínimo estabelecido por Aoki (2013). Os resultados vão de encontro à premissa de atritos internos sempre maiores que os externos.

Tabela 2.1 – Valores do fator a encontrados na literatura.

Método e autor	Faixa de valores de a	Média de a	Tipo de solo	Profundidade (m)	N _{spt} médio
Ensaio SPT-T Morais (2014)	4,6 a 11,3	7,3	Argila arenosa	0 a 6	3,9
	3,1 a 4,8	3,9	Argila silto-arenosa	6 a 9	6,7
	1,2 a 2,2	1,6	Silte argilo-arenoso	9 a 18	11,2
	1,6 a 2,2	1,9	Silte argilo-arenoso saturado	18 a 20	19,6
Ensaio de extração da amostra Zapata Galvis (2015)	0,7 a 2,9	1,4	Areia argilosa sedimentar	2 a 6	2,6
	0,5 a 1,2	0,8	Areia argilosa residual	6 a 10	6,1
Ensaio de arrancamento do amostrador Ferreira (2015)	10,5 a 27,8	16,8	Pedregulho arenoso	2	11,0
	2,4 a 3,3	2,6	Areia silto-argilosa	5	7,0
	8,8 a 13,6	10,8	Areia siltosa	10	17,0

Ferreira (2015) investigou a relação do fator a com outros parâmetros e encontrou um comportamento linear crescente com a razão entre o índice N_{spt} e a tensão efetiva vertical na profundidade do ensaio.

2.1.2. *Cone penetration test (CPT e CPTu)*

O ensaio de cone tem grande aplicabilidade na estimativa de parâmetros geotécnicos, determinação da estratigrafia do solo e na previsão de capacidade de carga de fundações. Desta forma, vem ganhando cada vez mais espaço nas investigações geotécnicas, o que reforça o crescimento do seu uso a nível internacional. Segundo Robertson (2013), este ensaio tem vantagens sobre outros métodos tradicionais de prospecção, como a rapidez na perfuração e na obtenção de resultados, além de gerar dados contínuos e ter forte base teórica.

O procedimento deste ensaio consiste na cravação de uma ponteira cônica a uma velocidade constante de 20 milímetros por segundo. Existem três categorias de equipamentos empregados em sua realização: cone mecânico, cone elétrico e piezocone. Este último é o equipamento mais completo: além de contar com a instrumentação elétrica para as medidas da resistência de ponta (q_c) e do atrito lateral (f_s), já vista no cone elétrico; é o único modelo cujas pressões neutras (u) também são monitoradas (Schnaid & Odebrecht, 2012). Os ensaios que dispõem desta última medida são chamados de CPTu, enquanto os que medem apenas as duas anteriores recebem o nome de CPT.

É possível fazer uma analogia entre os ensaios SPT e CPT, em virtude de serem dois ensaios de penetração, apesar de apresentarem solicitações diferentes (dinâmica e estática, nesta ordem) e das diferenças entre as geometrias dos respectivos equipamentos penetrantes no solo. A Figura 2.11 mostra o equilíbrio das forças envolvidas nos dois ensaios, verificado por Schmertmann (1979), quando estudou o ensaio SPT sob o ponto de vista estático.

Pela metodologia de Aoki (2013), são obtidas as resistências de ponta (r_p) e lateral (r_{le}) a partir dos resultados de ensaios SPT. O autor afirmou que de acordo com seu método, quando medidos os embuchamentos, o SPT pode ser um substituto do CPT. Ferreira (2015) investigou a possibilidade de equivalência entre as resistências de ponta dos ensaios SPT e CPT, tentando correlacioná-las. O autor observou uma relação direta entre as medidas e concluiu que o uso desse tipo de correlação é mais adequado que o comumente utilizado, entre a resistência de ponta do ensaio do cone e o valor de N_{spt} .

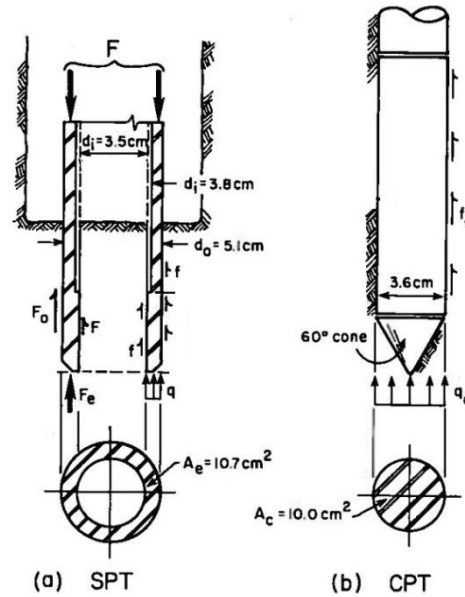


Figura 2.11 – Equilíbrio estático de forças durante a carvação no ensaios SPT (a) e CPT (b) (Schmertmann, 1979).

2.2. Geoestatística

Para uma representação apropriada das condições do subsolo de um local onde se deseja desenvolver um projeto, é primordial avaliá-las realizando a caracterização do local por meio de um programa de investigação geotécnica. Considerando que o custo dos ensaios e o cronograma a ser seguido são fatores limitantes na aquisição dos dados necessários a um projeto; e associando esta consideração à importância de compreender a existência da variabilidade espacial das propriedades do solo, haverá sempre uma busca por realizar uma investigação geotécnica satisfatória tanto em relação ao volume de dados adquiridos, quanto ao valor e tempo despendidos para tal. Disso, surge o desafio de descrever as condições de um local dispondo de um conjunto limitado de informações.

Krage *et al.* (2016) apresentaram uma metodologia integrada para a caracterização de subsolos, que além da etapa de investigação geotécnica, incorpora uma etapa de idealização do local, precedente à análise e projeto, envolvendo uma abordagem geoestatística dos dados como uma forma útil para considerar a variabilidade espacial (fluxograma da Figura 2.12). Ou seja, após o levantamento dos dados do sítio, esta etapa de idealização deve ser dedicada à avaliação da variabilidade espacial dos parâmetros considerados e à predição de

seus valores em regiões de interesse – os quais serão utilizados posteriormente na etapa de análise e projeto.

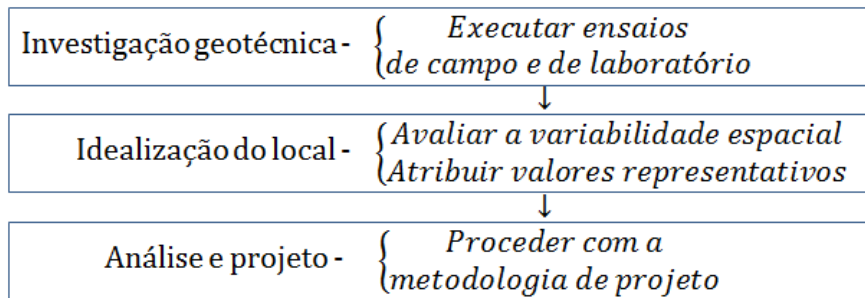


Figura 2.12 – Metodologia integrada de caracterização do subsolo (Adaptado de Krage *et al.*, 2016).

A geoestatística é um conjunto de técnicas que servem como ferramenta para o estudo de fenômenos naturais estruturados no espaço (Yamamoto & Landim, 2013), sendo útil tanto na análise da variabilidade, como na inferência espacial. Para o entendimento dos fenômenos naturais estruturados no espaço, faz-se necessário recorrer à Teoria das Variáveis Regionalizadas de Georges Matheron. Matheron (1966) introduziu o conceito de variáveis regionalizadas como aquelas que apresentam em sua distribuição no espaço dois aspectos: um aspecto aleatório, que não permite uma estimativa perfeita por métodos tradicionais de previsão do parâmetro estudado; e um aspecto estruturado espacialmente, que confere certa continuidade à variabilidade do parâmetro em foco, o que não permite a previsão da variável por métodos puramente estatísticos. A Teoria das Variáveis Regionalizadas destaca a localização, a continuidade, a anisotropia e os fenômenos de transição como aspectos que a estatística é incapaz de exprimir, mas que devem ser considerados no tratamento de um fenômeno natural estruturado no espaço. Desta forma, a geoestatística é a ferramenta adequada ao estudo de variáveis regionalizadas e engloba métodos que abrangem tais aspectos.

O estudo geoestatístico inicia com a coleta da amostra, constituída pelos resultados de um conjunto de ensaios realizados e visa fazer, a partir dela, o melhor uso dos dados disponíveis para a inferência das informações desejadas, percorrendo duas fases – tratadas de forma mais específica nas próximas seções deste capítulo.

A primeira fase engloba uma etapa de análise do comportamento espacial da variável considerada. Para a compreensão da variabilidade espacial de um parâmetro, nesta fase são realizados o cálculo e a modelagem de variogramas experimentais, ferramentas que permitirão determinar a correlação espacial entre dois pontos quaisquer situados na área de amostragem. Este assunto é abordado na Seção 2.2.1.

A segunda fase diz respeito ao processo de inferência espacial e nela são realizadas as estimativas geoestatísticas. Como ferramenta de estimativa de variáveis regionalizadas, a krigagem mostra-se apta a considerar o comportamento de um fenômeno natural estruturado no espaço, dado que utiliza o resultado da análise variográfica, e assim, leva em conta o modelo de correlação espacial do problema, o que a destaca de outros métodos de interpolação, tornando-a uma técnica fundamental ao estudo geoestatístico. A Seção 2.2.2 trata deste assunto com mais clareza.

2.2.1. Análise variográfica

O estudo da variografia visa ao entendimento do comportamento espacial de uma variável, de forma a determinar as correlações espaciais entre valores relativos a quaisquer pontos compreendidos no espaço amostrado. O variograma é a ferramenta capaz de refletir a estrutura do fenômeno analisado e torna-se imprescindível na identificação e quantificação da dispersão natural da variável observada. Embora o acervo bibliográfico que trata deste assunto seja extenso, Journel & Huijbregts (1978), Clark (1979), Landim (2003) e Yamamoto & Landim (2013) foram algumas das obras consultadas para a redação desta seção.

A análise variográfica consiste na elaboração de um variograma experimental, seguida do ajuste de um modelo teórico ao gráfico obtido, o qual descreverá a correlação espacial entre pares de pontos situados na zona de amostragem (Figura 2.13).

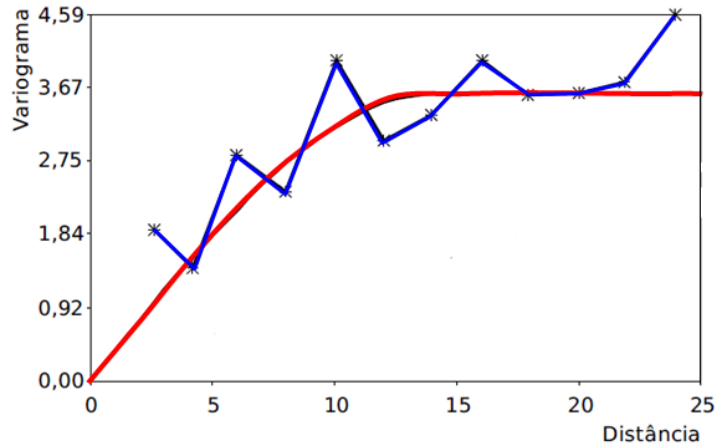


Figura 2.13 – Variograma experimental (azul) e modelo ajustado (vermelho)
(Adaptado de Yamamoto & Landim, 2013).

De acordo com a bibliografia geoestatística, a função variograma $\gamma(h)$, utilizada para gerar a curva experimental, é equivalente à variância do incremento $[Z(x_i + h) - Z(x_i)]$, dada pela Equação 2.22, em que h é uma distância arbitrária, cujo valor deve variar sucessivamente da distância mínima entre pares de pontos amostrados até a metade da máxima distância entre os limites da região de amostragem (Journel & Huijbregts, 1978), denominada por Yamamoto & Landim (2013) como campo geométrico.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (2.22)$$

A cada valor de h , podem ser observados n pares de pontos amostrados, separados entre si pela distância considerada. Para cada par de pontos, $Z(x_i)$ é o valor verificado para a variável no ponto x_i e $Z(x_i + h)$ é o valor referente à mesma variável, observado para um ponto localizado a uma distância h do ponto x_i . Journel & Huijbregts (1978) recomendaram o emprego da função variograma para valores de h que conduzam a um número de pares maior que trinta. Em relação a essa recomendação, Yamamoto & Landim (2013) demonstraram que para distâncias grandes, maiores que o campo geométrico, o número de pares tende a reduzir e a função variograma fica sujeita a grande flutuação estatística e conseqüente perda de seu significado.

No estudo variográfico, o grau de continuidade espacial de uma variável regionalizada é interpretado analisando-se a variância (medida estatística de dispersão) entre valores de pontos espaçados. O ajuste ao gráfico experimental de

um modelo de variograma teórico permite que a variância relativa a cada distância seja descrita por uma curva representante da estrutura espacial do fenômeno em foco. Quanto menor é a proximidade entre dois pontos, maior é a correlação espacial entre eles. Há, portanto, uma tendência de crescimento progressivo da diferença – e da variância – entre seus valores à medida que se tornam mais distantes, podendo haver uma estabilização em torno de um valor máximo, ou um crescimento incessante. Por isso, os diversos modelos teóricos de variograma (alguns exibidos na Figura 2.14) são expressos por funções crescentes com a distância, embora possam apresentar ou não um patamar que ajuste-se à estabilização da variância.

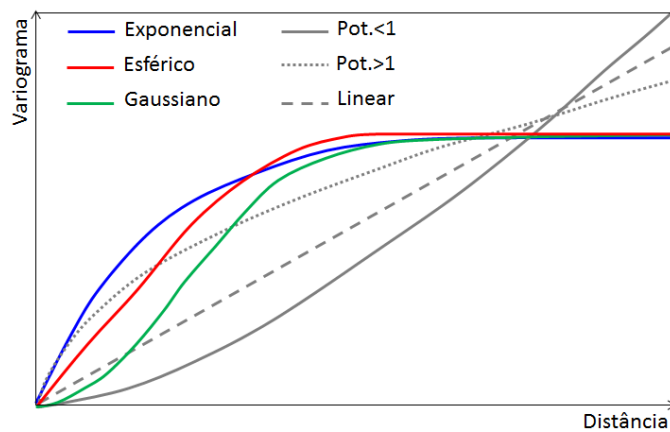


Figura 2.14 – Alguns modelos teóricos de Variograma (Adaptado de Yamamoto & Landim, 2013).

Os variogramas experimentais que não apresentam patamar podem ser representados por modelos de potência (Equação 2.23), em que o variograma é uma função da distância elevada a uma potência β , sendo k uma constante positiva. Yamamoto & Landim (2013) explicaram que a verificação de um crescimento incessante da variância pode acontecer por insuficiência de dados amostrais ou existência de tendência não central em sua distribuição.

$$\gamma(h) = k h^{\beta} ; (0 < \beta < 2) \quad (2.23)$$

A maioria dos fenômenos naturais estruturados no espaço apresenta a estabilização da variância e formação de um patamar. Para estes casos, os modelos teóricos esférico, exponencial ou gaussiano (Tabela 2.2, Equações 2.24, 2.25, 2.26 e 2.27, respectivamente) representam o comportamento espacial de grande parte das variáveis regionalizadas.

Tabela 2.2 – Modelos teóricos de variograma com patamar (Adaptado de Yamamoto & Landim, 2013).

Modelo	Equação
Esférico	$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{1,5h}{A} - 0,5 \left(\frac{h}{A} \right)^3 \right], h < A$ (2.24)
	$\gamma(h) = C_0 + C, h \geq A$ (2.25)
Exponencial	$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{\left(-\frac{h}{A} \right)} \right]$ (2.26)
Gaussiano	$\gamma(h) = C_0 + C \left\{ 1 - e^{\left[-\left(\frac{h}{A} \right)^2 \right]} \right\}$ (2.27)

Os parâmetros C_0 , C e a presentes nas equações dos modelos com patamar são demonstrados graficamente na Figura 2.15, na qual Farias *et al.* (2005) ilustraram no variograma o limite entre a aplicação da geoestatística e da estatística clássica, correspondente à distância a partir da qual é estabilizada a variância. A referida distância, para a qual se tem a verificação de um patamar, é denominada de alcance do variograma (A). O patamar, por sua vez, é a variância amostral, denominada por $C_0 + C$, em que: C é a variância espacial; e C_0 é o efeito pepita, variância aleatória que pode ou não ser observada, devida a fatores ligados a erros de amostragem, de escala, ou a presença de agrupamentos de pontos amostrados em uma região (Farias *et al.*, 2005). Quando o efeito pepita ocorre, é identificado por uma descontinuidade na origem do variograma, até a mínima distância de amostragem.

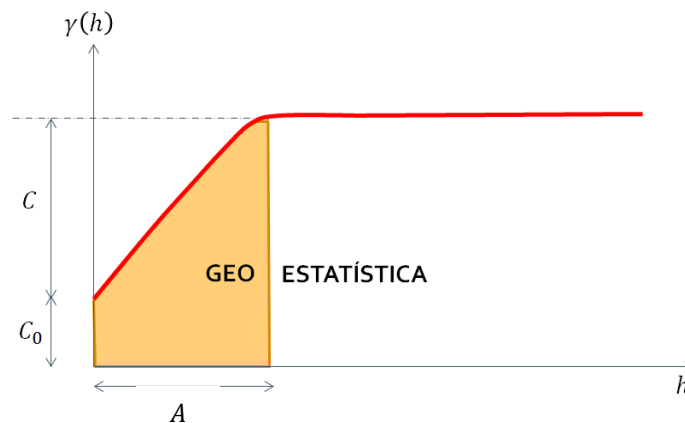


Figura 2.15 – Parâmetros de um variograma com patamar (Adaptado de Farias *et al.* 2005).

2.2.2. Inferência espacial

Para que o processo de estimativa de uma variável regionalizada forneça o melhor resultado possível, deve-se considerar uma abordagem geoestatística. Krigagem é a denominação utilizada para a técnica de inferência espacial mais difundida no tratamento de fenômenos naturais com distribuição estruturada no espaço. Esta técnica apresenta uma série de estimadores; no entanto, este trabalho abordará apenas o mais usual entre eles, a krigagem ordinária.

Diversos métodos matemáticos e estatísticos destinados às estimativas consideram a influência do valor e da localização de pontos amostrados na previsão de valores em locais onde não houve amostragem. Da mesma forma, a krigagem considera tais aspectos, embora destaque-se dos demais por utilizar o resultado de uma análise variográfica prévia, que auxiliará tanto na determinação dos pontos que influenciarão na estimativa, como também na atribuição de ponderadores associados a cada um deles (Figura 2.16). Portanto, é requisito para o uso da krigagem, o cálculo, a modelagem e a interpretação adequada do variograma. O propósito dos ponderadores é atribuir maiores contribuições aos pontos que apresentam menor variância em relação ao local de inferência. Por isso, Yamamoto & Landim (2013) referem-se à krigagem como uma técnica livre de estimativas tendenciosas e que apresenta a mínima variância associada ao valor estimado.

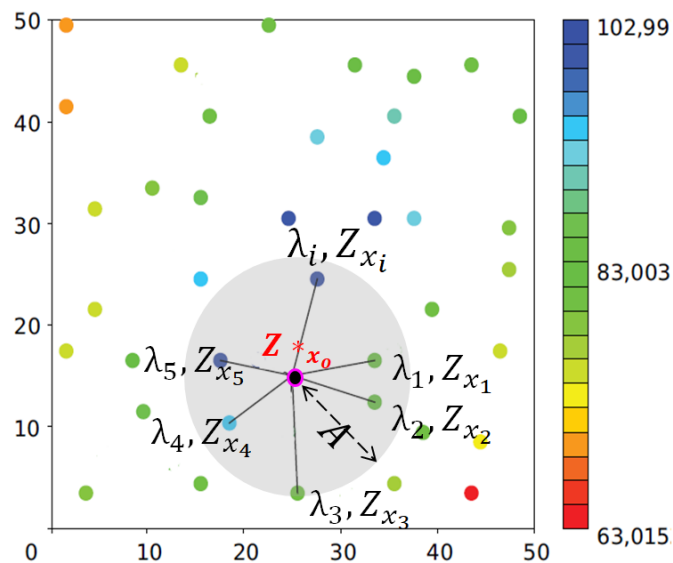


Figura 2.16 – Inferência espacial por krigagem (Adaptado de Yamamoto & Landim, 2013).

A Figura 2.16 facilita o entendimento dos aspectos envolvidos no processo de estimativa por krigagem do valor (Z_{*x_o}) de uma variável, para uma posição x_o onde não houve amostragem. O alcance (A), verificado na etapa de análise variográfica, determina uma área de influência dentro da qual os n pontos amostrados participarão do cálculo. A cada ponto (i) participante da estimativa, corresponde um fator (λ_i), ponderador do valor (Z_{x_i}) observado. Com isso, são conhecidos todos os parâmetros necessários à estimativa por krigagem ordinária, que é dada pela Equação 2.28:

$$Z_{*x_o} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{x_i} \quad (2.28)$$

O cálculo dos ponderadores (λ_i) é dado pela resolução da Equação matricial 2.29, em que $\lambda(x_i - x_j)$ é a covariância (Equação 2.30) variância entre as amostras localizadas nos pontos x_i e x_j ; e μ é o multiplicador de Lagrange, também incógnita do sistema. As considerações e etapas de dedução realizadas para chegar ao sistema de equações de krigagem ordinária expresso pela matriz 2.29 podem ser encontradas em Journel & Huijbregts (1978), Landim (2003) e Yamamoto & Landim (2013), entre outras referências.

$$\begin{bmatrix} \lambda(x_1 - x_1) & \lambda(x_1 - x_2) & \dots & \lambda(x_1 - x_n) & 1 \\ \lambda(x_2 - x_1) & \lambda(x_2 - x_2) & \dots & \lambda(x_2 - x_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \lambda(x_n - x_1) & \lambda(x_n - x_2) & \dots & \lambda(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda(x_0 - x_1) \\ \lambda(x_0 - x_2) \\ \vdots \\ \lambda(x_0 - x_n) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

$$\lambda(h) = (C_0 + C) - \gamma(h) \quad (2.30)$$

Em mapeamentos de grandes extensões, é muito usual o emprego da krigagem ordinária de blocos, um tipo de krigagem que estima um valor médio para um cubo de dimensões pré determinadas. O cubo é discretizado em pontos, relativos aos locais onde são realizadas as estimativas, cuja média corresponde ao valor inferido para o bloco.

CAPÍTULO 3

Metodologia

3.1. Visão geral

Este capítulo apresenta a metodologia adotada neste trabalho, fracionada em duas etapas.

A primeira etapa consistiu em quantificar a resistência de ponta e o atrito lateral observados em ensaios SPT, utilizando a proposta de Aoki (2013). Para viabilizar o uso do método escolhido, foi necessária a investigação dos valores do fator a para o local estudado, dada a partir da realização de ensaios de arrancamento do amostrador SPT. Também foi necessária a atualização do valor da energia teórica considerada por Costa *et al.* (2012) na obtenção da eficiência dos ensaios analisados neste trabalho.

A segunda etapa da metodologia consistiu em comparar os resultados de resistência de ponta e de atrito lateral do SPT, obtidos na primeira etapa, com os resultados de ensaios de cone realizados no mesmo local. Para viabilizar a análise da segunda etapa, procedeu-se um estudo geoestatístico das variáveis.

3.2. Área de estudo

Os dados utilizados nesta pesquisa são provenientes da investigação geotécnica do subsolo sobre o qual foi construído o estádio Arena das Dunas, localizado no bairro de Lagoa Nova, em Natal, Rio Grande do Norte (RN), Brasil.

3.2.1. Características geológicas

De acordo com o mapa geológico do RN de Angelim *et al.*(2007), o bairro de Lagoa Nova, onde foram realizados os ensaios, tem como coberturas cenozóicas (Figura 3.1) os depósitos colúvio-eluviais (N23c) e os depósitos eólicos litorâneos de paleodunas (N34elp), do período neógeno.

Os depósitos colúvio-eluviais são de sedimentos arenosos e areno-argilosos esbranquiçados e avermelhados. Podem incluir areias eólicas retrabalhadas e são

excelentes depósitos de areias quartzosas. Quanto aos depósitos eólicos litorâneos de paleodunas, estes são constituídos de areias finas e médias bem selecionadas, recobertas por vegetação. Suas areias são esbranquiçadas, de granulação fina a média, originadas por processos eólicos (Angelim et al., 2007).

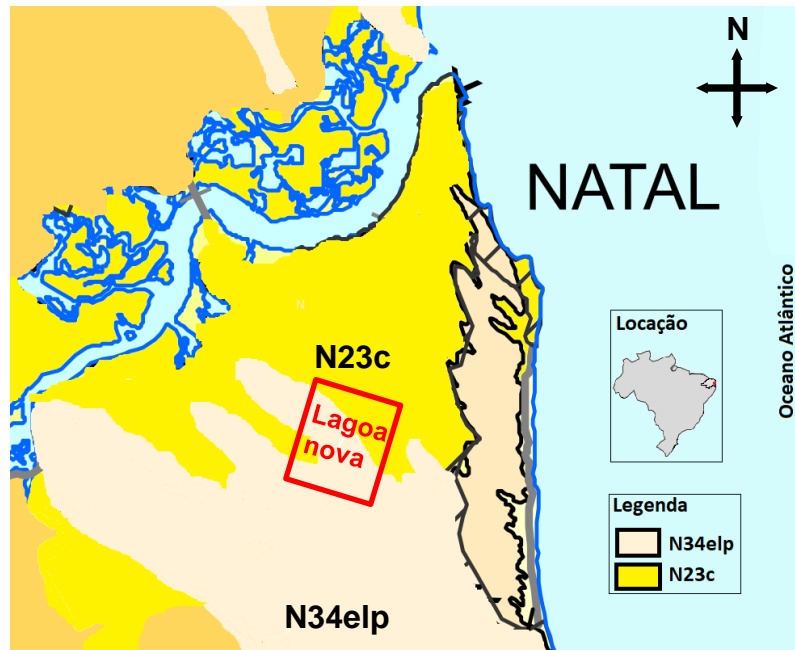


Figura 3.1 – Mapa de cobertura cenozóica de Natal, modificado de Angelim *et al.*, 2007.

No bairro de Lagoa Nova, os depósitos mencionados recobrem o Grupo Barreiras, formado por camadas de argila de cores variegadas, com leitos de areias inconsistentes e concreções ferruginosas (Angelim et al., 2007).

3.2.2. Características geotécnicas

O perfil do subsolo local é caracterizado pela presença de uma camada de areia fina, que inicia fofa na superfície e ganha compacidade ao longo da profundidade. Abaixo dela, pode ser observada uma camada de areia fina siltosa, seguida de argila dura com frações de areia.

Embora tenha sido observado que as espessuras das camadas sejam consideravelmente variáveis, a Figura 3.2 contém um perfil típico do local, obtido de um dos ensaios SPT analisados nesta pesquisa (SP106). Em agosto de 2012, data de realização das sondagens, não foi identificada a presença de nível freático.

Os valores de N_{spt} estão representados na Figura 3.2 e demonstram uma tendência de crescimento ao longo da profundidade. Ficam evidenciando valores

muito altos do índice na camada de argila, onde, na maioria dos casos, os ensaios foram interrompidos por atingirem a profundidade impenetrável.

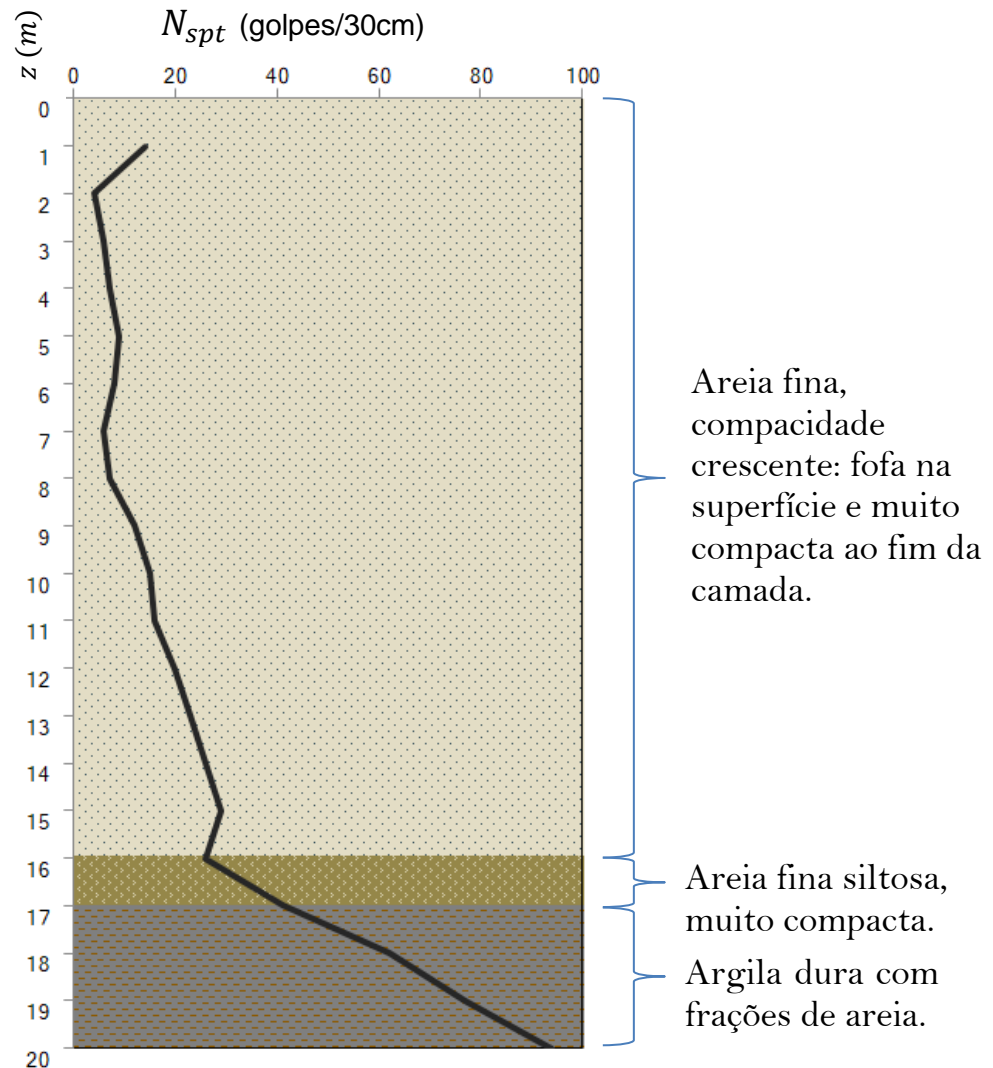


Figura 3.2 – Perfil típico do subsolo (furo SP106).

3.3. Campanha experimental

3.3.1. Disposições gerais

O programa de investigação geotécnica, realizado em agosto de 2012, abrangeu uma área de aproximadamente 47800 m². Foram 108 sondagens SPT (SP) e 8 ensaios CPTu (SM), que alcançaram entre 15 e 26 metros de profundidade. A Figura 3.3 contém a locação dos ensaios executados, com as cotas representadas em metros.

As sondagens SPT, executadas de acordo com a NBR 6484/2001, foram realizadas por três empresas distintas, mas apenas uma delas mediu e

disponibilizou as informações essenciais ao desenvolvimento deste trabalho: o valor da eficiência do golpe e os valores dos comprimentos das amostras de solo recuperadas a cada metro de ensaio. Esta empresa realizou um total de 58 ensaios, destacados em azul na Figura 3.3.

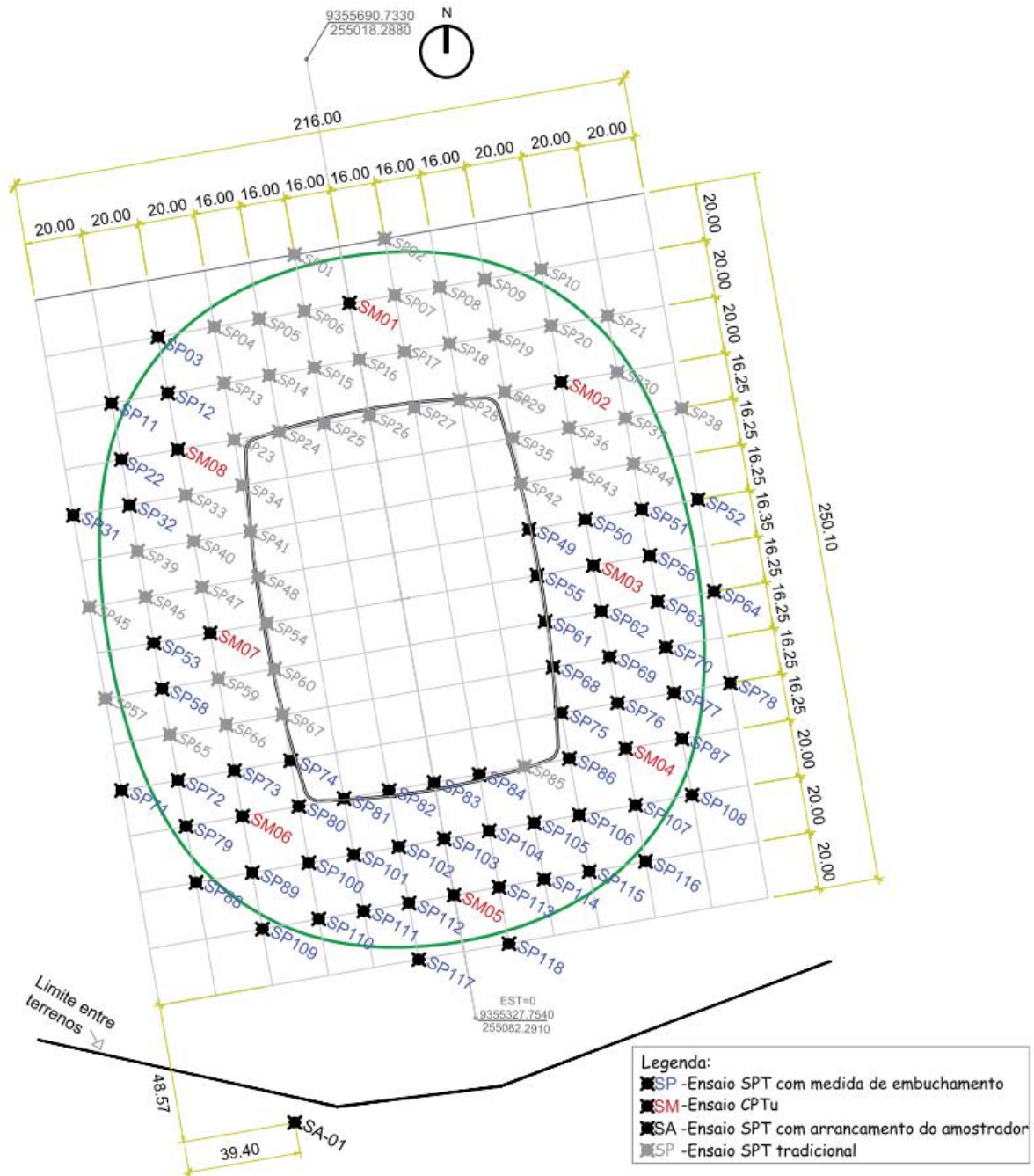


Figura 3.3 – Localização dos ensaios.

Além dos ensaios da investigação geotécnica para a construção do estádio, foi realizado, em janeiro de 2018, um ensaio SPT adicional (SA-01). O local foi escolhido de acordo com o espaço disponível mais próximo aos ensaios anteriores.

A menor distância encontrada, com área não construída suficiente, foi no terreno adjacente, onde fica localizado o Centro Administrativo do Estado.

O ensaio SA-01 incluiu 6 provas de carga de tração no conjunto de hastes e amostrador, em profundidades entre 2 e 17 metros, onde foi encontrado o impenetrável. Também foram medidos os comprimentos das amostras recuperadas a cada metro.

3.3.2. Ensaios SPT

3.3.2.1. Equipamentos

Os 58 ensaios SPT com medida de embuchamento, realizados em 2012, e o ensaio SA-01 tiveram os mesmos equipamentos empregados, cujas especificações estão de acordo com a NBR 6484/2001. Foram utilizados martelo maciço com pino guia e coxim de madeira, sistema de acionamento do martelo do tipo manual, cabeça de bater de tarugo de aço, hastes de um e dois metros com luvas convencionais para o acoplamento e amostrador tipo Raymond bipartido. As características dos equipamentos de interesse a este trabalho, estão apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Especificações dos equipamentos

Parâmetro	Valor
h_m - Altura de queda do martelo (cm)	75,00
m_m - Massa do martelo (kg)	65,00
m_c - Massa da cabeça de bater (kg)	3,60
m_h - Massa da haste (kg/m)	3,30
m_a - Massa do amostrador (kg)	9,40
D_{ext} - Diâmetro externo do amostrador (cm)	5,08
D_{int} - Diâmetro interno do amostrador (cm)	3,49
D_p - Diâmetro da ponta do amostrador (cm)	3,81
L - Comprimento do chanfro do amostrador (cm)	2,00
L_p - Comprimento vertical do chanfro do amostrador (cm)	2,00
S_L - Área da superfície do chanfro do amostrador (cm ²)	27,93

A Figura 3.4 mostra o ensaio SA-01 sendo realizado. Nela, é possível visualizar a torre de sondagem, uma parte do sistema de lavagem e o instante correspondente à elevação manual do martelo.



Figura 3.4 – Execução do ensaio SA-01.

3.3.3. Ensaio de arrancamento do amostrador

Os ensaios de arrancamento do amostrador foram realizados nas profundidades de 2, 5, 8, 11, 14 e 17 metros, imediatamente após o fim da cravação para a determinação do N_{spt} . Houve a preocupação de não prolongar o tempo de montagem do equipamento do ensaio, para preservar a condição não drenada do solo.

Os ensaios consistiram na aplicação de uma carga crescente de tração ao conjunto de hastes e amostrador, assim como foi feito por Ferreira (2015). O sistema utilizado foi pensado objetivando a simplicidade do ensaio, de forma que se tornasse um método prático e rápido de avaliar o atrito desenvolvido entre as paredes do

amostrador e o solo. Um esquema da montagem dos equipamentos pode ser visto na Figura 3.5.

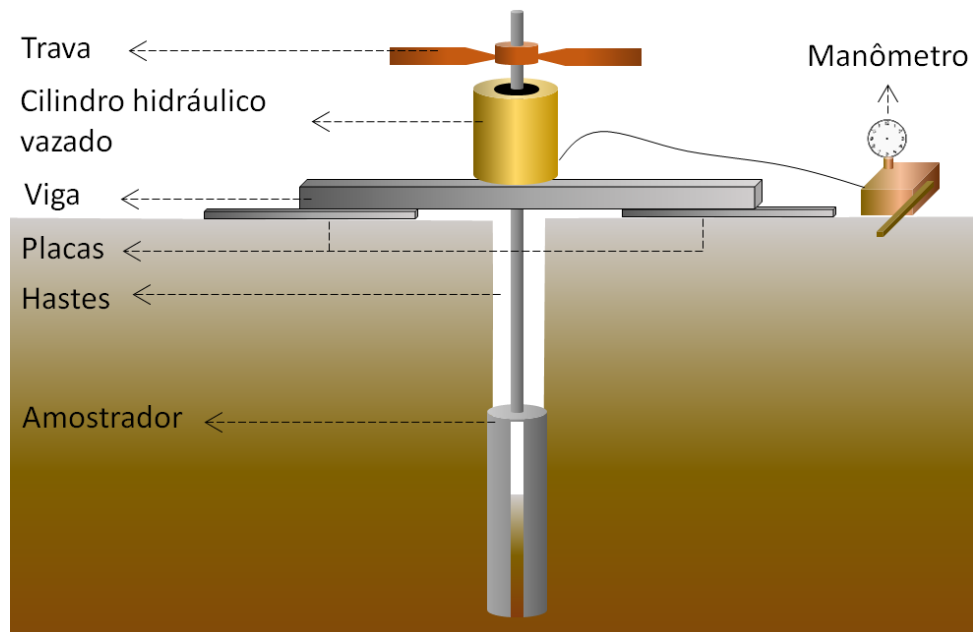


Figura 3.5 – Esquema da montagem dos ensaios de arrancamento.

A carga de tração foi aplicada por um cilindro hidráulico vazado, de acionamento manual. Para interromper o seu curso, foi acoplada à haste uma trava. A reação foi transmitida ao solo por um sistema formado por vigas, posicionado abaixo do cilindro.

A Figura 3.6 contém imagens dos equipamentos: a trava (a), posicionada abaixo de uma luva para a garantia do bloqueio; o manômetro utilizado (b), com capacidade de 56 kgf/cm² e precisão de 1 kgf/cm²; a bomba de acionamento manual (c); o cilindro vazado (d), com diâmetro do êmbolo de 76,47 cm²; e o sistema de reação (e).

Embora o esquema da Figura 3.5 tenha idealizado vigas sobre placas para o sistema de reação, os ensaios realizados contaram com um sistema adaptado aos equipamentos disponíveis. Mesmo que os tubos utilizados tenham aplicado no solo uma tensão maior que a tensão que seria experimentada com placas, a escolha se mostrou satisfatória.

Com o conjunto cilindro-bomba-manômetro devidamente calibrado, a aquisição de dados ocorreu pela observação e pela notação da carga máxima registrada (Q_u) e da carga residual (Q_{res}) constante verificada após o início do

deslocamento do amostrador e a ocorrência de Q_u . O deslocamento foi controlado por marcações na haste.

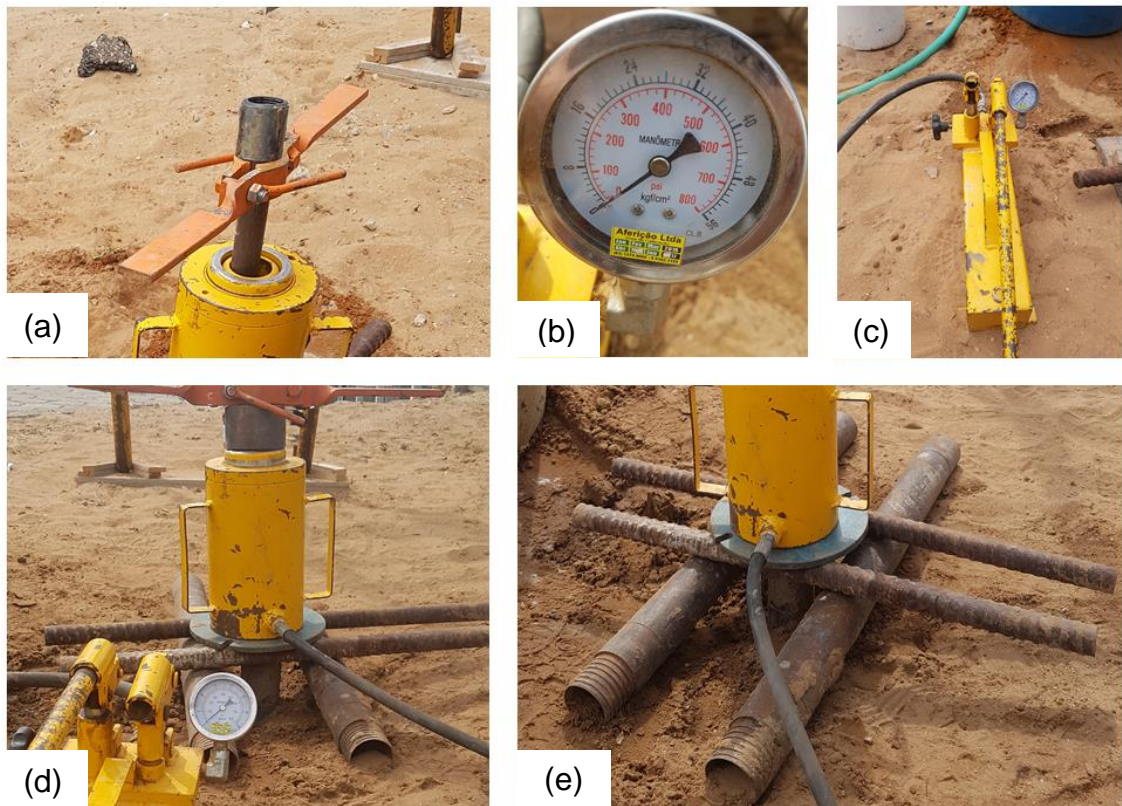


Figura 3.6 – Fotos dos equipamentos usados para o arrancamento: (a) trava; (b) manômetro; (c) bomba; (d) cilindro hidráulico; e) sistema de reação.

3.4. Revisão do valor da eficiência dos ensaios SPT

A eficiência dos ensaios SPT, cujos resultados foram utilizados nesta pesquisa, foi determinada por Costa *et al.* (2012). O valor de eficiência de 74% foi estabelecido a partir da média aritmética dos resultados obtidos pela interpretação de três provas de carga estática que os autores executaram no amostrador. A Tabela 3.2 exibe um resumo dos resultados do estudo.

Tabela 3.2 – Resultados de Eficiência de Costa *et al.* (2012).

Ensaio	Profundidade (m)	Sondagem	Nspt	T_A (J)	ef^* (%)
PCE4	3	SP-04	8	355	73
PCE5	3	SP-04	6	365	75
PCE6	5	SP-05	5	365	75

A determinação da eficiência dos autores tomou como base a energia teórica E_t da Equação 2.9. Na presente pesquisa, o valor da energia nominal foi atualizado para a $E_{t_{sistema}}$ da Equação 2.10, a fim de considerar a sugestão de Odebrecht (2003), que visa incluir o acréscimo de energia potencial devido à penetração do amostrador.

A eficiência considerada nesta pesquisa para os 58 ensaios SPT realizados em agosto de 2012 é equivalente ao valor atualizado ($ef^{*sistema}$). Mesmo que uma empresa diferente tenha sido responsável pela execução do ensaio SPT adicional, de janeiro de 2018, o uso do mesmo tipo de equipamento e o fato de ter sido realizada no mesmo local que as anteriores permitiram a adoção do mesmo valor de eficiência para este último ensaio.

3.5. Previsão de resistência estática

Aos resultados dos 58 ensaios SPT foi aplicada a metodologia de Aoki (2013) descrita na Seção 2.1.1.2. Os dados utilizados foram os valores do índice N_{spt} , as medidas dos comprimentos das amostras recuperadas (L_{int}), os tipos de solo observados e as especificações referentes aos equipamentos utilizados nos ensaios, que são os pesos e dimensões descritos na Tabela 3.1. A rotina de cálculos para a previsão seguiu a seguinte sequência:

- Cálculo da energia teórica ($E_{t_{sist}}$) para cada profundidade, a partir da Equação 2.10. Para isso, foi calculada o peso do conjunto de hastes (W_h) em cada profundidade e a penetração do amostrador considerada foi a média por golpe (ρ_{pm}), obtida pela Equação 2.7;
- Estimativa da resistência estática total (R_u), calculada pelo rearranjo da Equação 2.8, considerando a energia teórica obtida no passo anterior, a penetração média por golpe e o resultado da eficiência revisada nesta pesquisa (ef^{*sist});
- Determinação do fator a referente ao solo encontrado em cada profundidade, com base nos resultados dos ensaios de arrancamento desta pesquisa;
- Cálculo da razão de atrito do ensaio SPT (R_f), pela Equação 2.13;
- Obtenção das resistências laterais (r_{Le}), utilizando a Equação 2.15;

- Cálculo das resistências de ponta (r_p) em cada profundidade, pela Equação 2.16, que obtém o valor de r_p pela relação entre a resistência lateral (r_{Le}) e a razão de atrito (R_f) anteriormente calculadas.

Com isso, foram obtidos os resultados de resistências de ponta e lateral a cada metro de profundidade, para cada um dos ensaios.

3.6. Avaliação da qualidade das previsões

A fim de avaliar a qualidade das previsões, procedeu-se a um estudo geoestatístico que compreendeu três etapas, resumidas no fluxograma da Figura 3.7. Tendo em vista o grande volume de dados, distribuídos em três dimensões, as análises tiveram auxílio do software Geokrige, um programa brasileiro para modelagens geológicas e geoestatísticas, desenvolvido pela *startup* Geokrigagem.

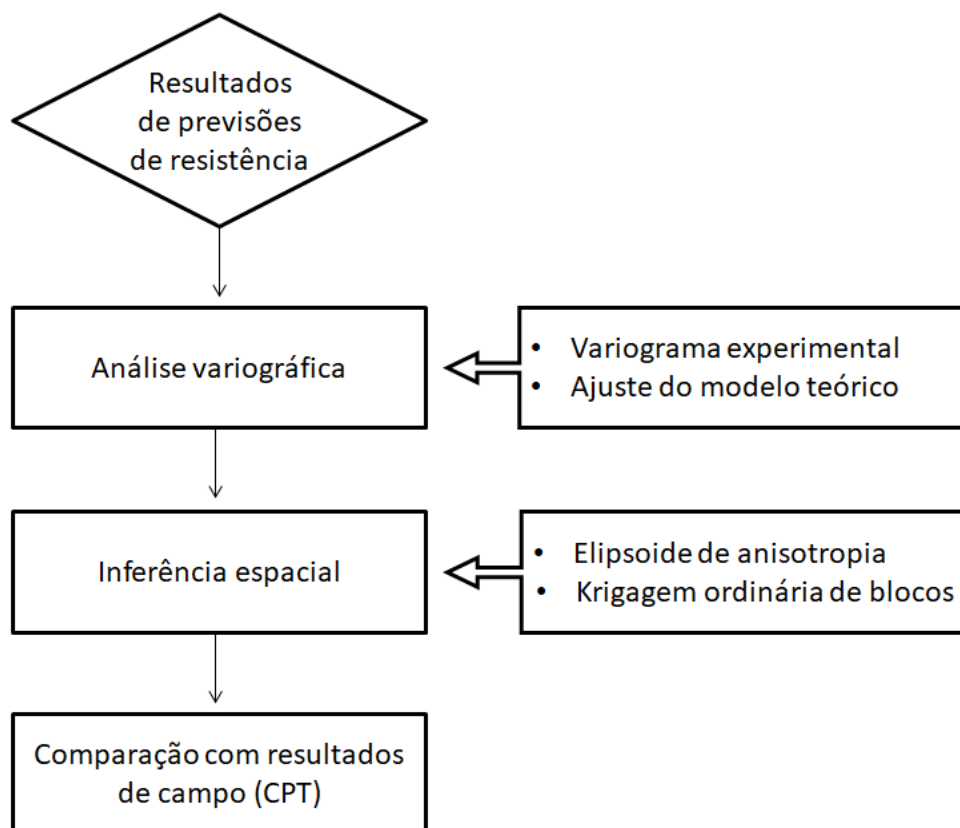


Figura 3.7 – Fluxograma das etapas de avaliação da qualidade das previsões.

Para o início das análises, os dados foram organizados em uma planilha contendo os valores e suas respectivas localizações espaciais, dadas pelas coordenadas no plano horizontal e vertical. A Figura 3.8 mostra uma vista em planta da superfície, com a marcação dos locais em que há dados ao longo da

profundidade. Pode-se perceber que há uma extensa porção, abrangendo o centro e o canto superior direito, onde não se tem dados.

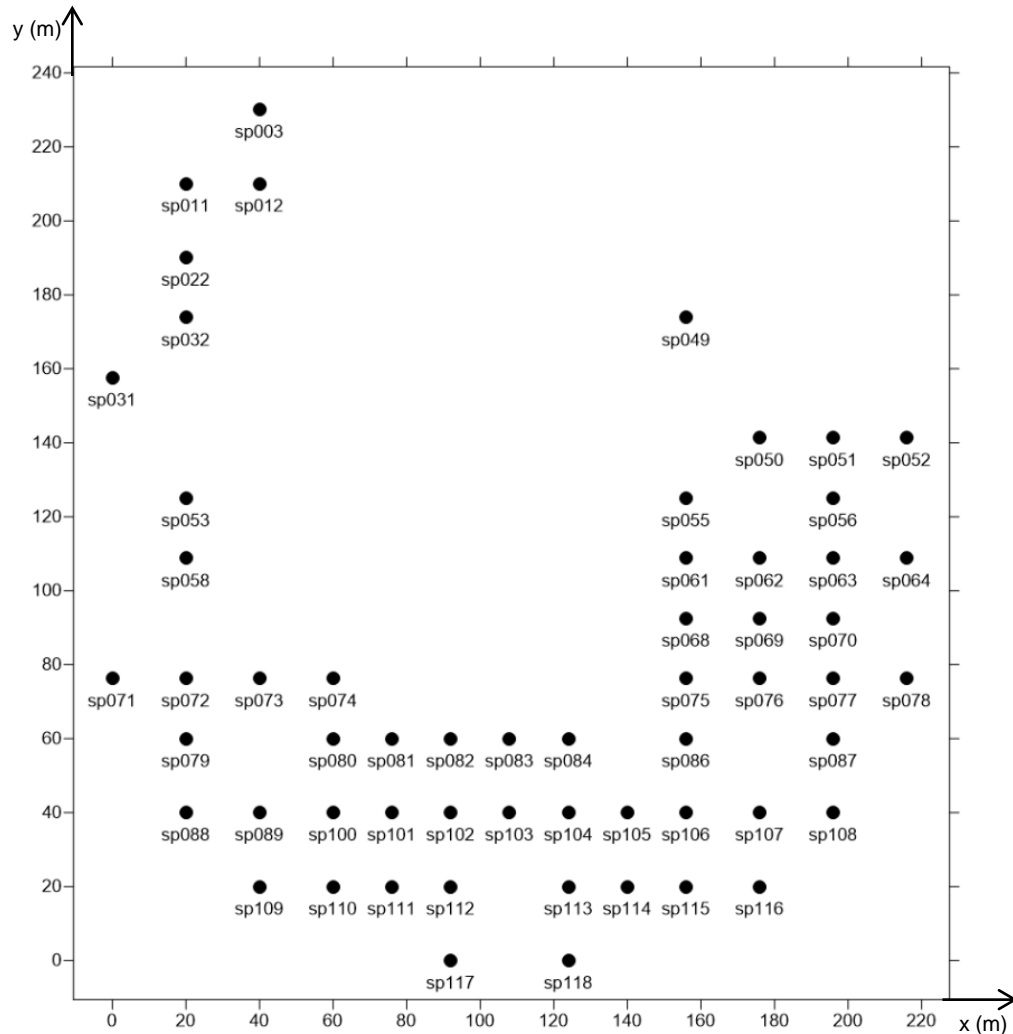


Figura 3.8 – Vista em planta da localização dos dados amostrais.

A etapa seguinte à organização dos dados foi a análise variográfica dos resultados das previsões. Foram elaborados variogramas para a resistência de ponta e para a resistência lateral em três direções: na direção vertical, ao longo da profundidade; e em duas direções no plano horizontal, sendo uma delas a direção em que se observou a maior continuidade nos dados, enquanto a outra direção foi referente à menor continuidade.

Os variogramas experimentais foram gerados pela plotagem da função variograma $\gamma(h)$ (Equação 2.22) para valores sucessivos de distâncias h . Para as duas direções do plano horizontal, foram utilizados valores de h variando da distância mínima observada entre pares de pontos amostrados, que foi de 16

metros, até 125 metros, valor do campo geométrico. Para a direção vertical, as distâncias variaram entre 1 metro e 12 metros, valores equivalentes à distância mínima entre os pares de pontos e ao campo geométrico, respectivamente. Gerados os variogramas experimentais, houve o ajuste manual dos modelos teóricos a cada um deles. Durante os ajustes foram definidos os alcances, os patamares e os efeitos pepita.

A segunda etapa consistiu em inferir valores de resistência lateral e de ponta nos locais exatos onde aconteceram os ensaios CPT. A inferência dos valores teve como objetivo definir as resistências nos mesmos pontos dos ensaios de cone, para que as previsões obtidas pelo método de Aoki (2013) pudessem ser comparadas aos valores observados em campo.

Como ferramenta, foi escolhida a krigagem ordinária de blocos. Trabalhou-se com cubos de dimensões 2 m x 2 m x 1 m, totalizando quase 330 mil blocos, sendo o resultado de cada um deles o valor médio das estimativas de 6 pontos. Na estimativa de cada ponto, ele foi considerado o centro de um elipsoide de anisotropia, em que as dimensões a_x , a_y , e a_z corresponderam aos alcances dos variogramas de cada direção (Figura 3.9).

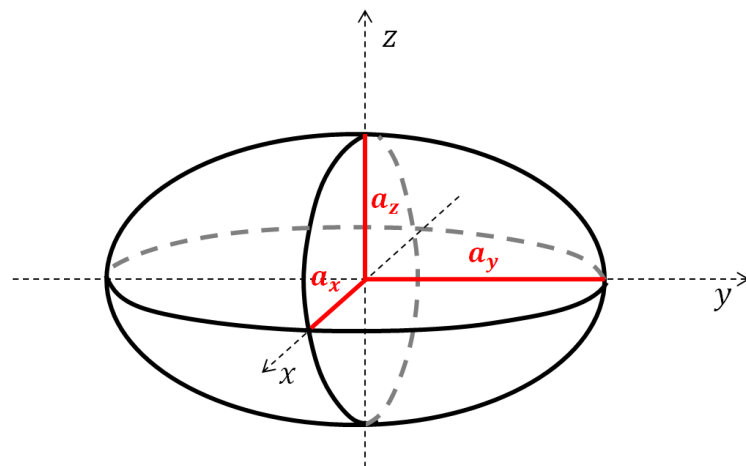


Figura 3.9 – Elipsoide de anisotropia.

As inferências ocorreram levando em consideração os pontos de dados compreendidos no volume definido pelo elipsoide, de modo que ele delimitou zonas de influência. Foram atribuídos pesos a cada um dos dados, definidos pela resolução da matriz da Equação 2.29.

Por fim, os blocos relativos aos locais onde os ensaios de cone aconteceram tiveram seus resultados comparados aos valores observados em campo.

CAPÍTULO 4

Resultados

4.1. Eficiência revisada

O valor da energia teórica foi recalculado pela Equação 2.10 de duas maneiras distintas: a primeira (ef^{*sist}) considerou a energia potencial adicional do martelo e do conjunto de hastes devido à penetração do amostrador ($E_{t_{sist}}$); enquanto a segunda (ef^{*sist*}) desprezou a parcela equivalente ao conjunto de hastes ($E_{t_{sist*}}$). Os dados utilizados e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.1. A penetração do amostrador considerada foi a penetração média (ρ_{pm}) calculada pela Equação 2.7.

Tabela 4.1 – Eficiência dos ensaios SPT revisada.

Ensaio	ρ_{pm} (cm)	E_t (J)	T_a (J)	ef^* (%)	$W_h + W_a$ (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	$E_{t_{sist*}}$ (J)	ef^{*sist} (%)	ef^{*sist*} (%)
PCE4	3,75	487,5	355	72,8	0,19	505,6	501,0	70,2	70,7
PCE5	5,00	487,5	365	74,9	0,19	514,8	509,9	70,9	71,6
PCE6	6,00	487,5	365	74,9	0,25	526,0	516,3	69,4	70,7
Média				74,2				70,2	71,0

A partir dos resultados da Tabela 4.1, foi possível observar uma diminuição de 4% nos valores de eficiência, quando a energia teórica foi recalculada para considerar a energia potencial adicional devido à penetração do amostrador.

Comparando os resultados, o efeito da parcela de energia referente ao conjunto de hastes causou uma variação inferior a 1% no valor da eficiência média, se mostrando desprezível para as situações analisadas, o que permite simplificar o cálculo da energia teórica no caso de profundidades rasas.

Na Tabela 4.1, os valores de eficiência foram exibidos com uma casa decimal para auxiliar na interpretação dos resultados, embora seja comum o uso de quantias inteiras. Desta forma, esta pesquisa adotou o valor revisado de 70% para a eficiência dos ensaios SPT.

4.2. Ensaios de arrancamento do amostrador

A Figura 4.1 ilustra as curvas carga \times deslocamento dos seis ensaios de arrancamento do amostrador, com suas respectivas profundidades indicadas na legenda.

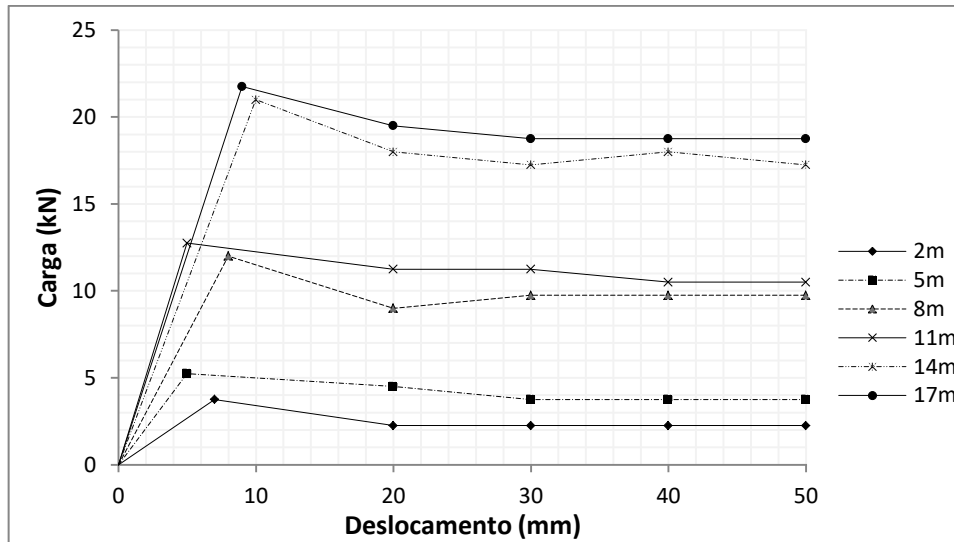


Figura 4.1 – Curvas carga \times deslocamento dos ensaios de arrancamento do amostrador.

Os resultados do ensaio SA-01, nas profundidades em que foram feitos os arrancamentos do amostrador, são apresentados na Tabela 4.2. Além das informações do ensaio SPT convencional, a Tabela 4.2 apresenta os valores do comprimento recuperado da amostra (L_{int}) e as forças máximas (Q_u) e residuais (Q_{res}) de tração aplicadas durante as provas de carga.

Tabela 4.2 – Resultados do ensaio SA-01 e dos ensaios de arrancamento.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	Q_u (kN)	Q_{res} (kN)
2	5	0,36	Areia fina e média, pouco compacta.	3,75	2,25
5	8	0,32	Areia fina e média, pouco compacta.	5,25	3,75
8	15	0,19	Areia fina e média, medianamente compacta.	12,00	9,75
11	29	0,20	Areia fina e média, pouco siltosa, compacta.	12,75	10,50
14	100	0,18	Areia fina e média, siltosa, muito compacta.	21,00	17,25
17	60	0,13	Argila com pouca areia fina e média, dura.	21,75	18,75

A rotina de cálculos adotada para investigar o atrito lateral e o fator a foi idêntica àquela descrita na seção 2.1.1.3.c.

Primeiramente, foi calculado o valor da força total de resistência por atrito externo (R_{Le}) pela Equação 2.18, que representa o equilíbrio das forças envolvidas no ensaio de arrancamento.

Em seguida, a tensão de atrito externo (r_{Le}) foi obtida dividindo-se o valor de R_{Le} pela área da superfície externa do amostrador que penetrou no solo (S_a). De maneira geral, a área foi calculada para 45 cm de penetração, exceto para as profundidades de 14 e 17 metros, nas quais o ensaio foi interrompido pelos critérios de parada da norma, com a cravação de 24 e 30 cm, respectivamente.

A força resultante de atrito interno (R_2) foi calculada com base no equilíbrio de forças atuantes no amostrador durante a penetração (Equação 4.1). R_u foi calculada pela Equação 4.2, rearranjo da Equação 2.8.

$$R_2 = R_u + (W_h + W_a) - R_{Le} \quad (4.1)$$

$$R_u = \frac{E_{t_{sist}} \times e f^{*sist}}{\rho_{pm}} \quad (4.2)$$

Finalmente, foi determinado o valor da tensão de atrito interno (r_{Li}), dividindo-se R_2 pela área da superfície interna do amostrador em contato com o solo, calculada com base na medida do comprimento da amostra de solo recuperada (L_{int}). De posse dos valores de r_{Li} e r_{Le} para cada profundidade, foram obtidos os resultados do fator a exibidos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Determinação do fator a .

z (m)	R_{Le} (kN)	r_{Le} (kPa)	ρ_{pm} (mm)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	R_2 (kN)	r_{Li} (kPa)	a
2	3,59	50,03	60,00	520	6,42	2,98	75,50	1,5
5	5,00	69,56	37,50	508	10,03	5,28	150,60	2,2
8	11,65	162,18	20,00	496	18,35	7,06	338,69	2,1
11	12,30	171,27	10,34	488	34,93	23,08	1052,57	6,1
14	20,45	533,97	3,00	481	118,73	98,82	5007,47	9,4
17	21,11	440,81	5,00	484	71,63	51,17	3590,09	8,1

De acordo com os resultados da Tabela 4.3, foi elaborado o gráfico da Figura 4.2, com o fator a plotado em função do índice de penetração. Cada ponto do gráfico contém a indicação do valor exato de a e da profundidade (z) a que corresponde. Os tipos de solo observados também estão indicados.

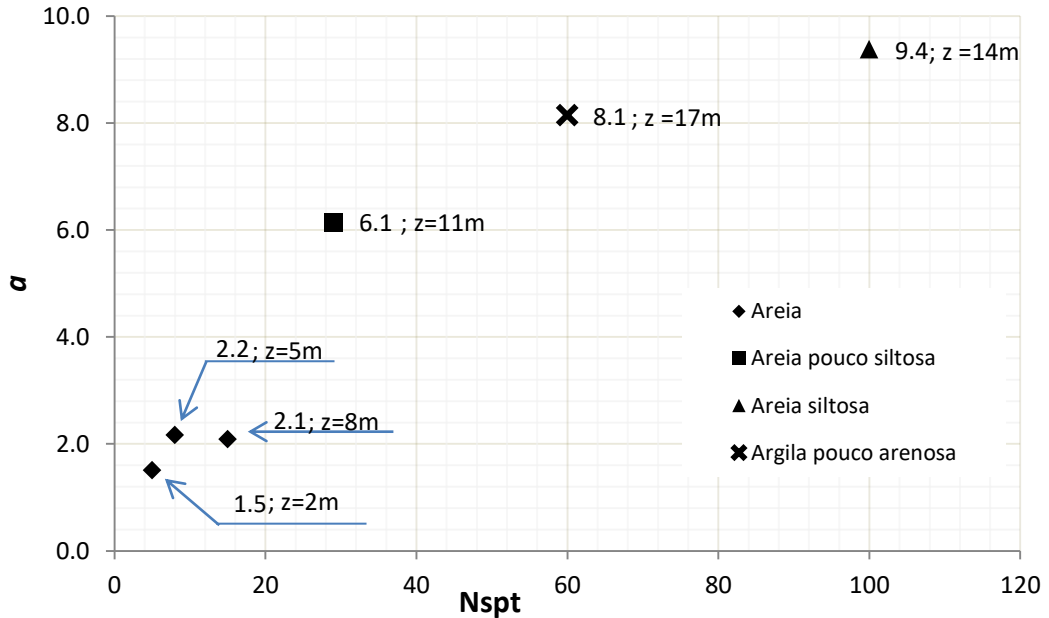


Figura 4.2 – Gráfico de N_{spt} x a .

Para interpretar os resultados, foram analisadas as variações de N_{spt} (ΔN_{spt}) e de fator a (Δa) em três situações, apresentadas na Tabela 4.4:

- a) Situação I: variações entre os resultados relativos às profundidades de 2 e 8 metros, em que se tem o mesmo tipo de solo (areia);
- b) Situação II: variações entre os resultados relativos às profundidades de 8 e 11 metros, com ocorrência de areia e areia pouco siltosa, respectivamente;
- c) Situação III: variações entre os resultados relativos às profundidades de 11 e 14 metros, onde se tem areia pouco siltosa e areia siltosa, nesta ordem.

Tabela 4.4 – Variações de N_{spt} e a .

	Situação I	Situação II	Situação III
ΔN_{spt}	10	14	71
Δa	0,6	4,0	3,3

Na situação I, em que compararam-se os resultados em duas profundidades com o mesmo tipo de solo, os valores de a variaram pouco (0,6) em relação ao

ganho de compacidade do solo, dado pela variação do N_{spt} (de 5 a 15). Tal observação indica que, para a areia em questão, as alterações no índice N_{spt} pouco modificaram os valores de a , apontando para uma tendência de constância do fator, em torno média de aproximadamente 2, calculada para os três pontos relativos a este tipo de solo.

Na situação II, o solo ganhou uma porcentagem de finos, mudando de uma areia pura, vista aos 8 metros de profundidade, para uma areia pouco siltosa, aos 11 metros. Neste caso, a variação do fator a se mostrou muito maior que na situação I (Δa_{II} foi 566% maior que Δa_I), o que tornou desprezível a diferença de 40% observada entre $\Delta N_{spt,II}$ e $\Delta N_{spt,I}$. Desta forma, considerou-se as variações de N_{spt} iguais para as situações I e II. Sabendo que na situação I, esta variação de N_{spt} não causou efeito no valor do fator a , esta análise indica que o aumento do valor de a que ocorre na situação II acontece em razão do ganho no teor de silte do solo.

Dando continuidade à análise, na situação III, o solo segue ganhando porcentagem de finos, passando de uma areia pouco siltosa, aos 11 metros, para um areia siltosa, aos 14 metros de profundidade. Houve a diminuição de 18% entre Δa_{III} e Δa_{II} , considerada desprezível frente à diferença entre as variações de N_{spt} ($\Delta N_{spt,III}$ foi 407% maior que $\Delta N_{spt,II}$). Desta forma, para a grande variação de N_{spt} da situação III, o valor de Δa_{III} se manteve igual àquele observado na situação II. Sabendo que em ambas as situações ocorreu um aumento no teor de siltes e que o surgimento dos finos foi a principal causa de Δa_{II} , ficou evidenciado que, na situação III, o índice N_{spt} teve pouca influência na variação do fator a observada.

Diante da análise acima, concluiu-se que para as camadas de areia estudadas nesta pesquisa, o valor do fator a é próximo a 2, sem influência significativa do índice N_{spt} . Além disso, foi possível concluir que o aparecimento e crescimento do teor de siltes na areia em questão gera aumentos consideráveis do fator a , tendo sido obtidos os valores próximos a 6 e a 9,5 para areia pouco siltosa e areia siltosa, respectivamente.

Quanto à argila arenosa observada aos 17 metros de profundidade, o fator a foi aproximadamente 8, superior a quase todos os valores observados para areia, exceto para a areia siltosa dos 14 metros de profundidade. Pela ausência de mais resultados do fator a para argilas, não pôde ser feita uma análise mais aprofundada.

Para o uso da metodologia de Aoki (2013), os valores do fator a foram os obtidos nesta seção, resumidos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Valores de fator a por tipo de solo.

Tipo de solo	Fator a
Areia	2,0
Areia pouco siltosa	6,0
Areia siltosa	9,5
Argila e argila arenosa	8,0

Nesta pesquisa, o fator a da argila arenosa teve valor muito próximo à média (7,3) verificada por Moraes (2014) para este mesmo tipo de solo. Embora haja proximidade nos valores do fator a , as consistências das argilas comparadas são expressivamente diferentes: a autora analisou uma argila arenosa mole, enquanto neste trabalho um solo duro foi estudado. Ainda que esta comparação indique uma constância do fator a com a variação da consistência, seria necessária uma análise de um volume maior de dados para melhores conclusões.

Em comparação com o valor de 10,8, relativo ao fator a médio da areia siltosa medianamente compacta analisada por Ferreira (2015), o resultado desta pesquisa, para a areia siltosa muito compacta, foi consideravelmente próximo. A pequena diferença observada apoia as conclusões anteriores, de que a variação do fator a das areias siltosas ocorre prioritariamente em razão do seu teor de siltes e pouco relaciona-se com a sua compactidade.

Embora não tenham sido encontrados estudos do fator a para areias puras na literatura, o resultado obtido neste trabalho é igual ao valor adotado por Aoki (2013) no exemplo de aplicação do seu método.

4.3. Resistência estática por Aoki (2013)

Definidos a eficiência de 70% e os valores do fator a para cada tipo de solo, o método de Aoki (2013) foi usado para prever as resistências de ponta (r_p) e por atrito lateral (r_{Le}) em cada profundidade dos 58 ensaios SPT. Para tanto, a rotina de cálculos da Seção 3.5 foi empregada. A Tabela 4.6 exemplifica um dos resultados obtidos, referente ao ensaio SP049. Os demais resultados são encontrados no Anexo deste trabalho.

Tabela 4.6 – Resultados de previsão para SP049.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0.45	Areia	0.032	516	6.02	2	0.97	36.2	3.7
2	6	0.45	Areia	0.065	510	7.14	2	0.97	43.0	4.4
3	7	0.45	Areia	0.097	505	8.25	2	0.97	49.9	5.1
4	8	0.45	Areia	0.129	502	9.37	2	0.97	56.7	5.9
5	9	0.42	Areia	0.162	499	10.49	2	1.04	66.2	6.4
6	10	0.43	Areia	0.194	497	11.60	2	1.02	72.4	7.1
7	11	0.40	Areia	0.227	495	12.72	2	1.09	82.7	7.6
8	13	0.35	Areia	0.259	493	14.95	2	1.25	104.6	8.4
9	11	0.42	Areia pouco siltosa	0.291	495	12.72	6	0.35	37.7	10.9
10	9	0.44	Areia pouco siltosa	0.324	499	10.49	6	0.33	30.1	9.1
11	10	0.32	Areia pouco siltosa	0.356	497	11.60	6	0.45	42.8	9.4
12	18	0.42	Areia pouco siltosa	0.388	489	20.53	6	0.35	60.5	17.5
13	24	0.39	Areia pouco siltosa	0.421	486	27.22	6	0.37	84.9	22.8
14	28	0.40	Areia pouco siltosa	0.453	485	31.68	6	0.36	96.7	26.6
15	30	0.37	Areia pouco siltosa	0.485	484	33.91	6	0.04	110.1	28.0
16	32	0.35	Areia pouco siltosa	0.518	484	36.14	6	0.04	122.5	29.5
17	33	0.35	Areia siltosa	0.550	484	37.26	9.5	0.03	87.1	33.2
18	35	0.37	Areia siltosa	0.583	484	39.49	9.5	0.02	88.1	35.5
19	38	0.35	Areia siltosa	0.615	483	42.84	9.5	0.03	100.2	38.2
20	38	0.30	Areia siltosa	0.647	483	42.84	9.5	0.03	113.9	37.2
21	65	0.25	Areia siltosa	0.680	481	72.95	9.5	0.04	223.5	60.8
22	74	0.22	Argila arenosa	0.712	481	82.99	8	0.05	319.6	64.5
23	96	0.17	Argila arenosa	0.744	480	107.54	8	0.06	496.8	77.4

A partir da Tabela 4.6, é possível observar que a energia teórica mostrou uma tendência de estabilização para as camadas mais profundas. Isso acontece porque apesar de se ter, nas maiores profundidades, pesos da composição de hastes superiores aos referentes às camadas mais rasas; com o aumento do N_{spt} , a penetração média por golpe diminui consideravelmente, tornando muito pequena a parcela de energia potencial adicional devido à penetração do amostrador. De forma

que, em profundidades com índices N_{spt} muito altos, a energia nominal do ensaio se aproxima do valor da energia potencial relativa à altura de queda do martelo.

Quanto à resistência estática do solo (R_u), por ter relação direta com o valor de N_{spt} , é observado o crescimento dos seus valores com o ganho de profundidade, onde são atingidas camadas mais compactas (areias) e duras (argilas).

Sobre a razão de atrito (R_f), como sua determinação tem uma relação inversa com os valores do fator a , os resultados se mostraram contrários ao que é observado na maioria dos casos, ou seja, foram encontrados valores relativos às areias superiores àqueles observados para argilas. Além da relação com a consistência dura da argila analisada, as altas resistências de ponta observadas para este solo também podem estar ligadas às concreções ferruginosas presentes nas argilas do Grupo Barreiras, ao qual pertence. Embora tal resultado não faça jus ao senso comum, a verificação geoestatística da qualidade das previsões de resistência indica se os resultados deste parâmetro são satisfatórios.

A respeito das previsões de resistência lateral (r_{Le}), as camadas de areia pura apresentaram valores superiores às camadas de areia pouco siltosa situadas logo abaixo, mas de forma geral os valores mostraram uma tendência de crescimento ao longo da profundidade, variando entre 30 kPa e aproximadamente 500 kPa, sendo os valores mais altos observados na camada profunda de argila arenosa dura.

Quanto aos resultados de resistência de ponta, o crescimento dos valores ao longo da profundidade também foi constatado, com magnitudes entre 3 MPa, na superfície, e quase 80 MPa no fim do furo.

4.4. Análise das previsões de resistência

Diante dos resultados das previsões, foi iniciada a análise geoestatística para comparação com os valores obtidos pelos ensaios CPT.

4.4.1. Resistência lateral

Todos os dados referentes às previsões de resistência lateral foram sujeitos à uma análise estatística descritiva prévia ao estudo variográfico. Os resultados são apresentados na Figura 4.3.

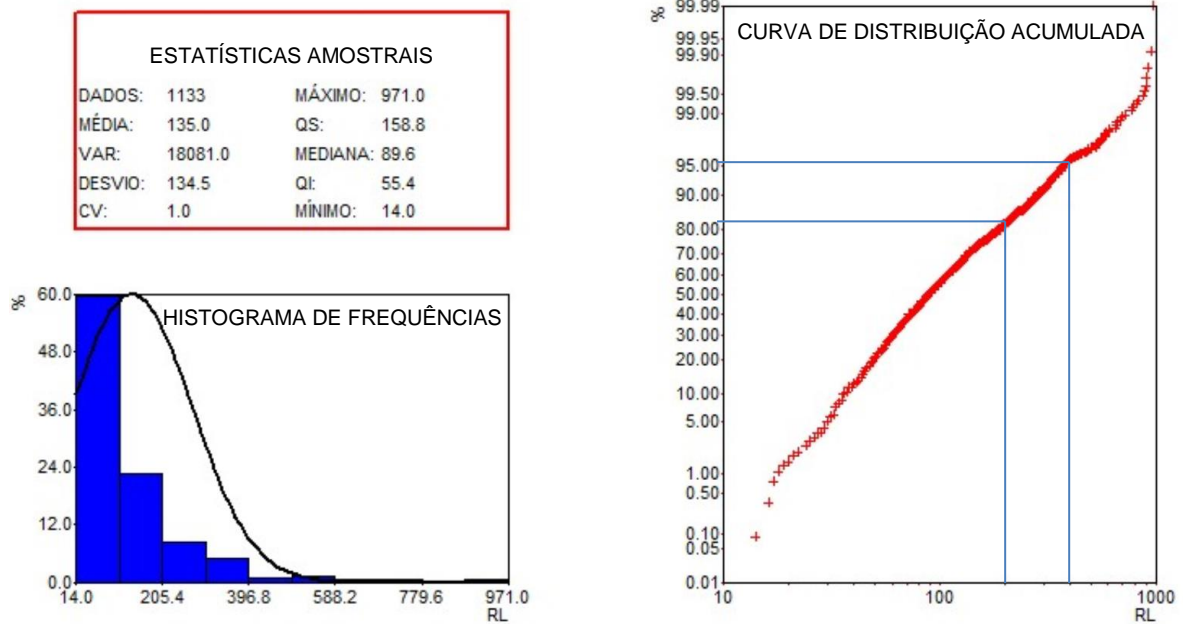


Figura 4.3 – Estatísticas descritivas das resistências laterais.

Foi analisado um total de 1133 dados de resistência lateral, sendo 14 kPa e 971 kPa os valores mínimos e máximos observados, respectivamente. Na Figura 4.3, o quadro intitulado de “estatísticas amostrais” faz um resumo das demais informações a respeito da amostra. O histograma de frequências mostra que a maioria dos valores ficou entre 14 e 396 kPa e que valores acima disso foram raros. Tendo em vista a assimetria positiva verificada no histograma, optou-se por uma curva acumulativa em escala de logprobabilidade. A curva de distribuição acumulada permitiu verificar que aproximadamente 80% dos dados tiveram seus valores até 200 kPa, 15% dos valores ficaram entre 200 e 400 kPa, e apenas 5% dos dados ficaram entre 400 e 971 kPa.

Dando continuidade à análise, os variogramas experimentais foram gerados, de acordo com as configurações descritas na Seção 3.6. Inicialmente, o software obteve variogramas em todas as direções do plano horizontal e resumiu o resultado na Figura 4.4, em que os ângulos estão notados e o gradiente de cores é uma legenda dos resultados da função variograma. A partir da figura, foram escolhidas as direções de 40° e 130° (contados a partir do eixo vertical que passa pelo centro do círculo), representadas pelas setas, como as direções de menor e de maior continuidade dos dados, respectivamente.

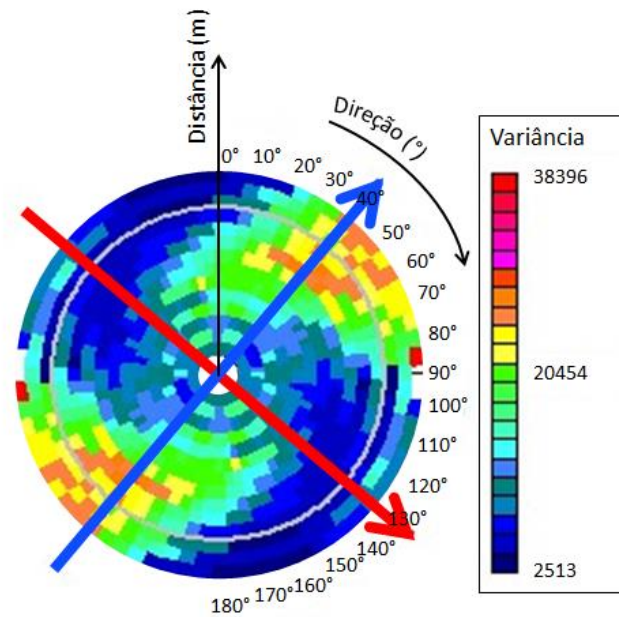


Figura 4.4 – Variância da resistência lateral em função de sucessivas distâncias entre pares de pontos situados em cada direção do plano horizontal,.

A Figura 4.5 apresenta os variogramas gerados para as direções de 40° e 130° do plano horizontal e também para a direção vertical, definida por um mergulho de 90° em relação ao plano horizontal. As curvas demarcadas pelos pontos correspondem aos variogramas experimentais, sobrepostas a elas estão os modelos teóricos ajustados.

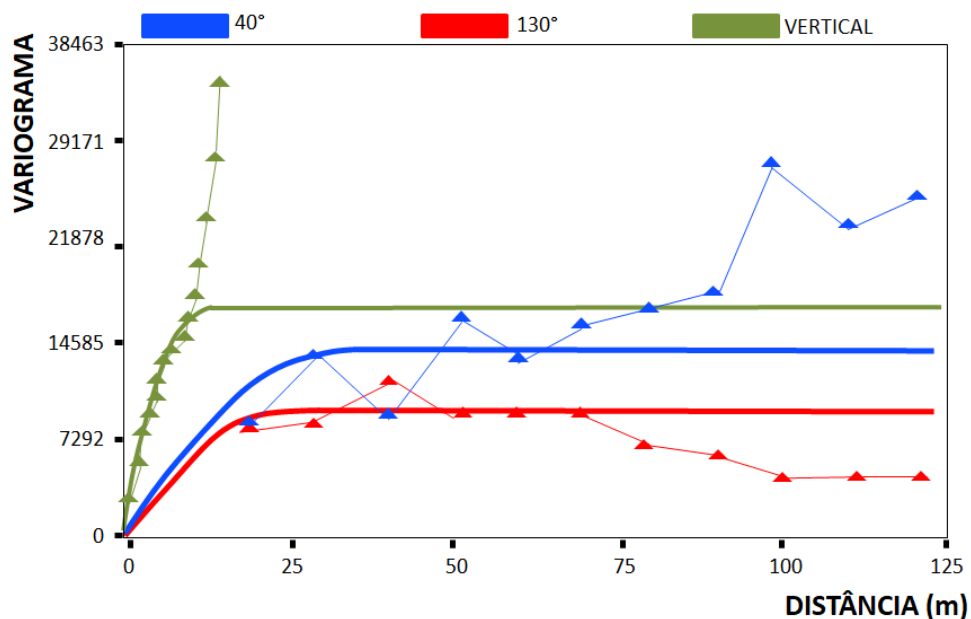


Figura 4.5 – Variogramas experimentais e seus ajustes teóricos.

Pode-se observar uma tendência de estabilização dos variogramas experimentais das direções de 40° e 130° do plano horizontal em torno de um patamar, o que não é visto para a direção vertical. O crescimento incessante das variâncias do eixo vertical reflete o comportamento da resistência nesta direção. Ou seja, por ter sido verificada uma tendência de aumento da resistência ao longo da profundidade (Tabela 4.6), à medida que a distância entre pontos analisados aumenta (eixo horizontal do variograma), maior o valor da função variograma.

Ainda que não tenha havido tendência de estabilização na direção vertical, escolheu-se modelos com patamares para as três direções analisadas. Esta decisão objetivou delimitar os alcances do variograma, para que as estimativas pela krigagem de blocos não se baseassem em dados de pontos muito distantes, de forma que os modelos gerados fossem conservadores. Limitando os alcances a curtas distâncias, os patamares de estabilização da variância ficaram baixos, mas ainda mantiveram a característica conservadora dos modelos, visto que não ultrapassaram as variâncias máximas observadas dentro do alcance. O modelo que melhor se ajustou aos variogramas experimentais foi o esférico. Não foi observado efeito pepita. A Tabela 4.7 apresenta os alcances (A), patamares ($C_0 + C$) e equações de covariância dos modelos teóricos referentes a cada direção (Equações 4.3 a 4.8).

Tabela 4.7 – Ajustes teóricos dos variogramas

Direção	A (m)	$C_0 + C$	Equação
40°	32,0	13600	$\lambda(h) = 13600 - 13600 \left[\frac{1,5h}{32} - 0,5 \left(\frac{h}{32} \right)^3 \right], h < 13600$ (4.3)
			$\lambda(h) = 0, h \geq 13600$ (4.4)
130°	23,0	17320	$\lambda(h) = 17320 - 17320 \left[\frac{1,5h}{23} - 0,5 \left(\frac{h}{23} \right)^3 \right], h < 17320$ (4.5)
			$\lambda(h) = 0, h \geq 17320$ (4.6)
Vertical	12,0	7670	$\lambda(h) = 7670 - 7670 \left[\frac{1,5h}{12} - 0,5 \left(\frac{h}{12} \right)^3 \right], h < 7670$ (4.7)
			$\lambda(h) = 0, h \geq 7670$ (4.8)

Os pontos estimados pela krigagem ordinária utilizaram as Equações 4.3 a 4.8 para a definição do valor dos ponderadores dos dados situados dentro do elipsoide formado pelos alcances de 32, 23 e 12 metros. A Figura 4.6 mostra visões de quatro ângulos diferentes do maciço de solo para o qual ocorreram as inferências de resistência lateral, sendo a Figura 4.6 (a) a visão em planta da superfície. Observando pelos ângulos das Figuras 4.6 (b)-(d), é possível verificar que os valores acima de 400 kPa correspondem às maiores profundidades.

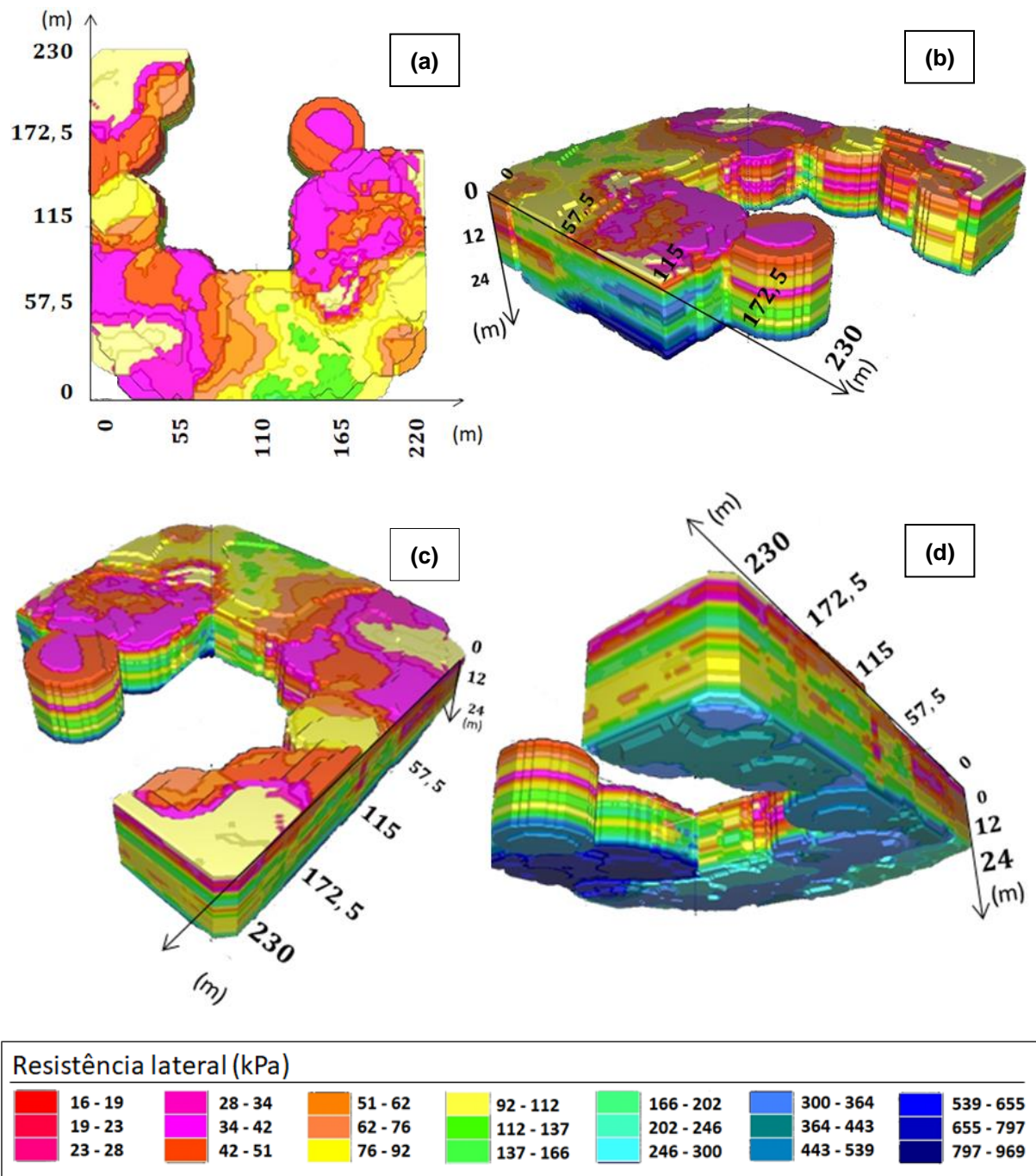


Figura 4.6 – Resultados das inferências de resistência lateral por krigagem.

Foram tomados os resultados dos blocos situados nos locais onde aconteceram os ensaios de cone. Em virtude da escassez de dados nas regiões próximas aos ensaios SM01 e SM02, não foram feitas as inferências para os locais a eles correspondentes. A Tabela 4.8 apresenta, discretizados a cada metro, os resultados de resistência lateral dos ensaios de cone (f_{s03} , f_{s04} , f_{s05} , f_{s06} , f_{s07} e f_{s08}) e os resultados da inferência por krigagem (r_{Le03} , r_{Le04} , r_{Le05} , r_{Le06} , r_{Le07} e r_{Le08}), feita a partir dos dados teóricos de resistência lateral obtidos pelo método de Aoki (2013). As camadas mais profundas, onde as inferências apresentaram altos valores, não estão na tabela. A comparação não pôde acontecer nestas profundidades porque os ensaios de cone que serviram como referência foram interrompidos antes de atingi-las.

Tabela 4.8 – Resistência lateral (kPa).

z(m)	r_{Le03}	f_{s03}	r_{Le04}	f_{s04}	r_{Le05}	f_{s05}	r_{Le06}	f_{s06}	r_{Le07}	f_{s07}	r_{Le08}	f_{s08}
1	43	146	56	100	64	69	39	32	68	19	51	27
2	49	62	63	95	56	100	41	14	59	19	64	27
3	50	16	62	90	48	11	42	18	64	30	61	35
4	68	47	68	38	45	15	40	50	46	26	45	50
5	88	47	87	44	52	11	49	14	34	26	53	46
6	115	63	136	95	67	10	55	18	34	26	67	85
7	148	63	204	119	79	8	54	25	39	44	84	58
8	187	47	201	54	76	8	49	25	54	41	105	50
9	193	55	183	194	63	35	50	36	60	67	113	77
10	203	63	171	71	60	40	52	46	37	67	96	112
11	205	89	75	194	64	40	65	46	27	82	88	104
12	245	89			73	53	77	57	32	104	86	127
13	249	133			85	50	84	64	44	104	98	119
14	291	181			96	65	82	89	64	107	99	142
15	304	156					76	93	109	107	106	169
16	378	208							82	148	111	146
17	395	181							62	167	105	192
18									70	137	112	208
19									131	130		

A partir da Tabela 4.8, é possível observar que os resultados teóricos (r_{Le}) e os valores de campo (f_s) apresentaram a mesma ordem de grandeza, embora tenha havido uma grande dispersão em alguns casos. Para uma melhor interpretação dos resultados, foram geradas as Figuras 4.7 a 4.12, que mostram os gráficos de dispersão das resistências laterais teóricas e de campo e os seus valores plotados ao longo da profundidade.

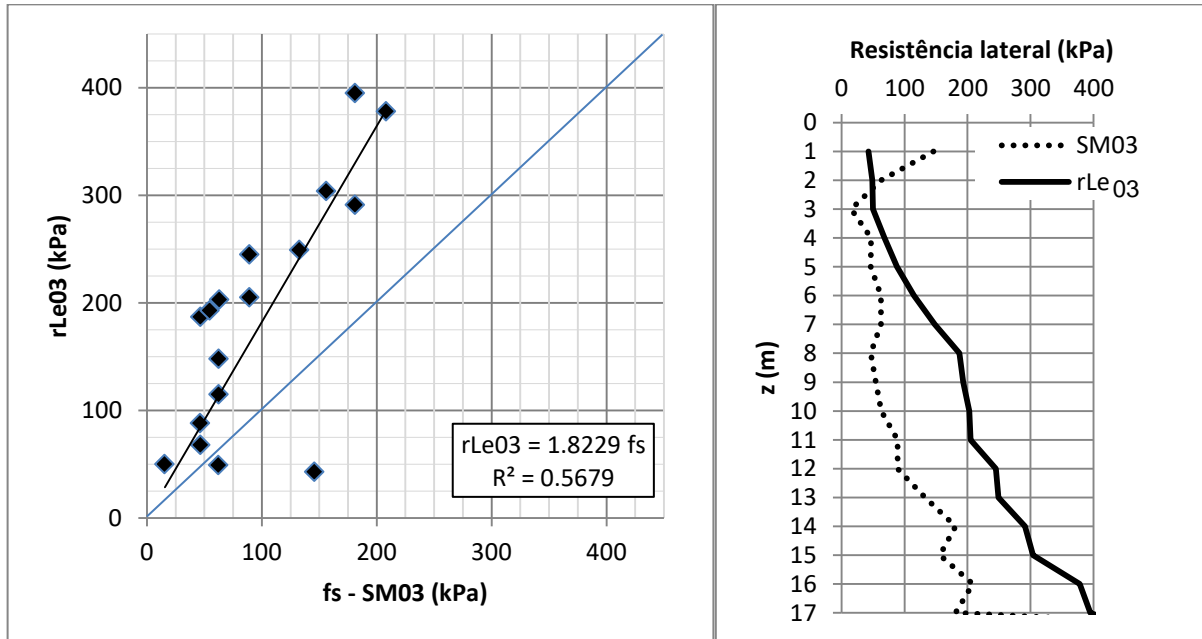


Figura 4.7 – Dispersão entre r_{Le03} e resistência lateral do ensaio SM03.

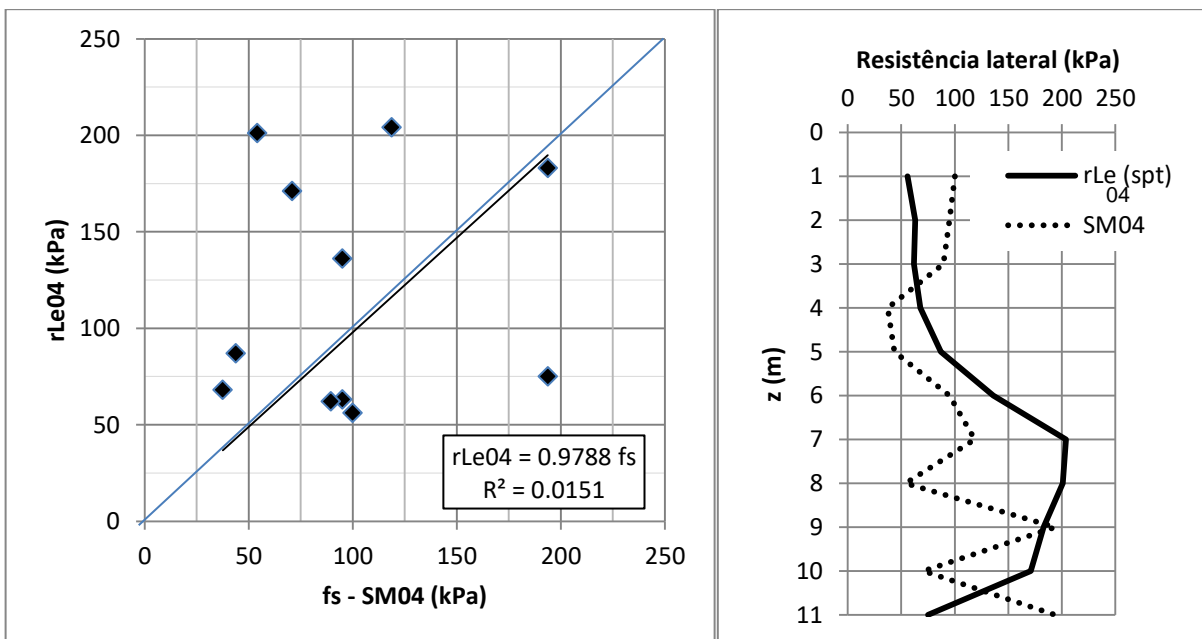


Figura 4.8 – Dispersão entre r_{Le04} e resistência lateral do ensaio SM04.

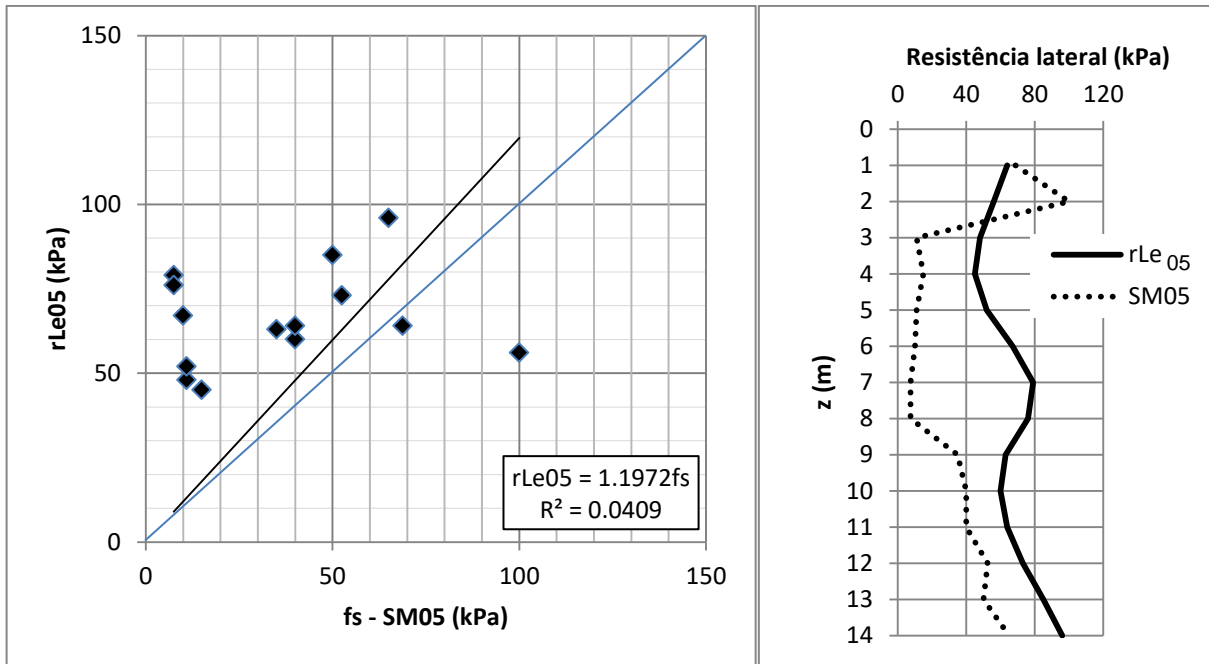


Figura 4.9 – Dispersão entre r_{Le05} e resistência lateral do ensaio SM05.

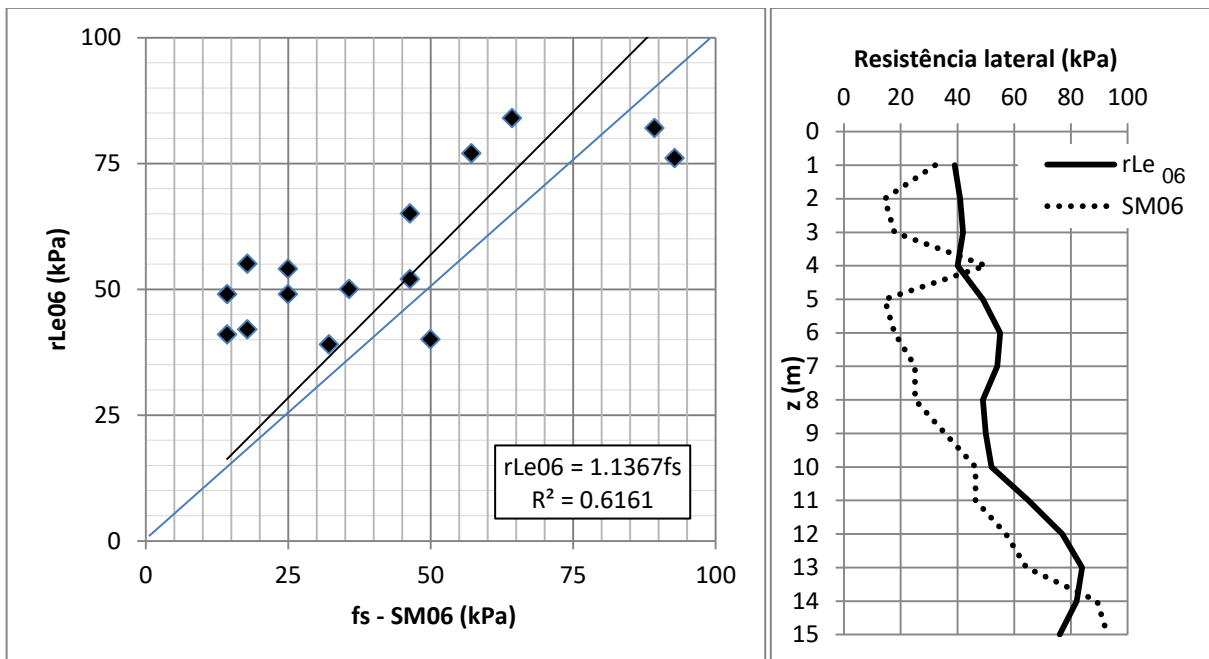


Figura 4.10 – Dispersão entre r_{Le06} e resistência lateral do ensaio SM06.

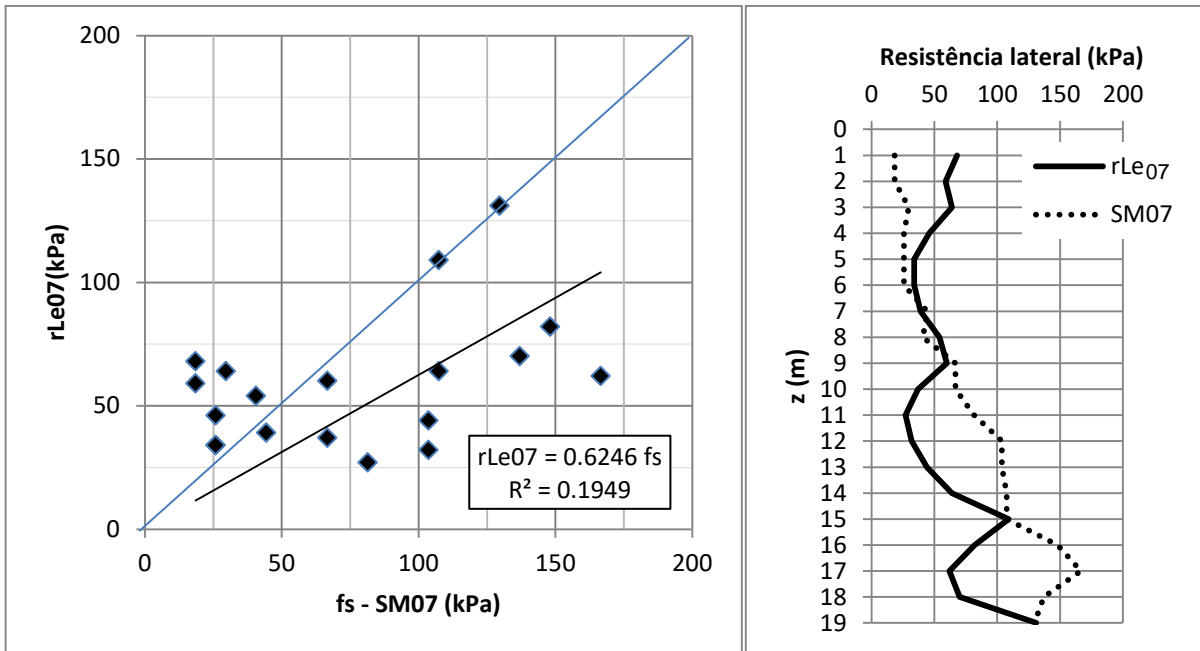


Figura 4.11 – Dispersão entre r_{Le07} e resistência lateral do ensaio SM07.

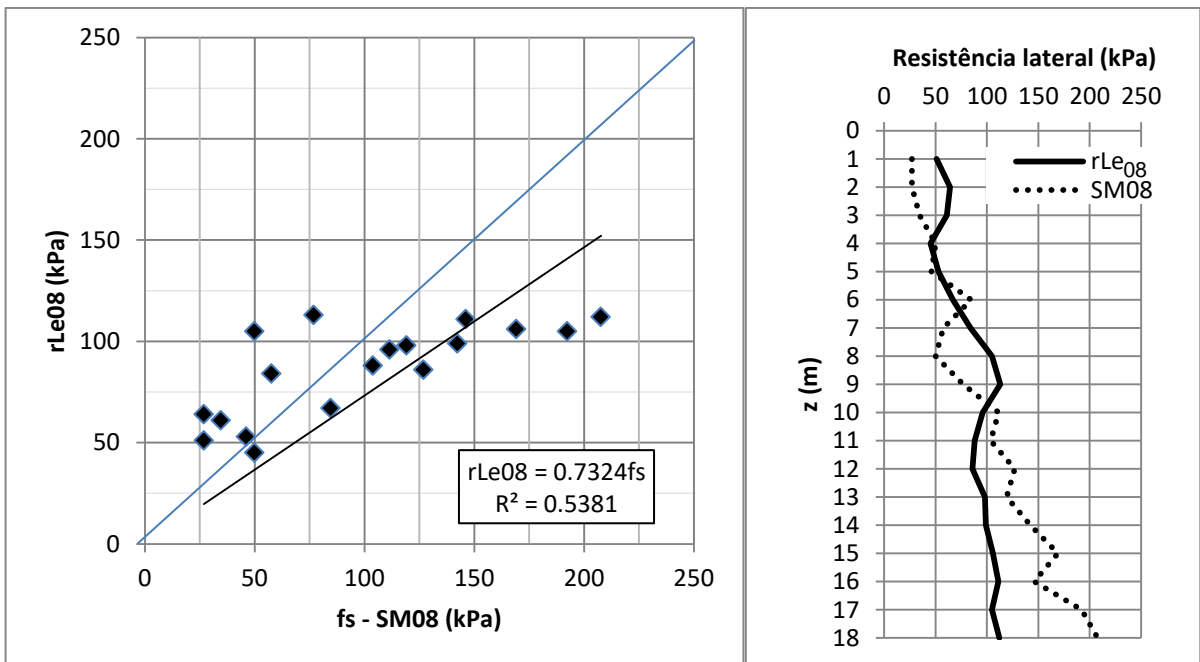


Figura 4.12 – Dispersão entre r_{Le08} e resistência lateral do ensaio SM08.

Para a avaliação dos resultados, foram analisadas as equações do ajuste linear dos valores teóricos e também seus respectivos coeficientes de determinação (R^2). Em relação a estes últimos, estabeleceu-se o limite de 0,6 como o mínimo para considerar aceitável a dispersão entre o ajuste e os resultados de campo. Sabendo que o coeficiente de determinação é numericamente igual ao quadrado do coeficiente de Pearson, o limite adotado para R^2 foi escolhido a partir de um teste de correlação unilateral através da distribuição t de *Student*, com nível de significância de 0,5%, realizado com o intuito de obter o valor absoluto mínimo do coeficiente de Pearson para que este fosse significativo. A interpretação da qualidade dos resultados ocorreu de acordo com os seguintes critérios:

- Foram considerados como bem sucedidos os resultados teóricos que tiveram ajustes com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,6 e equação entre $0,8f_s$ e $1,2f_s$;
- Foram considerados como satisfatórios os resultados teóricos que tiveram ajustes com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,6 e equação fora do intervalo anterior e até $2f_s$;
- Os demais resultados, com coeficiente de determinação inferior a 0,6 ou com equação do ajuste superior $2f_s$ foram considerados insatisfatórios por apresentarem dispersão acentuada, no primeiro caso, e por se distanciarem muito dos resultados de campos (segundo caso).

Com isso, apenas para o local do ensaio SM06 os resultados teóricos foram considerados como bem sucedidos. Para os demais locais analisados, embora valores muito próximos aos de campo tenham ocorrido em algumas profundidades, de forma geral, a dispersão entre os resultados teóricos e de campo foi grande e as previsões foram insatisfatórias.

Dentre as previsões consideradas como insatisfatórias, os ajustes lineares teóricos dos resultados dos locais relativos aos ensaios SM03 e SM08 tiveram coeficiente de determinação muito próximo a 0,6 e ficaram perto de serem enquadrados na condição de resultados satisfatórios.

Visto que a maioria dos locais apresentou resultados teóricos de resistência lateral insatisfatórios, é recomendado que este método de previsão, para estimativas

de resistência lateral em solos do mesmo tipo que o analisado nesta pesquisa, seja utilizado com cautela.

4.4.2. Resistência de ponta

Os resultados da análise estatística descritiva das previsões de resistência de ponta estão na Figura 4.13.

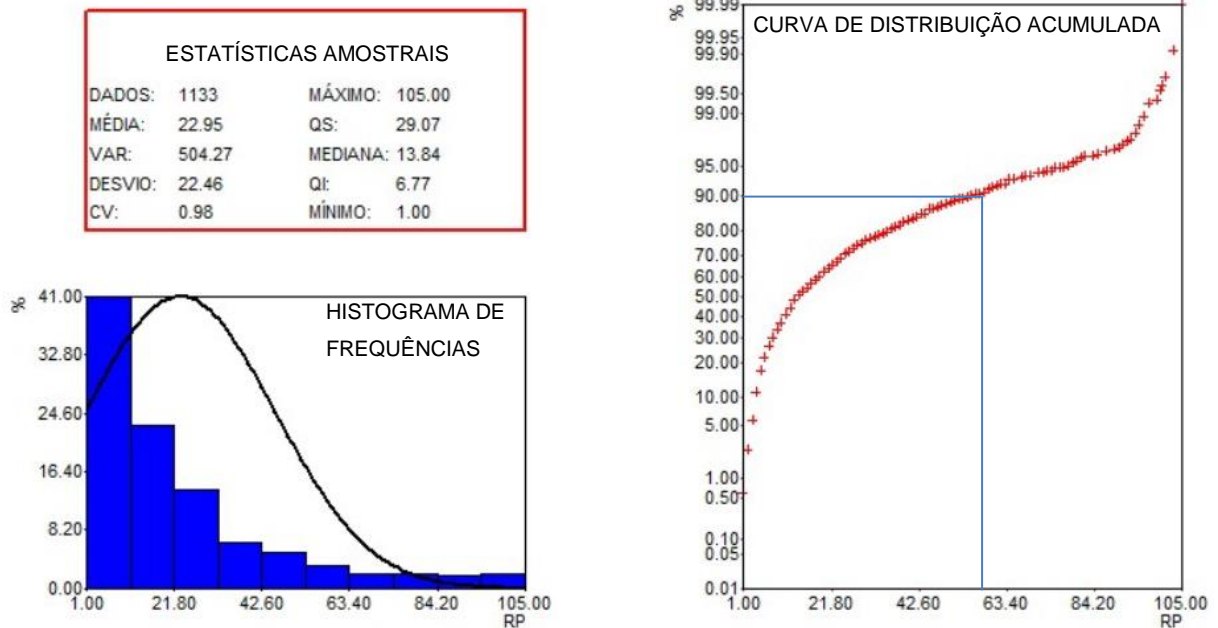


Figura 4.13 – Estatísticas descritivas das resistências laterais.

Entre os 1133 dados de resistência de ponta analisados, o valor mínimo foi de 1 MPa, o máximo foi de 105 MPa, enquanto a média ficou em torno de 22 MPa. O histograma de frequências mostra que 40% dos valores são menores que 10 MPa. A curva de distribuição acumulada permitiu verificar que aproximadamente 90% dos dados tiveram seus valores até 60 MPa.

A partir da Figura 4.14, foram escolhidas as direções de 55° e 145° (contados a partir do eixo vertical que passa pelo centro do círculo), representadas pelas setas, como as direções de menor e de maior continuidade dos dados, respectivamente, embora o variograma multidirecional do plano horizontal não tenha evidenciado grandes diferenças entre as continuidades dos dados em cada direção.

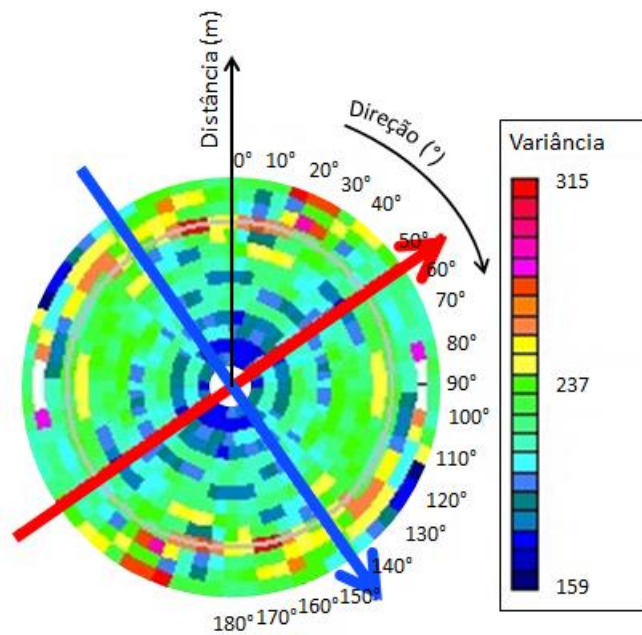


Figura 4.14 – Variância da resistência de ponta em função de sucessivas distâncias entre pares de pontos situados em cada direção do plano horizontal.

Os variogramas gerados para a direção vertical e para as direções de 55° e 145° do plano horizontal estão na Figura 4.15. As curvas demarcadas pelos pontos correspondem aos variogramas experimentais, sobrepostas a elas estão os modelos teóricos ajustados.

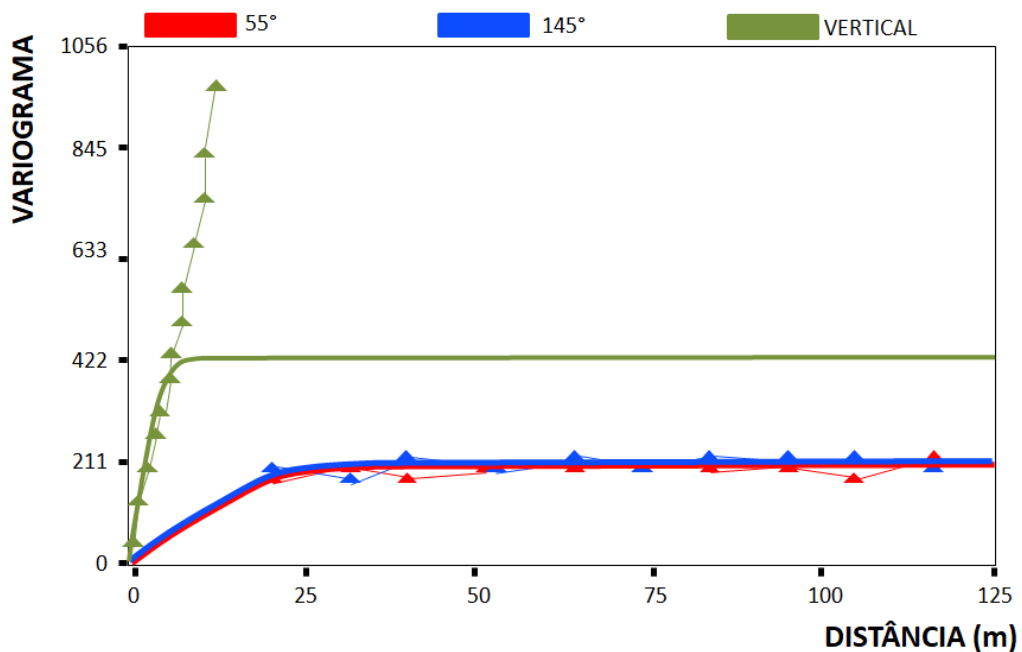


Figura 4.15 – Variogramas experimentais e seus ajustes teóricos.

Diante da pequena diferença entre as direções de 55° e 145°, foi adotado o mesmo modelo teórico para ambas. Ainda priorizando os modelos conservadores, foram escolhidos modelos patamares para as três direções e alcances pequenos, para que a krigagem não buscasse dados distantes. O modelo que melhor se ajustou aos variogramas experimentais foi o esférico. Mesmo que as direções de 55° e 145° não tenham mostrado uma tendência crescente da função entre a origem e o patamar, não foi considerado efeito pepita. A Tabela 4.9 apresenta os alcances (A), patamares ($C_0 + C$) e equações de covariância dos modelos teóricos referentes a cada direção (Equações 4.9 a 4.14).

Tabela 4.9 – Ajustes teóricos dos variogramas

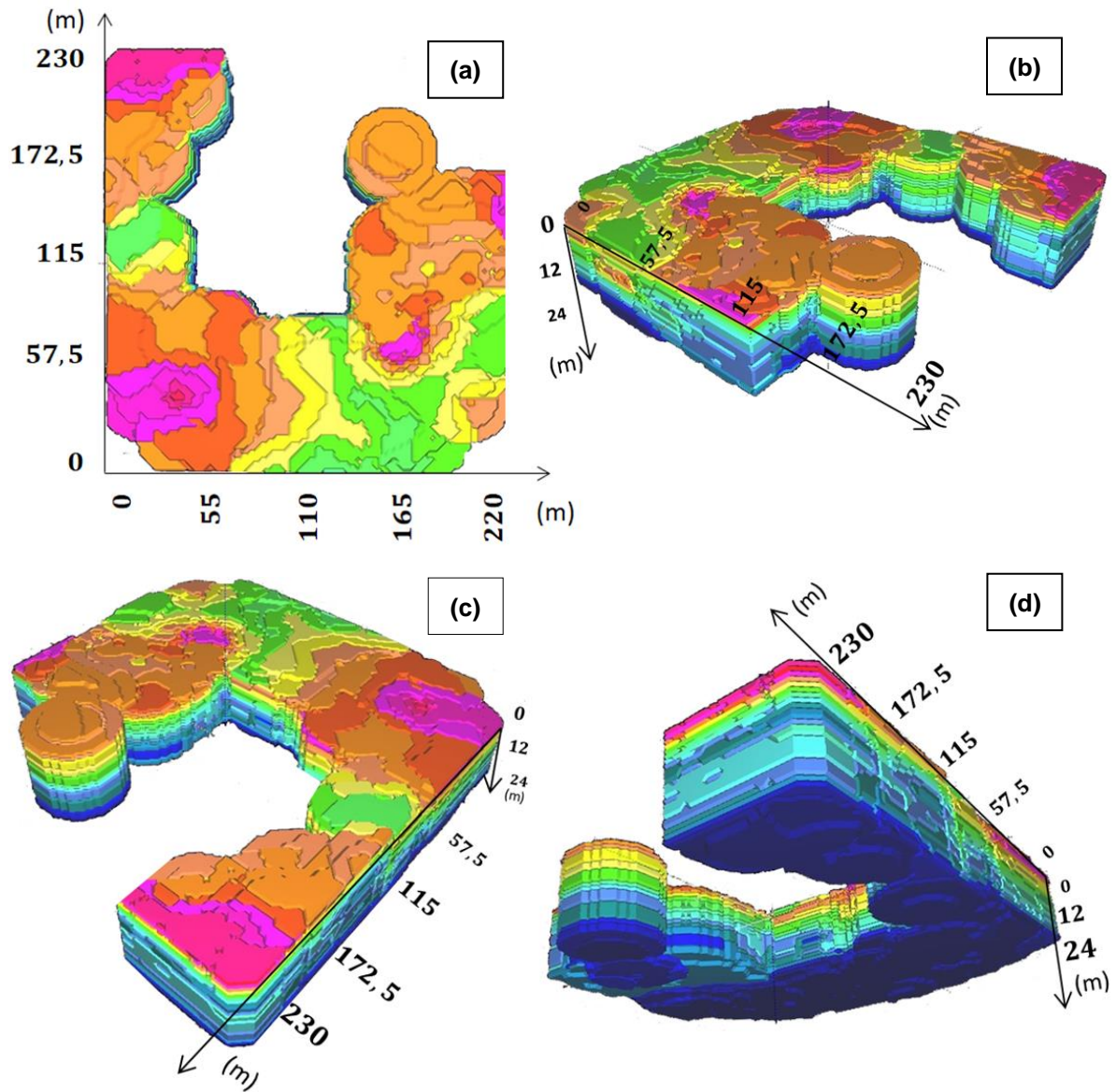
Direção	A (m)	$C_0 + C$	Equação
55°	30,0	200	$\lambda(h) = 200 - 200 \left[\frac{1,5h}{30} - 0,5 \left(\frac{h}{30} \right)^3 \right], h < 30$ (4.9)
			$\lambda(h) = 0, h \geq 30$ (4.10)
145°	30,0	200	$\lambda(h) = 200 - 200 \left[\frac{1,5h}{30} - 0,5 \left(\frac{h}{30} \right)^3 \right], h < 30$ (4.11)
			$\lambda(h) = 0, h \geq 30$ (4.12)
Vertical	8,0	400	$\lambda(h) = 400 - 400 \left[\frac{1,5h}{8} - 0,5 \left(\frac{h}{8} \right)^3 \right], h < 8$ (4.13)
			$\lambda(h) = 0, h \geq 8$ (4.14)

A krigagem ordinária definiu os ponderadores com base nas Equações 4.9 a 4.14. O elipsoide que delimitou a zona de influência na inferência dos pontos foi formado pelos alcances de 30, 30 e 8 metros. Na Figura 4.16 estão demonstradas quatro vistas do maciço estudado, com os valores de resistência de ponta identificados pela cor de cada ponto. Verifica-se que os valores mais altos se encontram nos locais mais profundos.

Foram tomados os resultados dos blocos situados nos locais onde aconteceram os ensaios de cone, excetuando-se os locais dos ensaios SM01 e SM02, por causa da escassez de dados próximos.

A Tabela 4.10 apresenta os resultados de resistência de ponta dos ensaios de cone, discretizados a cada metro, e os resultados da inferência por krigagem ($r_{P_{03}}$,

r_{P04} , r_{P05} , r_{P06} , r_{P07} e r_{P08}), feita a partir dos dados teóricos de resistência de ponta obtidos pelo método de Aoki (2013).



Resistência de ponta (MPa)						
1.0 - 1.3	2.0 - 2.4	3.7 - 4.7	7.2 - 9.1	14.1 - 17.6	27.4 - 34.1	53.1 - 66.1
1.3 - 1.6	2.4 - 3.0	4.7 - 5.9	9.1 - 11.3	17.6 - 21.8	34.1 - 42.5	66.1 - 82.5
1.6 - 2.0	3.0 - 3.7	5.9 - 7.2	11.3 - 14.1	21.8 - 27.4	42.5 - 53.1	82.5 - 102.8

Figura 4.16 – Resultados das inferências de resistência de ponta por krigagem.

Tabela 4.10 – Resistência de ponta (MPa).

z(m)	r_{P03}	SM03	r_{P04}	SM04	r_{P05}	SM05	r_{P06}	SM06	r_{P07}	SM07	r_{P08}	SM08
1	4.3	22.5	5.7	8.0	6.4	5.5	3.1	5.2	7.4	2.8	4.2	4.5
2	4.8	7.5	6.4	13.4	5.3	13.3	3.5	3.2	6.4	3.8	5.4	5.7
3	5.3	3.3	5.5	13.7	4.7	2.4	3.5	4.2	6.0	5.8	7.9	4.7
4	8.0	6.1	5.9	6.0	4.8	3.5	4.6	4.1	8.0	5.1	11.1	9.1
5	11.9	7.5	7.3	7.1	5.1	3.7	6.7	2.6	9.0	6.5	12.2	7.6
6	13.5	11.3	10.4	13.4	5.5	4.0	6.1	4.5	8.4	6.6	13.6	10.2
7	15.9	3.8	15.7	14.3	7.8	2.2	7.2	6.3	10.6	7.4	19.0	8.3
8	19.2	7.0	17.8	8.0	11.4	2.9	7.5	6.1	14.0	8.3	23.9	7.3
9	22.0	8.8	14.9	21.4	10.9	7.0	7.6	8.9	11.1	12.1	25.8	11.3
10	24.2	12.5	14.6	2.9	10.4	8.2	9.7	8.3	9.7	12.9	22.6	13.4
11	28.7	15.6	10.4	40.3	11.0	8.3	11.9	11.8	10.0	14.1	22.5	14.7
12	31.6	19.2			12.6	11.5	12.8	12.1	12.6	16.3	23.2	17.2
13	35.2	21.6			14.3	10.2	13.9	14.4	18.6	16.4	27.2	16.7
14	37.0	23.1			16.3	10.2	15.8	14.7	19.1	17.9	30.3	19.1
15	37.7	23.2					19.1	17.4	16.7	18.4	33.8	21.8
16	40.2	26.3							19.9	21.5	35.6	18.4
17	45.6	22.2							23.3	23.8	35.5	22.0
18									24.7	22.9	37.2	24.3
19									38.0	20.9		

A Tabela 4.10 mostra boa proximidade entre os resultados teóricos e os valores de campo, com pouca dispersão. As Figuras 4.17 a 4.22, com os gráficos de dispersão das resistências de ponta teóricas e de campo e os seus valores plotados ao longo da profundidade, permitem uma melhor interpretação dos resultados.

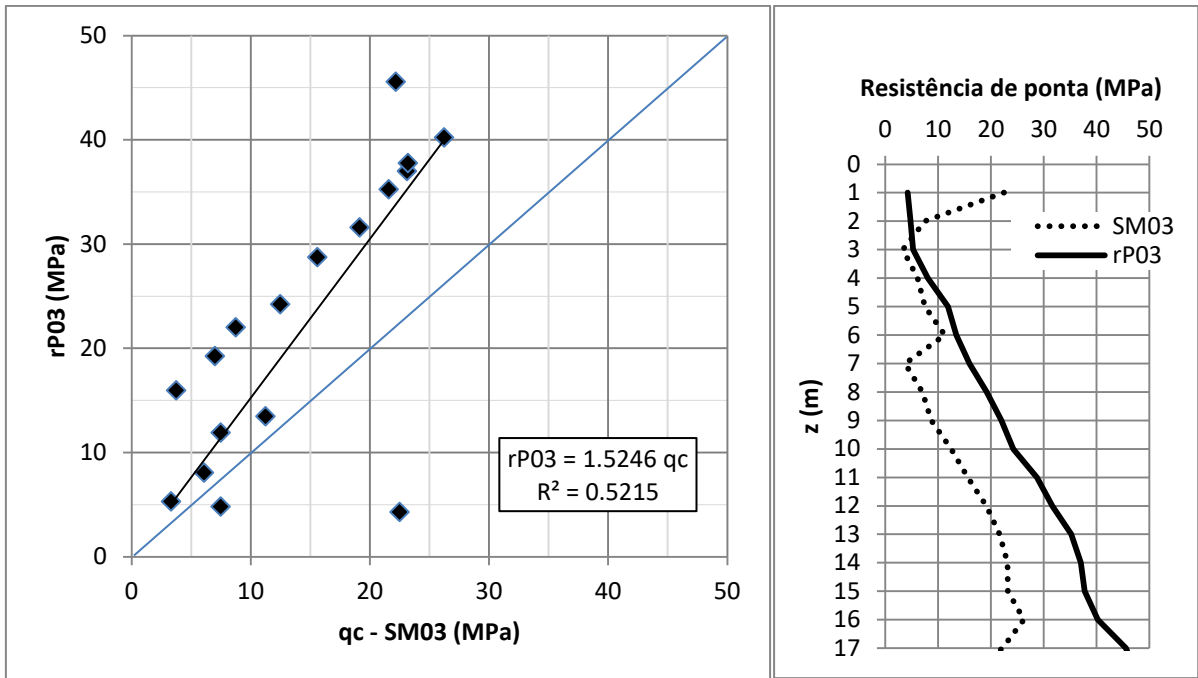


Figura 4.17 – Dispersão entre r_{P03} e resistência de ponta do ensaio SM03.

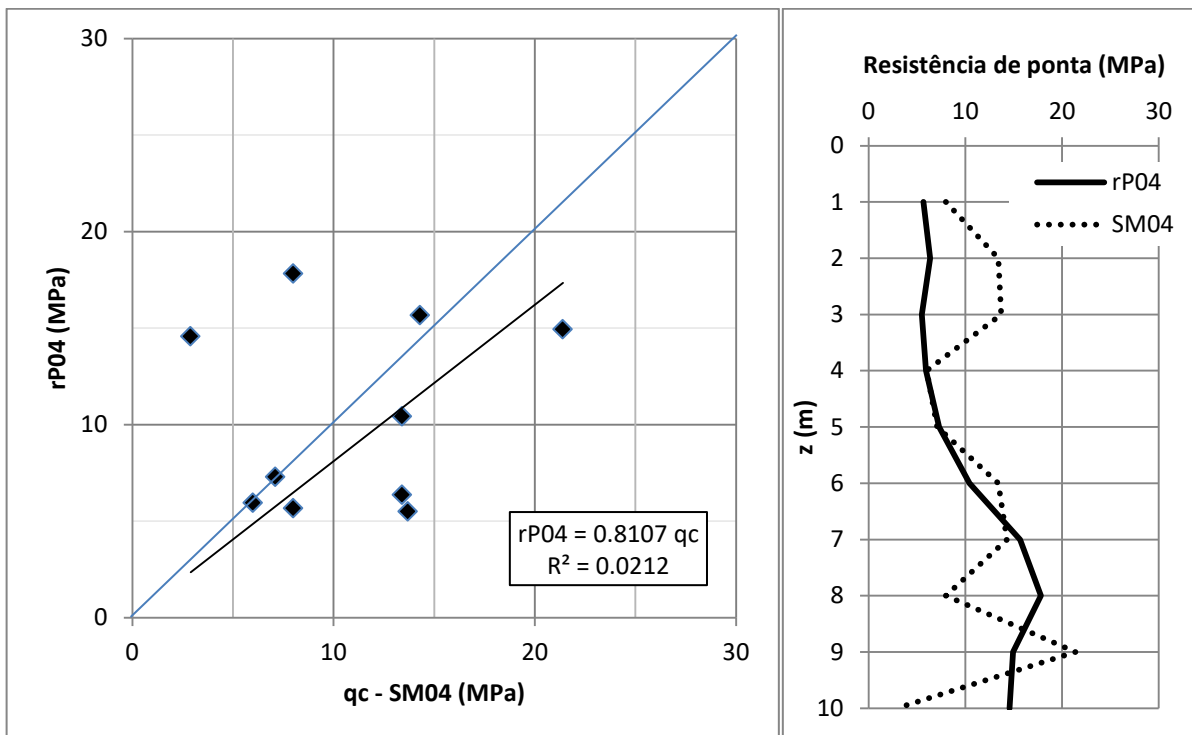


Figura 4.18 – Dispersão entre r_{P04} e resistência de ponta do ensaio SM04.

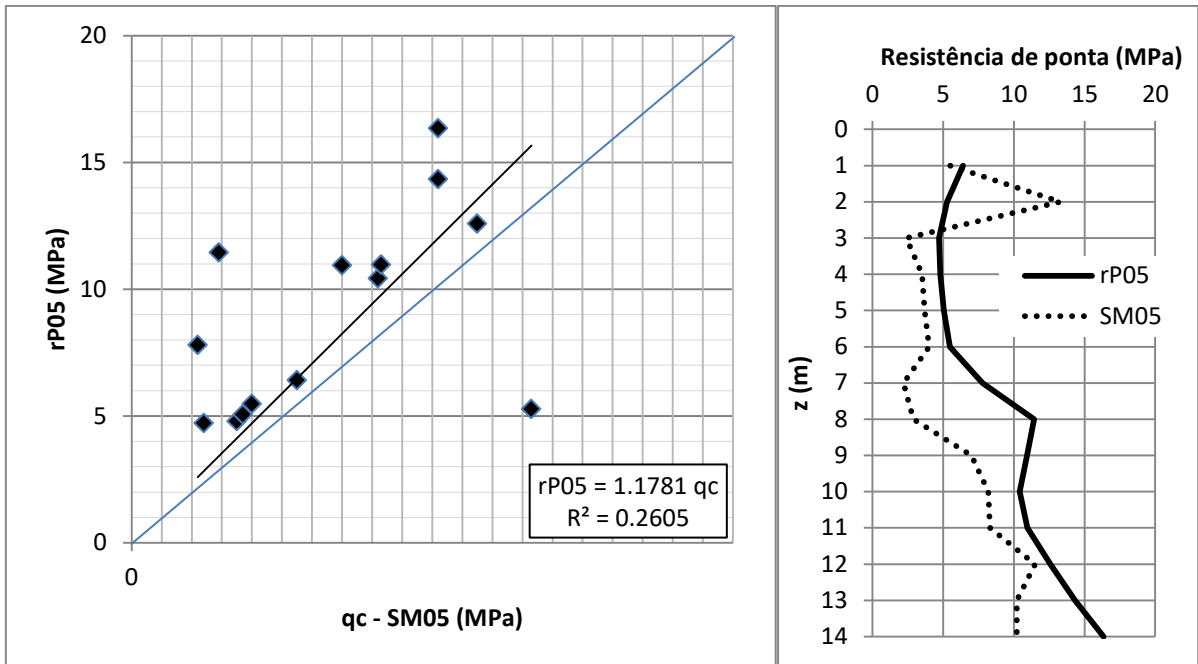


Figura 4.19 – Dispersão entre r_{P05} e resistência de ponta do ensaio SM05.

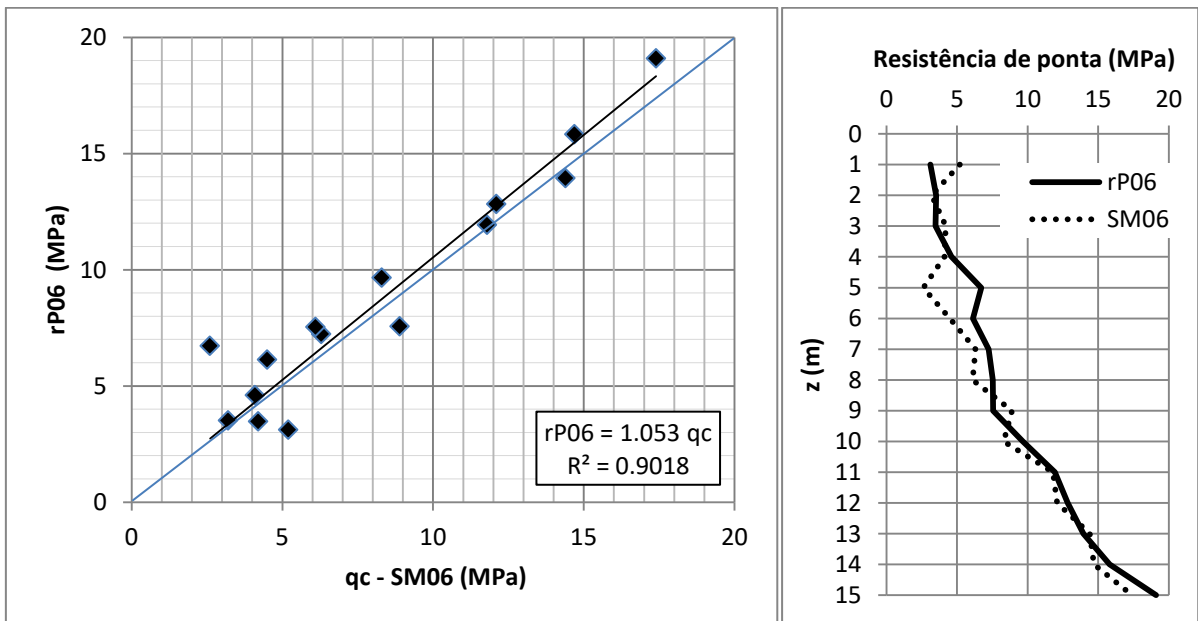


Figura 4.20 – Dispersão entre r_{P06} e resistência de ponta do ensaio SM06.

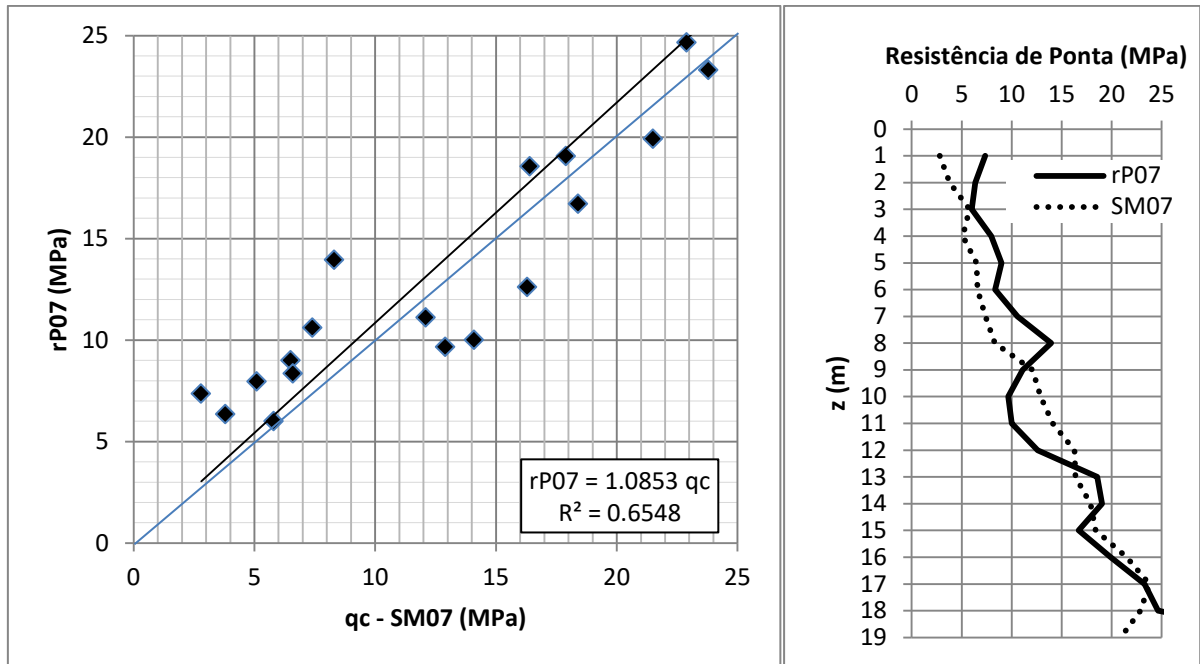


Figura 4.21 – Dispersão entre r_{P07} e resistência de ponta do ensaio SM07.

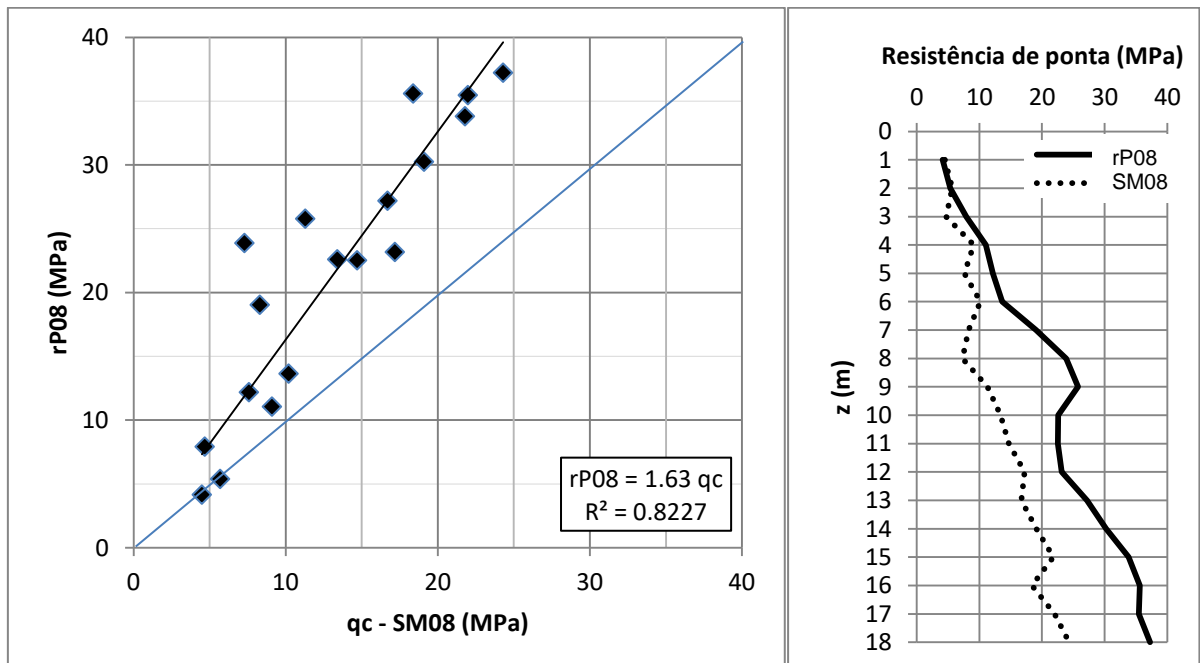


Figura 4.22 – Dispersão entre r_{P08} e resistência de ponta do ensaio SM08.

Seguindo os mesmos critérios estabelecidos para a interpretação da qualidade dos resultados de resistência lateral, comparando os valores teóricos e de campo de resistência de ponta e observa-se que para os locais dos ensaios SM06 e SM07, as relações entre as previsões de resistência de ponta e os valores obtidos

pelos ensaios de cone ficou muito próxima à unidade, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,90 e 0,62, respectivamente. Isso indica que para estes locais, a previsão de resistência de ponta foi bem sucedida.

Quanto ao local do ensaio SM08, a relação entre r_p e os resultados de cone foi de 1,63, com coeficiente de determinação de 0,82. Neste local, embora a relação tenha se distanciado um pouco mais da unidade, a dispersão foi aceitável, portanto as previsões nesta região foram consideradas satisfatórias.

Em relação aos demais locais analisados, estes tiveram resultados insatisfatórios de acordo com os critérios adotados. Para as regiões dos ensaios SM04 e SM05 as dispersões foram muito altas, enquanto que, para o local do ensaio SM03, o ajuste linear teórico teve coeficiente de determinação próximo a 0,6 e quase pôde ser enquadrado na condição de resultado satisfatório.

De maneira geral, os ajustes lineares (passando pela origem) da relação entre as estimativas e os valores de campo ficaram entre 1,0 e 1,6, mostrando que foram adequadas as estimativas de resistências de ponta a partir do método de Aoki (2013), embora seja necessário investigar as causas das dispersões em algumas regiões. Como existiu uma tendência de valores superiores aos medidos em campo, seria recomendável adotar muita cautela ao utilizar este método para previsões.

4.4.3. Avaliação da análise geoestatística

Este item tem o objetivo de justificar a dispensabilidade da correção dos valores das inferências de acordo com o nível de confinamento do solo e também de avaliar a qualidade da análise geoestatística.

4.4.3.1. Nível de confinamento

Analisando-se a cota da superfície de cada sondagem, percebeu-se uma irregularidade significativa na superfície do terreno. Foram observadas diferenças de até seis metros entre as cotas das bocas dos furos (Figura 4.23).

Devido às diferenças entre as cotas, houve a preocupação em verificar se haveria ou não a necessidade de correção dos resultados das inferências em relação ao nível de tensão ao qual cada ponto utilizado na estimativa estava submetido. Para isso, buscou-se analisar alguns dos blocos que tiveram seus valores estimados e os respectivos pontos considerados nas estimativas.

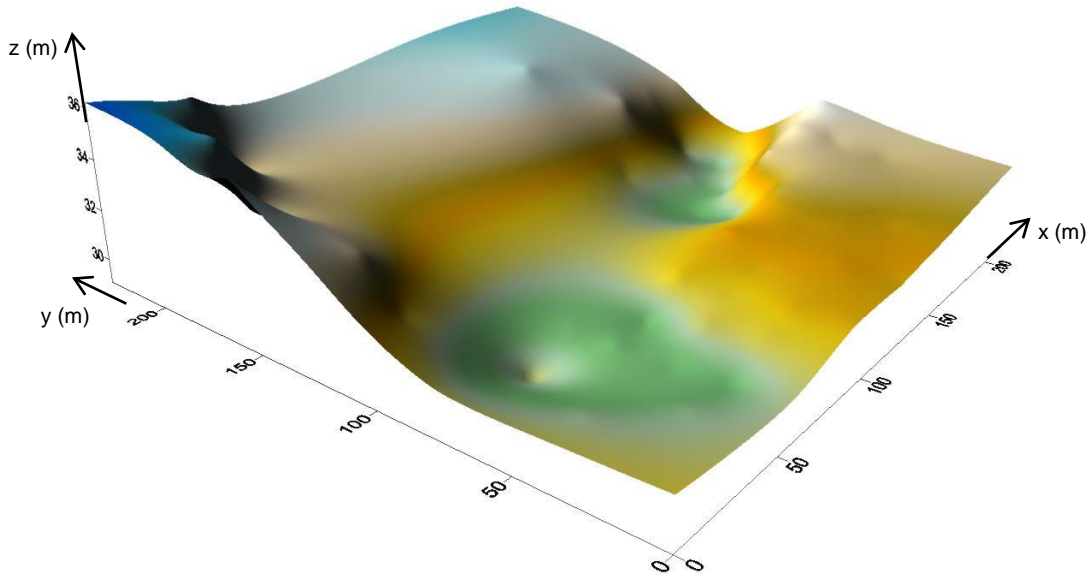


Figura 4.23 – Superfície do terreno.

Como exemplo da análise, a Figura 4.24 mostra o bloco P , onde foram estimados os valores das resistências r_{Le06} e r_{P06} , a dez metros de profundidade. Para facilitar a visualização, o bloco P foi representado na origem dos eixos e as localizações espaciais dos pontos que participaram da estimativa tiveram a escala do eixo z aumentada quatro vezes em relação às escalas dos eixos x e y . As estimativas das resistências do bloco consideraram 11 pontos, pertencentes a 5 sondagens. A vista em planta auxilia a compreensão da visão tridimensional da figura.

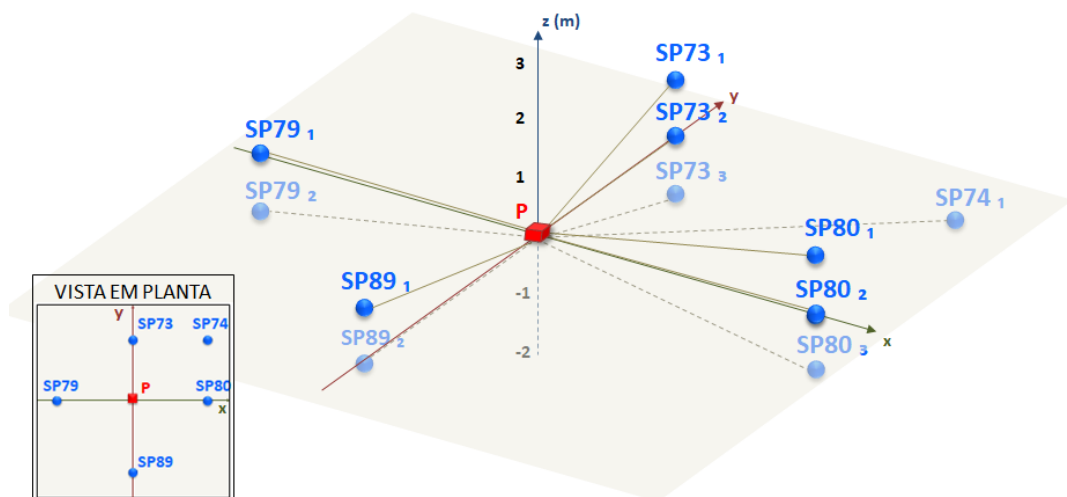


Figura 4.24 – Bloco P e os pontos considerados na estimativa de suas resistências.

A Tabela 4.11 contém as informações relativas a cada ponto da Figura 4.24. Pode-se perceber que a análise geoestatística foi modelada para usar os pontos

mais próximos aos blocos, que não situam-se em cotas muito diferentes daquelas dos locais das estimativas (a tabela informa a diferença entre as cotas dos pontos e do bloco para sustentar esta afirmativa). Também houve pouca diferença de profundidade em relação à superfície entre os pontos e o bloco. Com isso, pôde-se concluir que não houve necessidade de correção dos valores estimados em relação ao nível de confinamento, porque as inferências dos valores de cada bloco levaram em consideração apenas os pontos sob níveis muito parecidos de tensões.

Tabela 4.11 – Características dos pontos considerados na inferência.

ID	Cota da superfície ¹ (m)	Cota do ponto (m)	Profundidade do ponto ² (m)	Diferença entre cotas ³ (m)	Diferença de profundidade ⁴ (m)	$\lambda (r_{Le})^5$	$\lambda (r_p)^5$
<i>P</i>	30	20,00	10	-	-	-	-
<i>SP73</i> ₁		21,00	8	1,00	-2	0,079	0,062
<i>SP73</i> ₂	29	20,00	9	0,00	-1	0,169	0,266
<i>SP73</i> ₃		19,00	10	-1,00	0	0,077	0,062
<i>SP74</i> ₁	29,9	19,90	10	-0,10	0	0,001	0,001
<i>SP79</i> ₁		20,09	10	0,09	0	0,143	0,158
<i>SP79</i> ₂	30,9	19,09	11	-0,91	1	0,065	0,017
<i>SP80</i> ₁		21,04	9	1,04	-1	0,060	0,019
<i>SP80</i> ₂	30,04	20,04	10	0,04	0	0,152	0,196
<i>SP80</i> ₃		19,04	11	-0,96	1	0,062	0,024
<i>SP89</i> ₁		20,96	9	0,96	-1	0,046	0,004
<i>SP89</i> ₂	29,96	19,96	10	-0,04	0	0,146	0,191

¹: Cota da boca do respectivo furo.

²: Profundidade do ponto em relação à cota da boca do seu respectivo furo.

³: Diferença entre a cota do ponto e a cota de P.

⁴: Diferença entre a profundidade do ponto e a profundidade de P.

⁵: Ponderador da Equação 2.28, utilizado para a previsão de resistência lateral.

⁶: Ponderador da Equação 2.28, utilizado para a previsão de resistência de ponta.

4.4.3.2. Qualidade da análise geoestatística em diferentes regiões da área em estudo

Para verificar a qualidade da análise geoestatística, foram utilizados os resultados das previsões de resistência por Aoki (2013), retirando-se alguns dos dados, como se eles não existissem. Os pontos circunvizinhos foram usados para prevê-los e, por fim, comparou-se o resultado com os dados omitidos.

Foram escolhidas as sondagens SP22, SP69 e SP101 para a verificação. A opção por essas três sondagens visou abranger diferentes regiões da área de estudo, utilizando pontos que estivessem entre o maior número possível de dados. Os gráficos de dispersão das Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 mostram os resultados das resistências inferidas por krigagem em função dos dados originais.

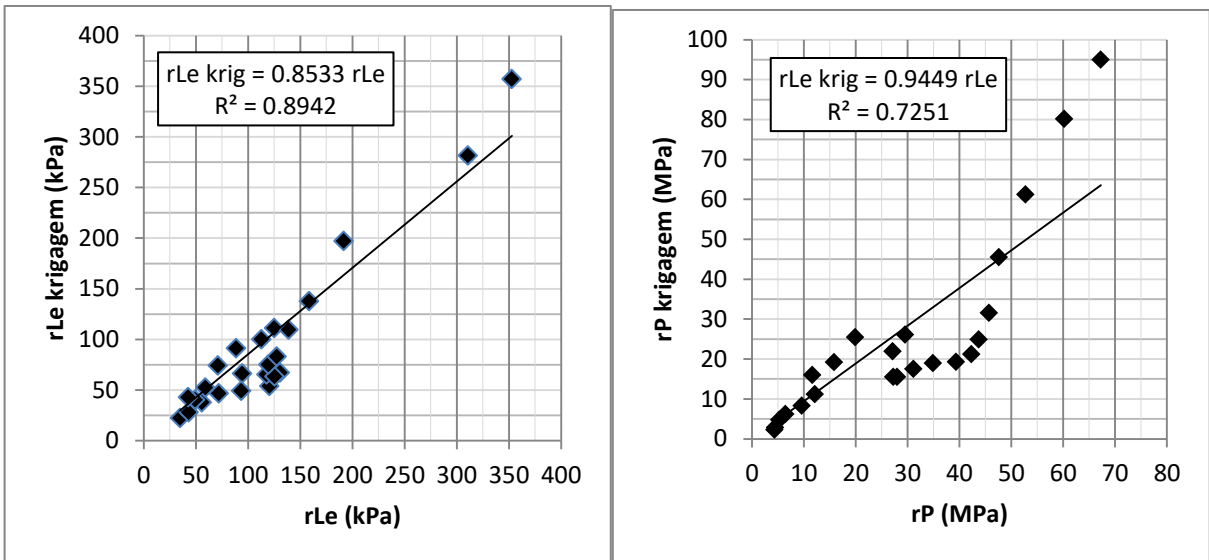


Figura 4.25 – Dispersão entre as resistências inferidas por krigagem e as resistências previstas a partir do ensaio SP22.

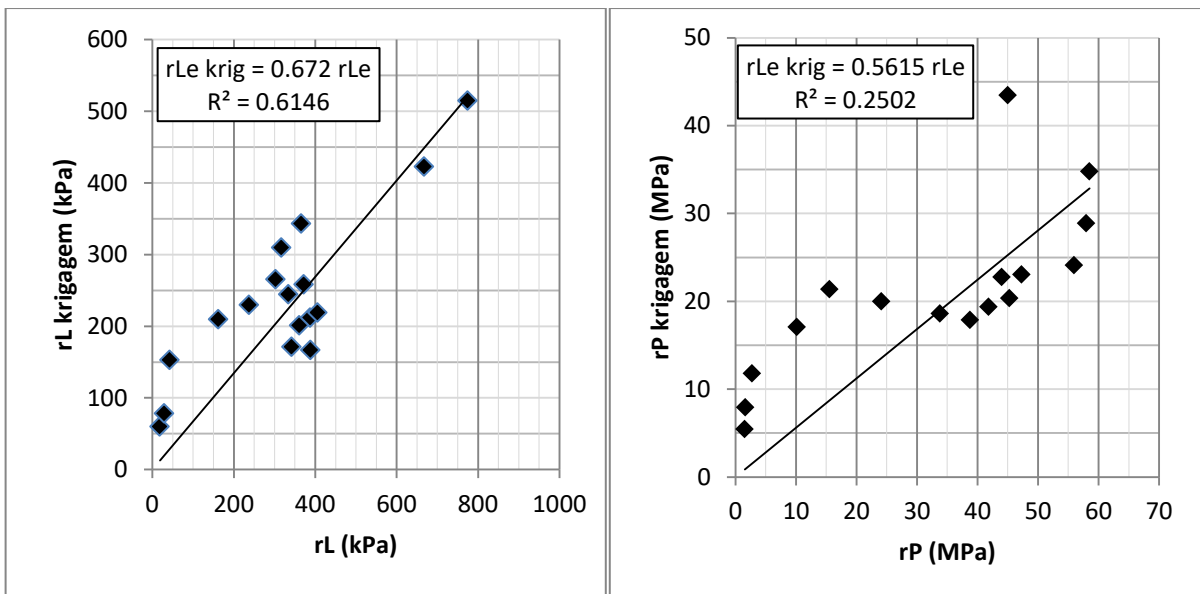


Figura 4.26 – Dispersão entre as resistências inferidas por krigagem e as resistências previstas a partir do ensaio SP69.

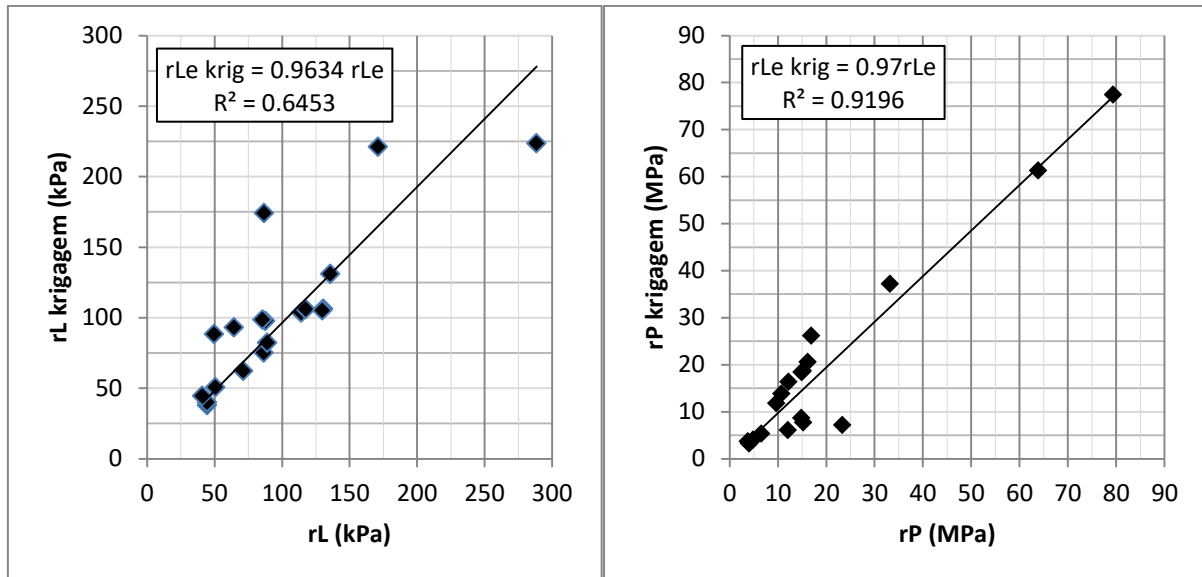


Figura 4.27 – Dispersão entre as resistências inferidas por krigagem e as resistências previstas a partir do ensaio SP101.

Observando os gráficos de dispersão, pode-se concluir que, de forma geral, a análise geoestatística produziu bons resultados, visto que as resistências inferidas por krigagem para os locais dos ensaios SP22 e SP101 apresentaram valores muito próximos aos dos dados, com relações variando entre 0,85 e 0,97. Os coeficientes de determinação indicam que as análises geoestatísticas foram consideravelmente confiáveis.

Quanto ao local do ensaio SP69, os resultados foram menos satisfatórios: a relação entre as inferências e os dados originais se distanciou mais da unidade e, embora o coeficiente de determinação tenha sido bom para a resistência lateral, para a resistência de ponta foi baixo. Um provável motivo é que nesta área pode ocorrer uma maior heterogeneidade dos parâmetros do solo, de forma que as resistências neste local tenham uma distribuição menos contínua e mais aleatória, dificultando o processo de estimativa pela geoestatística.

Analisando-se a região do ensaio SP69, observa-se que corresponde às proximidades do ensaio SM04, local onde as inferências de resistência lateral e de ponta foram insatisfatórias (Seções 4.4.1 e 4.4.2). Com isso, um dos motivos pra o insucesso dos resultados nestes locais pode ser atribuído à componente aleatória da heterogeneidade do solo nesta área.

Cunha (2016) utilizou os dados do mesmo programa de investigação geotécnica para estabelecer correlações entre N_{spt} e q_c utilizando, para isso, ferramentas geoestatísticas. O autor não obteve correlações satisfatórias para o ensaio SM04, assim como aconteceu com as variáveis estudadas na presente pesquisa, o que reforça a hipótese de que a aleatoriedade dos parâmetros do solo nesta região prejudica a análise geoestatística, impossibilitando a obtenção de resultados representativos.

CAPÍTULO 5

Conclusões

O presente estudo utilizou o método de Aoki (2013) para fazer estimativas das resistências lateral e de ponta a partir de resultados de ensaios SPT realizados em um depósito de areia fina. A avaliação da qualidade das estimativas foi feita por uma análise geoestatística, tomando como referência os ensaios de cone realizados no mesmo depósito. A partir da metodologia adotada e dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

- Para as camadas de areia pura estudadas nesta pesquisa, o valor do fator α obtido em experimento em campo (relação entre os atritos interno e externo nas paredes do amostrador SPT) foi praticamente igual ao valor sugerido por Aoki (2013) e se manteve relativamente constante ao longo da profundidade, sem sofrer influência significativa do índice N_{spt} ;
- O aparecimento e crescimento do teor de siltes nas areias gerou aumentos consideráveis do fator α , de forma que, quando comparadas a areia pouco siltosa e a areia pura, a primeira apresentou o triplo do valor da última. Em relação à areia com poucos siltes, a areia siltosa analisada também apresentou aumento do fator α ;
- A variação da energia teórica ao longo da profundidade mostrou uma tendência de estabilização para as camadas profundas com índice N_{spt} alto. Nestes casos, a penetração média por golpe é muito pequena, o que torna a parcela de energia potencial adicional devido à penetração do amostrador desprezível, de forma que a energia nominal do ensaio se aproxima do valor da energia potencial relativa à altura de queda do martelo;
- O método de Aoki (2013) gerou resultados de resistência de ponta e de atrito lateral crescentes ao longo da profundidade, de acordo com a tendência de crescimento observada pelos ensaios de cone. O uso da metodologia produziu, para o depósito de areia fina estudado neste trabalho, previsões de mesma ordem de grandeza dos resultados experimentais;

- A modelagem geoestatística utilizada nesta pesquisa foi de grande utilidade para as análises, agregando ferramentas capazes de considerar o comportamento espacial do solo. O uso da geoestatística possibilitou simplificar as análises, dispensando correções para o nível de tensões. Além disso, a verificação da qualidade da análise geoestatística mostrou que a modelagem utilizada obteve êxito;
- Quanto às estimativas de resistência lateral, quando comparadas aos resultados dos ensaios de cone, de forma geral, as previsões mostraram valores bem próximos aos dos dados experimentais em alguns locais, embora tenha sido observada uma grande dispersão entre o ajuste linear dos resultados teóricos e os resultados de campo;
- Os resultados de resistência de ponta teóricos ficaram próximos e ligeiramente acima dos resultados experimentais, sem grande dispersão. Embora tenha sido observada uma dispersão em alguns locais, a maioria das previsões de resistência de ponta se mostrou bem sucedida e satisfatória. Com isso, concluiu-se que foram adequadas as estimativas de resistências de ponta a partir de ensaios SPT utilizando o método de Aoki (2013);
- O método de Aoki (2013) gerou previsões de resistência de ponta mais bem sucedidas que as de resistência lateral. Sugere-se cautela ao utilizar tal metodologia para o mesmo tipo de solo estudado nesta pesquisa, visto que parte das estimativas teóricas ficou contra a segurança.

REFERÊNCIAS

ABNT (2001). *NBR6484 – Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

ABOU-MATAR, H. et al. (1996). Wave equation soil constants from dynamic measurements on SPT. In: FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE APPLICATION OF STRESS-WAVE THEORY TO PILES, 1996, Orlando, Anais. p.163-175.

AGUIAR, M. F. P.; MENDES, G. C. M.; ROQUE; B. V.; OLIVEIRA, F. H. L.; SCIPIÃO, L. H. F. Estudo da Eficiência de Sondagens à Percussão tipo SPT com Medição de Torque e Embuchamento na Determinação da Capacidade de Carga de Fundações Tipo Raiz no Campo Experimental da UNIFOR, COBRAMSEG, Belo Horizonte. 2016.

ANGELIM, L. A. A.; NESI, J. R.; TORRES, H. H. F.; MEDEIROS, V. C.; SANTOS, C. A.; VEIGA JUNIOR, J. P.; MENDES, V. A. (2007). Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. CPRM. Recife.

AOKI, N.; CINTRA, J.C.A. (2000). The application of energy conservation Hamilton's principle to the determination of energy efficiency in SPT tests. VI International Conference on the application of the stress-wave theory to piles, São Paulo. pp. 457-460.

AOKI, N.; ESQUIVEL, E.R.; NEVES, L.F.S.; CINTRA, J.C.A. The impact efficiency obtained from static load test performed on the SPT sampler. *Soils and Foundation*, v. 47, n. 6, p. 1045-1052. 2007.

AOKI, N. Inovação no SPT. In: CINTRA, J.C.A; AOKI, N; TSUHA, C; GIACHETI, H.L. *Fundações, Ensaio estáticos e dinâmicos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 25-38.

BELINCANTA, A. Avaliação de fatores intervenientes no índice de resistência à penetração do SPT. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. 141 p.

BELINCANTA, A. Energia dinâmica no SPT: resultados de uma investigação teórico-experimental. 217 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

CAVALCANTE, E. H. Investigação teórico-experimental sobre SPT. 410p. v.1. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2002.

CLARK, I. Practical Geostatistics. Geostokos Limited, Alloa Business Centre, Whins Road, Alloa, Central Scotland, 151p, 1979.

COSTA, Y. D. J.; COSTA, J. P. S.; SILVA Jr, A. L. Medidas da Eficiência do Ensaio SPT em Areia Através de Provas de Carga Estática no Amostrador Padrão (PCESPT), COBRAMSEG, Porto de Galinhas-PE. 2012.

FARIAS, R. N. S.; ALBUQUERQUE JÚNIOR, F. S.; YAMAMOTO, J. K. O uso da geoestatística na caracterização de áreas com instabilidade no Município de Campos dos Goytacazes – RJ. IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encosta, Salvador-BA. 2005.

CUNHA, E. E. S. Correlações entre resultados de ensaios SPT e CPT para solo arenoso sedimentar. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

FERREIRA, M.Q. Adaptação do ensaio SPT para determinação de parâmetros adicionais para o dimensionamento de fundações. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, J.C.H. Mining geostatistics. Academic Press, 600p., 1978.

KRAGE, C. P.; DEJONG, J.T.; BOULANGER, R. W. Identification of Geologic Depositional Variations using CPT-based Conditional Probability Mapping. Geotechnical and Geophysical Site Characterisation 5, Sydney. 2016.

LANDIM, P. M. B. (2003). Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: Editora UNESP, 2 ed. 254p.

LUKIANCHUKI, J. A. Interpretação de resultados do ensaio SPT com base em instrumentação dinâmica. 2012. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 358 p.

LUTENEGGER, A. J.; KELLEY, S. P. Standard penetration tests with torque measurement. In: PROCEEDINGS, GEOTECHNICAL SITE CHARACTERIZATION. Balkema, Atlanta, USA, p. 939 a 945, 1998.

MATHERON, G. (1966) Présentation des variables régionalisées. Journal de la société statistique de Paris, vol 107. P 263-275.

MORAIS, T.D.O. Interpretação racional de resultados de ensaios SPT com base em conceitos de energia. 2014. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 228 p.

NEVES, L.F.S. Metodologia para a determinação da eficiência do ensaio SPT através de prova de carga estática sobre o amostrador padrão. 2004. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP. 90p.

NOREÑA, P. C. T. Estimativa da eficiência do ensaio SPT através da execução da prova de carga estática sobre o amostrador. 2011. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP. 187p.

ODEBRECHT, E, Medidas de energia no ensaio SPT. 2003. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 250 p.

QUINTERO-BAÑOS, J. P. Modelagem numérica dos fenômenos que ocorrem durante a penetração do amostrador spt no solo. 2016. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP. 147p.

RANZINI, S. M. T. SPTF. Solos e Rochas. ABMS, São Paulo, vol. 11, n. único, p. 29-30, 1988.

RANZINI, S. M. T. SPTF: Parte II. Solos e Rochas. ABMS, São Paulo, vol. 17, n. 3, p. 189-190, 1994.

Robertson, P.K. (2013). The James K. Mitchell Lecture: Interpretation of in-situ tests – some insights. In: Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4 – Coutinho & Mayne (eds.). 2013. Taylor & Francis Group, London.

ROCHA, B. P.; MORAIS, T. S. O.; RODRIGUES, R. A.; ESQUIVEL, E. R.; GIACHETI, H. L. Considerações sobre a execução e a interpretação de ensaios SPT. 8º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo. 2015.

SCHMERTMANN, J.H.; PALACIOS, A. Energy dynamics of SPT. Journal of the Geotechnical Engineering Division - ASCE, v. 105, n. GT8, p. 909-926, Ago. 1979.

SCHNAID, F.; ODEBRETCH, E. Ensaios de campo e suas aplicações a engenharia de fundações. Oficina de Textos. 189 p., 2012.

SEED, H.B. et al. (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resultance evaluation, Journal of Geotechnical and Environmental Engineering – ASCE, v.111, n.12, p.1425-1445.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. M. Geoestatística – conceitos e aplicações. São. Paulo: Oficina de textos, 2013. 215p.

ZAPATA GALVIS, J. Estimativa das tensões internas e externas atuantes no amostrador spt durante sua cravação. 2015. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP. 176p.

ANEXO - Previsão de resistência estática de acordo com Aoki (2013).

Tabela A1 – Resultados de previsão para SP03. Cota da superfície = 35,30m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,30	Areia	0,032	574	2,68	2,0	1,45	20,2	1,4
2	3	0,35	Areia	0,065	542	3,79	2,0	1,25	26,5	2,1
3	4	0,32	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,36	36,0	2,6
4	4	0,22	Areia pouco siltosa	0,129	526	4,91	6,0	0,66	23,6	3,6
5	9	0,30	Areia pouco siltosa	0,162	499	10,49	6,0	0,48	40,0	8,2
6	13	0,32	Areia pouco siltosa	0,194	493	14,95	6,0	0,45	54,2	11,9
7	19	0,27	Areia pouco siltosa	0,227	488	21,64	6,0	0,54	88,7	16,5
8	30	0,32	Areia pouco siltosa	0,259	484	33,91	6,0	0,45	122,3	26,9
9	32	0,34	Areia pouco siltosa	0,291	484	36,14	6,0	0,43	124,5	29,1
10	42	0,30	Areia pouco siltosa	0,324	483	47,30	6,0	0,48	178,8	36,9
11	42	0,30	Areia pouco siltosa	0,356	483	47,30	6,0	0,48	178,9	36,9
12	24	0,34	Areia siltosa	0,388	486	27,22	9,5	0,27	65,2	24,1
13	24	0,28	Areia siltosa	0,421	486	27,22	9,5	0,33	76,6	23,4
14	24	0,27	Areia siltosa	0,453	486	27,22	9,5	0,34	79,0	23,2
15	25	0,32	Areia siltosa	0,485	486	28,33	9,5	0,29	71,6	24,9
16	26	0,30	Areia siltosa	0,518	485	29,45	9,5	0,31	78,5	25,6
17	19	0,34	Areia siltosa	0,550	488	21,64	9,5	0,27	52,4	19,4
18	23	0,34	Areia siltosa	0,583	486	26,10	9,5	0,27	63,0	23,3
19	24	0,32	Areia siltosa	0,615	486	27,22	9,5	0,29	69,1	24,1
20	27	0,35	Areia siltosa	0,647	485	30,57	9,5	0,26	71,9	27,4
21	29	0,33	Areia siltosa	0,680	485	32,80	9,5	0,28	81,1	29,1
22	36	0,34	Areia siltosa	0,712	483	40,60	9,5	0,27	97,6	36,1
23	56	0,28	Argila arenosa	0,744	481	62,92	8,0	0,39	202,3	51,9
24	98	0,26	Argila arenosa	0,777	480	109,77	8,0	0,42	372,1	88,7

Tabela A2 – Resultados de previsão para SP11. Cota da superfície = 35,32m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	3	0,38	Areia	0,032	542	3,79	2,0	1,15	25,2	2,2
2	2	0,34	Areia	0,065	574	2,68	2,0	1,28	19,1	1,5
3	2	0,31	Areia	0,097	574	2,68	2,0	1,41	20,3	1,4
4	6	0,29	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,50	55,0	3,7
5	7	0,32	Areia pouco siltosa	0,162	505	8,25	6,0	0,45	30,1	6,6
6	8	0,35	Areia pouco siltosa	0,194	502	9,37	6,0	0,42	32,0	7,7
7	11	0,34	Areia pouco siltosa	0,227	495	12,72	6,0	0,43	44,2	10,3
8	24	0,29	Areia pouco siltosa	0,259	486	27,22	6,0	0,50	105,8	21,1
9	29	0,30	Areia pouco siltosa	0,291	485	32,80	6,0	0,48	124,2	25,6
10	48	0,34	Areia pouco siltosa	0,324	482	53,99	6,0	0,43	185,6	43,4
11	49	0,33	Areia pouco siltosa	0,356	482	55,11	6,0	0,44	193,9	44,0
12	36	0,30	Areia siltosa	0,388	483	40,60	9,5	0,31	107,4	35,1
13	17	0,32	Areia siltosa	0,421	489	19,41	9,5	0,29	49,3	17,2
14	17	0,29	Areia siltosa	0,453	489	19,41	9,5	0,32	53,5	16,9
15	23	0,30	Areia pouco siltosa	0,485	486	26,10	6,0	0,48	99,8	20,6
16	26	0,32	Areia pouco siltosa	0,518	485	29,45	6,0	0,45	107,2	23,6
17	23	0,34	Areia siltosa	0,550	486	26,10	9,5	0,27	62,9	23,3
18	24	0,29	Areia siltosa	0,583	486	27,22	9,5	0,32	74,9	23,6
19	24	0,32	Areia siltosa	0,615	486	27,22	9,5	0,29	69,1	24,1
20	27	0,27	Areia siltosa	0,647	485	30,57	9,5	0,34	89,1	26,2
21	30	0,30	Areia siltosa	0,680	484	33,91	9,5	0,31	90,6	29,6
22	33	0,28	Areia siltosa	0,712	484	37,26	9,5	0,33	105,2	32,1
23	54	0,32	Areia siltosa	0,744	482	60,68	9,5	0,29	152,6	53,2
24	102	0,27	Argila arenosa	0,777	480	114,23	8,0	0,40	376,0	93,1

Tabela A3 – Resultados de previsão para SP12. Cota da superfície = 32,50m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	6	0,28	Areia	0,032	510	7,14	2,0	1,56	55,1	3,5
2	8	0,30	Areia	0,065	502	9,37	2,0	1,45	70,2	4,8
3	11	0,32	Areia pouco siltosa	0,097	495	12,72	6,0	0,45	45,8	10,1
4	12	0,30	Areia pouco siltosa	0,129	494	13,83	6,0	0,48	52,4	10,8
5	14	0,32	Areia pouco siltosa	0,162	492	16,06	6,0	0,45	58,1	12,8
6	17	0,29	Areia pouco siltosa	0,194	489	19,41	6,0	0,50	75,5	15,1
7	25	0,34	Areia pouco siltosa	0,227	486	28,33	6,0	0,43	97,6	22,8
8	26	0,32	Areia pouco siltosa	0,259	485	29,45	6,0	0,45	106,3	23,4
9	22	0,30	Areia pouco siltosa	0,291	487	24,99	6,0	0,48	94,9	19,6
10	21	0,29	Areia pouco siltosa	0,324	487	23,87	6,0	0,50	93,2	18,6
11	18	0,32	Areia pouco siltosa	0,356	489	20,53	6,0	0,45	74,7	16,4
12	19	0,30	Areia siltosa	0,388	488	21,64	9,5	0,31	57,7	18,9
13	24	0,32	Areia siltosa	0,421	486	27,22	9,5	0,29	68,7	23,9
14	24	0,29	Areia siltosa	0,453	486	27,22	9,5	0,32	74,5	23,5
15	32	0,27	Areia siltosa	0,485	484	36,14	9,5	0,34	104,5	30,7
16	28	0,30	Areia siltosa	0,518	485	31,68	9,5	0,31	84,4	27,6
17	28	0,28	Areia siltosa	0,550	485	31,68	9,5	0,33	89,3	27,2
18	30	0,33	Areia siltosa	0,583	484	33,91	9,5	0,28	83,5	30,0
19	37	0,30	Areia siltosa	0,615	483	41,72	9,5	0,31	110,9	36,2
20	56	0,26	Areia siltosa	0,647	481	62,92	9,5	0,35	187,0	52,9
21	103	0,25	Areia siltosa	0,680	480	115,34	9,5	0,37	352,1	95,9

Tabela A4 – Resultados de previsão para SP22. Cota da superfície = 35,28m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,45	Areia pouco siltosa	0,032	526	4,91	6,0	0,32	13,5	4,2
2	6	0,45	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,97	43,0	4,4
3	6	0,45	Areia	0,097	510	7,14	2,0	0,97	43,2	4,5
4	8	0,40	Areia	0,129	502	9,37	2,0	1,09	60,7	5,6
5	10	0,39	Areia	0,162	497	11,60	2,0	1,12	76,3	6,8
6	11	0,40	Areia pouco siltosa	0,194	495	12,72	6,0	0,36	38,9	10,7
7	13	0,42	Areia pouco siltosa	0,227	493	14,95	6,0	0,35	43,9	12,7
8	13	0,25	Areia pouco siltosa	0,259	493	14,95	6,0	0,58	65,2	11,2
9	19	0,35	Areia pouco siltosa	0,291	488	21,64	6,0	0,42	73,3	17,6
10	23	0,32	Areia pouco siltosa	0,324	486	26,10	6,0	0,45	94,6	20,8
11	36	0,35	Areia pouco siltosa	0,356	483	40,60	6,0	0,42	136,9	32,9
12	27	0,35	Areia pouco siltosa	0,388	485	30,57	6,0	0,42	103,4	24,9
13	29	0,45	Areia pouco siltosa	0,421	485	32,80	6,0	0,32	91,0	28,1
14	29	0,43	Areia pouco siltosa	0,453	485	32,80	6,0	0,34	94,5	27,9
15	35	0,36	Areia pouco siltosa	0,485	484	39,49	6,0	0,40	130,7	32,4
16	38	0,40	Areia pouco siltosa	0,518	483	42,84	6,0	0,36	130,5	35,9
17	41	0,35	Areia siltosa	0,550	483	46,18	9,5	0,26	107,7	41,0
18	44	0,32	Areia siltosa	0,583	482	49,53	9,5	0,29	124,5	43,4
19	44	0,37	Areia siltosa	0,615	482	49,53	9,5	0,25	110,3	44,4
20	47	0,34	Areia siltosa	0,647	482	52,88	9,5	0,27	126,4	46,8
21	49	0,33	Areia siltosa	0,680	482	55,11	9,5	0,28	135,1	48,5
22	56	0,32	Areia siltosa	0,712	481	62,92	9,5	0,29	158,1	55,1
23	65	0,30	Areia siltosa	0,744	481	72,95	9,5	0,31	193,1	63,1
24	80	0,19	Areia siltosa	0,777	480	89,69	9,5	0,48	339,0	70,1

Tabela A5 – Resultados de previsão para SP31. Cota da superfície = 35,28m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,45	Areia	0,032	516	6,02	2,0	0,97	36,2	3,7
2	6	0,45	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,97	43,0	4,4
3	8	0,45	Areia	0,097	502	9,37	2,0	0,97	56,6	5,8
4	9	0,45	Areia	0,129	499	10,49	2,0	0,97	63,4	6,5
5	10	0,40	Areia	0,162	497	11,60	2,0	1,09	75,2	6,9
6	18	0,39	Areia pouco siltosa	0,194	489	20,53	6,0	0,37	63,6	17,1
7	22	0,36	Areia pouco siltosa	0,227	487	24,99	6,0	0,40	82,4	20,4
8	30	0,34	Areia pouco siltosa	0,259	484	33,91	6,0	0,43	116,8	27,3
9	33	0,39	Areia pouco siltosa	0,291	484	37,26	6,0	0,37	115,3	30,9
10	35	0,36	Areia pouco siltosa	0,324	484	39,49	6,0	0,40	130,2	32,2
11	61	0,23	Areia pouco siltosa	0,356	481	68,49	6,0	0,63	312,7	49,5
12	34	0,39	Areia siltosa	0,388	484	38,37	9,5	0,24	81,5	34,6
13	32	0,35	Areia siltosa	0,421	484	36,14	9,5	0,26	84,3	32,1
14	24	0,40	Areia siltosa	0,453	486	27,22	9,5	0,23	56,9	24,8
15	30	0,39	Areia siltosa	0,485	484	33,91	9,5	0,24	72,3	30,7
16	33	0,36	Areia siltosa	0,518	484	37,26	9,5	0,26	85,0	33,3
17	35	0,12	Areia siltosa	0,550	484	39,49	9,5	0,77	206,6	27,0
18	37	0,39	Areia pouco siltosa	0,583	483	41,72	6,0	0,37	129,9	34,8
19	39	0,35	Areia pouco siltosa	0,615	483	43,95	6,0	0,42	148,9	35,8
20	39	0,34	Areia siltosa	0,647	483	43,95	9,5	0,27	105,3	39,0
21	45	0,30	Areia siltosa	0,680	482	50,64	9,5	0,31	134,5	43,9
22	50	0,18	Areia siltosa	0,712	482	56,22	9,5	0,51	222,0	43,5
23	63	0,20	Areia siltosa	0,744	481	70,72	9,5	0,46	257,7	56,1
24	78	0,19	Areia siltosa	0,777	481	87,46	9,5	0,48	330,6	68,4

Tabela A6 – Resultados de previsão para SP32. Cota da superfície = 32,70m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,43	Areia	0,032	516	6,02	2,0	1,01	37,1	3,7
2	7	0,40	Areia	0,065	505	8,25	2,0	1,09	53,2	4,9
3	8	0,39	Areia	0,097	502	9,37	2,0	1,12	61,4	5,5
4	9	0,38	Areia pouco siltosa	0,129	499	10,49	6,0	0,38	33,3	8,7
5	11	0,37	Areia pouco siltosa	0,162	495	12,72	6,0	0,39	41,2	10,5
6	11	0,37	Areia pouco siltosa	0,194	495	12,72	6,0	0,39	41,3	10,5
7	10	0,33	Areia pouco siltosa	0,227	497	11,60	6,0	0,44	41,3	9,4
8	11	0,34	Areia pouco siltosa	0,259	495	12,72	6,0	0,43	44,3	10,4
9	14	0,36	Areia pouco siltosa	0,291	492	16,06	6,0	0,40	53,5	13,2
10	16	0,39	Areia pouco siltosa	0,324	490	18,29	6,0	0,37	57,2	15,3
11	14	0,37	Areia siltosa	0,356	492	16,06	9,5	0,25	36,1	14,5
12	13	0,36	Areia siltosa	0,388	493	14,95	9,5	0,26	34,5	13,5
13	13	0,38	Areia siltosa	0,421	493	14,95	9,5	0,24	33,0	13,7
14	15	0,37	Areia siltosa	0,453	491	17,18	9,5	0,25	38,8	15,6
15	17	0,26	Areia siltosa	0,485	489	19,41	9,5	0,35	58,5	16,6
16	21	0,26	Areia siltosa	0,518	487	23,87	9,5	0,35	71,8	20,3
17	27	0,27	Areia siltosa	0,550	485	30,57	9,5	0,34	88,8	26,1
18	36	0,38	Areia siltosa	0,583	483	40,60	9,5	0,24	88,5	36,6
19	66	0,34	Areia siltosa	0,615	481	74,07	9,5	0,27	176,4	65,3
20	90	0,33	Areia siltosa	0,647	480	100,84	9,5	0,28	245,8	88,3
21	103	0,31	Argila arenosa	0,680	480	115,34	8,0	0,35	340,2	96,7

Tabela A7 – Resultados de previsão para SP49. Cota da superfície = 34,48m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,45	Areia	0,032	516	6,02	2,0	0,97	36,2	3,7
2	6	0,45	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,97	43,0	4,4
3	7	0,45	Areia	0,097	505	8,25	2,0	0,97	49,9	5,1
4	8	0,45	Areia	0,129	502	9,37	2,0	0,97	56,7	5,9
5	9	0,42	Areia	0,162	499	10,49	2,0	1,04	66,2	6,4
6	10	0,43	Areia	0,194	497	11,60	2,0	1,01	72,4	7,1
7	11	0,40	Areia	0,227	495	12,72	2,0	1,09	82,7	7,6
8	13	0,35	Areia	0,259	493	14,95	2,0	1,25	104,6	8,4
9	11	0,42	Areia pouco siltosa	0,291	495	12,72	6,0	0,35	37,7	10,9
10	9	0,44	Areia pouco siltosa	0,324	499	10,49	6,0	0,33	30,1	9,1
11	10	0,32	Areia pouco siltosa	0,356	497	11,60	6,0	0,45	42,8	9,4
12	18	0,42	Areia pouco siltosa	0,388	489	20,53	6,0	0,35	60,5	17,5
13	24	0,39	Areia pouco siltosa	0,421	486	27,22	6,0	0,37	84,9	22,8
14	28	0,40	Areia pouco siltosa	0,453	485	31,68	6,0	0,36	96,7	26,6
15	30	0,37	Areia pouco siltosa	0,485	484	33,91	6,0	0,39	110,1	28,0
16	32	0,35	Areia pouco siltosa	0,518	484	36,14	6,0	0,42	122,5	29,5
17	33	0,35	Areia siltosa	0,550	484	37,26	9,5	0,26	87,1	33,2
18	35	0,37	Areia siltosa	0,583	484	39,49	9,5	0,25	88,1	35,5
19	38	0,35	Areia siltosa	0,615	483	42,84	9,5	0,26	100,2	38,2
20	38	0,30	Areia siltosa	0,647	483	42,84	9,5	0,31	113,9	37,2
21	65	0,25	Areia siltosa	0,680	481	72,95	9,5	0,37	223,5	60,8
22	74	0,22	Argila arenosa	0,712	481	82,99	8,0	0,50	319,6	64,5
23	96	0,17	Argila arenosa	0,744	480	107,54	8,0	0,64	496,8	77,4

Tabela A8 – Resultados de previsão para SP50. Cota da superfície = 33,07m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,45	Areia	0,032	516	6,02	2,0	0,97	36,2	3,7
2	6	0,45	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,97	43,0	4,4
3	7	0,45	Areia	0,097	505	8,25	2,0	0,97	49,9	5,1
4	8	0,40	Areia	0,129	502	9,37	2,0	1,09	60,7	5,6
5	14	0,42	Areia	0,162	492	16,06	2,0	1,04	100,9	9,7
6	17	0,45	Areia pouco siltosa	0,194	489	19,41	6,0	0,32	53,7	16,6
7	18	0,40	Areia pouco siltosa	0,227	489	20,53	6,0	0,36	62,5	17,2
8	23	0,35	Areia pouco siltosa	0,259	486	26,10	6,0	0,42	88,1	21,2
9	24	0,39	Areia pouco siltosa	0,291	486	27,22	6,0	0,37	84,5	22,7
10	26	0,35	Areia pouco siltosa	0,324	485	29,45	6,0	0,42	99,5	23,9
11	26	0,40	Areia pouco siltosa	0,356	485	29,45	6,0	0,36	89,7	24,7
12	30	0,39	Areia pouco siltosa	0,388	484	33,91	6,0	0,37	105,3	28,3
13	34	0,39	Areia pouco siltosa	0,421	484	38,37	6,0	0,37	119,1	32,0
14	35	0,37	Areia pouco siltosa	0,453	484	39,49	6,0	0,39	127,8	32,5
15	39	0,35	Areia pouco siltosa	0,485	483	43,95	6,0	0,42	148,5	35,7
16	42	0,38	Areia pouco siltosa	0,518	483	47,30	6,0	0,38	149,9	39,2
17	53	0,40	Areia pouco siltosa	0,550	482	59,57	6,0	0,36	181,0	49,8
18	56	0,39	Areia siltosa	0,583	481	62,91	9,5	0,24	133,5	56,7
19	59	0,37	Areia siltosa	0,615	481	66,26	9,5	0,25	147,1	59,2
20	65	0,35	Areia siltosa	0,647	481	72,95	9,5	0,26	169,6	64,7
21	82	0,19	Argila arenosa	0,680	480	91,92	8,0	0,57	393,1	68,5
22	97	0,08	Argila arenosa	0,712	480	108,65	8,0	1,36	787,6	57,8

Tabela A9 – Resultados de previsão para SP51. Cota da superfície = 32,65m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,40	Areia	0,032	516	6,02	2,0	1,09	38,7	3,5
2	7	0,45	Areia	0,065	505	8,25	2,0	0,97	49,7	5,1
3	14	0,38	Areia	0,097	492	16,06	2,0	1,15	106,3	9,3
4	16	0,35	Areia	0,129	490	18,29	2,0	1,25	126,7	10,2
5	19	0,40	Areia	0,162	488	21,64	2,0	1,09	139,4	12,8
6	29	0,25	Areia	0,194	485	32,80	2,0	1,75	267,2	15,3
7	34	0,32	Areia	0,227	484	38,37	2,0	1,36	278,0	20,4
8	30	0,38	Areia	0,259	484	33,91	2,0	1,15	224,8	19,6
9	32	0,40	Areia pouco siltosa	0,291	484	36,14	6,0	0,36	109,7	30,2
10	34	0,48	Areia pouco siltosa	0,324	484	38,37	6,0	0,30	100,5	33,2
11	36	0,39	Areia pouco siltosa	0,356	483	40,60	6,0	0,37	125,8	33,7
12	37	0,40	Areia pouco siltosa	0,388	483	41,72	6,0	0,36	126,7	34,9
13	39	0,35	Areia pouco siltosa	0,421	483	43,95	6,0	0,42	148,3	35,7
14	43	0,45	Areia pouco siltosa	0,453	483	48,41	6,0	0,32	133,8	41,4
15	46	0,36	Areia pouco siltosa	0,485	482	51,76	6,0	0,40	170,8	42,3
16	65	0,34	Areia pouco siltosa	0,518	481	72,95	6,0	0,43	251,0	58,7
17	71	0,33	Areia pouco siltosa	0,550	481	79,65	6,0	0,44	280,3	63,6
18	73	0,31	Areia pouco siltosa	0,583	481	81,88	6,0	0,47	302,2	64,4
19	75	0,08	Argila arenosa	0,615	481	84,11	8,0	1,36	610,2	44,8
20	91	0,05	Argila arenosa	0,647	480	101,96	8,0	2,18	912,2	41,8

Tabela A10 – Resultados de previsão para SP52. Cota da superfície = 32,85m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,40	Areia	0,032	574	2,68	2,0	1,09	17,3	1,6
2	6	0,35	Areia	0,065	510	7,14	2,0	1,25	49,5	4,0
3	16	0,45	Areia	0,097	490	18,29	2,0	0,97	109,9	11,3
4	20	0,45	Areia	0,129	488	22,76	2,0	0,97	136,7	14,1
5	30	0,40	Areia	0,162	484	33,91	2,0	1,09	217,8	20,0
6	36	0,35	Areia	0,194	483	40,60	2,0	1,25	280,5	22,5
7	39	0,37	Areia	0,227	483	43,95	2,0	1,18	294,8	25,0
8	39	0,30	Areia	0,259	483	43,95	2,0	1,45	328,8	22,6
9	42	0,35	Areia	0,291	483	47,30	2,0	1,25	327,2	26,3
10	43	0,34	Areia	0,324	483	48,41	2,0	1,28	340,2	26,5
11	43	0,36	Areia	0,356	483	48,41	2,0	1,21	330,3	27,3
12	23	0,35	Areia pouco siltosa	0,388	486	26,10	6,0	0,42	88,5	21,3
13	33	0,30	Areia pouco siltosa	0,421	484	37,26	6,0	0,48	141,5	29,2
14	38	0,38	Areia	0,453	483	42,84	2,0	1,15	284,7	24,8
15	44	0,36	Areia	0,485	482	49,53	2,0	1,21	338,8	28,0
16	50	0,35	Areia	0,518	482	56,22	2,0	1,25	390,1	31,3
17	50	0,18	Areia	0,550	482	56,22	2,0	2,42	525,3	21,7
18	65	0,15	Areia	0,583	481	72,95	2,0	2,91	724,6	24,9
19	75	0,08	Argila arenosa	0,615	481	84,11	8,0	1,36	610,2	44,8
20	90	0,05	Argila arenosa	0,647	480	100,84	8,0	2,18	902,3	41,4

Tabela A11 – Resultados de previsão para SP53. Cota da superfície = 32,79m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	15	0,45	Areia	0,032	491	17,18	2,0	0,97	102,8	10,6
2	11	0,45	Areia	0,065	495	12,72	2,0	0,97	76,3	7,9
3	9	0,45	Areia	0,097	499	10,49	2,0	0,97	63,2	6,5
4	8	0,45	Areia	0,129	502	9,37	2,0	0,97	56,7	5,9
5	9	0,40	Areia	0,162	499	10,49	2,0	1,09	68,1	6,2
6	9	0,39	Areia pouco siltosa	0,194	499	10,49	6,0	0,37	32,8	8,8
7	9	0,36	Areia pouco siltosa	0,227	499	10,49	6,0	0,40	35,0	8,7
8	8	0,34	Areia pouco siltosa	0,259	502	9,37	6,0	0,43	32,9	7,7
9	12	0,39	Areia pouco siltosa	0,291	494	13,83	6,0	0,37	43,4	11,6
10	16	0,36	Areia pouco siltosa	0,324	490	18,29	6,0	0,40	60,9	15,1
11	11	0,23	Areia pouco siltosa	0,356	495	12,72	6,0	0,63	59,4	9,4
12	9	0,39	Areia siltosa	0,388	499	10,49	9,5	0,24	22,9	9,7
13	10	0,35	Areia siltosa	0,421	497	11,60	9,5	0,26	27,7	10,6
14	13	0,40	Areia siltosa	0,453	493	14,95	9,5	0,23	31,7	13,8
15	20	0,39	Areia siltosa	0,485	488	22,76	9,5	0,24	48,9	20,8
16	19	0,36	Areia pouco siltosa	0,518	488	21,64	6,0	0,40	72,4	17,9
17	21	0,12	Areia siltosa	0,550	487	23,87	9,5	0,77	126,0	16,5
18	21	0,39	Areia siltosa	0,583	487	23,87	9,5	0,24	51,4	21,8
19	24	0,35	Areia siltosa	0,615	486	27,22	9,5	0,26	64,2	24,4
20	25	0,34	Areia siltosa	0,647	486	28,33	9,5	0,27	68,4	25,3
21	48	0,30	Argila arenosa	0,680	482	53,99	8,0	0,36	164,6	45,3
22	86	0,18	Argila arenosa	0,712	480	96,38	8,0	0,61	428,2	70,7
23	103	0,20	Argila arenosa	0,744	480	115,34	8,0	0,55	475,1	87,1

Tabela A12 – Resultados de previsão para SP55. Cota da superfície = 30,84m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,45	Areia	0,032	526	4,91	2,0	0,97	29,5	3,0
2	6	0,45	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,97	43,0	4,4
3	9	0,45	Areia	0,097	499	10,49	2,0	0,97	63,2	6,5
4	13	0,45	Areia	0,129	493	14,95	2,0	0,97	90,1	9,3
5	15	0,45	Areia	0,162	491	17,18	2,0	0,97	103,6	10,7
6	19	0,40	Areia	0,194	488	21,64	2,0	1,09	139,6	12,8
7	22	0,42	Areia	0,227	487	24,99	2,0	1,04	156,8	15,1
8	27	0,42	Areia	0,259	485	30,57	2,0	1,04	191,7	18,5
9	30	0,42	Areia	0,291	484	33,91	2,0	1,04	212,7	20,5
10	34	0,45	Areia siltosa	0,324	484	38,37	9,5	0,20	71,9	35,2
11	38	0,44	Areia siltosa	0,356	483	42,84	9,5	0,21	81,8	39,2
12	42	0,42	Areia siltosa	0,388	483	47,30	9,5	0,22	94,1	43,0
13	46	0,39	Areia siltosa	0,421	482	51,76	9,5	0,24	109,7	46,6
14	50	0,37	Areia siltosa	0,453	482	56,22	9,5	0,25	124,6	50,2
15	54	0,30	Areia siltosa	0,485	482	60,68	9,5	0,31	160,3	52,4
16	58	0,19	Areia siltosa	0,518	481	65,15	9,5	0,48	246,1	50,9
17	74	0,08	Argila arenosa	0,550	481	82,99	8,0	1,36	601,7	44,1
18	97	0,05	Argila arenosa	0,583	480	108,65	8,0	2,18	971,2	44,5

Tabela A13 – Resultados de previsão para SP56. Cota da superfície = 30,63m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	7	0,45	Areia	0,032	505	8,25	2,0	0,97	49,5	5,1
2	6	0,55	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,79	38,0	4,8
3	11	0,35	Areia	0,097	495	12,72	2,0	1,25	88,1	7,1
4	20	0,34	Areia	0,129	488	22,76	2,0	1,28	159,8	12,5
5	22	0,35	Areia	0,162	487	24,99	2,0	1,25	172,9	13,9
6	26	0,33	Areia	0,194	485	29,45	2,0	1,32	210,2	15,9
7	30	0,30	Areia	0,227	484	33,91	2,0	1,45	253,9	17,5
8	31	0,18	Areia pouco siltosa	0,259	484	35,03	6,0	0,81	188,5	23,3
9	36	0,20	Areia pouco siltosa	0,291	483	40,60	6,0	0,73	204,1	28,1
10	38	0,19	Areia pouco siltosa	0,324	483	42,84	6,0	0,77	222,7	29,1
11	45	0,12	Areia pouco siltosa	0,356	482	50,64	6,0	1,21	345,4	28,5
12	55	0,20	Areia pouco siltosa	0,388	482	61,80	6,0	0,73	310,4	42,7
13	62	0,17	Areia pouco siltosa	0,421	481	69,61	6,0	0,86	387,8	45,3
14	64	0,18	Areia pouco siltosa	0,453	481	71,84	6,0	0,81	386,2	47,8
15	74	0,09	Areia pouco siltosa	0,485	481	82,99	6,0	1,62	652,9	40,4
16	76	0,08	Areia siltosa	0,518	481	85,23	9,5	1,15	564,0	49,1
17	81	0,05	Areia siltosa	0,550	480	90,80	9,5	1,84	756,7	41,2

Tabela A14 – Resultados de previsão para SP58. Cota da superfície = 31,15m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,45	Areia	0,032	516	6,02	2,0	0,97	36,2	3,7
2	7	0,45	Areia	0,065	505	8,25	2,0	0,97	49,7	5,1
3	8	0,40	Areia	0,097	502	9,37	2,0	1,09	60,5	5,5
4	9	0,39	Areia	0,129	499	10,49	2,0	1,12	68,8	6,2
5	14	0,32	Areia	0,162	492	16,06	2,0	1,36	116,9	8,6
6	16	0,38	Areia	0,194	490	18,29	2,0	1,15	121,6	10,6
7	17	0,36	Areia	0,227	489	19,41	2,0	1,21	133,0	11,0
8	19	0,40	Areia	0,259	488	21,64	2,0	1,09	140,0	12,8
9	23	0,22	Areia siltosa	0,291	486	26,10	9,5	0,42	88,5	21,2
10	29	0,25	Areia siltosa	0,324	485	32,80	9,5	0,37	100,5	27,4
11	66	0,17	Areia siltosa	0,356	481	74,07	9,5	0,54	302,6	56,0
12	29	0,22	Areia siltosa	0,388	485	32,80	9,5	0,42	111,3	26,7
13	35	0,35	Areia siltosa	0,421	484	39,49	9,5	0,26	92,0	35,1
14	35	0,39	Areia siltosa	0,453	484	39,49	9,5	0,24	84,0	35,7
15	41	0,36	Areia siltosa	0,485	483	46,18	9,5	0,26	105,0	41,2
16	49	0,34	Areia siltosa	0,518	482	55,11	9,5	0,27	131,4	48,6
17	65	0,32	Areia siltosa	0,550	481	72,95	9,5	0,29	182,6	63,6
18	79	0,25	Argila arenosa	0,583	480	88,57	8,0	0,44	309,3	70,9
19	93	0,19	Argila arenosa	0,615	480	104,19	8,0	0,57	445,0	77,5

Tabela A15 – Resultados de previsão para SP61. Cota da superfície = 30,20m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,43	Areia	0,032	516	6,02	2,0	1,01	37,1	3,7
2	6	0,45	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,97	43,0	4,4
3	7	0,42	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,04	51,9	5,0
4	14	0,45	Areia	0,129	492	16,06	2,0	0,97	96,7	10,0
5	16	0,40	Areia	0,162	490	18,29	2,0	1,09	118,0	10,8
6	18	0,40	Areia	0,194	489	20,53	2,0	1,09	132,5	12,1
7	20	0,45	Areia pouco siltosa	0,227	488	22,76	6,0	0,32	62,9	19,5
8	22	0,45	Areia pouco siltosa	0,259	487	24,99	6,0	0,32	69,1	21,4
9	21	0,45	Areia pouco siltosa	0,291	487	23,87	6,0	0,32	66,2	20,5
10	26	0,45	Areia pouco siltosa	0,324	485	29,45	6,0	0,32	81,5	25,2
11	26	0,45	Areia pouco siltosa	0,356	485	29,45	6,0	0,32	81,6	25,3
12	28	0,45	Areia pouco siltosa	0,388	485	31,68	6,0	0,32	87,8	27,2
13	33	0,36	Areia pouco siltosa	0,421	484	37,26	6,0	0,40	123,2	30,5
14	33	0,34	Areia pouco siltosa	0,453	484	37,26	6,0	0,43	128,9	30,1
15	52	0,19	Areia pouco siltosa	0,485	482	58,45	6,0	0,77	304,1	39,7
16	72	0,08	Argila arenosa	0,518	481	80,76	8,0	1,36	585,4	42,9
17	95	0,05	Argila arenosa	0,550	480	106,42	8,0	2,18	951,0	43,6

Tabela A16 – Resultados de previsão para SP62. Cota da superfície = 30,42m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	9	0,42	Areia	0,032	499	10,49	2,0	1,04	65,4	6,3
2	5	0,45	Areia	0,065	516	6,02	2,0	0,97	36,4	3,8
3	13	0,35	Areia pouco siltosa	0,097	493	14,95	6,0	0,42	50,3	12,1
4	15	0,30	Areia	0,129	491	17,18	2,0	1,45	128,7	8,9
5	20	0,40	Areia	0,162	488	22,76	2,0	1,09	146,5	13,4
6	23	0,32	Areia	0,194	486	26,10	2,0	1,36	189,4	13,9
7	46	0,34	Areia	0,227	482	51,76	2,0	1,28	362,9	28,3
8	28	0,45	Areia	0,259	485	31,68	2,0	0,97	190,8	19,7
9	44	0,35	Areia	0,291	482	49,53	2,0	1,25	342,5	27,5
10	48	0,30	Areia	0,324	482	53,99	2,0	1,45	404,0	27,8
11	48	0,40	Areia	0,356	482	53,99	2,0	1,09	347,4	31,9
12	53	0,35	Areia	0,388	482	59,57	2,0	1,25	412,2	33,1
13	48	0,20	Areia	0,421	482	53,99	2,0	2,18	483,8	22,2
14	53	0,17	Areia	0,453	482	59,57	2,0	2,57	566,9	22,1
15	62	0,15	Areia	0,485	481	69,61	2,0	2,91	690,6	23,7
16	71	0,10	Areia siltosa	0,518	481	79,65	9,5	0,92	463,6	50,5
17	82	0,05	Argila arenosa	0,550	480	91,92	8,0	2,18	822,1	37,7

Tabela A17 – Resultados de previsão para SP63. Cota da superfície = 30,25m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,45	Areia	0,032	574	2,68	2,0	0,97	16,2	1,7
2	6	0,40	Areia	0,065	510	7,14	2,0	1,09	46,1	4,2
3	14	0,30	Areia	0,097	492	16,06	2,0	1,45	120,2	8,3
4	20	0,30	Areia	0,129	488	22,76	2,0	1,45	170,2	11,7
5	29	0,35	Areia	0,162	485	32,80	2,0	1,25	226,6	18,2
6	31	0,31	Areia	0,194	484	35,03	2,0	1,41	257,7	18,3
7	32	0,33	Areia	0,227	484	36,14	2,0	1,32	257,9	19,5
8	34	0,22	Areia	0,259	484	38,37	2,0	1,98	330,6	16,7
9	39	0,08	Areia pouco siltosa	0,291	483	43,95	6,0	1,82	364,8	20,1
10	50	0,06	Areia pouco siltosa	0,324	482	56,22	6,0	2,42	523,2	21,6
11	60	0,18	Areia pouco siltosa	0,356	481	67,38	6,0	0,81	361,8	44,8
12	63	0,08	Areia pouco siltosa	0,388	481	70,72	6,0	1,82	586,4	32,3
13	65	0,20	Areia siltosa	0,421	481	72,95	9,5	0,46	264,6	57,6
14	67	0,24	Areia siltosa	0,453	481	75,19	9,5	0,38	237,1	62,0
15	69	0,15	Areia siltosa	0,485	481	77,42	9,5	0,61	346,1	56,5
16	74	0,09	Argila arenosa	0,518	481	82,99	8,0	1,21	565,7	46,7
17	81	0,05	Argila arenosa	0,550	480	90,80	8,0	2,18	812,2	37,2

Tabela A18 – Resultados de previsão para SP64. Cota da superfície = 31,26m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,45	Areia	0,032	516	6,02	2,0	0,97	36,2	3,7
2	14	0,40	Areia	0,065	492	16,06	2,0	1,09	103,1	9,5
3	16	0,45	Areia	0,097	490	18,29	2,0	0,97	109,9	11,3
4	18	0,40	Areia	0,129	489	20,53	2,0	1,09	132,0	12,1
5	18	0,45	Areia	0,162	489	20,53	2,0	0,97	123,6	12,7
6	22	0,39	Areia	0,194	487	24,99	2,0	1,12	163,3	14,6
7	33	0,37	Areia	0,227	484	37,26	2,0	1,18	250,2	21,2
8	52	0,18	Areia pouco siltosa	0,259	482	58,45	6,0	0,81	313,6	38,8
9	17	0,42	Areia	0,291	489	19,41	2,0	1,04	122,5	11,8
10	19	0,39	Areia	0,324	488	21,64	2,0	1,12	142,4	12,7
11	18	0,45	Areia	0,356	489	20,53	2,0	0,97	124,7	12,9
12	24	0,42	Areia	0,388	486	27,22	2,0	1,04	171,7	16,5
13	29	0,40	Areia	0,421	485	32,80	2,0	1,09	212,3	19,5
14	31	0,42	Areia	0,453	484	35,03	2,0	1,04	220,6	21,2
15	33	0,30	Areia	0,485	484	37,26	2,0	1,45	280,7	19,3
16	60	0,16	Areia	0,518	481	67,38	2,0	2,73	654,8	24,0
17	66	0,08	Argila arenosa	0,550	481	74,07	8,0	1,36	537,4	39,4
18	88	0,05	Argila arenosa	0,583	480	98,61	8,0	2,18	881,9	40,4

Tabela A19 – Resultados de previsão para SP68. Cota da superfície = 30,01m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,45	Areia	0,032	516	6,02	2,0	0,97	36,2	3,7
2	12	0,45	Areia	0,065	494	13,83	2,0	0,97	83,0	8,6
3	16	0,40	Areia	0,097	490	18,29	2,0	1,09	117,6	10,8
4	15	0,39	Areia	0,129	491	17,18	2,0	1,12	112,2	10,0
5	16	0,40	Areia	0,162	490	18,29	2,0	1,09	118,0	10,8
6	21	0,38	Areia	0,194	487	23,87	2,0	1,15	158,3	13,8
7	36	0,36	Areia	0,227	483	40,60	2,0	1,21	276,6	22,8
8	41	0,17	Areia	0,259	483	46,18	2,0	2,57	438,6	17,1
9	21	0,36	Areia pouco siltosa	0,291	487	23,87	6,0	0,40	79,0	19,6
10	24	0,34	Areia pouco siltosa	0,324	486	27,22	6,0	0,43	94,1	22,0
11	28	0,39	Areia	0,356	485	31,68	2,0	1,12	207,7	18,6
12	32	0,36	Areia	0,388	484	36,14	2,0	1,21	247,4	20,4
13	35	0,39	Areia	0,421	484	39,49	2,0	1,12	258,8	23,1
14	42	0,40	Areia	0,453	483	47,30	2,0	1,09	305,3	28,0
15	54	0,19	Areia	0,485	482	60,68	2,0	2,30	554,7	24,2
16	66	0,08	Argila arenosa	0,518	481	74,07	8,0	1,36	537,2	39,4
17	90	0,05	Argila arenosa	0,550	480	100,84	8,0	2,18	901,4	41,3

Tabela A20 – Resultados de previsão para SP69. Cota da superfície = 30,27m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,39	Areia	0,032	574	2,68	2,0	1,12	17,6	1,6
2	2	0,35	Areia	0,065	574	2,68	2,0	1,25	18,9	1,5
3	3	0,22	Areia	0,097	542	3,79	2,0	1,98	33,3	1,7
4	5	0,30	Areia	0,129	516	6,02	2,0	1,45	45,8	3,1
5	23	0,27	Areia	0,162	486	26,10	2,0	1,62	205,4	12,7
6	29	0,29	Areia	0,194	485	32,80	2,0	1,50	249,4	16,6
7	45	0,32	Areia	0,227	482	50,64	2,0	1,36	366,4	26,9
8	55	0,40	Areia	0,259	482	61,80	2,0	1,09	396,7	36,4
9	57	0,15	Areia pouco siltosa	0,291	481	64,03	6,0	0,97	384,2	39,6
10	56	0,19	Areia pouco siltosa	0,324	481	62,91	6,0	0,77	326,3	42,6
11	62	0,18	Areia pouco siltosa	0,356	481	69,61	6,0	0,81	373,8	46,3
12	62	0,15	Areia pouco siltosa	0,388	481	69,61	6,0	0,97	418,1	43,1
13	63	0,20	Areia pouco siltosa	0,421	481	70,72	6,0	0,73	355,1	48,8
14	67	0,30	Areia pouco siltosa	0,453	481	75,19	6,0	0,48	284,0	58,6
15	69	0,17	Areia siltosa	0,485	481	77,42	9,5	0,54	316,7	58,6
16	73	0,15	Areia siltosa	0,518	481	81,88	9,5	0,61	366,0	59,8
17	81	0,05	Areia siltosa	0,550	480	90,80	9,5	1,84	756,7	41,2

Tabela A21 – Resultados de previsão para SP70. Cota da superfície = 31,15m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,45	Areia	0,032	516	6,02	2,0	0,97	36,2	3,7
2	6	0,45	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,97	43,0	4,4
3	7	0,45	Areia	0,097	505	8,25	2,0	0,97	49,9	5,1
4	14	0,40	Areia	0,129	492	16,06	2,0	1,09	103,5	9,5
5	17	0,39	Areia	0,162	489	19,41	2,0	1,12	126,9	11,3
6	23	0,36	Areia pouco siltosa	0,194	486	26,10	6,0	0,40	86,0	21,3
7	25	0,35	Areia pouco siltosa	0,227	486	28,33	6,0	0,42	95,4	23,0
8	32	0,15	Areia pouco siltosa	0,259	484	36,14	6,0	0,97	217,4	22,4
9	19	0,42	Areia pouco siltosa	0,291	488	21,64	6,0	0,35	63,5	18,3
10	19	0,45	Areia pouco siltosa	0,324	488	21,64	6,0	0,32	60,1	18,6
11	15	0,32	Areia pouco siltosa	0,356	491	17,18	6,0	0,45	62,7	13,8
12	21	0,42	Areia pouco siltosa	0,388	487	23,87	6,0	0,35	70,2	20,3
13	22	0,37	Areia pouco siltosa	0,421	487	24,99	6,0	0,39	81,3	20,7
14	24	0,42	Areia pouco siltosa	0,453	486	27,22	6,0	0,35	80,1	23,1
15	35	0,39	Areia siltosa	0,485	484	39,49	9,5	0,24	84,1	35,7
16	39	0,37	Areia siltosa	0,518	483	43,95	9,5	0,25	97,8	39,4
17	39	0,35	Areia siltosa	0,550	483	43,95	9,5	0,26	102,6	39,1
18	61	0,30	Areia siltosa	0,583	481	68,49	9,5	0,31	181,0	59,1
19	77	0,23	Argila arenosa	0,615	481	86,34	8,0	0,47	321,2	67,7
20	95	0,10	Argila arenosa	0,647	480	106,42	8,0	1,09	684,5	62,8

Tabela A22 – Resultados de previsão para SP71. Cota da superfície = 30,78m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,30	Areia	0,032	526	4,91	2,0	1,45	36,7	2,5
2	4	0,28	Areia	0,065	526	4,91	2,0	1,56	38,2	2,5
3	5	0,32	Areia	0,097	516	6,02	2,0	1,36	44,1	3,2
4	6	0,30	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,45	54,1	3,7
5	8	0,29	Areia	0,162	502	9,37	2,0	1,50	72,1	4,8
6	8	0,33	Areia pouco siltosa	0,194	502	9,37	6,0	0,44	33,4	7,6
7	6	0,30	Areia pouco siltosa	0,227	510	7,14	6,0	0,48	27,7	5,7
8	8	0,34	Areia pouco siltosa	0,259	502	9,37	6,0	0,43	32,9	7,7
9	13	0,36	Areia pouco siltosa	0,291	493	14,95	6,0	0,40	49,8	12,3
10	12	0,34	Areia pouco siltosa	0,324	494	13,83	6,0	0,43	48,4	11,3
11	16	0,29	Areia pouco siltosa	0,356	490	18,29	6,0	0,50	71,8	14,3
12	19	0,36	Areia pouco siltosa	0,388	488	21,64	6,0	0,40	72,0	17,8
13	24	0,35	Areia pouco siltosa	0,421	486	27,22	6,0	0,42	92,4	22,2
14	22	0,37	Areia pouco siltosa	0,453	487	24,99	6,0	0,39	81,4	20,7
15	24	0,34	Areia pouco siltosa	0,485	486	27,22	6,0	0,43	94,7	22,1
16	25	0,36	Areia pouco siltosa	0,518	486	28,33	6,0	0,40	94,3	23,4
17	49	0,29	Argila arenosa	0,550	482	55,11	8,0	0,38	172,1	45,8
18	73	0,27	Argila arenosa	0,583	481	81,88	8,0	0,40	269,6	66,7
19	103	0,30	Argila arenosa	0,615	480	115,34	8,0	0,36	349,0	96,0

Tabela A23 – Resultados de previsão para SP72. Cota da superfície = 29,97m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,30	Areia	0,032	526	4,91	2,0	1,45	36,7	2,5
2	4	0,29	Areia	0,065	526	4,91	2,0	1,50	37,6	2,5
3	4	0,32	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,36	36,0	2,6
4	8	0,33	Areia pouco siltosa	0,129	502	9,37	6,0	0,44	33,2	7,5
5	6	0,35	Areia pouco siltosa	0,162	510	7,14	6,0	0,42	24,4	5,9
6	6	0,32	Areia pouco siltosa	0,194	510	7,14	6,0	0,45	26,2	5,8
7	8	0,34	Areia pouco siltosa	0,227	502	9,37	6,0	0,43	32,8	7,7
8	9	0,33	Areia siltosa	0,259	499	10,49	9,5	0,28	26,0	9,3
9	8	0,32	Areia siltosa	0,291	502	9,37	9,5	0,29	24,0	8,4
10	14	0,30	Areia siltosa	0,324	492	16,06	9,5	0,31	42,9	14,0
11	16	0,34	Areia siltosa	0,356	490	18,29	9,5	0,27	44,0	16,3
12	19	0,32	Areia siltosa	0,388	488	21,64	9,5	0,29	54,7	19,1
13	17	0,29	Areia siltosa	0,421	489	19,41	9,5	0,32	53,4	16,9
14	17	0,34	Areia siltosa	0,453	489	19,41	9,5	0,27	46,9	17,4
15	19	0,36	Areia siltosa	0,485	488	21,64	9,5	0,26	49,8	19,5
16	24	0,32	Areia siltosa	0,518	486	27,22	9,5	0,29	68,9	24,0
17	37	0,38	Argila arenosa	0,550	483	41,72	8,0	0,29	105,0	36,6
18	60	0,34	Argila arenosa	0,583	481	67,38	8,0	0,32	185,0	57,7
19	102	0,33	Argila arenosa	0,615	480	114,23	8,0	0,33	320,3	96,9

Tabela A24 – Resultados de previsão para SP73. Cota da superfície = 29,00m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	7	0,36	Areia	0,032	505	8,25	2,0	1,21	56,1	4,6
2	6	0,32	Areia	0,065	510	7,14	2,0	1,36	51,9	3,8
3	4	0,29	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,50	37,8	2,5
4	9	0,37	Areia	0,129	499	10,49	2,0	1,18	70,8	6,0
5	8	0,34	Areia	0,162	502	9,37	2,0	1,28	66,5	5,2
6	8	0,36	Areia pouco siltosa	0,194	502	9,37	6,0	0,40	31,3	7,7
7	8	0,39	Areia pouco siltosa	0,227	502	9,37	6,0	0,37	29,5	7,9
8	6	0,31	Areia pouco siltosa	0,259	510	7,14	6,0	0,47	27,1	5,8
9	7	0,29	Areia pouco siltosa	0,291	505	8,25	6,0	0,50	32,9	6,6
10	11	0,27	Areia pouco siltosa	0,324	495	12,72	6,0	0,54	52,9	9,8
11	16	0,30	Areia pouco siltosa	0,356	490	18,29	6,0	0,48	70,0	14,4
12	15	0,29	Areia pouco siltosa	0,388	491	17,18	6,0	0,50	67,6	13,5
13	15	0,29	Areia pouco siltosa	0,421	491	17,18	6,0	0,50	67,8	13,5
14	14	0,34	Areia pouco siltosa	0,453	492	16,06	6,0	0,43	56,4	13,2
15	15	0,35	Areia pouco siltosa	0,485	491	17,18	6,0	0,42	59,0	14,2
16	17	0,32	Areia pouco siltosa	0,518	489	19,41	6,0	0,45	71,3	15,7
17	35	0,29	Areia siltosa	0,550	484	39,49	9,5	0,32	107,9	34,1
18	65	0,33	Argila arenosa	0,583	481	72,95	8,0	0,33	205,1	62,1
19	100	0,35	Argila arenosa	0,615	480	112,00	8,0	0,31	299,4	96,1

Tabela A25 – Resultados de previsão para SP74. Cota da superfície = 29,90m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,32	Areia	0,032	526	4,91	2,0	1,36	35,6	2,6
2	3	0,39	Areia	0,065	542	3,79	2,0	1,12	25,0	2,2
3	3	0,34	Areia	0,097	542	3,79	2,0	1,28	27,2	2,1
4	6	0,32	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,36	52,4	3,8
5	7	0,38	Areia	0,162	505	8,25	2,0	1,15	55,4	4,8
6	8	0,34	Areia	0,194	502	9,37	2,0	1,28	66,8	5,2
7	6	0,33	Areia pouco siltosa	0,227	510	7,14	6,0	0,44	25,7	5,8
8	6	0,35	Areia pouco siltosa	0,259	510	7,14	6,0	0,42	24,7	6,0
9	7	0,38	Areia pouco siltosa	0,291	505	8,25	6,0	0,38	26,8	7,0
10	8	0,37	Areia pouco siltosa	0,324	502	9,37	6,0	0,39	31,0	7,9
11	11	0,39	Areia pouco siltosa	0,356	495	12,72	6,0	0,37	40,1	10,8
12	14	0,38	Areia siltosa	0,388	492	16,06	9,5	0,24	35,4	14,6
13	17	0,34	Areia siltosa	0,421	489	19,41	9,5	0,27	46,8	17,3
14	18	0,30	Areia siltosa	0,453	489	20,53	9,5	0,31	55,0	18,0
15	24	0,36	Areia siltosa	0,485	486	27,22	9,5	0,26	62,4	24,4
16	30	0,38	Areia siltosa	0,518	484	33,91	9,5	0,24	74,0	30,6
17	61	0,29	Argila arenosa	0,550	481	68,49	8,0	0,38	213,5	56,8
18	99	0,26	Argila arenosa	0,583	480	110,88	8,0	0,42	375,2	89,5

Tabela A26 – Resultados de previsão para SP75. Cota da superfície = 30,28m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,45	Areia	0,032	516	6,02	2,0	0,97	36,2	3,7
2	14	0,45	Areia	0,065	492	16,06	2,0	0,97	96,3	9,9
3	16	0,40	Areia	0,097	490	18,29	2,0	1,09	117,6	10,8
4	17	0,39	Areia	0,129	489	19,41	2,0	1,12	126,7	11,3
5	23	0,32	Areia	0,162	486	26,10	2,0	1,36	189,2	13,9
6	31	0,45	Areia pouco siltosa	0,194	484	35,03	6,0	0,32	96,4	29,8
7	36	0,40	Areia pouco siltosa	0,227	483	40,60	6,0	0,36	122,9	33,8
8	42	0,38	Areia pouco siltosa	0,259	483	47,30	6,0	0,38	149,1	39,0
9	47	0,30	Areia pouco siltosa	0,291	482	52,88	6,0	0,48	199,6	41,2
10	55	0,19	Areia pouco siltosa	0,324	482	61,80	6,0	0,77	320,6	41,9
11	79	0,10	Areia pouco siltosa	0,356	480	88,57	6,0	1,45	661,4	45,5
12	46	0,30	Areia siltosa	0,388	482	51,76	9,5	0,31	136,6	44,6
13	50	0,38	Areia siltosa	0,421	482	56,22	9,5	0,24	121,8	50,4
14	54	0,39	Areia siltosa	0,453	482	60,68	9,5	0,24	128,5	54,6
15	59	0,18	Areia siltosa	0,485	481	66,26	9,5	0,51	260,3	51,0
16	61	0,08	Areia siltosa	0,518	481	68,49	9,5	1,15	453,9	39,5
17	91	0,05	Areia siltosa	0,550	480	101,96	9,5	1,84	849,1	46,2

Tabela A27 – Resultados de previsão para SP76. Cota da superfície = 32,56m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,44	Areia	0,032	574	2,68	2,0	0,99	16,4	1,7
2	3	0,42	Areia	0,065	542	3,79	2,0	1,04	24,0	2,3
3	11	0,38	Areia	0,097	495	12,72	2,0	1,15	84,3	7,3
4	11	0,38	Areia	0,129	495	12,72	2,0	1,15	84,5	7,4
5	17	0,36	Areia	0,162	489	19,41	2,0	1,21	132,6	10,9
6	21	0,35	Areia	0,194	487	23,87	2,0	1,25	165,5	13,3
7	69	0,32	Areia	0,227	481	77,42	2,0	1,36	559,2	41,0
8	79	0,30	Areia	0,259	480	88,57	2,0	1,45	660,7	45,4
9	9	0,37	Areia pouco siltosa	0,291	499	10,49	6,0	0,39	34,5	8,8
10	10	0,38	Areia pouco siltosa	0,324	497	11,60	6,0	0,38	37,4	9,8
11	11	0,38	Areia pouco siltosa	0,356	495	12,72	6,0	0,38	41,0	10,7
12	12	0,37	Areia pouco siltosa	0,388	494	13,83	6,0	0,39	45,5	11,6
13	16	0,38	Areia pouco siltosa	0,421	490	18,29	6,0	0,38	58,7	15,3
14	19	0,36	Areia pouco siltosa	0,453	488	21,64	6,0	0,40	72,2	17,9
15	22	0,35	Areia pouco siltosa	0,485	487	24,99	6,0	0,42	85,1	20,5
16	27	0,36	Areia pouco siltosa	0,518	485	30,57	6,0	0,40	101,6	25,2
17	36	0,33	Areia pouco siltosa	0,550	483	40,60	6,0	0,44	143,9	32,6
18	39	0,31	Areia pouco siltosa	0,583	483	43,95	6,0	0,47	163,2	34,8
19	60	0,38	Argila arenosa	0,615	481	67,38	8,0	0,29	168,9	58,9
20	75	0,37	Argila arenosa	0,647	481	84,11	8,0	0,29	215,3	73,0
21	97	0,36	Argila arenosa	0,680	480	108,65	8,0	0,30	284,0	93,7

Tabela A28 – Resultados de previsão para SP77. Cota da superfície = 33,04m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	11	0,40	Areia	0,032	495	12,72	2,0	1,09	81,5	7,5
2	17	0,38	Areia	0,065	489	19,41	2,0	1,15	128,1	11,2
3	8	0,37	Areia	0,097	502	9,37	2,0	1,18	63,2	5,4
4	8	0,38	Areia	0,129	502	9,37	2,0	1,15	62,5	5,4
5	8	0,41	Areia	0,162	502	9,37	2,0	1,06	60,1	5,6
6	13	0,39	Areia	0,194	493	14,95	2,0	1,12	98,2	8,8
7	18	0,38	Areia	0,227	489	20,53	2,0	1,15	136,5	11,9
8	32	0,33	Areia	0,259	484	36,14	2,0	1,32	258,1	19,5
9	8	0,39	Areia	0,291	502	9,37	2,0	1,12	62,6	5,6
10	9	0,37	Areia	0,324	499	10,49	2,0	1,18	72,1	6,1
11	11	0,38	Areia pouco siltosa	0,356	495	12,72	6,0	0,38	41,0	10,7
12	13	0,39	Areia pouco siltosa	0,388	493	14,95	6,0	0,37	47,1	12,6
13	17	0,39	Areia pouco siltosa	0,421	489	19,41	6,0	0,37	60,9	16,3
14	18	0,37	Areia pouco siltosa	0,453	489	20,53	6,0	0,39	67,1	17,1
15	21	0,37	Areia pouco siltosa	0,485	487	23,87	6,0	0,39	78,0	19,8
16	29	0,38	Areia pouco siltosa	0,518	485	32,80	6,0	0,38	104,4	27,3
17	34	0,37	Areia pouco siltosa	0,550	484	38,37	6,0	0,39	124,6	31,7
18	41	0,34	Areia pouco siltosa	0,583	483	46,18	6,0	0,43	159,8	37,4
19	46	0,33	Areia pouco siltosa	0,615	482	51,76	6,0	0,44	183,1	41,5
20	70	0,38	Argila arenosa	0,647	481	78,53	8,0	0,29	196,7	68,5
21	84	0,36	Argila arenosa	0,680	480	94,15	8,0	0,30	246,3	81,3
22	100	0,37	Argila arenosa	0,712	480	112,00	8,0	0,29	286,2	97,1

Tabela A29 – Resultados de previsão para SP78. Cota da superfície = 33,58m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	13	0,41	Areia	0,032	493	14,95	2,0	1,06	94,4	8,9
2	16	0,43	Areia	0,065	490	18,29	2,0	1,01	112,6	11,1
3	11	0,26	Areia	0,097	495	12,72	2,0	1,68	102,0	6,1
4	9	0,28	Areia	0,129	499	10,49	2,0	1,56	81,6	5,2
5	10	0,27	Areia	0,162	497	11,60	2,0	1,62	92,0	5,7
6	15	0,29	Areia	0,194	491	17,18	2,0	1,50	131,4	8,7
7	17	0,28	Areia	0,227	489	19,41	2,0	1,56	151,0	9,7
8	13	0,27	Areia	0,259	493	14,95	2,0	1,62	118,9	7,4
9	4	0,39	Areia	0,291	526	4,91	2,0	1,12	33,7	3,0
10	4	0,41	Areia	0,324	526	4,91	2,0	1,06	33,0	3,1
11	6	0,38	Areia	0,356	510	7,14	2,0	1,15	49,3	4,3
12	7	0,39	Areia	0,388	505	8,26	2,0	1,12	56,0	5,0
13	8	0,37	Areia	0,421	502	9,37	2,0	1,18	65,3	5,5
14	14	0,38	Areia pouco siltosa	0,453	492	16,06	6,0	0,38	51,8	13,5
15	18	0,37	Areia pouco siltosa	0,485	489	20,53	6,0	0,39	67,2	17,1
16	22	0,36	Areia pouco siltosa	0,518	487	24,99	6,0	0,40	83,4	20,6
17	28	0,36	Areia pouco siltosa	0,550	485	31,68	6,0	0,40	105,4	26,1
18	30	0,34	Areia pouco siltosa	0,583	484	33,91	6,0	0,43	117,9	27,6
19	64	0,38	Areia siltosa	0,615	481	71,84	9,5	0,24	155,8	64,4
20	71	0,42	Argila arenosa	0,647	481	79,65	8,0	0,26	183,4	70,6
21	83	0,41	Argila arenosa	0,680	480	93,03	8,0	0,27	218,5	82,1
22	97	0,42	Argila arenosa	0,712	480	108,65	8,0	0,26	249,9	96,2
23	104	0,41	Argila arenosa	0,744	480	116,46	8,0	0,27	273,3	102,7

Tabela A30 – Resultados de previsão para SP79. Cota da superfície = 30,09m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,32	Areia	0,032	526	4,91	2,0	1,36	35,6	2,6
2	4	0,29	Areia	0,065	526	4,91	2,0	1,50	37,6	2,5
3	4	0,34	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,28	34,9	2,7
4	8	0,28	Areia pouco siltosa	0,129	502	9,37	6,0	0,52	37,5	7,2
5	8	0,32	Areia pouco siltosa	0,162	502	9,37	6,0	0,45	34,1	7,5
6	8	0,38	Areia pouco siltosa	0,194	502	9,37	6,0	0,38	30,0	7,8
7	9	0,35	Areia pouco siltosa	0,227	499	10,49	6,0	0,42	35,8	8,6
8	10	0,32	Areia siltosa	0,259	497	11,60	9,5	0,29	29,5	10,3
9	12	0,34	Areia siltosa	0,291	494	13,83	9,5	0,27	33,4	12,3
10	13	0,37	Areia siltosa	0,324	493	14,95	9,5	0,25	33,6	13,5
11	15	0,32	Areia siltosa	0,356	491	17,18	9,5	0,29	43,6	15,2
12	13	0,34	Areia pouco siltosa	0,388	493	14,95	6,0	0,43	52,4	12,3
13	14	0,33	Areia siltosa	0,421	492	16,06	9,5	0,28	39,9	14,3
14	18	0,30	Areia siltosa	0,453	489	20,53	9,5	0,31	55,0	18,0
15	21	0,29	Areia siltosa	0,485	487	23,87	9,5	0,32	65,6	20,7
16	44	0,32	Areia siltosa	0,518	482	49,53	9,5	0,29	124,3	43,3
17	102	0,28	Argila arenosa	0,550	480	114,23	8,0	0,39	364,8	93,7

Tabela A31 – Resultados de previsão para SP80. Cota da superfície = 30,04m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	5	0,38	Areia	0,032	516	6,02	2,0	1,15	39,8	3,5
2	6	0,34	Areia	0,065	510	7,14	2,0	1,28	50,3	3,9
3	7	0,39	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,12	54,2	4,8
4	6	0,40	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,09	46,5	4,3
5	6	0,37	Areia	0,162	510	7,14	2,0	1,18	48,7	4,1
6	6	0,34	Areia	0,194	510	7,14	2,0	1,28	51,2	4,0
7	8	0,40	Areia	0,227	502	9,37	2,0	1,09	61,4	5,6
8	7	0,42	Areia	0,259	505	8,25	2,0	1,04	52,9	5,1
9	8	0,39	Areia	0,291	502	9,37	2,0	1,12	62,6	5,6
10	12	0,37	Areia pouco siltosa	0,324	494	13,83	6,0	0,39	45,3	11,5
11	13	0,35	Areia pouco siltosa	0,356	493	14,95	6,0	0,42	51,1	12,3
12	12	0,39	Areia pouco siltosa	0,388	494	13,83	6,0	0,37	43,7	11,7
13	16	0,32	Areia pouco siltosa	0,421	490	18,29	6,0	0,45	67,0	14,7
14	17	0,34	Areia siltosa	0,453	489	19,41	9,5	0,27	46,9	17,4
15	18	0,36	Areia siltosa	0,485	489	20,53	9,5	0,26	47,3	18,5
16	24	0,35	Areia siltosa	0,518	486	27,22	9,5	0,26	63,9	24,4
17	39	0,31	Argila arenosa	0,550	483	43,95	8,0	0,35	130,5	37,1
18	59	0,29	Argila arenosa	0,583	481	66,26	8,0	0,38	206,7	55,0
19	95	0,32	Argila arenosa	0,615	480	106,42	8,0	0,34	306,0	89,8

Tabela A32 – Resultados de previsão para SP81. Cota da superfície = 29,94m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,36	Areia	0,032	526	4,91	2,0	1,21	33,5	2,8
2	4	0,32	Areia	0,065	526	4,91	2,0	1,36	35,8	2,6
3	4	0,34	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,28	34,9	2,7
4	4	0,38	Areia	0,129	526	4,91	2,0	1,15	33,1	2,9
5	4	0,33	Areia	0,162	526	4,91	2,0	1,32	35,9	2,7
6	6	0,37	Areia	0,194	510	7,14	2,0	1,18	48,9	4,2
7	6	0,39	Areia	0,227	510	7,14	2,0	1,12	47,8	4,3
8	9	0,32	Areia pouco siltosa	0,259	499	10,49	6,0	0,45	38,4	8,5
9	13	0,39	Areia pouco siltosa	0,291	493	14,95	6,0	0,37	46,8	12,6
10	12	0,34	Areia pouco siltosa	0,324	494	13,83	6,0	0,43	48,4	11,3
11	17	0,40	Areia pouco siltosa	0,356	489	19,41	6,0	0,36	59,5	16,4
12	19	0,39	Areia pouco siltosa	0,388	488	21,64	6,0	0,37	67,7	18,1
13	20	0,36	Areia pouco siltosa	0,421	488	22,76	6,0	0,40	75,8	18,8
14	20	0,40	Areia pouco siltosa	0,453	488	22,76	6,0	0,36	69,9	19,2
15	26	0,42	Areia pouco siltosa	0,485	485	29,45	6,0	0,35	86,7	25,0
16	33	0,39	Areia pouco siltosa	0,518	484	37,26	6,0	0,37	116,0	31,1
17	50	0,39	Argila arenosa	0,550	482	56,22	8,0	0,28	138,0	49,4
18	53	0,36	Argila arenosa	0,583	482	59,57	8,0	0,30	156,3	51,6
19	93	0,38	Argila arenosa	0,615	480	104,19	8,0	0,29	260,4	90,7

Tabela A33 – Resultados de previsão para SP82. Cota da superfície = 31,16m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	7	0,35	Areia	0,032	505	8,25	2,0	1,25	57,0	4,6
2	8	0,39	Areia	0,065	502	9,37	2,0	1,12	61,2	5,5
3	4	0,42	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,04	31,1	3,0
4	6	0,40	Areia pouco siltosa	0,129	510	7,14	6,0	0,36	21,9	6,0
5	7	0,43	Areia pouco siltosa	0,162	505	8,25	6,0	0,34	23,9	7,1
6	8	0,38	Areia pouco siltosa	0,194	502	9,37	6,0	0,38	30,0	7,8
7	12	0,40	Areia pouco siltosa	0,227	494	13,83	6,0	0,36	42,3	11,6
8	8	0,37	Areia pouco siltosa	0,259	502	9,37	6,0	0,39	30,8	7,8
9	11	0,40	Areia pouco siltosa	0,291	495	12,72	6,0	0,36	39,2	10,8
10	12	0,36	Areia pouco siltosa	0,324	494	13,83	6,0	0,40	46,3	11,5
11	13	0,39	Areia pouco siltosa	0,356	493	14,95	6,0	0,37	47,0	12,6
12	15	0,40	Areia pouco siltosa	0,388	491	17,18	6,0	0,36	52,9	14,5
13	16	0,37	Areia pouco siltosa	0,421	490	18,29	6,0	0,39	59,9	15,2
14	19	0,39	Areia pouco siltosa	0,453	488	21,64	6,0	0,37	67,9	18,2
15	20	0,38	Areia pouco siltosa	0,485	488	22,76	6,0	0,38	72,9	19,0
16	22	0,36	Areia pouco siltosa	0,518	487	24,99	6,0	0,40	83,4	20,6
17	31	0,40	Argila arenosa	0,550	484	35,03	8,0	0,27	84,7	31,1
18	85	0,42	Argila arenosa	0,583	480	95,26	8,0	0,26	219,0	84,3

Tabela A34 – Resultados de previsão para SP83. Cota da superfície = 31,36m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	10	0,38	Areia	0,032	497	11,60	2,0	1,15	76,5	6,7
2	9	0,40	Areia	0,065	499	10,49	2,0	1,09	67,4	6,2
3	6	0,37	Areia	0,097	510	7,14	2,0	1,18	48,3	4,1
4	8	0,39	Areia	0,129	502	9,37	2,0	1,12	61,6	5,5
5	11	0,38	Areia	0,162	495	12,72	2,0	1,15	84,7	7,4
6	11	0,40	Areia	0,194	495	12,72	2,0	1,09	82,5	7,6
7	12	0,43	Areia	0,227	494	13,83	2,0	1,01	86,2	8,5
8	17	0,45	Areia	0,259	489	19,41	2,0	0,97	117,5	12,1
9	17	0,40	Areia pouco siltosa	0,291	489	19,41	6,0	0,36	59,3	16,3
10	21	0,42	Areia pouco siltosa	0,324	487	23,87	6,0	0,35	70,0	20,2
11	42	0,38	Areia pouco siltosa	0,356	483	47,30	6,0	0,38	149,4	39,0
12	52	0,40	Areia pouco siltosa	0,388	482	58,45	6,0	0,36	177,1	48,7
13	53	0,39	Areia pouco siltosa	0,421	482	59,57	6,0	0,37	184,2	49,4
14	34	0,42	Areia pouco siltosa	0,453	484	38,37	6,0	0,35	112,4	32,5
15	30	0,44	Areia pouco siltosa	0,485	484	33,91	6,0	0,33	95,9	29,0
16	29	0,44	Areia pouco siltosa	0,518	485	32,80	6,0	0,33	92,9	28,1
17	41	0,39	Areia pouco siltosa	0,550	483	46,18	6,0	0,37	143,5	38,5
18	58	0,42	Argila arenosa	0,583	481	65,15	8,0	0,26	150,2	57,8
19	94	0,45	Argila arenosa	0,615	480	105,30	8,0	0,24	228,2	94,2

Tabela A35 – Resultados de previsão para SP84. Cota da superfície = 31,57m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	13	0,29	Areia	0,032	493	14,95	2,0	1,50	113,3	7,5
2	13	0,30	Areia siltosa	0,065	493	14,95	9,5	0,31	39,3	12,8
3	7	0,27	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,62	65,3	4,0
4	8	0,26	Areia	0,129	502	9,37	2,0	1,68	75,6	4,5
5	9	0,29	Areia	0,162	499	10,49	2,0	1,50	80,5	5,4
6	13	0,30	Areia	0,194	493	14,95	2,0	1,45	112,6	7,7
7	15	0,32	Areia	0,227	491	17,18	2,0	1,36	125,4	9,2
8	16	0,33	Areia	0,259	490	18,29	2,0	1,32	131,5	10,0
9	23	0,31	Areia	0,291	486	26,10	2,0	1,41	193,2	13,7
10	29	0,30	Areia siltosa	0,324	485	32,80	9,5	0,31	86,8	28,3
11	31	0,30	Areia siltosa	0,356	484	35,03	9,5	0,31	92,7	30,3
12	32	0,31	Areia siltosa	0,388	484	36,14	9,5	0,30	93,2	31,4
13	19	0,32	Areia siltosa	0,421	488	21,64	9,5	0,29	54,8	19,1
14	27	0,33	Areia siltosa	0,453	485	30,57	9,5	0,28	75,1	27,0
15	32	0,34	Areia siltosa	0,485	484	36,14	9,5	0,27	86,5	32,0
16	38	0,31	Areia siltosa	0,518	483	42,84	9,5	0,30	110,6	37,3
17	28	0,43	Areia siltosa	0,550	485	31,68	9,5	0,21	62,3	29,2
18	51	0,42	Areia siltosa	0,583	482	57,34	9,5	0,22	114,3	52,3
19	75	0,42	Argila arenosa	0,615	481	84,11	8,0	0,26	193,6	74,5
20	98	0,42	Argila arenosa	0,647	480	109,77	8,0	0,26	252,3	97,1

Tabela A36 – Resultados de previsão para SP86. Cota da superfície = 32,07m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,44	Areia	0,032	574	2,68	2,0	0,99	16,4	1,7
2	3	0,43	Areia	0,065	542	3,79	2,0	1,01	23,7	2,3
3	7	0,41	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,06	52,7	4,9
4	9	0,39	Areia	0,129	499	10,49	2,0	1,12	68,8	6,2
5	11	0,36	Areia	0,162	495	12,72	2,0	1,21	87,2	7,2
6	14	0,36	Areia	0,194	492	16,06	2,0	1,21	110,1	9,1
7	18	0,35	Areia	0,227	489	20,53	2,0	1,25	142,7	11,4
8	25	0,34	Areia	0,259	486	28,33	2,0	1,28	199,6	15,6
9	53	0,29	Areia	0,291	482	59,57	2,0	1,50	452,6	30,1
10	21	0,36	Areia	0,324	487	23,87	2,0	1,21	163,9	13,5
11	23	0,40	Areia pouco siltosa	0,356	486	26,10	6,0	0,36	79,6	21,9
12	25	0,29	Areia pouco siltosa	0,388	486	28,33	6,0	0,50	110,6	22,1
13	27	0,38	Areia pouco siltosa	0,421	485	30,57	6,0	0,38	97,1	25,4
14	24	0,37	Areia pouco siltosa	0,453	486	27,22	6,0	0,39	88,6	22,5
15	22	0,38	Areia pouco siltosa	0,485	487	24,99	6,0	0,38	79,8	20,9
16	24	0,39	Areia pouco siltosa	0,518	486	27,22	6,0	0,37	85,2	22,8
17	29	0,38	Areia pouco siltosa	0,550	485	32,80	6,0	0,38	104,5	27,3
18	32	0,37	Areia pouco siltosa	0,583	484	36,14	6,0	0,39	117,5	29,9
19	51	0,42	Argila arenosa	0,615	482	57,34	8,0	0,26	132,4	51,0
20	75	0,40	Argila arenosa	0,647	481	84,11	8,0	0,27	201,7	74,0
21	99	0,40	Argila arenosa	0,680	480	110,88	8,0	0,27	265,5	97,4

Tabela A37 – Resultados de previsão para SP87. Cota da superfície = 32,75m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	13	0,41	Areia	0,032	493	14,95	2,0	1,06	94,4	8,9
2	16	0,40	Areia	0,065	490	18,29	2,0	1,09	117,4	10,8
3	9	0,41	Areia	0,097	499	10,49	2,0	1,06	66,7	6,3
4	9	0,42	Areia	0,129	499	10,49	2,0	1,04	66,0	6,4
5	10	0,36	Areia	0,162	497	11,60	2,0	1,21	79,7	6,6
6	11	0,33	Areia	0,194	495	12,72	2,0	1,32	91,5	6,9
7	16	0,30	Areia	0,227	490	18,29	2,0	1,45	137,8	9,5
8	13	0,28	Areia pouco siltosa	0,259	493	14,95	6,0	0,52	60,1	11,6
9	7	0,32	Areia pouco siltosa	0,291	505	8,25	6,0	0,45	30,6	6,7
10	9	0,29	Areia pouco siltosa	0,324	499	10,49	6,0	0,50	41,6	8,3
11	9	0,27	Areia pouco siltosa	0,356	499	10,49	6,0	0,54	44,0	8,2
12	11	0,32	Areia pouco siltosa	0,388	495	12,72	6,0	0,45	46,9	10,3
13	22	0,24	Areia pouco siltosa	0,421	487	24,99	6,0	0,61	112,1	18,5
14	24	0,28	Areia pouco siltosa	0,453	486	27,22	6,0	0,52	109,3	21,1
15	27	0,30	Areia siltosa	0,485	485	30,57	9,5	0,31	81,4	26,6
16	37	0,33	Areia siltosa	0,518	483	41,72	9,5	0,28	102,3	36,7
17	47	0,34	Argila arenosa	0,550	482	52,88	8,0	0,32	145,4	45,3
18	62	0,32	Argila arenosa	0,583	481	69,61	8,0	0,34	200,7	58,9
19	80	0,31	Argila arenosa	0,615	480	89,69	8,0	0,35	264,8	75,3
20	98	0,31	Argila arenosa	0,647	480	109,77	8,0	0,35	323,8	92,0

Tabela A38 – Resultados de previsão para SP88. Cota da superfície = 30,40m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,38	Areia	0,032	574	2,68	2,0	1,15	17,8	1,6
2	3	0,28	Areia	0,065	542	3,79	2,0	1,56	29,7	1,9
3	4	0,42	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,04	31,1	3,0
4	6	0,40	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,09	46,5	4,3
5	10	0,42	Areia	0,162	497	11,60	2,0	1,04	73,1	7,0
6	8	0,39	Areia	0,194	502	9,37	2,0	1,12	62,0	5,5
7	10	0,44	Areia	0,227	497	11,60	2,0	0,99	71,6	7,2
8	13	0,40	Areia pouco siltosa	0,259	493	14,95	6,0	0,36	45,8	12,6
9	14	0,38	Areia pouco siltosa	0,291	492	16,06	6,0	0,38	51,3	13,4
10	15	0,42	Areia pouco siltosa	0,324	491	17,18	6,0	0,35	50,7	14,6
11	16	0,46	Areia pouco siltosa	0,356	490	18,29	6,0	0,32	50,2	15,9
12	18	0,38	Areia pouco siltosa	0,388	489	20,53	6,0	0,38	65,6	17,1
13	20	0,40	Areia pouco siltosa	0,421	488	22,76	6,0	0,36	69,8	19,2
14	23	0,38	Areia pouco siltosa	0,453	486	26,10	6,0	0,38	83,2	21,8
15	25	0,42	Areia pouco siltosa	0,485	486	28,33	6,0	0,35	83,4	24,1
16	28	0,44	Argila arenosa	0,518	485	31,68	8,0	0,25	70,7	28,5
17	38	0,43	Argila arenosa	0,550	483	42,84	8,0	0,25	97,2	38,3
18	81	0,39	Argila arenosa	0,583	480	90,80	8,0	0,28	222,2	79,4

Tabela A39 – Resultados de previsão para SP89. Cota da superfície = 29,96m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,35	Areia	0,032	574	2,68	2,0	1,25	18,6	1,5
2	2	0,42	Areia	0,065	574	2,68	2,0	1,04	17,0	1,6
3	2	0,30	Areia	0,097	574	2,68	2,0	1,45	20,6	1,4
4	5	0,43	Areia pouco siltosa	0,129	516	6,02	6,0	0,34	17,5	5,2
5	13	0,32	Areia pouco siltosa	0,162	493	14,95	6,0	0,45	54,1	11,9
6	11	0,42	Areia	0,194	495	12,72	2,0	1,04	80,3	7,7
7	12	0,32	Areia	0,227	494	13,83	2,0	1,36	101,3	7,4
8	11	0,40	Areia	0,259	495	12,72	2,0	1,09	83,0	7,6
9	11	0,33	Areia	0,291	495	12,72	2,0	1,32	92,2	7,0
10	13	0,43	Areia	0,324	493	14,95	2,0	1,01	93,7	9,2
11	19	0,40	Areia	0,356	488	21,64	2,0	1,09	140,6	12,9
12	21	0,33	Areia	0,388	487	23,87	2,0	1,32	172,0	13,0
13	22	0,28	Areia	0,421	487	24,99	2,0	1,56	195,4	12,5
14	23	0,40	Areia	0,453	486	26,10	2,0	1,09	169,8	15,6
15	29	0,28	Argila arenosa	0,485	485	32,80	8,0	0,39	105,8	27,2
16	55	0,40	Argila arenosa	0,518	482	61,80	8,0	0,27	148,3	54,4
17	92	0,33	Argila arenosa	0,550	480	103,07	8,0	0,33	289,0	87,4

Tabela A40 – Resultados de previsão para SP100. Cota da superfície = 29,96m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	2	0,40	Areia	0,032	574	2,68	2,0	1,09	17,3	1,6
2	4	0,38	Areia	0,065	526	4,91	2,0	1,15	32,7	2,8
3	4	0,48	Areia	0,097	526	4,91	2,0	0,91	28,8	3,2
4	8	0,60	Areia	0,129	502	9,37	2,0	0,73	47,4	6,5
5	7	0,50	Areia	0,162	505	8,25	2,0	0,87	47,2	5,4
6	10	0,43	Areia	0,194	497	11,60	2,0	1,01	72,4	7,1
7	13	0,38	Areia	0,227	493	14,95	2,0	1,15	99,8	8,7
8	10	0,42	Areia	0,259	497	11,60	2,0	1,04	73,7	7,1
9	14	0,38	Areia	0,291	492	16,06	2,0	1,15	107,6	9,4
10	14	0,42	Areia	0,324	492	16,06	2,0	1,04	101,9	9,8
11	17	0,37	Areia	0,356	489	19,41	2,0	1,18	131,9	11,2
12	20	0,38	Areia	0,388	488	22,76	2,0	1,15	152,2	13,3
13	15	0,43	Areia	0,421	491	17,18	2,0	1,01	108,0	10,6
14	18	0,35	Areia	0,453	489	20,53	2,0	1,25	144,2	11,6
15	20	0,48	Argila arenosa	0,485	488	22,76	8,0	0,23	47,4	20,9
16	25	0,39	Argila arenosa	0,518	486	28,33	8,0	0,28	70,1	25,1
17	31	0,44	Argila arenosa	0,550	484	35,03	8,0	0,25	78,1	31,5
18	68	0,40	Argila arenosa	0,583	481	76,30	8,0	0,27	183,0	67,1

Tabela A41 – Resultados de previsão para SP101. Cota da superfície = 30,76m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	6	0,43	Areia	0,032	510	7,14	2,0	1,01	44,0	4,3
2	6	0,40	Areia	0,065	510	7,14	2,0	1,09	46,1	4,2
3	5	0,39	Areia	0,097	516	6,02	2,0	1,12	39,7	3,5
4	6	0,42	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,04	45,2	4,4
5	9	0,40	Areia	0,162	499	10,49	2,0	1,09	68,1	6,2
6	11	0,41	Areia	0,194	495	12,72	2,0	1,06	81,4	7,6
7	28	0,37	Areia pouco siltosa	0,227	485	31,68	6,0	0,39	102,1	26,0
8	15	0,45	Areia pouco siltosa	0,259	491	17,18	6,0	0,32	47,8	14,8
9	17	0,43	Areia pouco siltosa	0,291	489	19,41	6,0	0,34	56,0	16,6
10	13	0,45	Areia	0,324	493	14,95	2,0	0,97	91,2	9,4
11	13	0,60	Areia	0,356	493	14,95	2,0	0,73	76,4	10,5
12	16	0,43	Areia	0,388	490	18,29	2,0	1,01	114,6	11,3
13	19	0,58	Areia	0,421	488	21,64	2,0	0,75	112,6	15,0
14	20	0,48	Areia	0,453	488	22,76	2,0	0,91	133,4	14,7
15	21	0,60	Areia	0,485	487	23,87	2,0	0,73	121,6	16,7
16	21	0,40	Areia	0,518	487	23,87	2,0	1,09	155,9	14,3
17	25	0,38	Argila arenosa	0,550	486	28,33	8,0	0,29	71,8	25,0
18	58	0,48	Argila arenosa	0,583	481	65,15	8,0	0,23	134,0	59,0
19	85	0,30	Argila arenosa	0,615	480	95,26	8,0	0,36	288,6	79,4

Tabela A42 – Resultados de previsão para SP102. Cota da superfície = 31,05m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	6	0,39	Areia	0,032	510	7,14	2,0	1,12	46,5	4,2
2	6	0,42	Areia	0,065	510	7,14	2,0	1,04	44,8	4,3
3	7	0,36	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,21	56,6	4,7
4	8	0,38	Areia	0,129	502	9,37	2,0	1,15	62,5	5,4
5	9	0,40	Areia	0,162	499	10,49	2,0	1,09	68,1	6,2
6	11	0,42	Areia	0,194	495	12,72	2,0	1,04	80,3	7,7
7	13	0,44	Areia	0,227	493	14,95	2,0	0,99	91,8	9,3
8	14	0,39	Areia	0,259	492	16,06	2,0	1,12	105,8	9,5
9	14	0,36	Areia	0,291	492	16,06	2,0	1,21	110,8	9,1
10	17	0,40	Areia	0,324	489	19,41	2,0	1,09	126,2	11,6
11	21	0,43	Areia pouco siltosa	0,356	487	23,87	6,0	0,34	68,8	20,4
12	23	0,36	Areia pouco siltosa	0,388	486	26,10	6,0	0,40	86,6	21,4
13	26	0,44	Areia pouco siltosa	0,421	485	29,45	6,0	0,33	83,3	25,2
14	26	0,39	Areia pouco siltosa	0,453	485	29,45	6,0	0,37	91,8	24,6
15	30	0,41	Areia pouco siltosa	0,485	484	33,91	6,0	0,35	101,5	28,6
16	33	0,36	Areia pouco siltosa	0,518	484	37,26	6,0	0,40	123,5	30,6
17	49	0,40	Argila arenosa	0,550	482	55,11	8,0	0,27	132,5	48,6
18	102	0,39	Argila arenosa	0,583	480	114,23	8,0	0,28	279,1	99,8

Tabela A43 – Resultados de previsão para SP103. Cota da superfície = 31,35m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	7	0,42	Areia	0,032	505	8,25	2,0	1,04	51,5	5,0
2	6	0,43	Areia	0,065	510	7,14	2,0	1,01	44,2	4,4
3	7	0,40	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,09	53,4	4,9
4	8	0,33	Areia	0,129	502	9,37	2,0	1,32	67,4	5,1
5	9	0,32	Areia	0,162	499	10,49	2,0	1,36	76,7	5,6
6	11	0,30	Areia	0,194	495	12,72	2,0	1,45	96,0	6,6
7	27	0,26	Areia pouco siltosa	0,227	485	30,57	6,0	0,56	128,3	22,9
8	18	0,29	Areia siltosa	0,259	489	20,53	9,5	0,32	56,0	17,7
9	13	0,33	Areia siltosa	0,291	493	14,95	9,5	0,28	36,9	13,3
10	13	0,32	Areia siltosa	0,324	493	14,95	9,5	0,29	37,9	13,2
11	14	0,33	Areia siltosa	0,356	492	16,06	9,5	0,28	39,8	14,3
12	18	0,33	Areia siltosa	0,388	489	20,53	9,5	0,28	50,6	18,2
13	19	0,34	Areia siltosa	0,421	488	21,64	9,5	0,27	52,1	19,3
14	24	0,32	Areia siltosa	0,453	486	27,22	9,5	0,29	68,7	24,0
15	27	0,33	Areia siltosa	0,485	485	30,57	9,5	0,28	75,2	27,0
16	32	0,31	Areia siltosa	0,518	484	36,14	9,5	0,30	93,5	31,6
17	61	0,39	Argila arenosa	0,550	481	68,49	8,0	0,28	167,9	60,0
18	82	0,38	Argila arenosa	0,583	480	91,92	8,0	0,29	229,8	80,1
19	103	0,37	Argila arenosa	0,615	480	115,34	8,0	0,29	294,5	99,9

Tabela A44 – Resultados de previsão para SP104. Cota da superfície = 31,60m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	10	0,42	Areia	0,032	497	11,60	2,0	1,04	72,3	7,0
2	7	0,45	Areia	0,065	505	8,25	2,0	0,97	49,7	5,1
3	8	0,41	Areia	0,097	502	9,37	2,0	1,06	59,7	5,6
4	9	0,39	Areia	0,129	499	10,49	2,0	1,12	68,8	6,2
5	11	0,31	Areia	0,162	495	12,72	2,0	1,41	94,2	6,7
6	12	0,30	Areia	0,194	494	13,83	2,0	1,45	104,3	7,2
7	10	0,31	Areia	0,227	497	11,60	2,0	1,41	86,6	6,2
8	11	0,29	Areia pouco siltosa	0,259	495	12,72	6,0	0,50	50,0	10,0
9	13	0,28	Areia pouco siltosa	0,291	493	14,95	6,0	0,52	60,2	11,6
10	13	0,28	Areia pouco siltosa	0,324	493	14,95	6,0	0,52	60,3	11,6
11	14	0,27	Areia pouco siltosa	0,356	492	16,06	6,0	0,54	66,6	12,4
12	15	0,28	Areia pouco siltosa	0,388	491	17,18	6,0	0,52	69,4	13,4
13	16	0,30	Areia pouco siltosa	0,421	490	18,29	6,0	0,48	70,3	14,5
14	22	0,32	Areia pouco siltosa	0,453	487	24,99	6,0	0,45	91,0	20,0
15	27	0,31	Areia pouco siltosa	0,485	485	30,57	6,0	0,47	113,8	24,3
16	34	0,33	Areia pouco siltosa	0,518	484	38,37	6,0	0,44	135,9	30,9
17	66	0,36	Argila arenosa	0,550	481	74,07	8,0	0,30	193,8	64,0
18	83	0,35	Argila arenosa	0,583	480	93,03	8,0	0,31	248,9	79,9
19	100	0,33	Argila arenosa	0,615	480	112,00	8,0	0,33	314,0	95,0

Tabela A45 – Resultados de previsão para SP105. Cota da superfície = 31,71m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	20	0,40	Areia	0,032	488	22,76	2,0	1,09	145,7	13,4
2	11	0,38	Areia	0,065	495	12,72	2,0	1,15	84,1	7,3
3	12	0,33	Areia	0,097	494	13,83	2,0	1,32	98,8	7,5
4	6	0,36	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,21	49,2	4,1
5	7	0,38	Areia	0,162	505	8,25	2,0	1,15	55,4	4,8
6	6	0,38	Areia siltosa	0,194	510	7,14	9,5	0,24	15,8	6,5
7	8	0,39	Areia siltosa	0,227	502	9,37	9,5	0,24	20,2	8,6
8	8	0,40	Areia pouco siltosa	0,259	502	9,37	6,0	0,36	29,0	8,0
9	9	0,40	Areia pouco siltosa	0,291	499	10,49	6,0	0,36	32,4	8,9
10	12	0,36	Areia pouco siltosa	0,324	494	13,83	6,0	0,40	46,3	11,5
11	15	0,37	Areia pouco siltosa	0,356	491	17,18	6,0	0,39	56,1	14,3
12	16	0,40	Areia pouco siltosa	0,388	490	18,29	6,0	0,36	56,2	15,5
13	20	0,37	Areia pouco siltosa	0,421	488	22,76	6,0	0,39	74,2	18,9
14	24	0,36	Areia pouco siltosa	0,453	486	27,22	6,0	0,40	90,5	22,4
15	27	0,34	Areia pouco siltosa	0,485	485	30,57	6,0	0,43	106,1	24,8
16	39	0,33	Areia pouco siltosa	0,518	483	43,95	6,0	0,44	155,4	35,3
17	75	0,33	Areia siltosa	0,550	481	84,11	9,5	0,28	205,0	73,7
18	93	0,37	Areia siltosa	0,583	480	104,19	9,5	0,25	230,4	92,8
19	108	0,38	Argila arenosa	0,615	480	120,92	8,0	0,29	301,9	105,2

Tabela A46 – Resultados de previsão para SP106. Cota da superfície = 31,98m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	14	0,41	Areia	0,032	492	16,06	2,0	1,06	101,5	9,5
2	4	0,43	Areia	0,065	526	4,91	2,0	1,01	30,5	3,0
3	6	0,40	Areia	0,097	510	7,14	2,0	1,09	46,3	4,2
4	7	0,39	Areia	0,129	505	8,25	2,0	1,12	54,4	4,9
5	9	0,37	Areia	0,162	499	10,49	2,0	1,18	71,1	6,0
6	8	0,34	Areia	0,194	502	9,37	2,0	1,28	66,8	5,2
7	6	0,38	Areia	0,227	510	7,14	2,0	1,15	48,4	4,2
8	7	0,36	Areia	0,259	505	8,25	2,0	1,21	57,7	4,8
9	12	0,29	Areia	0,291	494	13,83	2,0	1,50	106,8	7,1
10	15	0,33	Areia	0,324	491	17,18	2,0	1,32	124,1	9,4
11	16	0,34	Areia	0,356	490	18,29	2,0	1,28	130,2	10,1
12	20	0,29	Areia	0,388	488	22,76	2,0	1,50	175,0	11,6
13	23	0,30	Areia	0,421	486	26,10	2,0	1,45	197,3	13,6
14	26	0,29	Areia	0,453	485	29,45	2,0	1,50	226,1	15,0
15	29	0,32	Areia	0,485	485	32,80	2,0	1,36	239,7	17,6
16	26	0,31	Areia	0,518	485	29,45	2,0	1,41	219,3	15,6
17	41	0,34	Areia siltosa	0,550	483	46,18	9,5	0,27	110,4	40,9
18	62	0,36	Argila arenosa	0,583	481	69,61	8,0	0,30	182,3	60,2
19	77	0,38	Argila arenosa	0,615	481	86,34	8,0	0,29	216,0	75,3
20	94	0,38	Argila arenosa	0,647	480	105,30	8,0	0,29	263,2	91,7

Tabela A47 – Resultados de previsão para SP107. Cota da superfície = 32,34m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	14	0,43	Areia	0,032	492	16,06	2,0	1,01	98,7	9,7
2	16	0,41	Areia	0,065	490	18,29	2,0	1,06	115,7	10,9
3	7	0,39	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,12	54,2	4,8
4	7	0,36	Areia	0,129	505	8,25	2,0	1,21	56,8	4,7
5	8	0,38	Areia	0,162	502	9,37	2,0	1,15	62,7	5,5
6	9	0,38	Areia	0,194	499	10,49	2,0	1,15	70,2	6,1
7	7	0,38	Areia	0,227	505	8,25	2,0	1,15	55,8	4,9
8	8	0,37	Areia	0,259	502	9,37	2,0	1,18	64,3	5,5
9	11	0,39	Areia	0,291	495	12,72	2,0	1,12	84,3	7,5
10	13	0,38	Areia	0,324	493	14,95	2,0	1,15	100,5	8,7
11	13	0,36	Areia	0,356	493	14,95	2,0	1,21	103,7	8,6
12	16	0,39	Areia	0,388	490	18,29	2,0	1,12	121,1	10,8
13	18	0,33	Areia	0,421	489	20,53	2,0	1,32	148,5	11,2
14	24	0,31	Areia	0,453	486	27,22	2,0	1,41	202,5	14,4
15	26	0,32	Areia	0,485	485	29,45	2,0	1,36	215,6	15,8
16	28	0,33	Areia	0,518	485	31,68	2,0	1,32	228,3	17,3
17	44	0,37	Areia	0,550	482	49,53	2,0	1,18	334,2	28,3
18	65	0,36	Areia	0,583	481	72,95	2,0	1,21	498,1	41,1
19	84	0,33	Areia siltosa	0,615	480	94,15	9,5	0,28	229,5	82,4
20	101	0,32	Argila dura	0,647	480	113,11	8,0	0,34	325,2	95,4

Tabela A48 – Resultados de previsão para SP108. Cota da superfície = 32,46m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	6	0,43	Areia	0,032	510	7,14	2,0	1,01	44,0	4,3
2	9	0,41	Areia	0,065	499	10,49	2,0	1,06	66,5	6,3
3	7	0,37	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,18	55,7	4,7
4	7	0,34	Areia	0,129	505	8,25	2,0	1,28	58,5	4,6
5	8	0,32	Areia	0,162	502	9,37	2,0	1,36	68,7	5,0
6	8	0,31	Areia pouco siltosa	0,194	502	9,37	6,0	0,47	35,0	7,5
7	14	0,33	Areia pouco siltosa	0,227	492	16,06	6,0	0,44	56,9	12,9
8	8	0,34	Areia pouco siltosa	0,259	502	9,37	6,0	0,43	32,9	7,7
9	9	0,33	Areia pouco siltosa	0,291	499	10,49	6,0	0,44	37,7	8,5
10	12	0,30	Areia pouco siltosa	0,324	494	13,83	6,0	0,48	53,2	11,0
11	14	0,29	Areia pouco siltosa	0,356	492	16,06	6,0	0,50	63,2	12,6
12	17	0,33	Areia pouco siltosa	0,388	489	19,41	6,0	0,44	69,2	15,7
13	18	0,31	Areia pouco siltosa	0,421	489	20,53	6,0	0,47	76,8	16,4
14	21	0,37	Areia pouco siltosa	0,453	487	23,87	6,0	0,39	77,9	19,8
15	24	0,35	Areia pouco siltosa	0,485	486	27,22	6,0	0,42	92,6	22,3
16	26	0,36	Areia pouco siltosa	0,518	485	29,45	6,0	0,40	98,0	24,3
17	46	0,39	Argila arenosa	0,550	482	51,76	8,0	0,28	127,2	45,5
18	73	0,38	Argila arenosa	0,583	481	81,88	8,0	0,29	204,9	71,4
19	83	0,39	Argila arenosa	0,615	480	93,03	8,0	0,28	227,7	81,4
20	97	0,37	Argila arenosa	0,647	480	108,65	8,0	0,29	277,6	94,2

Tabela A49 – Resultados de previsão para SP109. Cota da superfície = 30,34m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,46	Areia	0,032	526	4,91	2,0	0,95	29,1	3,1
2	6	0,44	Areia	0,065	510	7,14	2,0	0,99	43,6	4,4
3	8	0,46	Areia	0,097	502	9,37	2,0	0,95	55,8	5,9
4	11	0,45	Areia	0,129	495	12,72	2,0	0,97	76,7	7,9
5	14	0,44	Areia	0,162	492	16,06	2,0	0,99	98,2	9,9
6	14	0,46	Areia	0,194	492	16,06	2,0	0,95	95,9	10,1
7	19	0,45	Areia	0,227	488	21,64	2,0	0,97	130,6	13,5
8	18	0,43	Areia	0,259	489	20,53	2,0	1,01	127,5	12,6
9	16	0,47	Areia	0,291	490	18,29	2,0	0,93	108,2	11,7
10	18	0,39	Areia	0,324	489	20,53	2,0	1,12	135,2	12,1
11	16	0,42	Areia	0,356	490	18,29	2,0	1,04	116,0	11,2
12	23	0,47	Areia	0,388	486	26,10	2,0	0,93	154,2	16,6
13	26	0,38	Areia	0,421	485	29,45	2,0	1,15	196,5	17,1
14	27	0,44	Areia pouco siltosa	0,453	485	30,57	6,0	0,33	86,5	26,2
15	29	0,46	Areia pouco siltosa	0,485	485	32,80	6,0	0,32	89,5	28,3
16	56	0,43	Areia siltosa	0,518	481	62,91	9,5	0,21	122,6	57,4
17	97	0,45	Areia siltosa	0,550	480	108,65	9,5	0,20	202,9	99,4

Tabela A50 – Resultados de previsão para SP110. Cota da superfície = 30,04m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,43	Areia	0,032	526	4,91	2,0	1,01	30,3	3,0
2	4	0,45	Areia	0,065	526	4,91	2,0	0,97	29,7	3,1
3	6	0,41	Areia	0,097	510	7,14	2,0	1,06	45,6	4,3
4	6	0,43	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,01	44,6	4,4
5	6	0,46	Areia	0,162	510	7,14	2,0	0,95	43,0	4,5
6	8	0,45	Areia	0,194	502	9,37	2,0	0,97	57,1	5,9
7	8	0,43	Areia	0,227	502	9,37	2,0	1,01	58,9	5,8
8	16	0,42	Areia	0,259	490	18,29	2,0	1,04	115,4	11,1
9	13	0,39	Areia	0,291	493	14,95	2,0	1,12	98,8	8,8
10	14	0,43	Areia	0,324	492	16,06	2,0	1,01	100,5	9,9
11	14	0,40	Areia	0,356	492	16,06	2,0	1,09	105,0	9,6
12	19	0,39	Areia	0,388	488	21,64	2,0	1,12	142,8	12,8
13	20	0,42	Areia	0,421	488	22,76	2,0	1,04	144,1	13,9
14	25	0,38	Areia	0,453	486	28,33	2,0	1,15	189,4	16,5
15	28	0,40	Areia	0,485	485	31,68	2,0	1,09	205,6	18,9
16	33	0,43	Areia siltosa	0,518	484	37,26	9,5	0,21	73,0	34,2
17	49	0,46	Areia siltosa	0,550	482	55,11	9,5	0,20	101,4	50,8
18	86	0,44	Areia siltosa	0,583	480	96,38	9,5	0,21	183,7	88,0

Tabela A51 – Resultados de previsão para SP111. Cota da superfície = 30,87m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	α	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	4	0,42	Areia	0,032	526	4,91	2,0	1,04	30,7	3,0
2	4	0,40	Areia	0,065	526	4,91	2,0	1,09	31,8	2,9
3	5	0,39	Areia	0,097	516	6,02	2,0	1,12	39,7	3,5
4	6	0,38	Areia	0,129	510	7,14	2,0	1,15	47,8	4,2
5	11	0,40	Areia	0,162	495	12,72	2,0	1,09	82,3	7,5
6	11	0,43	Areia	0,194	495	12,72	2,0	1,01	79,2	7,8
7	11	0,39	Areia	0,227	495	12,72	2,0	1,12	83,9	7,5
8	14	0,42	Areia	0,259	492	16,06	2,0	1,04	101,5	9,8
9	19	0,40	Areia	0,291	488	21,64	2,0	1,09	140,2	12,9
10	21	0,25	Areia	0,324	487	23,87	2,0	1,75	196,0	11,2
11	21	0,38	Areia	0,356	487	23,87	2,0	1,15	159,4	13,9
12	21	0,40	Areia	0,388	487	23,87	2,0	1,09	155,1	14,2
13	22	0,39	Areia	0,421	487	24,99	2,0	1,12	164,7	14,7
14	23	0,40	Areia	0,453	486	26,10	2,0	1,09	169,8	15,6
15	25	0,43	Areia	0,485	486	28,33	2,0	1,01	176,8	17,4
16	28	0,38	Areia	0,518	485	31,68	2,0	1,15	211,8	18,4
17	51	0,40	Argila arenosa	0,550	482	57,34	8,0	0,27	137,8	50,5
18	75	0,39	Argila arenosa	0,583	481	84,11	8,0	0,28	205,9	73,6
19	94	0,42	Argila arenosa	0,615	480	105,30	8,0	0,26	242,0	93,2

Tabela A52 – Resultados de previsão para SP112. Cota da superfície = 31,32m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	7	0,38	Areia	0,032	505	8,25	2,0	1,15	54,5	4,7
2	7	0,39	Areia	0,065	505	8,25	2,0	1,12	53,9	4,8
3	6	0,39	Areia pouco siltosa	0,097	510	7,14	6,0	0,37	22,2	6,0
4	7	0,38	Areia pouco siltosa	0,129	505	8,25	6,0	0,38	26,3	6,9
5	8	0,38	Areia	0,162	502	9,37	2,0	1,15	62,7	5,5
6	10	0,36	Areia	0,194	497	11,60	2,0	1,21	79,9	6,6
7	12	0,32	Areia pouco siltosa	0,227	494	13,83	6,0	0,45	50,3	11,1
8	13	0,33	Areia pouco siltosa	0,259	493	14,95	6,0	0,44	53,2	12,1
9	13	0,34	Areia pouco siltosa	0,291	493	14,95	6,0	0,43	52,1	12,2
10	14	0,36	Areia pouco siltosa	0,324	492	16,06	6,0	0,40	53,6	13,3
11	17	0,38	Areia pouco siltosa	0,356	489	19,41	6,0	0,38	62,0	16,2
12	19	0,34	Areia pouco siltosa	0,388	488	21,64	6,0	0,43	75,3	17,6
13	20	0,39	Areia pouco siltosa	0,421	488	22,76	6,0	0,37	71,2	19,1
14	24	0,37	Areia siltosa	0,453	486	27,22	9,5	0,25	60,9	24,5
15	22	0,35	Areia siltosa	0,485	487	24,99	9,5	0,26	58,7	22,4
16	22	0,33	Areia siltosa	0,518	487	24,99	9,5	0,28	61,8	22,2
17	29	0,34	Areia siltosa	0,550	485	32,80	9,5	0,27	78,8	29,2
18	54	0,38	Areia siltosa	0,583	482	60,68	9,5	0,24	131,7	54,5
19	82	0,37	Areia siltosa	0,615	480	91,92	9,5	0,25	203,5	82,0
20	104	0,37	Areia siltosa	0,647	480	116,46	9,5	0,25	257,5	103,8

Tabela A53 – Resultados de previsão para SP113. Cota da superfície = 31,61m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	12	0,41	Areia	0,032	494	13,83	2,0	1,06	87,4	8,2
2	8	0,39	Areia	0,065	502	9,37	2,0	1,12	61,2	5,5
3	4	0,36	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,21	33,9	2,8
4	5	0,33	Areia	0,129	516	6,02	2,0	1,32	43,6	3,3
5	7	0,32	Areia	0,162	505	8,25	2,0	1,36	60,6	4,4
6	7	0,36	Areia	0,194	505	8,25	2,0	1,21	57,2	4,7
7	9	0,40	Areia	0,227	499	10,49	2,0	1,09	68,5	6,3
8	11	0,42	Areia	0,259	495	12,72	2,0	1,04	80,7	7,8
9	12	0,36	Areia	0,291	494	13,83	2,0	1,21	95,7	7,9
10	10	0,38	Areia	0,324	497	11,60	2,0	1,15	78,4	6,8
11	10	0,37	Areia	0,356	497	11,60	2,0	1,18	79,8	6,8
12	14	0,36	Areia	0,388	492	16,06	2,0	1,21	111,4	9,2
13	16	0,32	Areia	0,421	490	18,29	2,0	1,36	134,8	9,9
14	19	0,31	Areia	0,453	488	21,64	2,0	1,41	161,7	11,5
15	20	0,32	Areia	0,485	488	22,76	2,0	1,36	167,4	12,3
16	21	0,33	Areia	0,518	487	23,87	2,0	1,32	172,9	13,1
17	65	0,32	Areia siltosa	0,550	481	72,95	9,5	0,29	182,6	63,6
18	82	0,33	Argila arenosa	0,583	480	91,92	8,0	0,33	258,0	78,1
19	100	0,33	Argila arenosa	0,615	480	112,00	8,0	0,33	314,0	95,0

Tabela A54 – Resultados de previsão para SP114. Cota da superfície = 31,66m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	11	0,40	Areia	0,032	495	12,72	2,0	1,09	81,5	7,5
2	2	0,28	Areia	0,065	574	2,68	2,0	1,56	21,1	1,4
3	2	0,29	Areia	0,097	574	2,68	2,0	1,50	21,0	1,4
4	5	0,30	Areia	0,129	516	6,02	2,0	1,45	45,8	3,1
5	6	0,33	Areia	0,162	510	7,14	2,0	1,32	51,8	3,9
6	6	0,36	Areia	0,194	510	7,14	2,0	1,21	49,7	4,1
7	2	0,42	Areia	0,227	574	2,68	2,0	1,04	18,1	1,7
8	6	0,37	Areia	0,259	510	7,14	2,0	1,18	49,4	4,2
9	3	0,34	Areia	0,291	542	3,79	2,0	1,28	28,5	2,2
10	7	0,35	Areia	0,324	505	8,25	2,0	1,25	59,0	4,7
11	9	0,35	Areia	0,356	499	10,49	2,0	1,25	74,5	6,0
12	10	0,34	Areia	0,388	497	11,60	2,0	1,28	83,7	6,5
13	14	0,34	Areia	0,421	492	16,06	2,0	1,28	115,1	9,0
14	17	0,33	Areia	0,453	489	19,41	2,0	1,32	140,8	10,7
15	19	0,33	Areia	0,485	488	21,64	2,0	1,32	156,9	11,9
16	22	0,35	Areia	0,518	487	24,99	2,0	1,25	175,4	14,1
17	63	0,31	Areia siltosa	0,550	481	70,72	9,5	0,30	181,8	61,4
18	85	0,30	Areia siltosa	0,583	480	95,26	9,5	0,31	251,1	82,0
19	105	0,31	Areia siltosa	0,615	480	117,57	9,5	0,30	301,4	101,7

Tabela A55 – Resultados de previsão para SP115. Cota da superfície = 31,74m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	19	0,41	Areia	0,032	488	21,64	2,0	1,06	136,6	12,8
2	12	0,46	Areia	0,065	494	13,83	2,0	0,95	81,9	8,6
3	5	0,34	Areia	0,097	516	6,02	2,0	1,28	42,7	3,3
4	7	0,31	Areia	0,129	505	8,25	2,0	1,41	61,4	4,4
5	8	0,29	Areia	0,162	502	9,37	2,0	1,50	72,1	4,8
6	8	0,29	Areia	0,194	502	9,37	2,0	1,50	72,3	4,8
7	7	0,30	Areia	0,227	505	8,25	2,0	1,45	63,1	4,3
8	9	0,31	Areia	0,259	499	10,49	2,0	1,41	78,6	5,6
9	14	0,29	Areia	0,291	492	16,06	2,0	1,50	123,7	8,2
10	8	0,32	Areia	0,324	502	9,37	2,0	1,36	69,8	5,1
11	14	0,27	Areia	0,356	492	16,06	2,0	1,62	128,4	7,9
12	17	0,29	Areia	0,388	489	19,41	2,0	1,50	149,7	10,0
13	22	0,29	Areia	0,421	487	24,99	2,0	1,50	192,1	12,8
14	23	0,29	Areia	0,453	486	26,10	2,0	1,50	200,8	13,3
15	29	0,27	Areia	0,485	485	32,80	2,0	1,62	260,3	16,1
16	33	0,30	Areia	0,518	484	37,26	2,0	1,45	281,0	19,3
17	52	0,33	Argila arenosa	0,550	482	58,45	8,0	0,33	164,5	49,8
18	64	0,36	Argila arenosa	0,583	481	71,84	8,0	0,30	188,1	62,1
19	82	0,34	Argila arenosa	0,615	480	91,92	8,0	0,32	251,9	78,5
20	99	0,34	Argila arenosa	0,647	480	110,88	8,0	0,32	303,6	94,6

Tabela A56 – Resultados de previsão para SP116. Cota da superfície = 32,10m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	12	0,41	Areia	0,032	494	13,83	2,0	1,06	87,4	8,2
2	18	0,44	Areia	0,065	489	20,53	2,0	0,99	124,6	12,6
3	6	0,38	Areia	0,097	510	7,14	2,0	1,15	47,6	4,1
4	7	0,37	Areia	0,129	505	8,25	2,0	1,18	56,0	4,7
5	7	0,37	Areia	0,162	505	8,25	2,0	1,18	56,2	4,8
6	7	0,35	Areia	0,194	505	8,25	2,0	1,25	58,1	4,7
7	8	0,33	Areia	0,227	502	9,37	2,0	1,32	68,0	5,1
8	8	0,36	Areia	0,259	502	9,37	2,0	1,21	65,2	5,4
9	13	0,33	Areia	0,291	493	14,95	2,0	1,32	108,0	8,2
10	16	0,32	Areia	0,324	490	18,29	2,0	1,36	134,1	9,8
11	18	0,30	Areia	0,356	489	20,53	2,0	1,45	155,3	10,7
12	19	0,33	Areia	0,388	488	21,64	2,0	1,32	156,2	11,8
13	20	0,27	Areia	0,421	488	22,76	2,0	1,62	181,3	11,2
14	24	0,25	Areia	0,453	486	27,22	2,0	1,75	224,1	12,8
15	27	0,28	Areia	0,485	485	30,57	2,0	1,56	238,7	15,3
16	26	0,29	Areia	0,518	485	29,45	2,0	1,50	226,6	15,1
17	50	0,33	Argila arenosa	0,550	482	56,22	8,0	0,33	158,3	47,9
18	68	0,31	Argila arenosa	0,583	481	76,30	8,0	0,35	225,5	64,1
19	83	0,32	Argila arenosa	0,615	480	93,03	8,0	0,34	267,7	78,6
20	97	0,30	Argila arenosa	0,647	480	108,65	8,0	0,36	329,0	90,5

Tabela A57 – Resultados de previsão para SP117. Cota da superfície = 31,34m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	13	0,46	Areia	0,032	493	14,95	2,0	0,95	88,3	9,3
2	9	0,41	Areia	0,065	499	10,49	2,0	1,06	66,5	6,3
3	7	0,38	Areia	0,097	505	8,25	2,0	1,15	54,9	4,8
4	7	0,35	Areia	0,129	505	8,25	2,0	1,25	57,6	4,6
5	7	0,34	Areia	0,162	505	8,25	2,0	1,28	58,8	4,6
6	9	0,31	Areia	0,194	499	10,49	2,0	1,41	78,2	5,6
7	9	0,32	Areia	0,227	499	10,49	2,0	1,36	77,2	5,7
8	10	0,34	Areia	0,259	497	11,60	2,0	1,28	82,8	6,5
9	11	0,35	Areia	0,291	495	12,72	2,0	1,25	89,4	7,2
10	14	0,37	Areia	0,324	492	16,06	2,0	1,18	109,4	9,3
11	18	0,41	Areia	0,356	489	20,53	2,0	1,06	131,6	12,4
12	19	0,35	Areia	0,388	488	21,64	2,0	1,25	151,5	12,2
13	20	0,36	Areia	0,421	488	22,76	2,0	1,21	157,0	13,0
14	24	0,36	Areia	0,453	486	27,22	2,0	1,21	187,4	15,5
15	28	0,34	Areia	0,485	485	31,68	2,0	1,28	224,6	17,5
16	34	0,35	Areia	0,518	484	38,37	2,0	1,25	267,4	21,5
17	54	0,39	Areia siltosa	0,550	482	60,68	9,5	0,24	128,7	54,7
18	72	0,40	Areia siltosa	0,583	481	80,76	9,5	0,23	167,4	72,9
19	93	0,38	Argila arenosa	0,615	480	104,19	8,0	0,29	260,4	90,7
20	98	0,39	Argila arenosa	0,647	480	109,77	8,0	0,28	268,4	96,0

Tabela A58 – Resultados de previsão para SP118. Cota da superfície = 31,36m.

z (m)	N_{spt}	L_{int} (m)	Tipo de solo	W_h (kN)	$E_{t_{sist}}$ (J)	R_u (kN)	a	R_f (%)	r_{Le} (kPa)	r_p (MPa)
1	23	0,39	Areia	0,032	486	26,10	2,0	1,12	169,5	15,1
2	8	0,42	Areia	0,065	502	9,37	2,0	1,04	58,7	5,6
3	4	0,36	Areia	0,097	526	4,91	2,0	1,21	33,9	2,8
4	5	0,31	Areia	0,129	516	6,02	2,0	1,41	45,0	3,2
5	5	0,36	Areia	0,162	516	6,02	2,0	1,21	41,9	3,5
6	7	0,38	Areia	0,194	505	8,25	2,0	1,15	55,6	4,8
7	10	0,39	Areia	0,227	497	11,60	2,0	1,12	76,7	6,9
8	13	0,46	Areia	0,259	493	14,95	2,0	0,95	89,7	9,5
9	14	0,46	Areia	0,291	492	16,06	2,0	0,95	96,4	10,2
10	11	0,37	Areia	0,324	495	12,72	2,0	1,18	87,0	7,4
11	9	0,36	Areia	0,356	499	10,49	2,0	1,21	73,4	6,1
12	14	0,46	Areia	0,388	492	16,06	2,0	0,95	97,0	10,2
13	15	0,31	Areia	0,421	491	17,18	2,0	1,41	128,8	9,2
14	21	0,31	Areia	0,453	487	23,87	2,0	1,41	178,0	12,6
15	19	0,30	Areia	0,485	488	21,64	2,0	1,45	164,6	11,3
16	18	0,32	Areia	0,518	489	20,53	2,0	1,36	151,6	11,1
17	64	0,31	Areia	0,550	481	71,84	2,0	1,41	529,7	37,6
18	79	0,30	Areia siltosa	0,583	480	88,57	9,5	0,31	233,6	76,3
19	90	0,32	Argila arenosa	0,615	480	100,84	8,0	0,34	290,0	85,1
20	107	0,31	Argila arenosa	0,647	480	119,81	8,0	0,35	353,2	100,4