

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Júlia Hein Mazutti

**FUNDAÇÃO SOBRE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA PARA
AEROGERADOR EM VIAMÃO/RS: ANÁLISE DE MÉTODOS
DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA AXIAL A
PARTIR DE DADOS DO SPT E CPT**

Porto Alegre
novembro 2015

JÚLIA HEIN MAZUTTI

**FUNDAÇÃO SOBRE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA PARA
AEROGERADOR EM VIAMÃO/RS: ANÁLISE DE MÉTODOS
DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA AXIAL A
PARTIR DE DADOS DO SPT E CPT**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Fernando Schnaid

Porto Alegre
novembro 2015

JÚLIA HEIN MAZUTTI

**FUNDAÇÃO SOBRE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA PARA
AEROGERADOR EM VIAMÃO/RS: ANÁLISE DE MÉTODOS
DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA AXIAL A
PARTIR DE DADOS DO SPT E CPT**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2015

Prof. Fernando Schnaid
Ph. D. pela Oxford University
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Schnaid (UFRGS)
Ph. D. pela Oxford University

Profa. Graciele Dienstmann (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Lucas Festugato (UFRGS)
Ph. D. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha vó Mena e meu vô Manduca.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao professor Fernando Schnaid, por ter me ensinado que este trabalho deveria ser feito, antes de tudo, para mim mesma. Obrigada por ter me dado a liberdade guiada de desenvolver o assunto que mais me interessava e pelo suporte nas horas que precisei.

Obrigada ao meu irmão Eduardo, por me orgulhar pela pessoa que é.

Agradeço aos meus avós, Magdalena e Armando, por engrandecerem meu coração. Obrigada por encher minha vida de amor, por me ensinar a virar cambalhota na árvore, por me ensinar a estender a mão ao próximo e pela inspiração de acordar a cada dia com o otimismo renovado.

Minha mãe querida, obrigada por ser pai e mãe, por me segurar nos momentos mais difíceis e por me ensinar a levantar a cabeça acima de qualquer dificuldade. Obrigada por ser o lugar que eu posso sempre retornar para tomar um café passado quentinho, na frente da lareira.

Pai, obrigada pela bala de coração. Obrigada por sempre ter me dado tudo, pelas lembranças de uma infância que ainda vive a cada dia dentro de mim, por me empurrar no balanço, por jogar futebol comigo e por me carregar nas costas pelo pátio a cada meio dia. Obrigada por fazer nascer em mim o gosto pelos números, não haveria jeito mais profundo de carregar teu amor dentro de mim todos os dias. E obrigada, novamente, pela bala de coração.

Obrigada, às famílias Crippa, da Rosa e Geremia, pela amizade incondicional.

Um grande *merci* para toda equipe da CTE Wind Civil Engineering, por me ensinarem a Engenharia de qualidade e responsabilidade também fora da Universidade, pela dedicação de ensino e tempo, e pela confiança em mim depositada.

Agradeço aos meus amigos, pelo simples fato de me fazerem bem, pelos conselhos, abraços e risadas, por estarem sempre por perto.

Obrigada aos professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por educarem acima das dificuldades e pelas conversas nas horas de dúvida.

Hakuna Matata.

RESUMO

Este trabalho busca analisar o comportamento dos métodos de previsão de capacidade de carga axial para estacas do tipo hélice contínua, para o caso de uma fundação de aerogerador na cidade de Viamão/RS. Dispõe-se de dois tipos de ensaio de campo, um *Standard Penetration Test* (SPT) e um *Cone Penetration Test* (CPT), além de uma prova de carga estática à compressão. Para o SPT, os métodos semi-empíricos utilizados serão o de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e UFRGS. Para o CPT, analisam-se os métodos semi-empíricos de Philipponnat e LCPC. Para ambos os ensaios, também são quantificados os parâmetros de resistência ao cisalhamento não drenada e ângulo de atrito interno, para utilização do método racional de Meyerhof. Os métodos são examinados para as dimensões da estaca ensaiada pela prova de carga, sendo o diâmetro igual a 60 centímetros e o comprimento de 17 metros. A distribuição dos esforços para a estaca devido ao carregamento do aerogerador é feita através do cálculo de estaqueamento. Devido a diferenças entre os ensaios SPT e CPT, propõe-se analisar, além destes dois perfis de solo, outros dois que derivam dos mesmos, obtendo assim quatro perfis de solo possíveis. Constatase que os perfis de solo derivados do SPT, se dimensionados através da capacidade de carga axial total à compressão das estacas, não seriam capazes de suportar a carga máxima atingida pela prova de carga estática. Os perfis derivados do CPT, por sua vez, tem comportamento satisfatório. Com a limitação de ponta imposta para estacas escavadas e inserção de fatores de segurança, um dos perfis SPT atinge o fator de segurança desejado e outro não, enquanto os perfis derivados do CPT se tornam conservadores. Observa-se na presente análise que, no geral, os métodos superestimam a capacidade de ponta das estacas e que os perfis derivados do CPT geram resultados mais confiáveis.

Palavras-chave: Capacidade de carga axial. Hélice contínua. *Standard Penetration Test*. *Cone Penetration Test*. Prova de carga estática.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa	22
Figura 2 – Partes do equipamento de sondagem SPT	27
Figura 3 – Relação entre $N_{SPT,60}$ e S_u	28
Figura 4 – Fases de cravação do amostrador	30
Figura 5 – Componentes do CPT	36
Figura 6 – Fator de capacidade do cone para a região de Porto Alegre/RS	38
Figura 7 – Equilíbrio de cargas em uma estaca isolada	42
Figura 8 – Curvas da capacidade de carga lateral equivalente	50
Figura 9 – Propostas de ruptura segundo solução de: (a) Terzaghi; (b) Meyerhof; (c) Berezantzev; (d) Vésic	53
Figura 10 – Fatores de capacidade de carga	54
Figura 11 – Bloco de fundação relativo à estaca em estudo	58
Figura 12 – Medida de y_i	59
Figura 13 – Macaco hidráulico da prova de carga estática de compressão	60
Figura 14 – Exemplo de comportamento carga (Q) x recalque (w)	60
Figura 15 – Ensaio SPT	63
Figura 16 – Ensaio CPT	63
Figura 17 – Perfis de solo considerados para SPT	64
Figura 18 – Resistência ao cisalhamento não drenada para cada perfil considerado	67
Figura 19 – Ângulo de atrito interno para cada perfil considerado	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ponderações para ELU fundamental	25
Tabela 2 – Ponderações para ELU relativo à estabilidade	25
Tabela 3 – Ponderações para ELU acidental	25
Tabela 4 – Ponderações para ELS	25
Tabela 5 – Valores de k e α_{AV}	44
Tabela 6 – Valores de $F1$ e $F2$	44
Tabela 7 – Valores de α e β	45
Tabela 8 – Valores de C	46
Tabela 9 – Valores dos coeficientes de ajuste	47
Tabela 10 – Classificação do solo a partir do CPT	48
Tabela 11 – Parâmetro de atrito lateral e capacidade de carga lateral limite para método LCPC	49
Tabela 12 – Valores numéricos dos coeficientes de ajuste	49
Tabela 13 – Valores do coeficiente de capacidade de carga para o método LCPC	51
Tabela 14 – Fator de Philipponnat em função do tipo de estaca	52
Tabela 15 – Fator de Philipponnat em função do tipo de solo.....	52
Tabela 16 – Fator de Philipponnat que relaciona a resistência do CPT e da ponta da estaca	52
Tabela 17 – Relação entre K_s e K_o	56
Tabela 18 – Valores de K_o	56
Tabela 19 – Principais cargas do aerogerador Alstom ECO 122 T89	61
Tabela 20 – Ações devido ao peso dos elementos e empuxo d'água	61
Tabela 21 – Cargas ponderadas para os estados-limites últimos	62
Tabela 22 – Esforços máximos nas estacas devido aos estados-limites	62
Tabela 23 – Estratigrafia do solo considerada	65
Tabela 24 – Estimativas de S_u para os três perfis SPT considerados	66
Tabela 25 – Estimativas de ϕ' para os três perfis SPT considerados	68
Tabela 26 – Dados da estaca ensaiada	70
Tabela 27 – Resultados da prova de carga estática	70
Tabela 28 – Capacidade de carga axial total em kN	71
Tabela 29 – Fator de segurança da capacidade de carga axial total	71
Tabela 30 – Capacidade de carga axial com limitação de ponta em kN	72
Tabela 31 – Fator de segurança da capacidade de carga axial com limitação de ponta ...	72

Tabela 32 – Capacidade de carga axial de projeto em kN	73
Tabela 33 – Fator de segurança da capacidade de carga axial de projeto	74
Tabela 34 – Capacidade de carga axial total de tração em kN	75
Tabela 35 – Fator de segurança da capacidade de carga axial total de tração	75

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CPT – *Cone Penetration Test*

CPTU – *Piezocone Penetration Test*

ELS – Estado-Limite de Serviço

ELU – Estado-Limite Último

IEC – *International Electrotechnical Commission*

LCPC – *Laboratoire Central de Ponts et Chaussées*

NBR – Norma Brasileira

PMT – *Pressuremeter Ménard Test*

Proinfa – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

RS – Rio Grande do Sul

SPT – *Standard Penetration Test*

TN – Terreno Natural

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

A_b – área da base da estaca

a – constante da razão S_u/N_{SPT}

a_s – área lateral do amostrador SPT

a_l – área lateral total do amostrador SPT para 30 cm de comprimento (interna + externa)

a_{LCPC} – coeficiente de ajuste da equação conforme o solo para método LCPC

a_p – área de ponta do amostrador SPT

B – largura da base da estaca

b_{LCPC} – coeficiente de ajuste da equação conforme o solo para método LCPC

C – coeficiente em função do tipo de solo

c – coesão

c_a – aderência entre a estaca e o solo

c_{LCPC} – coeficiente de ajuste da equação conforme o solo para método LCPC

c_1 – coeficiente de ajuste para resistência lateral conforme tipo de estaca

c_2 – coeficiente de ajuste para resistência de ponta conforme tipo de estaca

D – profundidade da ponta

D_r – densidade relativa

d – braço de alavanca

E_{ap} – energia aplicada

E^* – energia potencial gravitacional teórica

F_d – força dinâmica média

$F_{d,l}$ – força dinâmica lateral mobilizada pelo amostrador

$F_{d,p}$ – força dinâmica de ponta mobilizada pelo amostrador

F_e – força estática média

F_r – razão de atrito normalizada

FS – fator de segurança

F1 – fator de escala

F2 – fator de execução

f_{lim} – capacidade de carga lateral limite

f_{qc} – capacidade de carga lateral equivalente a q_c

f_s – atrito lateral do cone

g – aceleração da gravidade

H – altura de queda do martelo

H_T – carga horizontal total devido ao carregamento

Ko – coeficiente de empuxo do solo no repouso

K_s – coeficiente de empuxo do solo

k1 – coeficiente de correlação entre SPT e CPT para Aoki-Velloso

k_c – coeficiente de capacidade de carga para o método LCPC

L – comprimento da estaca

ℓ – comprimento de haste

M_h – massa da haste

M_m – massa do martelo

M_T – momento fletor total devido ao carregamento

M_z – momento torsor total devido ao carregamento

N_c – fator de capacidade de carga da parcela coesiva

N_{kt} – fator de capacidade do cone

N_q – fator de capacidade de carga da parcela da sobrecarga

N_γ – fator de capacidade de carga da parcela do peso específico

\overline{N}_p = média do N_{SPT} na ponta, no trecho anterior e posterior à mesma

\overline{N}_l = média dos valores de N_{SPT} ao longo do fuste

N_{SPT} – número de golpes da resistência à penetração do amostrador SPT

$N_{SPT,60}$ – número de golpes para 60% da energia teórica

N_T – carga vertical total devido ao carregamento

n_e – número total de estacas na fundação

η_1 – eficiência referente à parcela do martelo

η_2 – eficiência referente à parcela da haste

η_3 – eficiência referente ao sistema

p_a – pressão atmosférica

$Q_{l,ult}$ – capacidade de carga lateral

$Q_{p,ult}$ – capacidade de carga da ponta

Q_t – resistência de penetração normalizada do CPT

Q_{ult} – capacidade de carga total da estaca

$Q_{c,max}$ – carga máxima de compressão no ensaio de prova estática axial

$Q_{t,max}$ – carga máxima de tração máxima no cálculo de estaqueamento

q_c – resistência de ponta do cone

q_{cm} – fator de capacidade médio para o método LCPC

q_{cP} – resistência de ponta unitária de Philipponnat

$q_{p,ult}$ – resistência de ponta (unitária)

R_E – carga axial total que a estaca estará submetida

S_u – resistência ao cisalhamento não drenada

U – perímetro da estaca

u – fator de incremento de carga

W – peso próprio da estaca

y_i – distância de cada estaca em relação ao eixo das abcissas

$\Delta EPG_{m+h}^{sistema}$ – variação teórica da energia gravitacional do sistema

$\Delta EPG_{m+h}^{sistema}$ – variação real da energia gravitacional do sistema

$\Delta \rho$ – penetração permanente do amostrador devido à aplicação de um golpe

γ – peso específico do solo

α_a – coeficiente de adesão

α_{AV} – coeficiente de ajuste entre resistência de ponta do ensaio CPT e atrito lateral da estaca

α_{FP} – fator de Philipponnat em função do tipo de estaca

α_{LCPC} – parâmetro de atrito lateral para o método LCPC

α_{PP} – fator de Philipponnat que relaciona resistência do CPT e ponta da estaca

α_{SP} – fator de Philipponnat em função do tipo de solo

α – coeficiente de reação de ponta conforme tipo de estaca

β – coeficiente de atrito lateral conforme tipo de estaca

ϕ' – ângulo de atrito interno

σ_{vo} – tensão vertical total

σ'_{vo} – tensão vertical efetiva

σ_h – tensão horizontal contra superfície lateral da estaca

$\tau_{l,ult}$ – resistência lateral (unitária)

δ – ângulo de atrito da interface solo-estaca

Δl – comprimento do segmento da estaca em estudo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	20
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA	20
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA	20
2.3 PRESSUPOSTOS	20
2.4 PREMISSA	20
2.5 DELIMITAÇÕES	21
2.6 LIMITAÇÕES	21
2.7 DELINEAMENTO	21
3 ANÁLISE DOS CARREGAMENTOS	24
3.1 CARGAS ENVOLVIDAS	24
3.2 ESTADOS-LIMITES	24
4 ANÁLISE DO SOLO	26
4.1 <i>STANDARD PENETRATION TEST</i> – SPT	26
4.1.1 Resistência ao cisalhamento não drenada – Conceito de energia do SPT	27
4.1.2 Ângulo de atrito interno – SPT	33
4.2 <i>CONE PENETRATION TEST</i> – CPT	35
4.2.1 Resistência ao cisalhamento não drenada – CPT	37
4.2.2 Ângulo de atrito interno – CPT	39
5 PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE ESTACAS	41
5.1 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE PREVISÃO A PARTIR DO SPT	43
5.1.1 Método Aoki-Velloso para SPT	43
5.1.2 Método Décourt-Quaresma	45
5.1.3 Método UFRGS	46
5.2 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE PREVISÃO A PARTIR DO CPT	47
5.2.1 Método LCPC	47
5.2.2 Método de Philipponnat	51
5.3 MÉTODO RACIONAL DE MEYERHOF	53
5.4 ESTACAS TRACIONADAS	56
5.5 EFEITO DE GRUPO	56
5.6 ESTAQUEAMENTO	57
5.7 PROVA DE CARGA ESTÁTICA	59
6 DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS	61

6.1 CARREGAMENTOS	61
6.2 ESTAQUEAMENTO	62
6.3 PARÂMETROS DO SOLO	62
6.3.1 Compatibilidade dos ensaios de campo	63
6.3.2 Estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada	66
6.3.3 Estimativa do ângulo de atrito interno	68
6.4 ANÁLISE DA PROVA DE CARGA ESTÁTICA	69
6.5 RESULTADOS DA PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA AXIAL	70
6.5.1 Capacidade de carga axial total à compressão	71
6.5.2 Capacidade de carga axial à compressão com limitação da resistência de ponta	72
6.5.3 Capacidade de carga axial à compressão de projeto	73
6.5.4 Capacidade de carga axial à tração	74
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A	81
APÊNDICE B	95
ANEXO A	108
ANEXO B	112
ANEXO C	114

1 INTRODUÇÃO

A busca por novas e aperfeiçoadas tecnologias no ramo das energias renováveis tem tomado o tempo e a dedicação de profissionais das mais diversas áreas de atuação, tendo a Engenharia papel fundamental. Entre elas, a matriz eólica, já consolidada em países europeus e norte americanos, experimenta um crescimento exponencial no setor nacional.

Devido a políticas de incentivo ao desenvolvimento do potencial eólico brasileiro, iniciado essencialmente pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e abastecido através de financiamentos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) nos últimos dez anos, deu-se a largada a uma corrida pela energia eólica no País, a qual vem se consolidando mesmo em tempos econômicos ruins. Em adição, destaca-se o fato da fonte eólica ser complementar à fonte hídrica, nossa principal fonte de energia, devido aos melhores ventos ocorrerem em períodos de menor regime de chuva.

Em paralelo, o setor da construção civil toma papel no que diz respeito à logística de instalação e infraestrutura necessárias à sustentação das torres, tarefa desafiadora pela complexidade da estrutura e também pela localização, muitas vezes inóspita, dos parques eólicos. Olhando mais cuidadosamente para a estabilidade do aerogerador no que envolve a concepção de sua fundação, o desafio reside na correta investigação do subsolo e consequente dimensionamento da estrutura que deve suportar altas cargas. Existe uma série de fatores que diferenciam o projeto de fundações convencionais ao de um aerogerador. Milititsky (2014, p. 49-61) destaca que as torres que, em geral, têm altura na faixa de 75 a 120 metros e pás com comprimento de 35 a 70 metros, possuem uma vida útil de 20 anos, submetidas a cargas repetidas de operação, o que exige análise de esforços gerados por fadiga. O engenheiro também destaca o fato das cargas devidas ao vento serem muito elevadas, chegando a valores de momento instabilizante acima de 100000 kN.m, entre outros complicadores. Assim, necessita-se de análises cuidadosas e delicadas para criação da fundação, que pode chegar a, aproximadamente, 25 metros de diâmetro.

Para o projeto de fundação de um aerogerador, consideram-se duas possibilidades de dimensionamento: fundação rasa ou profunda sobre estacas. As fundações profundas são utilizadas quando o solo não atinge as características de resistência e capacidade portante

necessárias para elaboração de um projeto de fundação rasa, opção esta, em geral, mais econômica. Entretanto, Milititsky (2014, p. 53-54) destaca que a possível causa pela preferência de execução de fundações profundas para aerogeradores no Brasil é a falta de ensaios mais sofisticados para análise da fadiga do solo e o baixo conhecimento do país nessa área, fatores importantes para possibilitar o projeto de uma fundação direta. Além disso, há muitas incertezas quanto à qualidade da execução do SPT (*Standard Penetration Test*) e aos diversos métodos empíricos relacionados ao ensaio, os quais devem ser utilizados com cautela na obtenção de parâmetros decisivos para o projeto.

O objeto de estudo deste trabalho será a análise dos métodos de previsão de capacidade de carga para as estacas de uma fundação profunda para aerogerador, elemento essencial do seu dimensionamento. As análises serão feitas a partir de um ensaio SPT e um ensaio CPT, este mais sofisticado, realizado na cidade de Viamão, Rio Grande do Sul, onde atualmente é construída a ampliação do parque eólico de Pontal 2B, chamado de Pontal 2A e 3B. Estabelece-se um parâmetro comparativo para a previsão de capacidade de carga através de um ensaio de prova de carga estática realizado no local em estudo.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais os métodos mais adequados para prever a capacidade de carga de estacas, a partir dos ensaios SPT e CPT, no dimensionamento de uma fundação profunda para aerogerador localizado na cidade de Viamão, Rio Grande do Sul?

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo do trabalho é a verificação, entre os métodos analisados, de qual o mais adequado para a previsão da capacidade de carga a partir de um ensaio SPT e de um ensaio CPT, para o dimensionamento de estacas de uma fundação profunda para aerogerador localizado na cidade de Viamão, Rio Grande do Sul.

2.3 PRESSUPOSTOS

O trabalho tem por pressupostos que:

- a) as indicações da literatura especializada e as normas técnicas utilizadas são válidas;
- b) a estaca testada pela prova de carga estática não apresenta patologias;
- c) os ensaios SPT e CPT foram executados conforme norma específica e representam o perfil de solo de toda base da fundação;
- d) o ensaio de prova de carga estática foi executado segundo norma específica e seus resultados apresentam o comportamento real da estaca no solo.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que há um crescente número de parques eólicos sendo instalados no estado do Rio Grande do Sul e que, devido ao perfil do solo apresentar muitas camadas com solos moles na região metropolitana de Porto Alegre, torna-se difícil a previsão da capacidade

de carga de estacas. Portanto, a busca pelo método de previsão que se adequa mais a este tipo de solo é atrativa para o setor.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo da previsão de capacidade de carga pelos métodos de Meyerhof, Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e UFRGS a partir dos dados do ensaio SPT, e métodos de Meyerhof, LCPC e Philipponnat a partir dos dados do CPT .

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

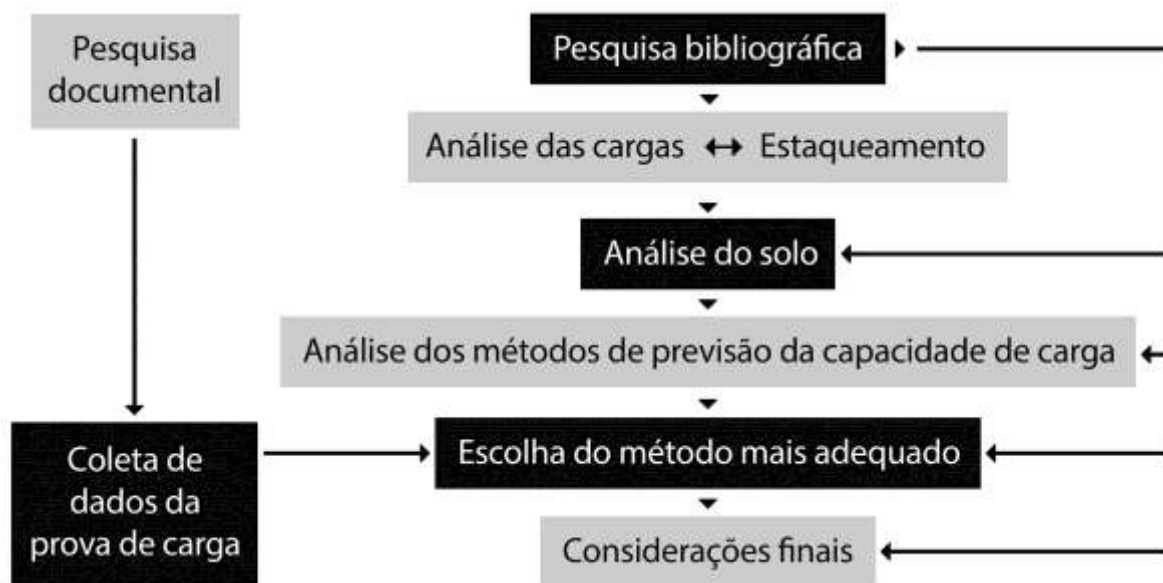
- a) as dimensões do bloco de fundação são conhecidas e o parque eólico se localiza na cidade de Viamão, Rio Grande do Sul;
- b) caracterização do solo a partir de um ensaio SPT e um ensaio CPT;
- c) as análises de recalques, esforços laterais nas estacas, fadiga e atrito negativo não são contempladas;
- d) a prova de carga foi realizada em uma estaca do tipo hélice contínua de 60 centímetros de diâmetro;
- e) cargas produzidas pela máquina modelo Alstom ECO 122 T89.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) análise das cargas;
- c) estaqueamento;
- d) análise do solo;
- e) análise dos métodos de previsão da capacidade de carga;
- f) pesquisa documental;
- g) coleta de dados da prova de carga estática;
- h) escolha do método mais adequado;
- i) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa



(fonte: elaborada pela autora)

A primeira etapa, chamada de **pesquisa bibliográfica**, é marcada pela coleta de informações necessárias para o embasamento teórico do trabalho. Descreve-se os métodos utilizados para elaboração do projeto através da consulta em livros, periódicos, normas e dissertações. Acompanha todas as etapas do trabalho, sendo um elemento essencial para garantir a sua validação.

A **análise das cargas** e o cálculo do **estaqueamento** são feitos de modo a encontrar a compressão e tração máxima nas estacas, dependendo do diâmetro e do número de estacas que serão utilizadas na fundação. Este processo deve ser compatível com a máxima capacidade de carga que cada estaca poderá aguentar. O trabalho apresentará o método para determinar os esforços máximos nas estacas da fundação em que a prova de carga estática foi realizada.

A etapa de **análise do solo** diz respeito ao estudo de todos os dados necessários ao desenvolvimento do trabalho que podem ser obtidos através da sondagem SPT e CPT. Nesta etapa estimam-se os parâmetros de projeto do solo para cada camada de penetração.

Na parte de **análise dos métodos de previsão de capacidade de carga**, são testados os métodos semi-empíricos Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Método UFRGS para o ensaio SPT, e os métodos LCPC e Philipponnat para o ensaio CPT. Como método racional, utiliza-se o método de Meyerhof para os dois ensaios. Os métodos serão analisados para as dimensões e tipo de estaca testada pela prova de carga estática.

A **pesquisa documental** e a **coleta de dados da prova de carga estática** são parte essencial do trabalho, onde se recolhe os documentos do ensaio de prova de carga realizado no local em estudo, tendo assim o comportamento real da estaca no solo. As informações retiradas desse ensaio servirão de parâmetro para comparação entre os métodos analisados na etapa anterior.

Para a **escolha do método mais adequado**, comparam-se os valores obtidos da previsão de capacidade de carga para os métodos escolhidos com o ensaio de prova de carga estática, podendo-se observar qual foi o método que mais se aproximou do comportamento real da estaca. Este será considerado o método mais adequado para o dimensionamento das estacas.

Como última etapa, fazem-se as **considerações finais** sobre o trabalho, ressaltando qual foi o método de capacidade de carga mais adequado para as condições definidas e demais conclusões obtidas.

3 ANÁLISE DOS CARREGAMENTOS

Para a análise da tração e compressão máxima que atuam nas estacas devido às forças do vento e da estrutura, devem-se considerar as cargas que atuam na base da fundação, suas combinações e ponderações. As ações atuantes para a máquina estudada neste trabalho, para as condições de vento da região de Viamão/RS, serão baseadas na torre ECO 122 T89 da Alstom¹.

3.1 CARGAS ENVOLVIDAS

As cargas que atuam na estrutura do aerogerador dividem-se em permanentes e variáveis. As cargas permanentes têm magnitude constante e localização fixa no espaço, já as cargas variáveis variam com o tempo. Para o presente trabalho elas são representadas pelas seguintes ações:

- a) permanentes: peso próprio da estrutura e peso do solo;
- b) variáveis: ações do vento e empuxo da água.

No caso de um aerogerador, as ações do vento são divididas em 22 casos de carga, os quais são classificados como normais, anormais ou de transporte e montagem, conforme NBR IEC 61400 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 29).

3.2 ESTADOS-LIMITES

Deve-se verificar o estado-limite último (ELU) e o estado-limite de serviço (ELS), segundo NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 54). Eles devem ser ponderados de maneira a buscar o estado mais crítico de carregamento, no caso das estacas, a maior compressão e a maior tração que o elemento poderá ser submetido.

Desta maneira, conforme as recomendações francesas do *Fascicule n°62 – Titre V* (FRANCE, 1993, p. 22), verificam-se três estados-limites últimos e um estado-limite de serviço. Cada caso, assim como suas respectivas ponderações de carga segundo NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO

¹ Devido ao caráter confidencial, o documento de cargas para a torre ECO 122 T89 da Alstom não será disponibilizado. Será apresentado, posteriormente, um quadro com os valores das cargas analisadas.

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) e NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), estão representados nas tabelas de 1 a 4.

Tabela 1 – Ponderações para ELU fundamental

	CARGA	Ponderação
	Permanente	1,4
Variável	Vento normal máximo	1,4
	Empuxo da água	1

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003 e 2014)

Tabela 2 – Ponderações para ELU relativo à estabilidade

	CARGA	Ponderação
	Permanente	0,9
Variável	Vento normal máximo	1,4
	Empuxo da água	1

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003 e 2014)

Tabela 3 – Ponderações para ELU acidental

	CARGA	Ponderação
	Permanente	1,1
Variável	Vento acidental máximo	1,1
	Empuxo da água	1

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003 e 2014)

Tabela 4 – Ponderações para ELS

	CARGA	Ponderação
	Permanente	1
Variável	Vento de funcionamento	1
	Empuxo da água	1

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003 e 2014)

4 ANÁLISE DO SOLO

Para o dimensionamento de fundações é essencial que seja feita a correta investigação do perfil de solo onde a estrutura será instalada. É a partir dos dados coletados no ensaio de campo que o projetista obtém os parâmetros de projeto necessários para cálculo da estrutura. Entre as investigações de campo mais utilizadas no Brasil, Schnaid e Odebrecht (2012, p. 16) destacam o ensaio de cone (CPT), piezocone, palheta, pressiométrico, dilatométrico e SPT (*Standard Penetration Test*). Este último, em especial, é o ensaio mais difundido no Brasil devido ao seu caráter obrigatório para investigação preliminar em edificações, conforme NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 9), além do seu baixo custo e simplicidade de execução.

Neste trabalho dispõe-se de um perfil de sondagem SPT e um CPT para investigação geotécnica do solo, presentes no anexo A e B. Observa-se que para a análise de capacidade de carga axial de estacas através do método racional de Meyerhof, o qual será abordado neste trabalho, é necessário estimar a resistência ao cisalhamento não drenada e o ângulo de atrito interno do solo. Desta maneira, detalha-se a seguir os tipos de ensaios utilizados neste trabalho e a maneira como se estimou os parâmetros geotécnicos necessários para análise do método de Meyerhof.

4.1 *STANDARD PENETRATION TEST* – SPT

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012, p. 23), o SPT é o ensaio de campo mais conhecido no mundo inteiro, especialmente no Brasil, onde ele é comumente utilizado para análise e reconhecimento do solo para projetar fundações rasas e profundas. Os autores destacam que entre suas vantagens está o baixo custo, facilidade de execução e as diversas relações que se estendem tanto para obtenção de parâmetros de solos argilosos quanto arenosos. Porém, devido ao caráter empírico dos métodos utilizados na interpretação do SPT, tais relações devem ser usadas com cautela e racionalidade.

O ensaio que possui normalização própria pela NBR 6484 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), consiste basicamente na cravação de um amostrador no solo através de batidas de um martelo de 65 kg em queda livre a partir de uma altura de 75 cm.

Anota-se o número de golpes necessários para a cravação de cada 15 cm de profundidade. A medida fundamental do ensaio, o N_{SPT} , é o número de golpes para o amostrador penetrar 30 cm após uma cravação inicial de 15 cm. Recolhe-se, dentro do amostrador, uma amostra do solo que será útil para a caracterização visual do perfil. Os principais elementos constituintes de um SPT estão presentes na figura 2.

Figura 2 – Partes do equipamento de sondagem SPT



(fonte: adaptado de SCHNAID; ODEBRECHT, 2012, p. 25)

4.1.1 Resistência ao cisalhamento não drenada – Conceito de energia do SPT

Em solos coesivos o parâmetro que define sua resistência é a chamada resistência ao cisalhamento não drenada, ou somente resistência não drenada. Verificam-se inúmeras relações na literatura para estimar este valor, através de razões simples do tipo:

$$\frac{Su}{N_{SPT}} = a \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

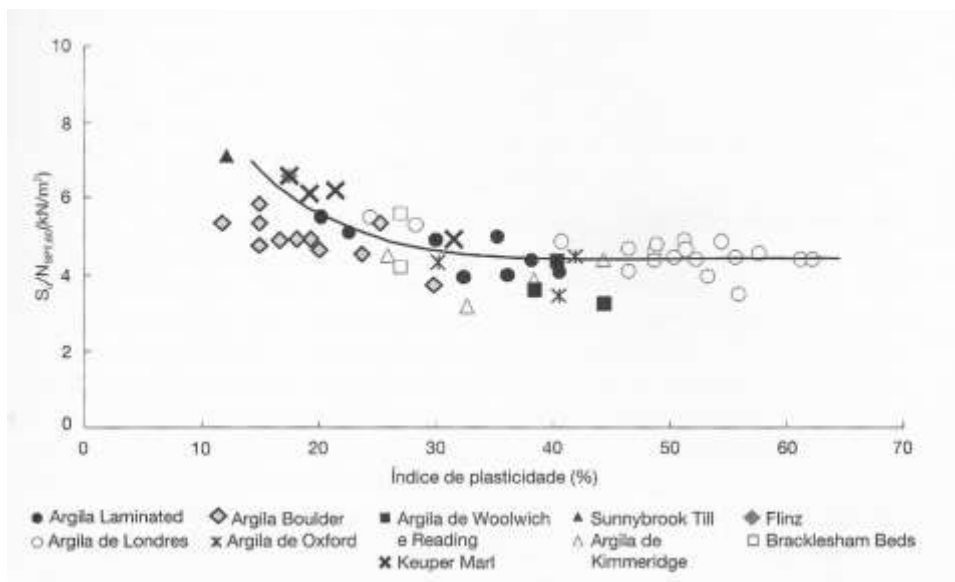
N_{SPT} = número de golpes da resistência à penetração do amostrador SPT;

Su = resistência ao cisalhamento não drenada;

a = constante da razão Su/N_{SPT} .

O número de golpes é obtido em campo, a resistência ao cisalhamento não drenada é obtida através de ensaios de laboratório, e assim obtém-se a constante. Conforme Décourt² (1989 apud QUARESMA et al., 1998, p. 125), o valor desta constante é de 12.5 para argilas saturadas. Seus resultados foram baseados em ensaios de compressão triaxial não adensados e não drenados e sondagens SPT confiáveis. Destaca-se ainda o trabalho de Stroud (1974), mostrado a seguir, na análise desta relação.

Figura 3 – Relação entre $N_{SPT,60}$ e Su



(fonte: SCHNAID; ODEBRECHT, 2012, p. 45)³

²DÉCOURT, L. The Standard Penetration Test – State of the Art Report. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 12th, 1989, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: [s.n.], 1989, p. 2405-2416.

³ A figura foi adaptada do trabalho de Stroud (1974).

Considera-se, conforme a necessidade de cada método que foi analisado, correções da eficiência do ensaio SPT feitas diretamente no número de golpes obtido. Os métodos de interpretação do N_{SPT} são desenvolvidos baseando-se em um valor fixo de perda de energia durante o processo de cravação, de modo a evitar uma interpretação distorcida do dados. Schnaid e Odebrecht (2012, p. 34) destacam que a energia aplicada no ensaio SPT brasileiro varia de 70% a 80%.

$$N_{SPT,60} = \frac{N_{SPT} * E_{ap}}{0.60} \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

$N_{SPT,60}$ = número de golpes para 60% da energia teórica;

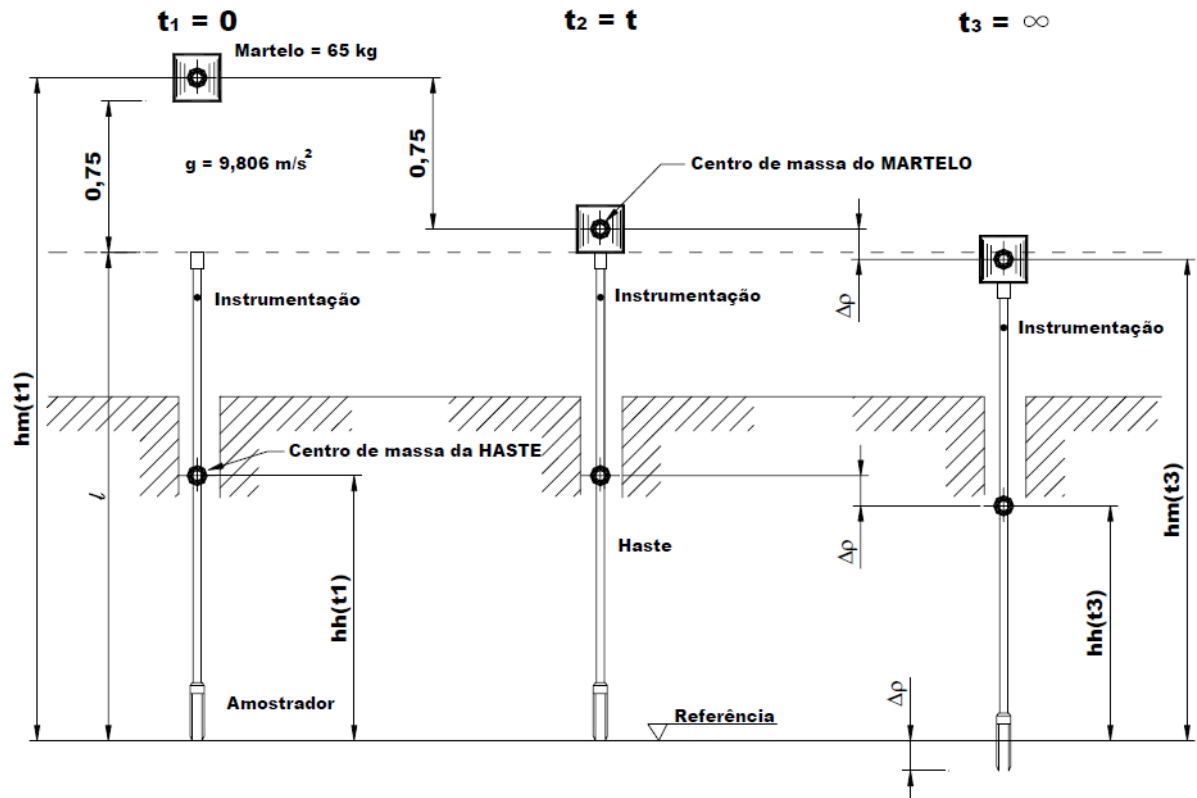
E_{ap} = energia aplicada (0 a 1).

Não recomenda-se, segundo Schnaid e Odebrecht (2012, p. 46), a utilização desses métodos para a estimativa da resistência não drenada no caso de solos moles, ou seja, com N_{SPT} abaixo de 5 golpes, pois os resultados são pouco representativos para tais valores. Nesse caso, seria mais conveniente analisar o parâmetro através dos conceitos de energia do SPT.

O conceito de energia relacionado ao ensaio SPT parte do Princípio de Conservação de Energia, ou seja, a energia do sistema durante todo o processo de cravação do amostrador permanece a mesma. Levando isso em consideração, Odebrecht (2003, p. 136) define três fases de tempo do ensaio para poder calcular a energia potencial gravitacional:

- a) $t_1 = 0$, quando o martelo ainda está suspenso e em repouso;
- b) $t_2 = t$, momento que antecede a batida do martelo na cabeça de bater;
- c) $t_3 = \infty$, final do processo de cravação do amostrador.

Figura 4 – Fases de cravação do amostrador



(fonte: ODEBRECHT, 2003, p. 136)

A partir das três fases analisadas, examinando as energias envolvidas no sistema do martelo, haste e solo, o autor obtém a expressão da energia potencial gravitacional que crava o amostrador no solo.

$$\Delta EPG'_{m+h}{}^{sistema} = E^* + M_m * g * \Delta\rho + M_h * g * \Delta\rho \quad (\text{fórmula 3})$$

Sendo:

$\Delta EPG'_{m+h}{}^{sistema}$ = variação teórica da energia gravitacional do sistema;

E^* = energia potencial gravitacional teórica;

M_m = massa do martelo;

g = aceleração da gravidade = 9.81 m/s²;

$\Delta\rho$ = penetração permanente do amostrador devido à aplicação de um golpe;

M_h = massa da haste.

Para poder padronizar os valores encontrados pela fórmula 3, Odebrecht (2003, p. 195) inclui ao cálculo as perdas e a eficiência dos elementos do ensaio SPT, que foram quantificadas através da instalação de acelerômetros e células de carga ao longo da sondagem estudada. Os cálculos foram feitos para sondagem SPT padronizada pela norma NBR 6484 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).

$$\Delta EPG_{m+h}^{sistema} = \eta_3 * [\eta_1 * (H + \Delta\rho) * M_m * g + \eta_2 * M_h * g * \Delta\rho] \quad (\text{fórmula 4})$$

Sendo:

$\Delta EPG_{m+h}^{sistema}$ = variação real da energia gravitacional do sistema;

H = altura de queda do martelo;

η_1 = eficiência referente à parcela do martelo = 0.764;

η_2 = eficiência referente à parcela da haste = $1 - 0.0042 * \ell$;

η_3 = eficiência referente ao sistema;

ℓ = comprimento de haste.

A energia potencial gravitacional, dada em Joules, nada mais é do que o trabalho entregue ao solo pelo amostrador. Desta forma, pode-se obter a força exercida para dada penetração e, conseqüentemente, estimar a resistência não drenada do solo.

$$F_d = \frac{\Delta EPG_{m+h}^{sistema}}{\Delta\rho} \quad (\text{fórmula 5})$$

Sendo:

F_d = força dinâmica média.

Schnaid e Odebrecht (2012, p. 46) destacam que a força dinâmica de cravação do ensaio SPT é aplicada de maneira muito mais rápida do que a força estática aplicada em ensaios de cisalhamento em laboratório. Ambas as forças são utilizadas para estimar a resistência não drenada S_u do solo, que depende diretamente da velocidade de aplicação do esforço. Isso quer dizer que para uma mesma argila, ensaiada em laboratório e analisada a partir de um ensaio

SPT, se for ignorada a influência de velocidade de aplicação dos esforços cisalhantes, encontram-se valores diferentes de resistência não drenada para cada um dos casos. Por isso, deve-se aplicar um fator corretivo entre as duas forças, a fim de poder correlacioná-las e obter, para um mesmo solo, os mesmos parâmetros de projeto.

O fator que relaciona a força dinâmica com a força estática é chamado de fator de incremento de carga e varia de 1.5 a 2 (RANDOLPH⁴, 2004 apud SCHNAID; ODEBRECHT, 2012, p. 46). Assim, adota-se:

$$F_d = F_e * v = F_e * 1.5 \quad (\text{fórmula 6})$$

Sendo:

F_e = força estática média;

v = fator de incremento de carga.

Das teorias de Vésic (1975), a capacidade de carga última para estacas em argilas obtém-se a equação para resistência ao cisalhamento não drenada.

$$Su = \frac{F_e - \gamma * D * a_b}{N_c * A_b + \alpha_a * a_s} \quad (\text{fórmula 7})$$

Sendo:

γ = peso específico do solo;

D = profundidade da ponta;

a_b = área da ponta do amostrador;

N_c = fator de capacidade de carga da parcela coesiva;

α_a = coeficiente de adesão;

a_s = área lateral do amostrador.

⁴ RANDOLPH, M. F. Characterization of soft sediments for offshore application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE CHARACTERIZATION, 2nd, 2004, Porto. **Proceedings...** Rotterdam: Millpress, 2004. p. 209-232.

No caso de solos moles, a área lateral é considerada a área externa e interna do amostrador, e a área de ponta somente a seção transversal maciça da parede do amostrador. Para a obtenção dos coeficientes de capacidade de carga e de adesão, apela-se para a bibliografia regional. Exige-se um maior nível de investigação geotécnica do solo para calcular estes parâmetros e, uma vez que não podem ser obtidos apenas a partir do ensaio SPT, são estimados sem grande precisão e de maneira conservadora através de empiricismos e observação da prática regional.

Desta maneira, utiliza-se o fator de capacidade de carga da adotado por Odebrecht (2003, p. 207), dado relativo à região do Aeroporto Salgado Filho, e o coeficiente de adesão proposto por Skempton⁵ (1959 apud TOMLINSON; WOODWARD, 2008, p. 191):

- a) $N_c = 9$;
- b) $\alpha_a = 0.45$.

4.1.2 Ângulo de atrito interno – SPT

Em solos granulares o principal parâmetro geotécnico que define a sua resistência é o ângulo de atrito interno do solo. O perfil de solo sedimentar em estudo possui camadas de areia ao longo de sua profundidade, por isso é essencial que se estime o ângulo de atrito interno do material. Há maior simplicidade na obtenção deste parâmetro devido às equações aqui utilizadas, quando comparado à resistência não drenada em argilas, analisada anteriormente.

Primeiramente, utiliza-se o método de Hatanaka e Uchida (1996) para estimar é o ângulo de atrito interno, conforme fórmula 8.

$$\phi' = 20^\circ + \sqrt{15.4 * N_{SPT,60}} \quad (\text{fórmula 8})$$

Sendo:

ϕ' = ângulo de atrito interno.

⁵ SKEMPTON, A. W. Cast in-situ bored piles in London Clay. **Geotechnique**, London, v. 9, n. 4, p. 153-173, 1959.

Porém, com intuito de assegurar os resultados obtidos, utilizaram-se outros dois métodos para verificar se não há discrepâncias entre os valores encontrados, caso em que eles seriam analisados com mais cautela. A partir das teorias de Mello (1971), pode-se estimar a densidade relativa das partículas e, em seguida, relacioná-las com o ângulo de atrito interno com as teorias de Skempton (1986). As fórmulas a seguir são utilizadas para estimar tais parâmetros, respectivamente.

$$D_r = \left(\frac{N_{SPT,60}}{0.28 * \sigma'_{vo} + 27} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{fórmula 9})$$

$$(1.49 - D_r) * \tan \emptyset' = 0.712 \quad (\text{fórmula 10})$$

Sendo:

D_r = densidade relativa;

σ'_{vo} = tensão vertical efetiva.

Analisa-se também o ângulo de atrito interno pela proposição de Schnaid et al. (2009), a partir da fórmula 12. Leva-se em consideração a estimativa de Skempton (1986), através da fórmula 11, para o fator de correção decorrente da tensão efetiva de sobrecarga .

$$C_N = \frac{170}{70 + \sigma'_{vo}} \quad (\text{fórmula 11})$$

$$\emptyset' = 18 * (N_{SPT} * C_N)^{0.234} \quad (\text{fórmula 12})$$

Sendo:

C_N = fator de correção decorrente da tensão efetiva de sobrecarga.

4.2 CONE PENETRATION TEST – CPT

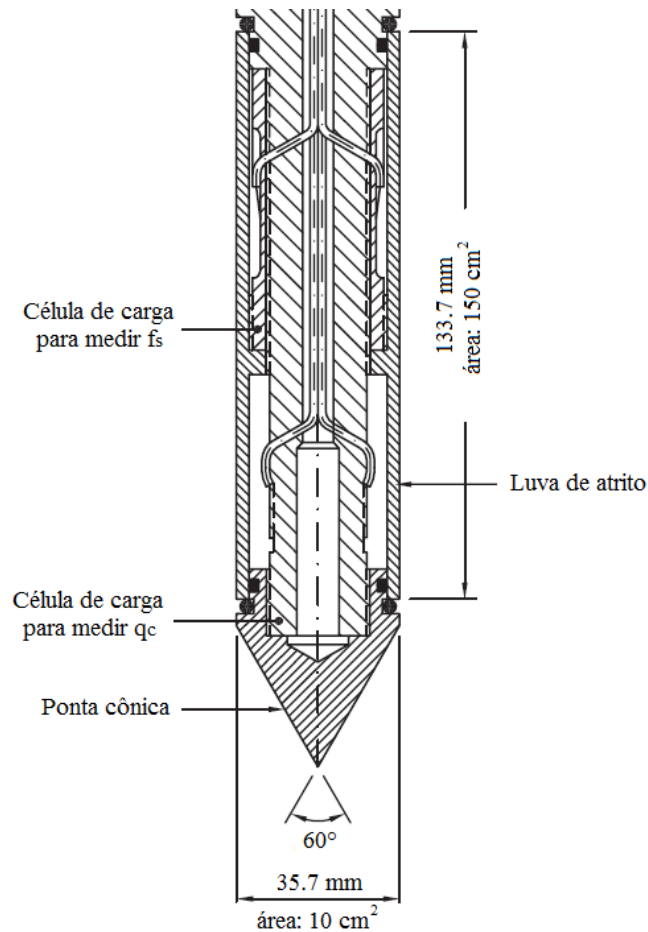
O ensaio de cone é conhecido e utilizado mundialmente devido a sua eficácia na determinação do perfil estratigráfico do solo, propriedades dos materiais e previsão de capacidade de carga de fundações, principalmente em se tratando de solos compostos por argilas moles, conforme destaca Schnaid e Odebrecht (2012, p. 63). O ensaio teve sua origem em meados de 1930, na Holanda, e chegou ao Brasil no final da década de 1950, consolidando-se no mercado somente a partir de 1990. Uma de suas vantagens é que o ensaio pode ser realizado tanto em terra quanto em água, caso de fundações *offshore* para plataformas de petróleo.

O CPT consiste na cravação de ponteiros metálicas cônicas no solo, com velocidade constante, por meio de uma estrutura de reação sobre a qual é montado o sistema de aplicação de carga. Este sistema costuma ser hidráulico, para garantir a precisão da velocidade de cravação. Após a cravação de uma haste o pistão hidráulico é retraído, outra haste é colocada e a penetração continua. Segundo Schnaid e Odebrecht (2012, p. 65), o registro contínuo da resistência à penetração da ponta e do atrito lateral fornecem dados decisivos para o dimensionamento de fundações, além da eliminação da influência do operador no ensaio, o que faz o ensaio CPT destacar-se em comparação a outros ensaios, como o SPT.

Conforme NBR MB-3406⁶ (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991), norma brasileira reguladora do ensaio, a velocidade de cravação deve ser de 20 mm/s \pm 5 mm/s, com seção transversal de 10 cm² e haste de 1 metro de comprimento. Um exemplo de ponteira é apresentado na figura 5.

⁶ Essa norma também é referenciada como NBR 12069 e está cancelada desde julho de 2015, sem substituição até a data de publicação deste trabalho.

Figura 5 – Componentes do CPT



(fonte: adaptado de LANCELLOTTA, 2009, p. 282)

Observa-se que o ensaio CPT não deve ser confundido com o CPTU (*Piezocone Penetration Test*). O ensaio CPT registra os esforços necessários para cravar a ponta e o atrito lateral na haste, enquanto o ensaio CPTU registra, além disso, as pressões neutras geradas durante o processo de cravação, sendo assim um ensaio mais rebuscado. Neste trabalho, como bem se destaca, dispõe-se de um ensaio CPT como objeto de estudo.

Com objetivo de correlacionar os resultados do CPT e SPT, será utilizada a proposição de Robertson (2012, p. 4) através da fórmula 13. O valor do índice de classificação do solo será estimado através das fórmulas 14 a 16, proposta por Robertson e Wride (1998, p. 449).

$$\frac{q_c/p_a}{N_{SPT,60}} = 8.5 * \left(1 - \left(\frac{I_c}{4.6} \right) \right) \quad (\text{fórmula 13})$$

Sendo:

q_c = resistência de ponta do cone;

p_a = pressão atmosférica = 100 kPa;

I_c = índice de classificação do solo.

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2} \quad (\text{fórmula 14})$$

$$Q_t = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \quad (\text{fórmula 15})$$

$$F_r = \frac{f_s * 100}{q_c - \sigma_{vo}} \quad (\text{fórmula 16})$$

Sendo:

Q_t = resistência de penetração normalizada do CPT;

F_r = razão de atrito normalizada;

σ_{vo} = tensão vertical total;

f_s = atrito lateral do cone.

4.2.1 Resistência ao cisalhamento não drenada – CPT

A partir dos dados de resistência da ponta do cone à penetração, pode-se estimar de maneira indireta a resistência ao cisalhamento não drenada pela fórmula 17, conforme destacado por Schnaid e Odebrecht (2012, p. 89).

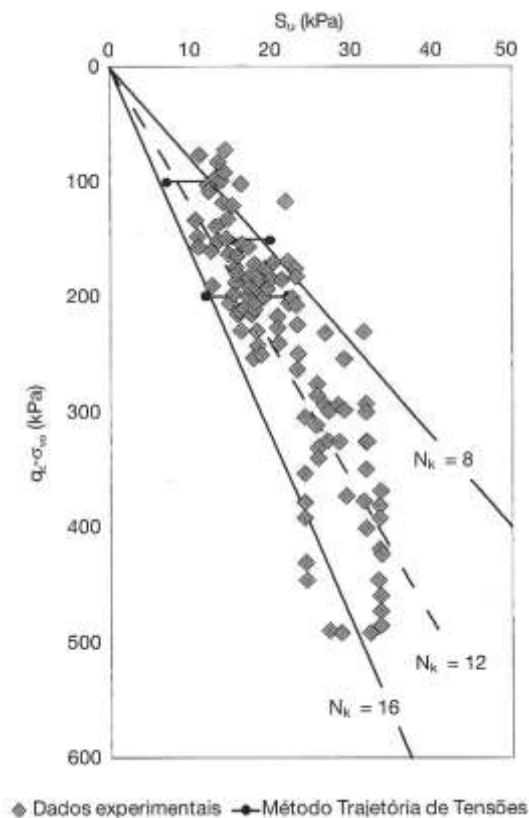
$$S_u = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N_{kt}} \quad (\text{fórmula 17})$$

Sendo:

N_{kt} = fator de capacidade do cone.

O valor do fator de capacidade de carga do cone depende da história de tensões do solo, a qual não pode ser obtida com precisão a partir dos ensaios SPT e CPT. Assim sendo, é feita uma aproximação sem grande precisão do valor deste fator para argilas normalmente adensadas ou pré-adensadas. Para descobrir se a argila presente no perfil é normalmente adensada ou pré-adensada, adota-se, primeiramente, os valores propostos por Schnaid e Odebrecht (2012, p. 90) apresentados na figura 6. Estes valores representam argilas normalmente adensadas da região metropolitana de Porto Alegre. Os autores destacam que tais valores tendem a aumentar com o aumento da tensão de pré-adensamento do solo e redução do índice de plasticidade.

Figura 6 – Fator de capacidade do cone para a região de Porto Alegre/RS



(fonte: adaptado de SCHNAID; ODEBRECHT, 2012, p. 90)

Uma vez obtidos os valores de resistência ao cisalhamento não drenada para a suposição de argila normalmente adensada, compara-se os valores encontrados com a fórmula 18, proposta por Jamiolkowski et al. (1985, p. 143) representativa deste tipo de solo. Se o valor da razão estiver próximo do apresentado pelo autor, mantém-se a hipótese de argila normalmente adensada e o valor de N_{kt} adotado. Caso a relação apresente valor elevado, o solo terá comportamento pré-adensado e será adotado o valor de 20 para o fator de capacidade do cone. Alshibli et al. (2011, p. 2) destacam que este valor pode chegar a 30, dependendo do nível de tensão de pré-adensamento em que o solo se encontra. O valor adotado apresenta uma aproximação do valor do fator de capacidade do cone e foi a abordagem adotada para a elaboração do presente trabalho.

$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = 0.23 \quad (\text{fórmula 18})$$

Destaca-se que, para a estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada com maior precisão, e posterior obtenção do fator de capacidade do cone, é aconselhável a realização de um ensaio complementar, como o ensaio de palheta. As aproximações feitas neste trabalho procuram trazer uma estimativa razoável aos dados, com ordens de grandezas compatíveis e tratamento conservador dos dados.

4.2.2 Ângulo de atrito interno – CPT

No caso de solos granulares, podem-se utilizar os resultados de resistência de ponta do cone para encontrar o ângulo de atrito interno do solo ou sua densidade relativa. O parâmetro será obtido através de dois métodos. Primeiramente, será analisada a proposição de Mayne (2006, p. 249), conforme a fórmula 19.

$$\tan \phi' = 0.1 + 0.38 * \log \left(\frac{q_c}{\sigma'_{vo}} \right) \quad (\text{fórmula 19})$$

Em paralelo, estima-se a densidade relativa a partir de Lancellotta (2009, p. 307) e Jamiolkowski et al. (2001, p. 207), conforme fórmula 20 e 21. Converte-se o dado em ângulo de atrito através da mesma proposição de Mello (1971) utilizada para o SPT.

$$D_r = 68 * \left(\log \left(\frac{q_c/p_a}{\sqrt{\sigma'_{vo}}} \right) - 1 \right) \quad (\text{fórmula 20})$$

$$D_r = \frac{1}{3.10} * \ln \left(\frac{q_c/p_a}{17.68 * \sqrt{\sigma'_{vo}/p_a}} \right) \quad (\text{fórmula 21})$$

5 PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE ESTACAS

Ao instalar uma estaca no solo deseja-se que ela, através da interação solo-estaca, mobilize a capacidade portante do solo. A capacidade de carga axial de uma estaca mostra qual a capacidade portante total que a estaca pode mobilizar no solo, ou seja, quanta carga o solo ao redor da estaca pode suportar. A carga envolvida pode ser tanto de compressão, no sentido da cravação da estaca no solo, como de tração, quando há esforços para o arrancamento da estaca.

Existem três tipos de métodos possíveis para a previsão da capacidade de carga segundo Velloso e Lopes (2010, p. 285):

- a) racionais ou teóricos: avaliam teoricamente o comportamento da estaca no solo através de parâmetros do solo e suposições de superfícies de ruptura;
- b) semi-empíricos: analisam banco de dados de ensaios de penetração (SPT e CPT);
- c) empíricos: baseados apenas nas camadas de solo atravessadas pela estaca (utilizados apenas para estimativas grosseiras).

Os métodos citados, chamados de métodos estáticos, baseiam-se no equilíbrio de cargas que envolvem a estaca (figura 7), expresso por:

$$Q_{ult} + W = Q_{p,ult} + Q_{l,ult} \quad (\text{fórmula 22})$$

Sendo:

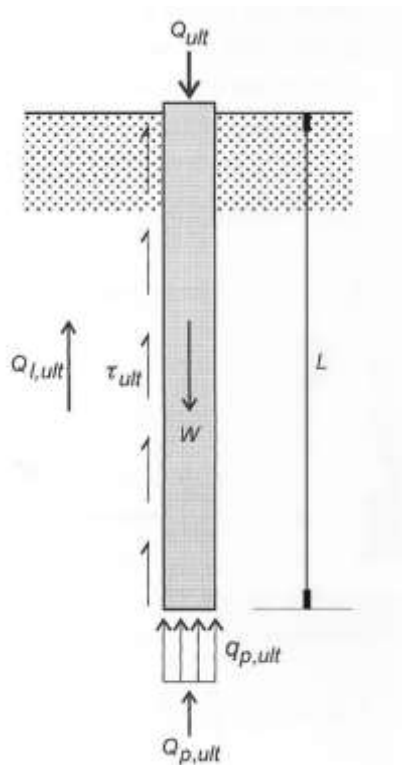
Q_{ult} = capacidade de carga total da estaca;

W = peso próprio da estaca;

$Q_{p,ult}$ = capacidade de carga da ponta;

$Q_{l,ult}$ = capacidade de carga lateral.

Figura 7 – Equilíbrio de cargas em uma estaca isolada



(fonte: VELLOSO; LOPES, 2010, p. 285)

Conforme NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 26), no caso de estacas escavadas, limita-se a atuação da resistência de ponta para no máximo 20% da capacidade de carga admissível total da estaca. Esta limitação é feita através da fórmula 23, em que a capacidade de carga última total da estaca não pode ultrapassar 25% da capacidade lateral estimada.

$$Q_{ult} \leq 1.25 * Q_{l,ult} \quad (\text{fórmula 23})$$

Serão analisados nos próximos capítulos os métodos semi-empíricos para previsão da capacidade de carga axial de compressão para os ensaios SPT e CPT. Em seguida, será detalhado o método racional de Meyerhof. Ao final, serão feitas ressalvas quanto à abordagem para tração, efeito de grupo, estaqueamento e as considerações na análise da prova de carga estática de compressão axial.

5.1 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE PREVISÃO A PARTIR DO SPT

Muito utilizados na prática brasileira, os métodos semi-empíricos são desenvolvidos visando estabelecer relações entre a capacidade de carga e resultados das sondagens SPT. Analisar-se-á dois métodos consagrados no Brasil, Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, e o Método UFRGS desenvolvido a partir dos conceitos de energia do SPT.

5.1.1 Método Aoki-Velloso

Originalmente, o método Aoki-Velloso⁷ (1975 apud VELLOSO; LOPES, 2010, p. 310) foi concebido para análises com resultado do ensaio de cone, assim deve-se estabelecer uma correlação entre os ensaios de SPT e cone. A capacidade de carga final é calculada através da fórmula 24.

$$Q_{ult} = A_b * \frac{(k1 * N_{SPT})}{F1} + U * \sum \frac{\alpha_{AV} * k1 * N_{SPT}}{F2} * \Delta l \quad (\text{fórmula 24})$$

Sendo:

A_b = área da base da estaca;

$k1$ = coeficiente de correlação entre SPT e CPT para Aoki-Velloso;

U = perímetro da estaca;

$F1$ = fator de escala;

$F2$ = fator de execução;

α_{AV} = coeficiente de ajuste entre resistência de ponta do ensaio CPT e atrito lateral da estaca;

Δl = comprimento do segmento da estaca em estudo.

Os valores de $k1$ e α_{AV} adotados constam na tabela 5, e dos fatores $F1$ e $F2$ na tabela 6.

⁷ AOKI, N.; VELLOSO, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: PAN AMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 5th, 1975, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: [s.n.], 1975, p. 367-376.

Tabela 5 – Valores de k e α_{AV}

Tipo de solo	k_1 (kgf/cm ²)	α_{AV} (%)
Areia	10	1,4
Areia siltosa	8	2
Areia siltoargilosa	7	2,4
Areia argilossiltosa	5	1,8
Areia argilosa	6	3
Silte arenoso	5,5	2,2
Silte arenoargiloso	4,5	2,8
Silte	4	3
Silte argiloarenoso	2,5	3
Silte argiloso	2,3	3,4
Argila arenosa	3,5	2,4
Argila arenossiltosa	3	2,8
Argila siltoarenosa	3,3	3
Argila siltosa	2,2	4
Argila	2	6

(fonte: AOKI; VELLOSO⁸, 1975 apud VELLOSO; LOPES, 2010, p. 310)

Tabela 6 – Valores de F1 e F2

Tipo de estaca	F1	F2
Franki	2,5	5
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto	1,75	3,5
Escavada	3	6

(fonte: AOKI; VELLOSO⁹, 1975 apud VELLOSO; LOPES, 2010, p. 310)

Velloso e Lopes (2010, p. 311) observam que, para estacas do tipo hélice contínua, raiz e Ômega, fatores $F1 = 2$ e $F2 = 4$ levam a estimativas razoáveis da capacidade de carga, sendo levemente conservadoras.

⁸ AOKI, N.; VELLOSO, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: PAN AMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 5th, 1975, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: [s.n.], 1975, p. 367-376.

⁹ **Opus citatua.**

5.1.2 Décourt-Quaresma

O método foi desenvolvido para determinar capacidade de carga axial a partir do ensaio SPT, inicialmente, somente para estacas pré-moldadas de concreto. Para o cálculo da capacidade de carga axial para outros tipos de estacas, utiliza-se os coeficientes α e β explicitados na tabela 7 como valores orientativos de adequação dos cálculos, segundo Décourt et al. (2012, p. 275).

No método Décourt-Quaresma¹⁰ (1978 apud VELLOSO; LOPES, 2010, p. 310), para o cálculo do N_{SPT} da ponta, faz-se a média entre o número de golpes relativo à ponta, ao seu trecho anterior e ao seu trecho posterior. Para o N_{SPT} relativo ao fuste despreza-se as parcelas já utilizadas. O resultado está apresentado na fórmula 25 e tabela 8.

$$Q_{ult} = \alpha * A_b * C * \bar{N}_p + 10 * \beta * U * \left(\frac{\bar{N}_l}{3} + 1\right) * \Delta l \quad (\text{fórmula 25})$$

Sendo:

α = coeficiente de reação de ponta conforme tipo de estaca;

β = coeficiente de atrito lateral conforme tipo de estaca;

C = coeficiente em função do tipo de solo;

\bar{N}_p = média do N_{SPT} na ponta, no trecho anterior e posterior à mesma;

\bar{N}_l = média dos valores de N_{SPT} ao longo do fuste.

Tabela 7 – Valores de α e β

Tipo de estaca/solo	Escavada sem lama		Escavada com lama		Hélice contínua		Raiz		Microestacas	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
Argila	0,85	0,8	0,85	0,9	0,3	1	0,85	1,5	1	3
Silte	0,6	0,65	0,6	0,75	0,3	1	0,6	1,5	1	3
Areia	0,5	0,5	0,5	0,6	0,3	1	0,5	1,5	1	3

(fonte: adaptado de DÉCOURT; ALBIERO; CINTRA, 2012, p. 275)

¹⁰ DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6., 1978, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: [s.n.], 1978, p. 45-53.

Tabela 8 – Valores de C

Tipo de solo	C (kN/m ²)
Argilas	120
Siltes argilosos (alteração de rocha)	200
Siltes arenosos (alteração de rocha)	250
Areias	400

(fonte: DÉCOURT; QUARESMA¹¹, 1978 apud VELLOSO; LOPES, 2010, p. 313)

5.1.3 Método UFRGS

O método propõe calcular a capacidade de carga utilizando as teorias de energia do ensaio SPT, analisados no item 4.2 deste trabalho. Em sua tese, Lobo (2005, p. 32) propõe relacionar a força dinâmica encontrada pelos conceitos de energia com o equilíbrio estático de uma estaca. Desta forma, a autora propõe a divisão da força dinâmica em duas parcelas, referentes ao esforço lateral e de ponta, conforme mostrado na fórmula 26.

$$F_d = F_{d,l} + F_{d,p} \quad (\text{fórmula 26})$$

Sendo:

$F_{d,l}$ = força dinâmica lateral mobilizada pelo amostrador;

$F_{d,p}$ = força dinâmica de ponta mobilizada pelo amostrador.

Em seguida, quantifica-se a contribuição de cada parcela de força dinâmica, chegando na fórmula 27 para cálculo da capacidade de carga axial última em estacas. A tabela 9 apresenta os resultados de Lobo (2005, p. 63) para os coeficientes de ajuste.

$$Q_{ult} = c1 * \frac{0.2 * U}{a_l} * \sum F_d * \Delta l + c2 * 0.7 * F_d * \frac{A_p}{a_p} \quad (\text{fórmula 27})$$

¹¹ DÉCOURT, L.: QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6., 1978, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: [s.n.], 1978, p. 45-53.

Sendo:

c_1 = coeficiente de ajuste para resistência lateral conforme tipo de estaca;

a_l = área lateral total do amostrador SPT para 30cm de comprimento (interna + externa);

c_2 = coeficiente de ajuste para resistência de ponta conforme tipo de estaca;

a_p = área de ponta do amostrador SPT.

Tabela 9 – Valores dos coeficientes de ajuste

Tipo de estaca	c_1	c_2
Cravada pré-moldada	1,5	1,1
Cravada metálica	1	1
Hélice contínua	1	0,6
Escavada	0,7	0,5

(fonte: adaptado de LOBO, 2005, p. 63)

5.2 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE PREVISÃO A PARTIR DO CPT

Os métodos baseados no ensaio de cone não diferem muito em sua metodologia aos baseados no SPT. A capacidade de carga final de uma estaca é igualmente composta pela soma de duas parcelas, uma relativa ao atrito lateral que tal estaca estará submetida e outra pela resistência de ponta. Estes métodos se originam da análise de resultados de provas de carga, do parâmetro q_c do ensaio de cone e na utilização de fatores empíricos que aproximem tal parâmetro na parcela desejada. A seguir serão apresentados dois métodos bastante utilizados no dimensionamento de capacidade de carga em estacas a partir do CPT.

5.2.1 Método LCPC

O conhecido método francês foi desenvolvido originalmente por Bustamante e Gianceselli (1982, p. 493) no Laboratoire Central de Ponts et Chaussées (LCPC), em Paris, o qual deu origem ao seu nome. Ele foi desenvolvido tanto para dados do ensaio CPT, como para do pressiómetro de Ménard (PMT). Ele faz parte da norma francesa para fundações profundas NF P 94-262 (FRANCE, 2012, p. 137) como procedimento para dimensionamento de capacidade de carga de estacas, com algumas modificações em relação a sua primeira versão.

Conforme Briaud (c2013, p. 578), primeiramente deve-se classificar o solo a partir da tabela 10. Em seguida, para estimar a capacidade de carga lateral a partir da fórmula 28, utiliza-se a tabela 11 para encontrar o parâmetro de atrito lateral e a capacidade lateral limite. Para saber o valor de f_{qc} , que depende da classificação do solo, será utilizada a fórmula 29 em conjunto com a tabela 12. As fórmulas geradas a partir dos diferentes coeficientes representam as curvas da figura 8.

Tabela 10 – Classificação do solo a partir do CPT

Classes do solo		q_c (Mpa)
Argila (Q1)	Mole a muito mole	< 1,0
	Média	1,0 a 2,5
	Rija	2,5 a 4,0
	Muito rija	≥ 4
Areia e pedregulho (Q3)	Muito fofos	< 1.5
	Fofos	1,5 a 4,0
	Medianamente compactos	4,0 a 10
	Compactos	10 a 20
Cré (calcário) (Q2)	Muito compactos	> 20
	Mole	< 5,0
	Alterado	5,0 a 15
Marga e marga calcária (Q2)	São	≥ 15
	Branda	< 5,0
	Rija	5 a 15
	Muito rija	> 15

(fonte: adaptado de FRANCE, 2012, p. 109)

$$Q_{l,ult} = U * \sum (\alpha_{LCPC} * f_{qc} \leq f_{lim}) * \Delta l \quad (\text{fórmula 28})$$

Sendo:

α_{LCPC} = parâmetro de atrito lateral para o método LCPC;

f_{qc} = capacidade de carga lateral equivalente a q_c ;

f_{lim} = capacidade de carga lateral limite.

Tabela 11 – Parâmetro de atrito lateral e capacidade de carga lateral limite para método LCPC

Classificação do solo / Tipo de estaca	Argila		Areia e pedregulho		Cré (calcário)		Marga e marga calcária	
	α_{LCPC}	f_{lim} (kPa)	α_{LCPC}	f_{lim} (kPa)	α_{LCPC}	f_{lim} (kPa)	α_{LCPC}	f_{lim} (kPa)
Escavada, seca	0,55	90	0,7	90	0,8	200	1,4	170
Escavada com lama	0,65	90	1	90	0,8	200	1,4	170
Escavada com trado	0,75	90	1,25	170	0,95	200	1,5	200
Cravada de concreto	0,55	130	1	130	0,45	90	0,85	90
Cravada de metal (final fechado)	0,4	90	0,85	90	0,2	50	0,85	90
Microestacas (injeção única)	1,35	200	2	380	1,1	320	2,25	320

(fonte: adaptado de FRANCE, 2012, p. 143 e 146)

$$f_{qc} = (a_{LCPC} * q_c + b_{LCPC}) * (1 - e^{-c_{LCPC} * q_c}) \quad (\text{fórmula 29})$$

Sendo:

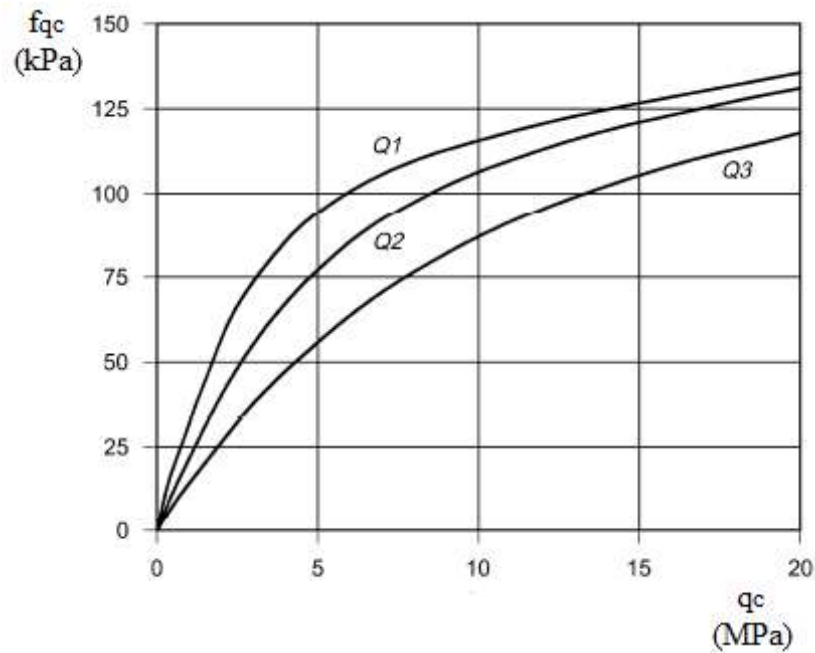
a_{LCPC} , b_{LCPC} e c_{LCPC} = coeficientes de ajuste da equação conforme o solo para método LCPC.

Tabela 12 – Valores numéricos dos coeficientes de ajuste

Tipo de solo	Argila	Areia e pedregulho	Cré (calcário)	Marga e marga calcária
Curva	Q1	Q3	Q2	Q2
a_{LCPC}	0,0018	0,0012	0,0015	0,0015
b_{LCPC}	0,1	0,1	0,1	0,1
c_{LCPC}	0,4	0,15	0,25	0,25

(fonte: adaptado de FRANCE, 2012, p. 144)

Figura 8 – Curvas da capacidade de carga lateral equivalente



(fonte: adaptado de FRANCE, 2012, p. 145)

Segundo Briaud (c2013, p. 578) pode-se calcular a contribuição da ponta através da fórmula 30. O fator de capacidade médio é a média dos valores de q_c em 1.5 vezes o diâmetro da estaca abaixo da ponta. O valor do coeficiente de capacidade de carga para o método LCPC pode ser obtido através da tabela 13.

$$Q_{p,ult} = k_c * q_{cm} * A_p \quad (\text{fórmula 30})$$

Sendo:

k_c = coeficiente de capacidade de carga para o método LCPC;

q_{cm} = fator de capacidade médio para o método LCPC.

Tabela 13 – Valores do coeficiente de capacidade de carga para o método LCPC

Classificação do solo / Tipo de estaca	Argila	Areia e pedregulho	Cré (calcário)	Marga e marga calcária
Escavada, seca	0,4	0,2	0,3	0,3
Escavada com lama	0,4	0,2	0,3	0,3
Escavada com trado	0,4	0,4	0,35	0,2
Cravada de concreto	0,45	0,4	0,4	0,4
Cravada de metal (final fechado)	0,45	0,4	0,4	0,4
Microestacas (injeção única)	0,45	0,2	0,3	0,3

(fonte: adaptado de FRANCE, 2012, p. 141)

A capacidade de carga final é a soma das parcelas relativas ao atrito lateral e da contribuição da ponta, correspondentes às fórmulas 23 e 25, apresentadas anteriormente.

5.2.2 Método Philipponnat

O método foi desenvolvido com três objetivos principais: definir um método preciso e de simples aplicação; levar em conta o tipo de estaca e seu modo de execução para avaliar o atrito lateral; e refinar o método ajustando seus coeficientes. Deste modo, a partir das 44 provas de carga analisadas, Philipponnat (1979) cria um método de fácil e rápida utilização. A fórmula 29 representa o resultado final, considerando a soma das parcelas lateral e de ponta.

$$Q_{ult} = U * \sum \frac{(\alpha_{FP} * q_c)}{\alpha_{SP}} * \Delta l + \alpha_{PP} * q_{cP} * A_p \quad (\text{fórmula 29})$$

Sendo:

α_{FP} = fator de Philipponnat em função do tipo de estaca;

α_{SP} = fator de Philipponnat em função do tipo de solo;

α_{PP} = fator de Philipponnat que relaciona resistência do CPT e ponta da estaca;

q_{cP} = resistência de ponta unitária de Philipponnat.

A resistência de ponta unitária de Philipponnat é dada pela média dos valores acima e abaixo da ponta da estaca, referentes à distância de três diâmetros nas duas direções consideradas. O fator de Philipponnat em função do tipo de estaca, do tipo de solo e o fator que relaciona a resistência do CPT e da ponta da estaca são estimados a partir das tabelas 14 a 16.

Tabela 14 – Fator de Philipponnat em função do tipo de estaca

Material da estaca	Tipo de estaca	α_{FP}	Máximo atrito lateral unitário (kPa)
Concreto	Injetada, pré-moldada, Franki	1.25	120
	Escavada D < 1.5 m	0.85	100
	Escavada D > 1.5 m	0.75	80
Metálica	Perfil H	1.1	120

(fonte: adaptado de PHILIPPONNAT, 1979, p. 60)

Tabela 15 – Fator de Philipponnat em função do tipo de solo

Solo		α_{SP}
Argila e cré		50
Silte		60
Areia fofa	$q_c < 8 \text{ Mpa}$	100
Areia média	$8 < q_c < 12 \text{ Mpa}$	150
Areia compacta	$q_c > 12 \text{ Mpa}$	200

(fonte: adaptado de PHILIPPONNAT, 1979, p. 59)

Tabela 16 – Fator de Philipponnat que relaciona a resistência do CPT e da ponta da estaca

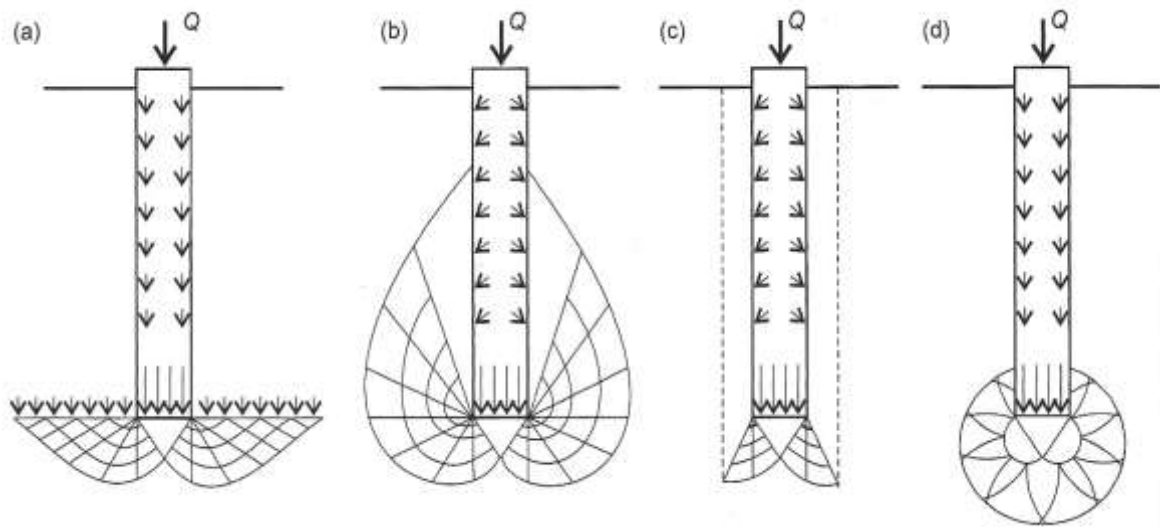
Solo	α_{PP}
Argila e cré	0.5
Silte	0.45
Areia	0.4
Pedregulho	0.35

(fonte: adaptado de PHILIPPONNAT, 1979, p. 57)

5.3 MÉTODO RACIONAL DE MEYERHOF

A principal diferença entre os métodos racionais é o mecanismo de ruptura da ponta da estaca proposto por cada autor (figura 9). A solução proposta por Meyerhof será o objeto de estudo deste trabalho.

Figura 9 – Propostas de ruptura segundo solução de¹²: (a) Terzaghi; (b) Meyerhof;
(c) Berezantzev; (d) Vésic



(fonte: VELLOSO; LOPES, 2010, p. 286)

Meyerhof¹³ (1953 apud VELLOSO; LOPES, 2010, p. 287) propõe soluções baseadas na Teoria da Plasticidade, de maneira análoga à solução de Terzaghi, porém levando as linhas de ruptura além do plano transversal da base da estaca, através seguinte fórmula para resistência de ponta:

$$q_{p,ult} = c * N_c + K_s * \gamma * L * N_q + \gamma * \frac{B}{2} * N_\gamma \quad (\text{fórmula 30})$$

¹² As soluções foram propostas e modificadas com o tempo, não possuindo bibliografia específica que represente por completo cada solução.

¹³ MEYERHOF, G. G. The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, n. 3. 1953, Zurich. **Proceedings...** Zurich: [s.n.], 1953.

Sendo:

$q_{p,ult}$ = resistência de ponta (unitária);

c = coesão;

K_s = coeficiente de empuxo do solo;

L = comprimento da estaca;

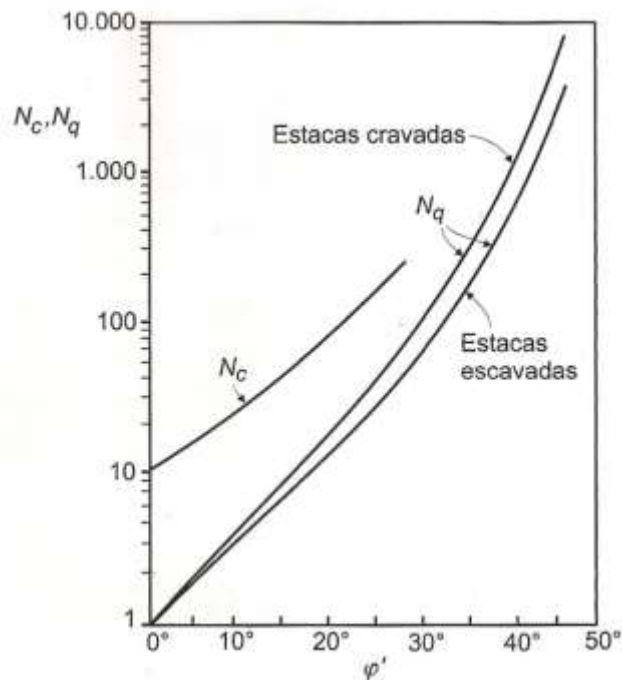
N_q = fator de capacidade de carga da parcela da sobrecarga;

B = largura da base da estaca;

N_γ = fator de capacidade de carga da parcela do peso específico.

Utilizando a figura 10 para estimar os fatores de capacidade de carga e adaptando a fórmula 30 para solos coesivos e granulares, obtêm-se as fórmulas 31 e 32, respectivamente.

Figura 10 – Fatores de capacidade de carga



(fonte: MEYERHOF¹⁴, 1953 apud VELLOSO; LOPES, 2010, p. 288)

¹⁴ MEYERHOF, G. G. The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, n. 3, 1953, Zurich. **Proceedings...** Zurich: [s.n.], 1953.

$$q_{p,ult} = 9.5 * Su + \gamma * L \quad (\text{fórmula 31})$$

$$q_{p,ult} = K_s * \gamma * L * N_q \quad (\text{fórmula 32})$$

Para determinação da parcela de capacidade de carga lateral, analisa-se a interação solo-estaca como a resistência ao deslizamento de um sólido em contato com o solo através da fórmula 33.

$$\tau_{l,ult} = c_a + \sigma_h * \tan \delta \quad (\text{fórmula 33})$$

Sendo:

$\tau_{l,ult}$ = resistência lateral (unitária);

c_a = aderência entre a estaca e o solo;

σ_h = tensão horizontal contra superfície lateral da estaca;

δ = ângulo de atrito da interface solo-estaca.

Analisando-se a fórmula 31 para solos coesivos e granulares, obtém-se respectivamente, as fórmulas 34 e 35.

$$\tau_{l,ult} = \alpha_a * Su \quad (\text{fórmula 34})$$

$$\tau_{l,ult} = K_s * \sigma'_{vo} * \tan \emptyset' \quad (\text{fórmula 35})$$

Para o coeficiente de empuxo do solo será utilizado os valores propostos por Tomlinson e Woodward (2008, p. 172), apresentados na Tabela 17. Adota-se, para o coeficiente de empuxo no repouso (K_0) o valor para areias mediamente compactas, mostrado na Tabela 18.

Tabela 17 – Relação entre Ks e Ko

Tipo de estaca	Ks/Ko
Cravada de grande deslocamento	1 - 2
Cravada de pequeno deslocamento	0,75 - 1,25
Escavada ou moldada <i>in-loco</i>	0,7 - 1,0
Injetada	0,5 - 0,7

(fonte: adaptado de TOMLINSON; WOODWARD, 2008, p. 172)

Tabela 18 – Valores de Ko

Areia	Ko
Fofa	0,5
Mediamente compacta	0,45
Compacta	0,4

(fonte: adaptado de TOMLINSON; WOODWARD, 2008, p. 170)

5.4 ESTACAS TRACIONADAS

Para a previsão da capacidade de carga axial à tração serão utilizadas as recomendações de Velloso e Lopes (2010, p. 321). São elas:

- a) utilizam-se os mesmos métodos que na previsão à compressão axial;
- b) despreza-se a parcela de ponta;
- c) redução de 30% da parcela de resistência lateral da estaca.

5.5 EFEITO DE GRUPO

O efeito de grupo é a interação entre os esforços mobilizados de estacas vizinhas. Quando estacas são executadas muito próximas o solo terá a contribuição do esforço de mais de um componente, o que poderá levá-lo à ruptura. Por isso, é essencial levar em conta este efeito no dimensionamento de estacas.

No que tange a capacidade de carga axial, objeto de estudo deste trabalho, seus efeitos são analisados para cada tipo de estaca e para cada tipo de solo. Como será analisada uma estaca isolada a qual foi submetida à prova de carga, considera-se desprezível o efeito de grupo se estabelecido um afastamento mínimo razoável entre estacas. Velloso e Lopes (2010, p. 436)

admitem que para estacas escavadas o espaçamento mínimo deve ser da ordem de três diâmetros entre eixos de estacas. Esse é o valor adotado para o cálculo do estaqueamento.

Salienta-se a importância de analisar as consequências do efeito de grupo nos recalques da fundação, assunto não abordado neste trabalho.

5.6 ESTAQUEAMENTO

O cálculo de estaqueamento é a análise das cargas em que a fundação está submetida, definindo o número de estacas que terá a fundação e quantificando o esforço máximo ao qual estarão submetidas. O cálculo do estaqueamento será feito admitindo-se que a fundação é rígida, que os esforços são distribuídos igualmente entre as estacas e analisando sempre o caso mais desfavorável para o dimensionamento, ou seja, a máxima tração e a máxima compressão. Os carregamentos utilizados para o cálculo são os estados-limites últimos, já definidos anteriormente.

No caso em estudo, deseja-se saber qual o esforço máximo de tração e compressão que a estaca testada pela prova de carga estaria submetida após o funcionamento do aerogerador. Este será o valor que a estaca e o solo em seu entorno deverá suportar. Para isto, deve-se levar em consideração a distribuição de estacas e geometria da fundação apresentada na figura 11.

A distribuição das cargas será feita através da fórmula 36, conforme Campos (c2015, p. 382), onde se soma as contribuições do esforço vertical e do momento para cada estaca, com os eixos passando pelo centro de gravidade do estaqueamento. Para obter os valores mais críticos, posiciona-se o momento fletor no eixo das abcissas e a estaca de raio mais afastado sobre o eixo das ordenadas. Convenciona-se compressão com sinal positivo e tração com sinal negativo. A figura 12 mostra como deve ser feita a medida de y_i .

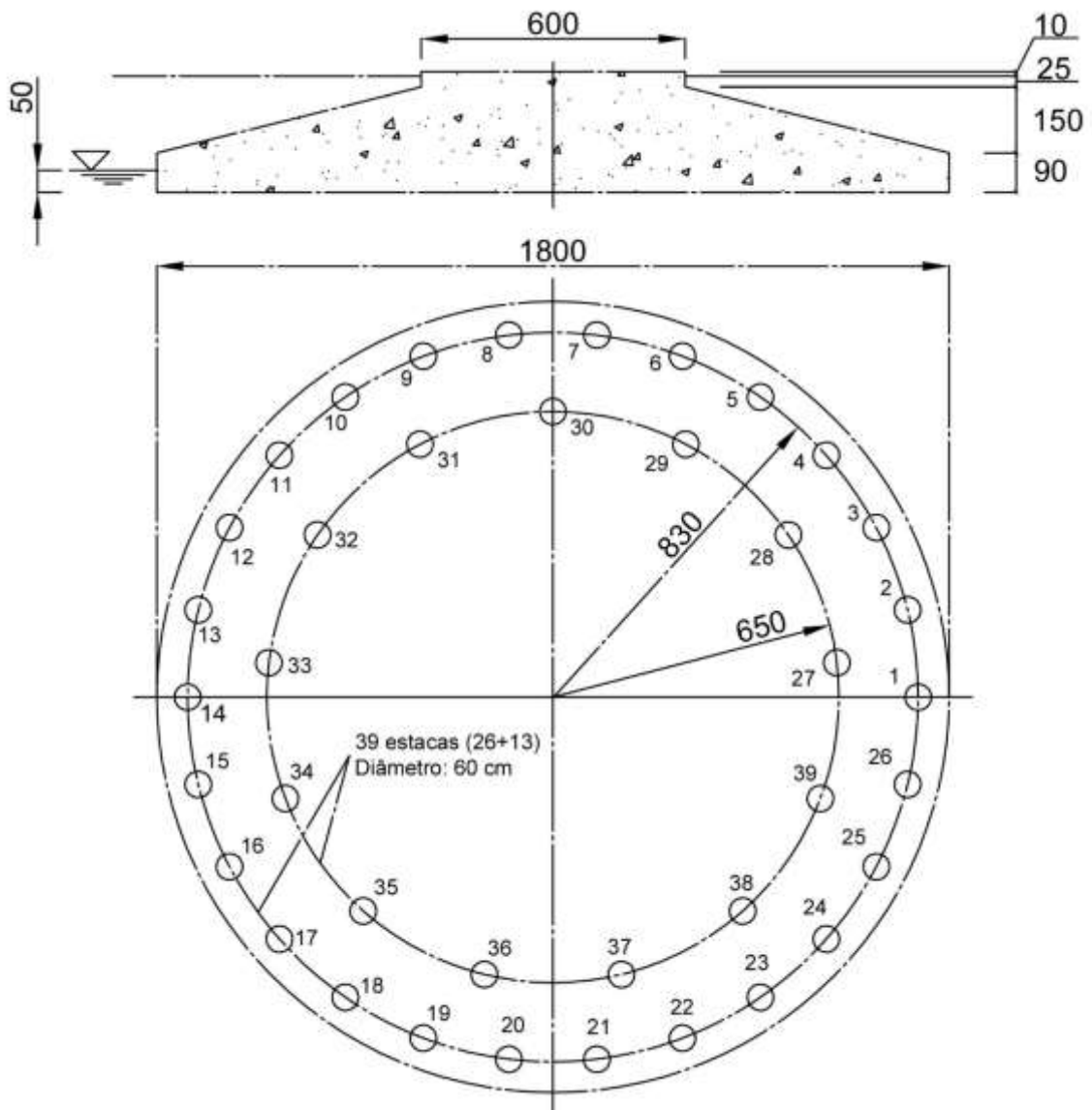
$$R_E = \frac{N_T}{n_e} \pm (M_T * + H_T * d) * \left(\frac{y_i}{\sum y_i^2} \right) \quad (\text{fórmula 36})$$

Sendo:

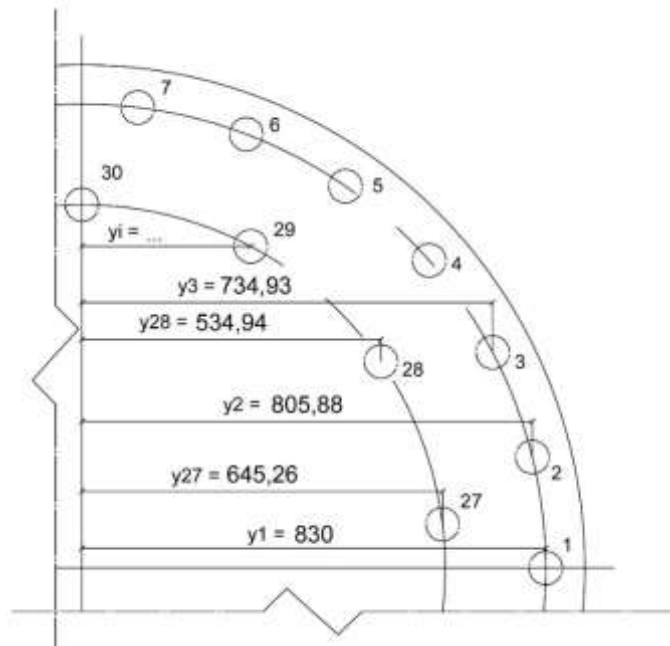
R_E = carga axial total que a estaca estará submetida;

N_T = carga vertical total devido ao carregamento;
 n_e = número total de estacas na fundação;
 M_T = momento fletor total devido ao carregamento;
 y_i = distância de cada estaca em relação ao eixo das abcissas;
 H_T = carga horizontal total devido ao carregamento;
 d = braço de alavanca.

Figura 11 – Bloco de fundação relativo à estaca em estudo



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 12 – Medida de y_i 

(fonte: elaborada pela autora)

É importante ressaltar que o cálculo do estaqueamento depende da capacidade de carga máxima que uma estaca pode chegar. O solo no entorno da estaca deve suportar, através da capacidade de carga, o carregamento que o aerogerador o submete, que é calculado através do estaqueamento. As estacas chegam a comprimentos e diâmetros máximos, este limite é imposto tanto por fatores tecnológicos quanto regionais, o que restringe a sua capacidade de carga máxima. As duas etapas são dependentes e devem, desta maneira, ser feitas em conformidade, através da iteração entre a previsão de capacidade de carga e o cálculo de estaqueamento, ou através de profissionais experientes que já saibam os limites que regem tal processo.

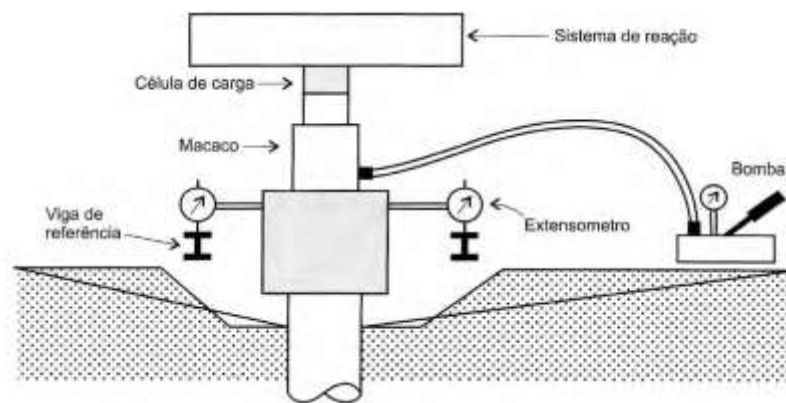
5.7 PROVA DE CARGA ESTÁTICA

Segundo Velloso e Lopes (2010, p. 471) a prova de carga estática é realizada para verificar o comportamento dimensionado em projeto ou, caso não se consiga prever, para definir qual o seu comportamento após execução. Neste trabalho será analisada uma prova estática de compressão de carregamento lento, presente no anexo C, que será parâmetro comparativo para os resultados encontrados através dos métodos de previsão de capacidade de carga propostos.

A prova de carga estática é regulamentada pela NBR 12131 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). O ensaio de carregamento lento é executado aplicando-se

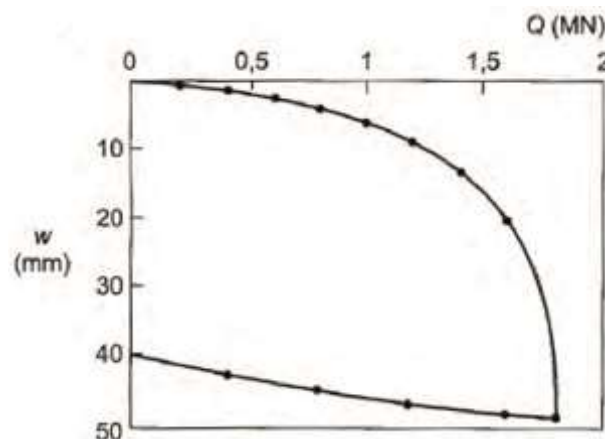
estágios de carga correspondentes a 20% da carga de trabalho até atingir 2 vezes essa carga, com auxílio de um macaco hidráulico (figura 13) que reage contra um sistema de reação. Espera-se 12 horas com a carga máxima aplicada e estabilizada, para então realizar o descarregamento. Ele gera dados para análise do comportamento de carga e deslocamento da estaca até a ruptura, ponto em que atinge sua capacidade de carga máxima, como exemplificado na figura 14. Destaca-se que a estabilização dos recalques de cada etapa de incremento de carga é atingida se a diferença de deslocamento da estabilização do estágio anterior e atual for de no máximo 5%.

Figura 13 – Macaco hidráulico da prova de carga estática de compressão



(fonte: VELLOSO; LOPES, 2010, p. 477)

Figura 14 – Exemplo de comportamento carga (Q) x recalque (w)



(fonte: adaptado de VELLOSO; LOPES, 2010, p. 475)

Conforme NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 37), considera-se com desempenho satisfatório se o fator de segurança encontrado foi igual ou maior que 2.

6 DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS

A previsão de capacidade de carga em estacas será feita seguindo uma série de etapas. Começando por análises simplificadas dos carregamentos e cálculo do estaqueamento da fundação, avaliação da compatibilidade entre os ensaios SPT e CPT e estimativa dos parâmetros fundamentais do solo, para então desenvolver os métodos de previsão de capacidade de carga e compará-los com a prova de carga estática. O processo será detalhado nas etapas que seguem.

6.1 CARREGAMENTOS

As cargas equivalentes ao aerogerador da Alstom ECO 122 T89. Porém, os carregamentos utilizados para o cálculo do estaqueamento serão explicitados na Tabela 19. A Tabela 21 apresenta os estados-limites com suas respectivas ponderações conforme item 3.2. Considere-se, para a elaboração da Tabela 21, o peso dos elementos e empuxo d'água apresentados na Tabela 20, calculados conforme a geometria da fundação apresentada no item 5.6.

Tabela 19 – Principais cargas do aerogerador Alstom ECO 122 T89

Vento	N _T (ton)	H _T (ton)	M _T (ton.m)	M _z (ton.m)
Máximo	375,5	78,8	7446,7	74,5
Acidental	373,3	117,8	9079,4	190,2
Permanente	385,1	56,1	4728,5	141,3

(fonte: descida de cargas da Alstom ECO 122 T89¹⁵)

Tabela 20 – Ações devido ao peso dos elementos e empuxo d'água

Ações verticais	N _T (ton)
Pressão d'água	127,2
Peso da ancoragem	6,0
Peso da fundação	1056,8
Peso do solo	432,6

(fonte: elaborado pela própria autora)

¹⁵ O documento não será disponibilizado na íntegra devido ao seu caráter confidencial.

Tabela 21 – Cargas ponderadas para os estados-limites últimos

Carregamento	N_T (ton)	H_T (ton)	$M_T + H_T*d$ (ton.m)	M_z (ton.m)
ELU fundamental	2619,2	110,3	10737,6	104,3
ELU estabilidade	1744,3	110,3	10737,6	104,3
ELU acidental	2055,5	129,6	10354,1	209,2
ELS	1753,2	56,1	4887,3	141,3

(fonte: elaborado pela própria autora)

Sendo:

M_z = momento torsor total devido ao carregamento.

Apesar dos resultados aqui obtidos representarem os reais valores utilizados no projeto, eles não serão analisados em detalhe, pois o objetivo deste trabalho é a análise da capacidade de carga das estacas. Acredita-se, no entanto, que é essencial o entendimento do cálculo de estaqueamento da fundação, como será explicado a seguir.

6.2 ESTAQUEAMENTO

No cálculo do estaqueamento, a partir do número e disposição de estacas na fundação, obtém-se o esforço máximo de compressão e tração que uma estaca estará submetida, conforme item 5.6. Estes esforços são calculados a partir dos estados-limites de carregamento da Tabela 21. Os resultados estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Esforços máximos nas estacas devido aos estados-limites

Carregamento	Máx. Tração (ton)	Máx. Compressão (ton)
ELU fundamental	-9,0	+143,4
ELU estabilidade	-31,5	+120,9
ELU acidental	-20,8	+126,2
ELS	0 (+10,3)	+79,7

(fonte: elaborado pela própria autora)

6.3 PARÂMETROS DO SOLO

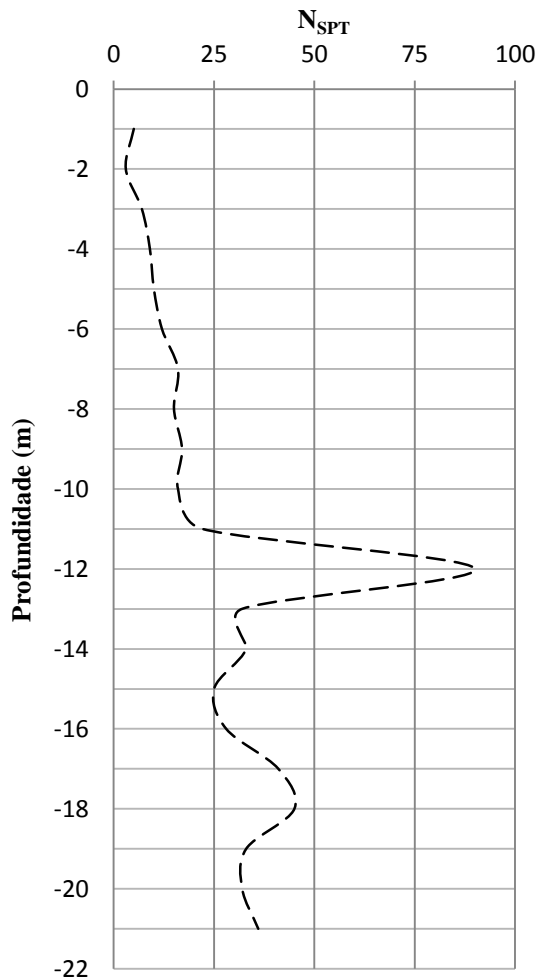
Os métodos racionais de previsão de capacidade de carga de estacas se baseiam em hipóteses de comportamento e ruptura do solo no entorno da estaca. Desta maneira, eles utilizam os

parâmetros do solo para estimar a capacidade de carga da estaca, e não correlações empíricas. Nesta parte do trabalho os parâmetros são estimados através de mais de um método, com objetivo de compará-los entre si e avaliar os valores que são representativos do perfil estudado.

6.3.1 Compatibilidade dos ensaios de campo

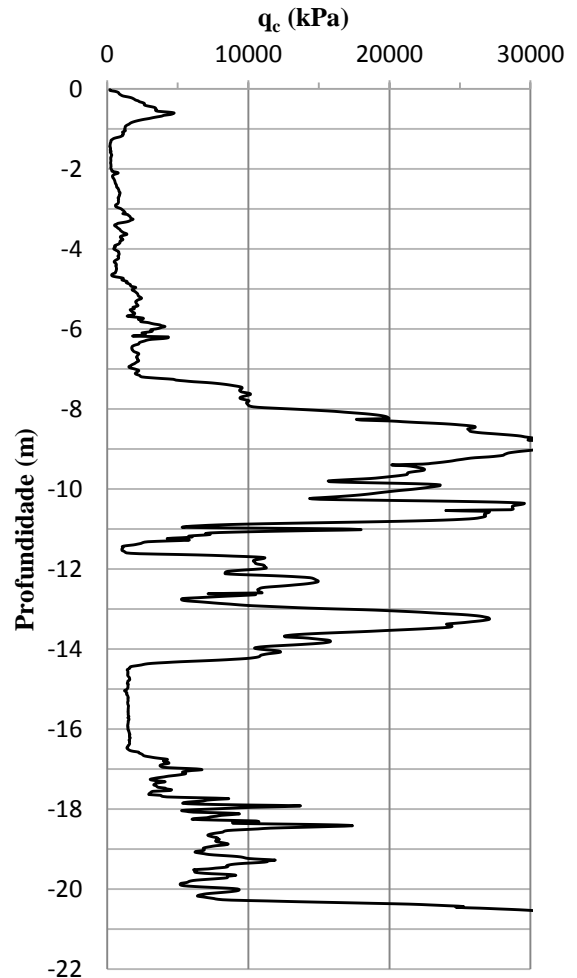
Os dois ensaios de campo, SPT e CPT, realizados para caracterizar o solo da mesma fundação, possuem divergências entre si e serão tratados buscando conhecer quais as reais condições geotécnicas que caracterizam o solo. Os ensaios completos estão disponibilizados nos Anexos A e B, respectivamente, sendo também apresentados na figura 15 e 16.

Figura 15 – Ensaio SPT



(fonte: elaborado pela autora)

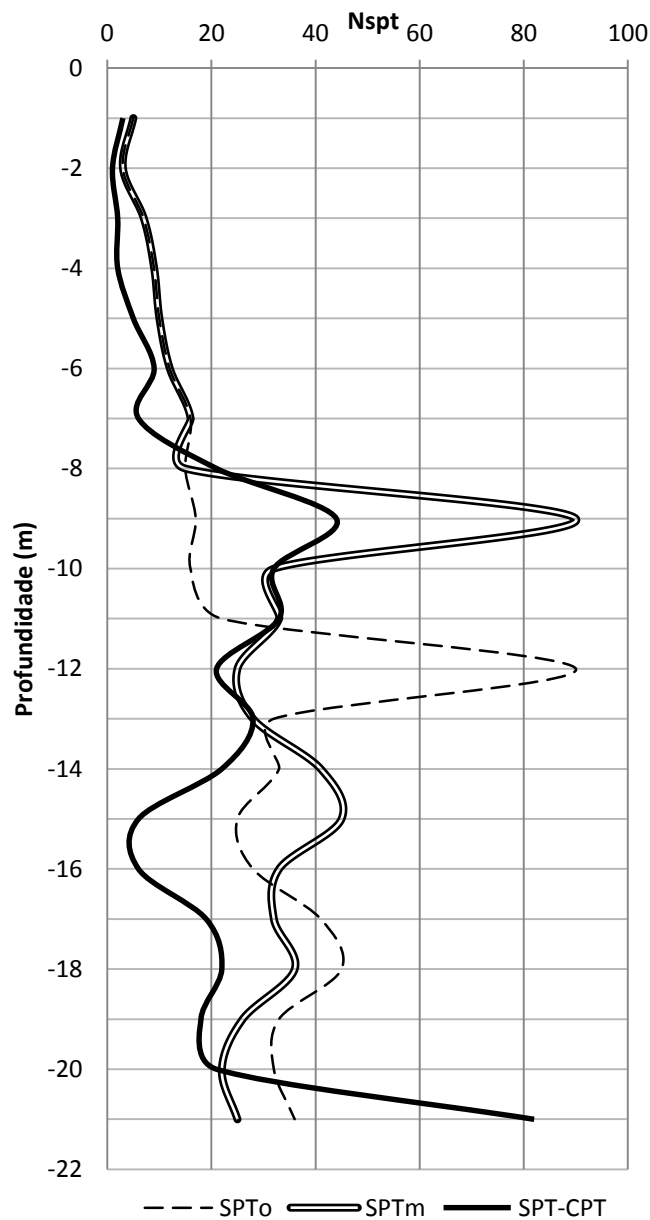
Figura 16 – Ensaio CPT



(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se observar que há dois picos nos ensaios, no SPT aproximadamente a 11,5 e 17,5 metros de profundidade, e no CPT na região dos 9 e 13 metros. Para amenizar o que pode ter sido causado pela diferença de cotas entre os ensaios, ou a mudança da profundidade de camadas entre os locais em que os ensaios foram realizados, propõe-se o deslocamento de todo o perfil SPT em 3 metros pra cima, desprezando-se os de N_{SPT} nas profundidades de 13 a 15 metros. Esta mudança busca compatibilizar os ensaios de campo e analisar um perfil único e representativo sobre a qual a fundação foi executada. A mudança é apresentada na figura 17.

Figura 17 – Perfis de solo considerados para SPT



(fonte: elaborada pela autora)

Como medida de conferência, será gerado um perfil adicional de N_{SPT} a partir do ensaio de cone, aplicando a correlação que transforma q_c em N_{SPT} de Robertson (2012, p. 4), apresentada no item 4.2. Esta transformação é feita com intuito de analisar se os resultados do SPT original são equivalentes aos gerados pelo CPT. O resultado da correlação é também apresentado na figura 17, chamado de SPT-CPT.

Considera-se para todos os perfis analisados que o nível de água é até o terreno natural, pois o local encontra-se próximo ao nível do mar e é suscetível a inundações. Define-se também que eles possuem a mesma estratigrafia de solo, analisando os perfis dos dois ensaios de campo e dando mais peso para a classificação através do CPT. As camadas de solo consideradas são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 – Estratigrafia do solo considerada

Nível (m/TN)	Tipo de solo
-1	Argila arenosa
-2	Argila arenosa
-3	Argila arenosa
-4	Argila arenosa
-5	Areia argilosa
-6	Areia argilosa
-7	Areia argilosa
-8	Areia argilosa
-9	Areia
-10	Areia
-11	Areia
-12	Argila
-13	Areia argilosa
-14	Areia argilosa
-15	Argila arenosa
-16	Argila arenosa
-17	Argila arenosa
-18	Argila arenosa
-19	Argila arenosa
-20	Areia
-21	Areia

(fonte: elaborada pela autora)

Em resumo, serão julgados quatro perfis de solo:

- a) SPT original (SPT_o);
- b) SPT modificado com deslocamento de 3 metros (SPT_m);
- c) SPT gerado pelo CPT (SPT_{CPT});
- d) CPT.

6.3.2 Estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada

Para estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada a partir do SPT utilizam-se os métodos citados no item 4.1.1. Observa-se, a partir da Tabela 24, que os valores obtidos por Stroud (1974) são bastante baixos em comparação aos outros métodos, chegando a ser mais de três vezes menor que os valores encontrados por Odebrecht (2003). Isto se deve ao fato de Stroud ter realizado suas pesquisas, principalmente, com argilas de Londres, sendo inadequada sua utilização neste trabalho. Desta maneira, a resistência ao cisalhamento não drenada será a média entre os outros dois métodos, desconsiderando os resultados obtidos por Stroud (1974).

Tabela 24 – Estimativas de Su para os três perfis SPT considerados

Nível (m/TN)	Su (kPa)								
	SPT _o			SPT _m			SPT _{CPT}		
	Décourt (1989)	Stroud (1974)	Odeb. (2003)	Décourt (1989)	Stroud (1974)	Odeb. (2003)	Décourt (1989)	Stroud (1974)	Odeb. (2003)
-1	79,2	28,5	108,9	79,2	28,5	108,9	47,5	17,1	68,5
-2	47,5	17,1	67,4	47,5	17,1	67,4	15,8	5,7	27,4
-3	110,8	39,9	146,3	110,8	39,9	146,3	31,7	11,4	46,7
-4	142,5	51,3	184,7	142,5	51,3	184,7	31,7	11,4	45,8
-12	348,3	125,4	422,5	522,5	188,1	635,5	316,7	114,0	380,9
-15	395,8	142,5	467,6	633,3	228,0	752,9	79,2	28,5	91,8
-16	443,3	159,6	521,2	522,5	188,1	615,9	79,2	28,5	90,5
-17	633,3	228,0	743,9	506,7	182,4	593,1	285,0	102,6	330,9
-18	633,3	228,0	739,4	570,0	205,2	664,3	332,5	119,7	382,8
-19	522,5	188,1	604,1	411,7	148,2	473,3	269,2	96,9	307,1
-20	506,7	182,4	581,6	348,3	125,4	395,6	316,7	114,0	358,4

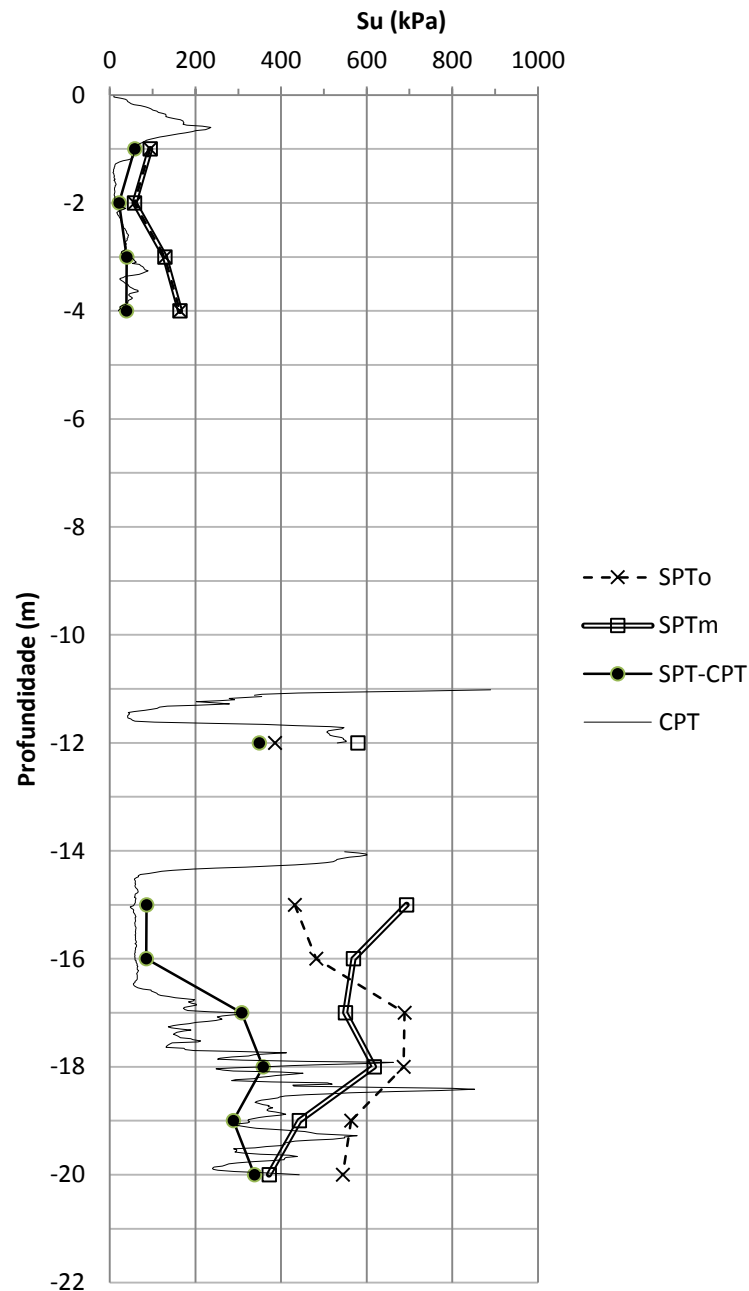
(fonte: elaborada pela autora)

No perfil CPT, primeiramente, calcula-se o parâmetro com o fator de capacidade do cone igual a 16, como explicado no item 4.2.1. Observa-se que a relação apresentada através da fórmula

18 é muito elevada, não podendo se tratar então de uma argila normalmente adensada. Eleva-se o valor do fator de capacidade do cone para 20 e adota-se o parâmetro de resistência ao cisalhamento não drenada obtida a partir deste. Tais resultados apresentam-se no Apêndice A.

A figura 18 apresenta as resistências ao cisalhamento não drenada consideradas para cada perfil analisado, nas camadas em que o solo é classificado como argila.

Figura 18 – Resistência ao cisalhamento não drenada para cada perfil considerado



(fonte: elaborada pela autora)

6.3.3 Estimativa do ângulo de atrito interno

O ângulo de atrito interno foi calculado através da média dos métodos apresentados nos itens 4.1.2 para SPT e 4.2.2 para CPT. Os resultados para SPT estão apresentados na Tabela 25 e do CPT no Apêndice B. A figura 19 mostra quais os resultados finais do parâmetro para cada perfil considerado, nas camadas em que o solo foi classificado como areia.

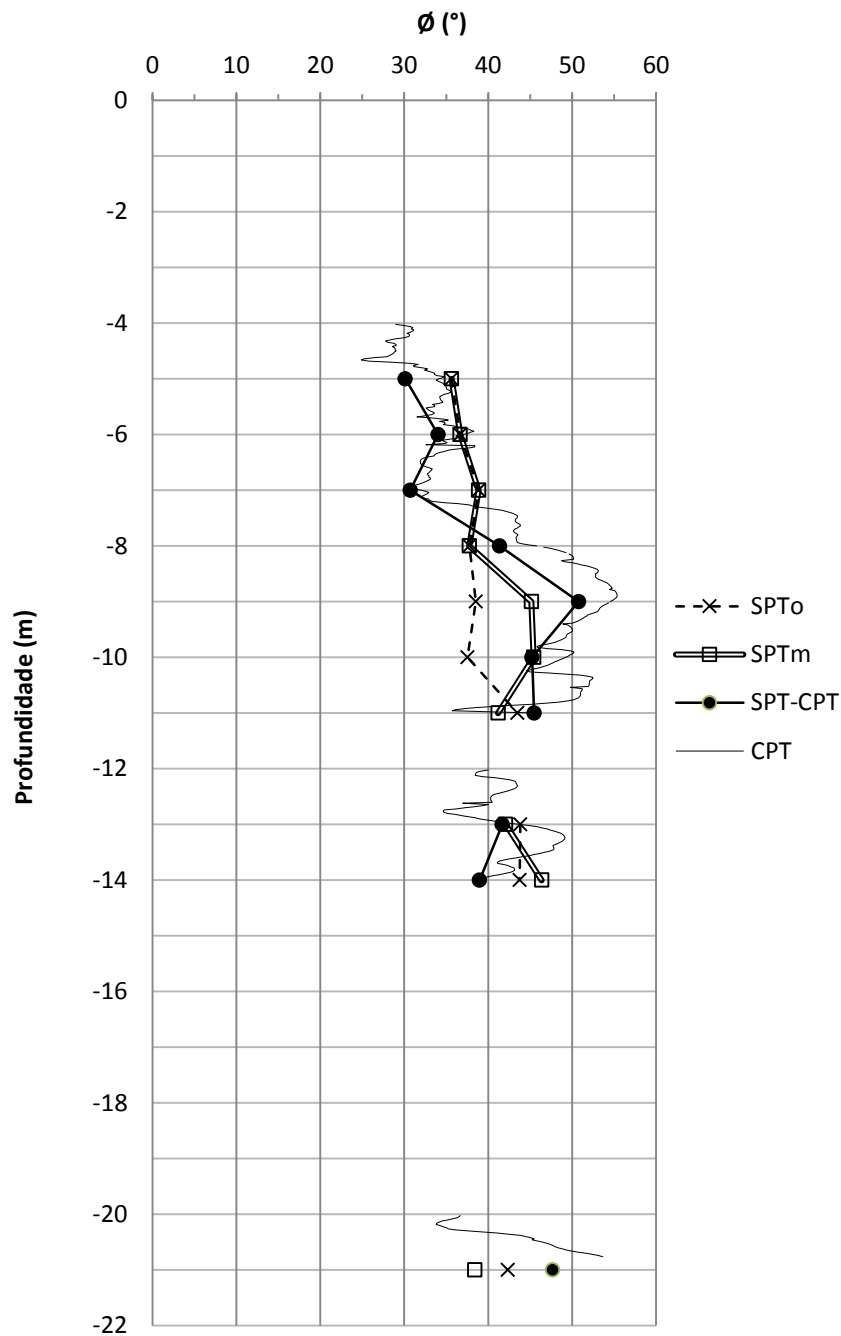
Devido ao comportamento de função logarítmica do fator de capacidade de carga da parcela da sobrecarga, limita-se o ângulo de atrito interno a 40° . A partir deste valor, pequenos acréscimos de ângulo de atrito interno geram ganhos muito elevados no fator, o que se julga arriscado devido à imprecisão na determinação do parâmetro.

Tabela 25 – Estimativas de ϕ' para os três perfis SPT considerados

Nível (m/TN)	ϕ' ($^\circ$)								
	SPT _o			SPT _m			SPT _{CPT}		
	Hatan. e Uch. (1996)	Mello (1971)	Schnaid (2009)	Hatan. e Uch. (1996)	Mello (1971)	Schnaid (2009)	Hatan. e Uch. (1996)	Mello (1971)	Schnaid (2009)
-5	34,0	38,3	34,6	34,0	38,3	34,6	28,8	32,9	28,7
-6	35,3	39,4	35,4	35,3	39,4	35,4	32,5	36,6	33,0
-7	37,7	41,8	37,1	37,7	41,8	37,1	29,9	33,3	29,0
-8	37,1	40,3	35,9	37,1	40,3	35,9	39,8	45,1	39,2
-9	38,2	41,0	36,3	44,2	49,9	41,4	47,9	59,2	45,2
-10	37,7	39,7	35,2	45,0	49,9	41,3	44,2	50,0	41,5
-11	44,2	46,7	39,6	42,1	43,7	37,8	45,0	50,0	41,4
-13	45,0	46,9	39,6	43,4	44,6	38,3	42,5	44,3	38,2
-14	45,4	46,6	39,4	47,9	50,1	41,1	40,2	40,8	35,8
-21	46,5	43,3	37,2	42,1	39,0	34,1	51,2	50,7	41,1

(fonte: elaborada pela autora)

Figura 19 – Ângulo de atrito interno para cada perfil considerado



(fonte: elaborada pela autora)

6.4 ANÁLISE DA PROVA DE CARGA ESTÁTICA

A prova de carga estática realizada na estaca analisada segue a norma NBR 12131 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) e está disponibilizada no Anexo C. Os dados da estaca são explicitados na Tabela 26 e da prova de carga na Tabela 27.

Tabela 26 – Dados da estaca ensaiada

Tipo	Hélice contínua
Diâmetro (mm)	600
Comprimento (m)	17
Carga de compressão de projeto (kN)	1443

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 27 – Resultados da prova de carga estática

Carga máxima no ensaio (kN)	2597
Deslocamento máximo (mm)	74,21
Deslocamento residual (mm)	66,39

(fonte: elaborada pela autora)

Observa-se que a estaca ensaiada apresentou ruptura em uma carga 80% acima da carga admissível dimensionada, atingindo fator de segurança igual a 1,8.

6.5 RESULTADOS DA PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA AXIAL

Analisa-se os resultados da previsão de capacidade de carga axial em três etapas: na primeira, considera-se a carga total obtida pelos métodos descritos; na segunda, limita-se a resistência de ponta; e, na terceira, aplica-se os fatores de segurança.

Em todas as etapas apresenta-se uma tabela referente a capacidade de carga axial encontrada para cada método nos quatro perfis considerados. Uma segunda tabela é criada para comparar estes resultados com a prova de carga axial, dividindo-se a capacidade de carga axial calculada pelo resultado da prova de carga, conforme fórmula 7.

$$FS_i = \frac{Q_{c,max}}{Q_{ult,i}} = \frac{2597 \text{ kN}}{Q_{ult,i}} \quad (\text{fórmula 37})$$

Sendo:

FS = fator de segurança;

$Q_{c,max}$ = carga de compressão máxima no ensaio de prova estática axial.

Desta maneira, obtém-se o fator de segurança total para cada caso analisado. Os resultados das três etapas são apresentados nos itens a seguir e as considerações dizem respeito ao caso analisado neste trabalho em específico.

6.5.1 Capacidade de carga axial total à compressão

Os resultados são apresentados sem ponderações ou considerações adicionais sobre os métodos. A Tabela 28 e Tabela 29 mostram os valores encontrados para capacidade de carga axial e fator de segurança em cada método.

Tabela 28 – Capacidade de carga axial total em kN

Método	Perfil			
	SPT _o	SPT _m	SPT _{CPT}	CPT
Aoki-Velloso	3975,7	3928,1	2531,7	-
Décourt-Quaresma	3336,4	3634,6	2406,0	-
UFRGS	4747,6	4494,1	2560,1	-
Meyerhof - SPT	4992,9	4374,1	2063,2	-
Meyerhof - CPT	-	-	-	1963,3
Philipponnat	-	-	-	2081,2
LCPC	-	-	-	2445,8

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 29 – Fator de segurança da capacidade de carga axial total

Método	Perfil			
	SPT _o	SPT _m	SPT _{CPT}	CPT
Aoki-Velloso	0,65	0,66	1,03	-
Décourt-Quaresma	0,78	0,71	1,08	-
UFRGS	0,55	0,58	1,01	-
Meyerhof - SPT	0,52	0,59	1,26	-
Meyerhof - CPT	-	-	-	1,32
Philipponnat	-	-	-	1,25
LCPC	-	-	-	1,06

(fonte: elaborada pela autora)

Observa-se que para os perfis de sondagem SPT_o e SPT_m, que se tratam do perfil original e deslocado 3 metros, geram resultados incompatíveis com a capacidade de carga total real da

estaca, o que explica os fatores de segurança abaixo da unidade. Os perfis SPT_{CPT} e CPT, por sua vez, apresentam estimativas satisfatórias, aproximando-se bastante do fator de segurança 1.

6.5.2 Capacidade de carga axial à compressão com limitação da resistência de ponta

Para estacas escavadas, conforme citado no item 5 deste trabalho, a NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 26) aconselha que a capacidade de carga última total da estaca não ultrapasse 25% da capacidade lateral estimada. Assim, através da fórmula 23 geram-se novos valores de capacidade de carga, apresentados na Tabela 30 e 31.

Tabela 30 – Capacidade de carga axial com limitação de ponta em kN

Método	Perfil			
	SPT _o	SPT _m	SPT _{CPT}	CPT
Aoki-Velloso	2495,7	2930,9	2051,3	-
Décourt-Quaresma	2643,7	3115,4	2385,5	-
UFRGS	2603,6	2945,9	1681,9	-
Meyerhof - SPT	3872,1	3563,8	1496,7	-
Meyerhof - CPT	-	-	-	1394,0
Philipponnat	-	-	-	1814,2
LCPC	-	-	-	2385,2

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 31 – Fator de segurança da capacidade de carga axial com limitação de ponta

Método	Perfil			
	SPT _o	SPT _m	SPT _{CPT}	CPT
Aoki-Velloso	1,04	0,89	1,27	-
Décourt-Quaresma	0,98	0,83	1,09	-
UFRGS	1,00	0,88	1,54	-
Meyerhof - SPT	0,67	0,73	1,74	-
Meyerhof - CPT	-	-	-	1,86
Philipponnat	-	-	-	1,43
LCPC	-	-	-	1,09

(fonte: elaborada pela autora)

Observa-se um ganho acentuado no fator de segurança do perfil SPT_o, aproximando-o da unidade, o que representa que os métodos superestimaram bastante a resistência de ponta da estaca, se comparado com o limite imposto por norma. O perfil SPT_m também apresentou um ganho no fator de segurança, porém em menor escala, representando que a resistência de ponta da estaca era menor em relação ao SPT_o. Para os perfil SPT_{CPT} e CPT também se obteve um aumento generalizado do fator de segurança, destacando os métodos de Décourt-Quaresma e LCPC que tiveram mudanças sutis, ou seja, tiveram aproximações melhores para a resistência de ponta da estaca.

6.5.3 Capacidade de carga axial à compressão de projeto

Para a capacidade de carga axial de projeto, conforme citado no item 5.7, deve-se obter na prova de carga estática um fator de segurança igual ou maior a 2, conforme NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 37). Para isto, devido às dúvidas que cercam a capacidade de ponta de estacas escavadas, consideram-se os seguintes fatores de segurança para a capacidade de carga lateral e de ponta da estaca:

- a) $FS_{\text{lateral}} = 2$;
- b) $FS_{\text{ponta}} = 4$.

Os resultados são apresentados nas Tabelas 32 e 33.

Tabela 32 – Capacidade de carga axial de projeto em kN

Método	Perfil			
	SPT _o	SPT _m	SPT _{CPT}	CPT
Aoki-Velloso	1123,1	1318,9	923,1	-
Décourt-Quaresma	1189,6	1401,9	1073,5	-
UFRGS	1171,6	1325,7	756,8	-
Meyerhof - SPT	1742,5	1603,7	673,5	-
Meyerhof - CPT	-	-	-	627,3
Philipponnat	-	-	-	816,4
LCPC	-	-	-	1073,3

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 33 – Fator de segurança da capacidade de carga axial de projeto

Método	Perfil			
	SPT _o	SPT _m	SPT _{CPT}	CPT
Aoki-Velloso	2,31	1,97	2,81	-
Décourt-Quaresma	2,18	1,85	2,42	-
UFRGS	2,22	1,96	3,43	-
Meyerhof - SPT	1,49	1,62	3,86	-
Meyerhof - CPT	-	-	-	4,14
Philipponnat	-	-	-	3,18
LCPC	-	-	-	2,42

(fonte: elaborada pela autora)

Tendo como parâmetro que os fatores de segurança totais deveriam atingir o valor 2, pode-se observar que o SPT_m não atingiu resultados satisfatórios. Exceto para o método racional de Meyerhof para SPT, o perfil 1, mesmo com a decalagem de camadas, chegou a fatores de segurança finais condizentes com o necessário para o projeto de capacidade de carga axial da estaca. Os perfis SPT_{CPT} e CPT mostram que a aplicação de tais fatores para carga lateral e de ponta gera resultados conservadores para suas estimativas, atingindo um fator de segurança global que chega a ser maior que 4.

6.5.4 Capacidade de carga axial total à tração

Como a prova de carga estática disponível para o trabalho testou somente a resistência à compressão da estaca, faz-se comparação entre a capacidade de carga axial total à tração calculada pelas considerações do item 5.4 e a solicitação máxima obtida no cálculo de estaqueamento, que é de 315 kN, conforme Tabela 22. A fórmula 38 gera os fatores de segurança para tal comparação, considerando a capacidade de carga à tração calculada no trabalho como a real capacidade de carga da estaca. Os resultados para esforços de tração resistentes na estaca e fator de segurança em relação aos métodos analisados são apresentados nas Tabelas 34 e 35.

$$FS_i = \frac{Q_{ult,i}}{Q_{t,max}} = \frac{Q_{ult,i}}{315 \text{ kN}} \quad (\text{fórmula 37})$$

Sendo:

$Q_{t,max}$ = carga máxima de tração máxima no cálculo de estaqueamento.

Tabela 34 – Capacidade de carga axial total de tração em kN

Método	Perfil			
	SPT _o	SPT _m	SPT _{CPT}	CPT
Aoki-Velloso	1442,4	1641,3	1148,7	-
Décourt-Quaresma	1480,4	1744,6	1335,9	-
UFRGS	1458,0	1649,7	941,9	-
Meyerhof - SPT	1747,4	1995,7	838,1	-
Meyerhof - CPT	-	-	-	780,7
Philipponnat	-	-	-	1015,9
LCPC	-	-	-	1335,7

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 35 – Fator de segurança da capacidade de carga axial total de tração

Método	Perfil			
	SPT _o	SPT _m	SPT _{CPT}	CPT
Aoki-Velloso	4,6	5,2	3,6	-
Décourt-Quaresma	4,7	5,5	4,2	-
UFRGS	4,6	5,2	3,0	-
Meyerhof - SPT	5,5	6,3	2,7	-
Meyerhof - CPT	-	-	-	2,5
Philipponnat	-	-	-	3,2
LCPC	-	-	-	4,2

(fonte: elaborada pela autora)

Observa-se que todos os métodos atendem com satisfatoriedade tal solicitação. Destaca-se a necessidade do adequado dimensionamento das armaduras ao longo da estaca para que ela possa resistir aos esforços de tração de maneira adequada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A boa prática da geotecnia depende, evidentemente neste trabalho, da qualidade dos ensaios de campo efetuados para caracterizar o solo. Necessita-se de maior investimento em investigação de solo para evitar que os projetos geotécnicos sejam moldados em condições de contorno irreais e proporcionar a possibilidade de otimizar de maneira consciente a obra. A maior dificuldade encontrada neste trabalho, de adequar os perfis dos ensaios SPT e CPT, demonstram um exemplo típico deste tipo de problema.

Para o caso em análise, fica evidente que grande parte dos métodos de previsão de capacidade de carga axial de estacas superestimam a capacidade de ponta das estacas, se comparada com a capacidade máxima admitida por norma para estacas escavadas. Na média entre todos os métodos e casos considerados, houve oscilação de 0,26 no fator de segurança após a correção de ponta. Os métodos que apresentaram melhores estimativas de capacidade de ponta são o Décourt-Quaresma para SPT, que na média entre os perfis SPT calculados, teve oscilação no seu fator de segurança de 0,1 após correção de ponta; e LCPC para o ensaio CPT, que teve oscilação de apenas 0,03. Deste modo, a limitação de resistência de ponta se mostra essencial para a correta estimativa da capacidade de carga final da estaca.

Para os perfis SPT_o e SPT_m, a capacidade de carga total de ambos os perfis superestima, aproximadamente ao dobro, a real capacidade de carga da estaca. Pode-se observar que tais perfis apresentam valores de NSPT elevados em comparação ao do perfil SPT_{CPT}, o que justifica os valores encontrados. Apesar disso, o perfil SPT_o gera resultados satisfatórios após aplicação da limitação de ponta e fatores de segurança, chegando ao fator 2 desejado por norma, com exceção do método de Meyerhof.

A mudança proposta para obter o perfil SPT_m não se mostrou eficaz, uma vez que não apresentou melhora significativa nas suas estimativas e, por vezes, superestimou ainda mais os resultados. Isto se deve à inclusão de uma camada de solo mais competente na base da estaca.

Para os perfis SPT_{CPT} e CPT, todos os métodos obtiveram boas estimativas de capacidade de carga total da estaca, mostrando que a conversão do qc do ensaio CPT para o NSPT do ensaio SPT é eficaz. Para o perfil SPT_{CPT} método Décourt-Quaresma foi o que melhor se aproximou

da realidade e o método de Meyerhof para SPT o mais conservador. Para o perfil CPT, o método LCPC foi o mais preciso.

Após aplicação dos fatores de segurança, tanto os valores de capacidade de carga obtidos pelo CPT como pelo SPT_{CPT} , tornam-se, na sua maioria, conservadores. Conclui-se assim que o ensaio CPT gera valores de maior confiabilidade, o que possibilita a redução dos fatores de segurança propostos.

O método racional de Meyerhof, para os perfis derivados do SPT, foi o método que mais superestimou a capacidade de carga das estacas, não obtendo fatores de segurança adequados. Já para os perfis gerados pelo ensaio CPT, foi o método que mais subestimou a real capacidade do solo. Com esses resultados e com o observado no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que o método racional utilizado pode gerar boas estimativas de capacidade de carga axial para estacas, porém isto depende da confiabilidade em que se pode estimar os parâmetros do solo. Para o caso de argilas, torna-se ainda mais difícil a estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada, devido à necessidade de conhecer o histórico de tensões do solo. Uma maior gama de ensaios de campo e laboratório seria ideal para o caso.

Os esforços de tração nas estacas são absorvidos para todos os casos, com folga. A compressão máxima de 143,4 toneladas é o fator dimensionante neste caso. Todos os métodos absorvem este esforço através da capacidade de carga axial total calculada. Após aplicação da limitação de ponta, apenas o método de Meyerhof para CPT não atende o critério de compressão máxima. Com a aplicação do fator de segurança 2, observa-se que a estaca não aguentou a compressão total a qual foi solicitada pelo ensaio de prova de carga estática, que rompeu próximo a 260 toneladas. Deste modo, a estaca deveria ter suas dimensões aumentadas para atender à compressão máxima com o fator de segurança 2.

Conclui-se que para o caso em estudo, o método Décourt-Quaresma para SPT e o método LCPC para CPT foram os que obtiveram melhores estimativas de capacidade de carga axial da estaca ensaiada. Tal estimativa não é precisa e deve-se levar em conta, sempre, a confiabilidade dos ensaios de campo executados e sua compatibilidade.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-3406**: solo – ensaio de penetração de cone in situ (CPT). Rio de Janeiro, 1991.
- _____. **NBR 6484**: solo – sondagem de simples reconhecimento com SPT – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 12131**: estacas – prova de carga estática – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **NBR IEC 61400-1**: aerogeradores – parte 1: requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **NBR 6122**: projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ALSHIBLI, K. A.; OKEIL, A. M.; ALRAMAHI, B.; ZHANG, Z. Reliability Analysis of CPT Measurements for Calculating Undrained Shear Strength. **Geotechnical Testing Journal**. Conshohocken, USA, v. 34, n. 6, p. 1-9, ano 2011.
- BRIAUD, J-L. **Geotechnical Engineering**: unsaturated and saturated soils. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, c2013.
- BUSTAMANTE, M.; GIANESELLI, L. Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING, 2nd, 1982, Amsterdam. **Proceedings...** Amsterdam: [s.n.], 1982. p. 493-500.
- CAMPOS, J. C. de. **Elementos de fundações em concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, c2015.
- DÉCOURT, L.; ALBIERO, J. H.; CINTRA, J. C. Â. Análise e projeto de fundações profundas. In: HACHICH W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. (Ed.). **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012. p. 265-328.
- FRANCE. Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports (Org.). **Fascicule n° 62 – Titre V**: Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil – cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux. Paris, 1993.
- FRANCE. Association Française de Normalisation (Org.). **NF P 94-262**: justification des ouvrages géotechniques – fondations profondes. Saint-Denis, 2012.
- HATANAKA, M.; UCHIDA A. Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils. **Soils and Foundations**, Tokyo, v. 36, n. 4, p. 1-9, Dec. 1996. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/sandf1995/36/4/36_4_1/_article>. Acesso em: 13 jun. 2015.

JAMIOLKOWSKI, M.; LADD, C. C.; GERMAINE, J. T.; LANCELLOTTA, R. New developments in field and laboratory testing of soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 11th, 1985, San Francisco. **Proceedings...** San Francisco: [s.n.], 1985. p. 57-153.

JAMIOLKOWSKI, M.; LO PRESTI, D. C. F.; MANASSERO, M. Evaluation of Relative Density and Shear Strength of Sands from CPT and DMT. **Geotechnical Special Publication**, New York, n. 119, p. 201-238, 2001.

LANCELLOTTA, R. **Geotechnical Engineering**. 2nd ed. Abingdon, UK: Taylor & Francis, 2009.

LOBO, B. de O. **Método de previsão de capacidade de carga de estacas: aplicação dos conceitos de energia do ensaio SPT**. 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MAYNE, P. W. The Second James K. Mitchell Lecture: Undisturbed sand strength from seismic cone tests. **Geomechanics and Geoengineering: An International Journal**, Abingdon, UK, v. 1, n. 4, p. 239-257, 2006.

MELLO, V. F. B. de. The Standard Penetration Test. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4th, 1971, San Juan. **Proceedings...** San Juan: [s.n.], 1971. p. 1-86.

MILITITSKY, J. Desafios na solução de fundações de aerogeradores. **Concreto & Construções**: contribuições do concreto para fundações e torres de aerogeradores, São Paulo, v. XLII, n. 75, p. 49-61, jul.-set. 2014. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_75.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2015.

ODEBRECHT, E. **Medidas de energia no ensaio SPT**. 2003. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PHILIPPONNAT, G. Méthode pratique de calcul d'un pieu isolé à l'aide du pénétromètre statique. **Revue Français de Géotechnique**, Paris, n. 10, p. 55-64, 1979.

QUARESMA, A. R.; DÉCOURT, L.; QUARESMA FILHO, A. R.; ALMEIDA, M. de S. S. de.; DANZIGER, F. Investigações geotécnicas. In: HACHICH W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. (Ed.). **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012. p. 119-162.

ROBERTSON, P. K.; WRIDE, C. E. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. **Canadian Geotechnical Journal**, Ottawa, v. 35, n. 3, p. 442-459, 1998.

ROBERTSON, P. K. Interpretation of in-situ tests – some insights. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOTECHNICAL AND GEOPHYSICAL SITE CHARACTERIZATION, 4th, 2012, Porto de Galinhas. **Proceedings...** London: Taylor & Francis, 2012. p. 1-22.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E.; ROCHA, M. M.; BERNARDES, G. de P. Prediction of Soil Properties from the Concepts of Energy Transfer in Dynamic Penetration Tests. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Raleigh, USA, v. 135, n. 8, p. 1092-1100, 2009.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaaios de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SKEMPTON, A. W. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. **Géotechnique**, London, v. 36, n. 3, p. 425-447, 1986.

STROUD, M. A. The Standard Penetration Test in Insensitive Clays and Soft Rocks. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING, 1st, 1974, Stockholm. **Proceedings...** Stockholm: [s.n.], 1974. p. 367-375.

TOMLINSON, M.; WOODWARD, J. **Pile design and construction practice**. 5th ed. Abingdon, UK: Taylor & Francis, 2008.

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações: fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. v. 2.

VESIC, A. S. Bearing capacity of shallow foundations. In: **Foundation Engineering Handbook**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1975. p. 121-147.

APÊNDICE A – Estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada a partir do ensaio CPT

Nível (m/TN)	q_c (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	Su (kPa) Nkt = 16	Su/ σ'_{vo}	Su (kPa) Nkt = 20
-0,02	190,1	0,1	11,9	118,6	9,5
-0,04	190,1	0,2	11,8	59,2	9,5
-0,06	527,6	0,3	32,9	109,7	26,3
-0,08	723,0	0,4	45,1	112,8	36,1
-0,1	806,1	0,5	50,3	100,6	40,2
-0,12	832,8	0,6	51,9	86,6	41,6
-0,14	907,8	0,7	56,6	80,9	45,3
-0,16	1001,5	0,8	62,4	78,1	50,0
-0,18	1140,8	0,9	71,1	79,0	56,9
-0,2	1448,8	1,0	90,4	90,4	72,3
-0,22	1689,8	1,1	105,4	95,8	84,3
-0,24	1821,0	1,2	113,6	94,7	90,9
-0,26	1922,7	1,3	119,9	92,3	95,9
-0,28	2011,1	1,4	125,4	89,6	100,3
-0,3	2198,6	1,5	137,1	91,4	109,7
-0,32	2270,9	1,6	141,6	88,5	113,3
-0,34	2474,4	1,7	154,3	90,8	123,5
-0,36	2613,7	1,8	163,0	90,6	130,4
-0,38	2629,7	1,9	164,0	86,3	131,2
-0,4	2619,0	2,0	163,3	81,7	130,7
-0,42	2774,3	2,1	173,0	82,4	138,4
-0,44	3044,8	2,2	189,9	86,3	151,9
-0,46	3307,2	2,3	206,3	89,7	165,0
-0,48	3419,7	2,4	213,3	88,9	170,6
-0,5	3441,1	2,5	214,6	85,8	171,7
-0,52	3475,9	2,6	216,8	83,4	173,4
-0,54	3425,1	2,7	213,6	79,1	170,8
-0,56	3601,8	2,8	224,6	80,2	179,7
-0,58	4322,2	2,9	269,6	93,0	215,7
-0,6	4726,5	3,0	294,8	98,3	235,9
-0,62	4646,2	3,1	289,8	93,5	231,8
-0,64	4474,8	3,2	279,1	87,2	223,3
-0,66	4022,2	3,3	250,8	76,0	200,6
-0,68	3864,2	3,4	240,9	70,8	192,7
-0,7	3534,9	3,5	220,3	62,9	176,2
-0,72	3221,5	3,6	200,7	55,7	160,5
-0,74	2969,8	3,7	184,9	50,0	147,9
-0,76	2619,0	3,8	163,0	42,9	130,4
-0,78	2337,8	3,9	145,4	37,3	116,3
-0,8	2091,5	4,0	130,0	32,5	104,0
-0,82	1887,9	4,1	117,2	28,6	93,8

-0,84	1727,3	4,2	107,2	25,5	85,7
-0,86	1617,5	4,3	100,3	23,3	80,2
-0,88	1547,8	4,4	95,9	21,8	76,7
-0,9	1432,7	4,5	88,7	19,7	71,0
-0,92	1336,3	4,6	82,7	18,0	66,1
-0,94	1277,4	4,7	79,0	16,8	63,2
-0,96	1264,0	4,8	78,1	16,3	62,5
-0,98	1269,3	4,9	78,4	16,0	62,7
-1	1229,2	5,0	75,9	15,2	60,7
-1,02	1229,2	5,1	75,9	15,0	60,7
-1,04	1285,4	5,1	79,4	15,5	63,5
-1,06	1213,1	5,2	74,8	14,4	59,9
-1,08	1073,8	5,2	66,1	12,6	52,9
-1,1	1124,7	5,3	69,3	13,1	55,4
-1,12	1146,2	5,4	70,6	13,2	56,5
-1,14	1089,9	5,4	67,1	12,4	53,7
-1,16	1106,0	5,5	68,1	12,4	54,4
-1,18	1012,3	5,5	62,2	11,2	49,7
-1,2	875,7	5,6	53,6	9,6	42,9
-1,22	637,3	5,7	38,7	6,8	31,0
-1,24	455,3	5,7	27,3	4,8	21,9
-1,26	369,6	5,8	21,9	3,8	17,6
-1,28	278,5	5,8	16,2	2,8	13,0
-1,3	257,1	5,9	14,9	2,5	11,9
-1,32	259,8	6,0	15,0	2,5	12,0
-1,34	227,6	6,0	13,0	2,2	10,4
-1,36	216,9	6,1	12,3	2,0	9,9
-1,38	200,8	6,1	11,3	1,8	9,0
-1,4	200,8	6,2	11,3	1,8	9,0
-1,42	187,5	6,3	10,4	1,7	8,3
-1,44	171,4	6,3	9,4	1,5	7,5
-1,46	216,9	6,4	12,2	1,9	9,8
-1,48	208,9	6,4	11,7	1,8	9,4
-1,5	238,3	6,5	13,6	2,1	10,8
-1,52	206,2	6,6	11,5	1,8	9,2
-1,54	219,6	6,6	12,3	1,9	9,9
-1,56	270,5	6,7	15,5	2,3	12,4
-1,58	206,2	6,7	11,5	1,7	9,2
-1,6	259,8	6,8	14,8	2,2	11,8
-1,62	265,1	6,9	15,1	2,2	12,1
-1,64	299,9	6,9	17,3	2,5	13,8
-1,66	313,3	7,0	18,1	2,6	14,5
-1,68	275,8	7,0	15,7	2,2	12,6

-1,7	273,2	7,1	15,6	2,2	12,5
-1,72	235,7	7,2	13,2	1,8	10,6
-1,74	249,1	7,2	14,0	1,9	11,2
-1,76	241,0	7,3	13,5	1,9	10,8
-1,78	254,4	7,3	14,3	2,0	11,5
-1,8	251,7	7,4	14,1	1,9	11,3
-1,82	246,4	7,5	13,8	1,8	11,0
-1,84	235,7	7,5	13,1	1,7	10,5
-1,86	233,0	7,6	12,9	1,7	10,3
-1,88	254,4	7,6	14,2	1,9	11,4
-1,9	254,4	7,7	14,2	1,8	11,4
-1,92	259,8	7,8	14,6	1,9	11,6
-1,94	265,1	7,8	14,9	1,9	11,9
-1,96	246,4	7,9	13,7	1,7	10,9
-1,98	254,4	7,9	14,2	1,8	11,3
-2	267,8	8,0	15,0	1,9	12,0
-2,02	305,3	8,1	17,3	2,1	13,9
-2,04	334,7	8,1	19,1	2,4	15,3
-2,06	332,1	8,2	19,0	2,3	15,2
-2,08	610,6	8,2	36,3	4,4	29,1
-2,1	776,6	8,3	46,7	5,6	37,4
-2,12	664,1	8,4	39,7	4,7	31,7
-2,14	476,7	8,4	27,9	3,3	22,3
-2,16	412,4	8,5	23,9	2,8	19,1
-2,18	358,8	8,5	20,5	2,4	16,4
-2,2	385,6	8,6	22,2	2,6	17,8
-2,22	393,7	8,7	22,7	2,6	18,1
-2,24	447,2	8,7	26,0	3,0	20,8
-2,26	476,7	8,8	27,8	3,2	22,3
-2,28	506,1	8,8	29,7	3,4	23,7
-2,3	530,2	8,9	31,1	3,5	24,9
-2,32	538,3	9,0	31,6	3,5	25,3
-2,34	562,4	9,0	33,1	3,7	26,5
-2,36	567,7	9,1	33,4	3,7	26,8
-2,38	605,2	9,1	35,8	3,9	28,6
-2,4	640,0	9,2	37,9	4,1	30,3
-2,42	645,4	9,3	38,2	4,1	30,6
-2,44	664,1	9,3	39,4	4,2	31,5
-2,46	669,5	9,4	39,7	4,2	31,8
-2,48	752,5	9,4	44,9	4,8	35,9
-2,5	768,6	9,5	45,9	4,8	36,7
-2,52	806,1	9,6	48,2	5,0	38,6
-2,54	819,4	9,6	49,0	5,1	39,2

-2,56	827,5	9,7	49,5	5,1	39,6
-2,58	875,7	9,7	52,5	5,4	42,0
-2,6	907,8	9,8	54,5	5,6	43,6
-2,62	875,7	9,9	52,5	5,3	42,0
-2,64	886,4	9,9	53,1	5,4	42,5
-2,66	835,5	10,0	49,9	5,0	39,9
-2,68	846,2	10,0	50,6	5,0	40,5
-2,7	819,4	10,1	48,9	4,8	39,1
-2,72	760,5	10,2	45,2	4,4	36,2
-2,74	782,0	10,2	46,5	4,6	37,2
-2,76	803,4	10,3	47,8	4,7	38,3
-2,78	782,0	10,3	46,5	4,5	37,2
-2,8	787,3	10,4	46,8	4,5	37,4
-2,82	792,7	10,5	47,1	4,5	37,7
-2,84	784,6	10,5	46,6	4,4	37,3
-2,86	757,9	10,6	44,9	4,2	35,9
-2,88	704,3	10,6	41,6	3,9	33,2
-2,9	594,5	10,7	34,7	3,2	27,7
-2,92	581,1	10,8	33,8	3,1	27,1
-2,94	599,9	10,8	35,0	3,2	28,0
-2,96	696,3	10,9	41,0	3,8	32,8
-2,98	856,9	10,9	51,0	4,7	40,8
-3	988,2	11,0	59,2	5,4	47,4
-3,02	1049,7	11,1	63,0	5,7	50,4
-3,04	1130,1	11,1	68,0	6,1	54,4
-3,06	1191,7	11,2	71,9	6,4	57,5
-3,08	1218,5	11,2	73,5	6,5	58,8
-3,1	1272,0	11,3	76,9	6,8	61,5
-3,12	1095,3	11,4	65,8	5,8	52,6
-3,14	1424,7	11,4	86,4	7,6	69,1
-3,16	1491,6	11,5	90,5	7,9	72,4
-3,18	1571,9	11,5	95,5	8,3	76,4
-3,2	1622,8	11,6	98,7	8,5	79,0
-3,22	1646,9	11,7	100,2	8,6	80,2
-3,24	1703,2	11,7	103,7	8,8	83,0
-3,26	1829,0	11,8	111,5	9,5	89,2
-3,28	1684,4	11,8	102,5	8,7	82,0
-3,3	1577,3	11,9	95,8	8,0	76,6
-3,32	1416,6	12,0	85,7	7,2	68,6
-3,34	1116,7	12,0	67,0	5,6	53,6
-3,36	765,9	12,1	45,0	3,7	36,0
-3,38	666,8	12,1	38,8	3,2	31,0
-3,4	522,2	12,2	29,7	2,4	23,8

-3,42	524,9	12,3	29,9	2,4	23,9
-3,44	613,2	12,3	35,4	2,9	28,3
-3,46	690,9	12,4	40,2	3,3	32,2
-3,48	749,8	12,4	43,9	3,5	35,1
-3,5	843,5	12,5	49,8	4,0	39,8
-3,52	902,5	12,6	53,4	4,3	42,7
-3,54	937,3	12,6	55,6	4,4	44,5
-3,56	1006,9	12,7	59,9	4,7	47,9
-3,58	1084,6	12,7	64,8	5,1	51,8
-3,6	1194,4	12,8	71,6	5,6	57,3
-3,62	1357,7	12,9	81,8	6,4	65,4
-3,64	1376,5	12,9	82,9	6,4	66,4
-3,66	1170,3	13,0	70,0	5,4	56,0
-3,68	985,5	13,0	58,5	4,5	46,8
-3,7	921,2	13,1	54,4	4,2	43,6
-3,72	950,7	13,2	56,3	4,3	45,0
-3,74	1025,6	13,2	60,9	4,6	48,8
-3,76	1108,7	13,3	66,1	5,0	52,9
-3,78	1063,1	13,3	63,2	4,7	50,6
-3,8	921,2	13,4	54,4	4,1	43,5
-3,82	897,1	13,5	52,8	3,9	42,3
-3,84	905,1	13,5	53,3	3,9	42,7
-3,86	859,6	13,6	50,5	3,7	40,4
-3,88	795,3	13,6	46,4	3,4	37,1
-3,9	650,7	13,7	37,4	2,7	29,9
-3,92	522,2	13,8	29,3	2,1	23,5
-3,94	532,9	13,8	30,0	2,2	24,0
-3,96	562,4	13,9	31,8	2,3	25,4
-3,98	479,4	13,9	26,6	1,9	21,3
-4	455,3	14,0	25,1	1,8	20,1
-11,02	17987,6	85,2	1112,0	13,0	889,6
-11,04	14677,7	85,4	905,1	10,6	724,1
-11,06	11590,0	85,7	712,1	8,3	569,7
-11,08	9003,2	85,9	550,4	6,4	440,3
-11,1	7302,7	86,1	444,1	5,2	355,3
-11,12	6949,2	86,3	422,0	4,9	337,6
-11,14	7289,3	86,5	443,2	5,1	354,6
-11,16	6531,4	86,8	395,8	4,6	316,7
-11,18	5768,2	87,0	348,1	4,0	278,5
-11,2	6022,6	87,2	364,0	4,2	291,2
-11,22	5318,3	87,4	319,9	3,7	255,9
-11,24	4241,8	87,6	252,6	2,9	202,1
-11,26	5179,1	87,9	311,2	3,5	248,9

-11,28	5795,0	88,1	349,6	4,0	279,7
-11,3	4354,3	88,3	259,6	2,9	207,6
-11,32	2881,4	88,5	167,5	1,9	134,0
-11,34	2536,0	88,7	145,9	1,6	116,7
-11,36	2410,1	89,0	138,0	1,6	110,4
-11,38	2142,3	89,2	121,2	1,4	97,0
-11,4	1845,1	89,4	102,6	1,1	82,1
-11,42	1333,6	89,6	70,6	0,8	56,5
-11,44	1065,8	89,8	53,8	0,6	43,1
-11,46	1119,4	90,1	57,2	0,6	45,7
-11,48	1079,2	90,3	54,6	0,6	43,7
-11,5	1036,4	90,5	51,9	0,6	41,5
-11,52	1036,4	90,7	51,9	0,6	41,5
-11,54	1049,7	90,9	52,7	0,6	42,2
-11,56	1186,3	91,2	61,2	0,7	49,0
-11,58	1261,3	91,4	65,9	0,7	52,7
-11,6	1379,1	91,6	73,2	0,8	58,6
-11,62	2297,7	91,8	130,6	1,4	104,5
-11,64	5112,1	92,0	306,5	3,3	245,2
-11,66	7407,1	92,3	449,9	4,9	359,9
-11,68	8933,5	92,5	545,3	5,9	436,2
-11,7	10513,5	92,7	644,0	6,9	515,2
-11,72	11158,9	92,9	684,3	7,4	547,4
-11,74	11051,8	93,1	677,6	7,3	542,1
-11,76	10725,1	93,4	657,1	7,0	525,7
-11,78	10427,8	93,6	638,5	6,8	510,8
-11,8	10347,5	93,8	633,5	6,8	506,8
-11,82	10414,4	94,0	637,6	6,8	510,1
-11,84	10476,0	94,2	641,5	6,8	513,2
-11,86	10500,1	94,5	642,9	6,8	514,4
-11,88	10676,9	94,7	654,0	6,9	523,2
-11,9	11030,3	94,9	676,0	7,1	540,8
-11,92	11132,1	95,1	682,4	7,2	545,9
-11,94	11121,4	95,3	681,7	7,1	545,3
-11,96	11244,6	95,6	689,3	7,2	551,5
-11,98	11266,0	95,8	690,7	7,2	552,5
-12	10837,5	96,0	663,8	6,9	531,1
-14,02	11233,9	118,1	686,0	5,8	548,8
-14,04	11900,7	118,2	727,6	6,2	582,1
-14,06	12238,1	118,3	748,7	6,3	599,0
-14,08	12272,9	118,4	750,9	6,3	600,7
-14,1	11938,2	118,5	729,9	6,2	583,9
-14,12	11434,7	118,6	698,4	5,9	558,7

-14,14	11100,0	118,7	677,5	5,7	542,0
-14,16	10872,3	118,8	663,2	5,6	530,6
-14,18	10824,1	118,9	660,2	5,6	528,2
-14,2	10698,3	119,0	652,3	5,5	521,9
-14,22	10371,6	119,1	631,9	5,3	505,5
-14,24	9844,0	119,2	598,9	5,0	479,1
-14,26	8922,8	119,3	541,3	4,5	433,0
-14,28	7902,5	119,4	477,5	4,0	382,0
-14,3	6609,1	119,5	396,7	3,3	317,3
-14,32	5205,9	119,6	308,9	2,6	247,2
-14,34	4166,8	119,7	244,0	2,0	195,2
-14,36	3186,7	119,8	182,7	1,5	146,2
-14,38	2680,6	119,9	151,1	1,3	120,8
-14,4	2426,2	120,0	135,1	1,1	108,1
-14,42	2062,0	120,1	112,4	0,9	89,9
-14,44	1695,1	120,2	89,4	0,7	71,5
-14,46	1596,0	120,3	83,2	0,7	66,6
-14,48	1598,7	120,4	83,3	0,7	66,7
-14,5	1502,3	120,5	77,3	0,6	61,8
-14,52	1405,9	120,6	71,3	0,6	57,0
-14,54	1430,0	120,7	72,7	0,6	58,2
-14,56	1456,8	120,8	74,4	0,6	59,5
-14,58	1462,1	120,9	74,7	0,6	59,8
-14,6	1443,4	121,0	73,5	0,6	58,8
-14,62	1470,2	121,1	75,2	0,6	60,1
-14,64	1446,1	121,2	73,7	0,6	58,9
-14,66	1443,4	121,3	73,5	0,6	58,8
-14,68	1475,5	121,4	75,5	0,6	60,4
-14,7	1521,1	121,5	78,3	0,6	62,6
-14,72	1569,3	121,6	81,3	0,7	65,0
-14,74	1574,6	121,7	81,6	0,7	65,3
-14,76	1590,7	121,8	82,6	0,7	66,1
-14,78	1566,6	121,9	81,1	0,7	64,8
-14,8	1467,5	122,0	74,8	0,6	59,9
-14,82	1451,4	122,1	73,8	0,6	59,1
-14,84	1451,4	122,2	73,8	0,6	59,0
-14,86	1411,3	122,3	71,3	0,6	57,0
-14,88	1488,9	122,4	76,1	0,6	60,9
-14,9	1478,2	122,5	75,4	0,6	60,3
-14,92	1459,5	122,6	74,2	0,6	59,4
-14,94	1464,8	122,7	74,5	0,6	59,6
-14,96	1467,5	122,8	74,7	0,6	59,8
-14,98	1440,7	122,9	73,0	0,6	58,4

-15	1405,9	123,0	70,8	0,6	56,6
-15,02	1360,4	123,1	67,9	0,6	54,4
-15,04	1218,5	123,2	59,1	0,5	47,2
-15,06	1277,4	123,3	62,7	0,5	50,2
-15,08	1339,0	123,4	66,5	0,5	53,2
-15,1	1392,5	123,5	69,9	0,6	55,9
-15,12	1371,1	123,6	68,5	0,6	54,8
-15,14	1371,1	123,7	68,5	0,6	54,8
-15,16	1427,3	123,8	72,0	0,6	57,6
-15,18	1451,4	123,9	73,5	0,6	58,8
-15,2	1467,5	124,0	74,5	0,6	59,6
-15,22	1491,6	124,1	76,0	0,6	60,8
-15,24	1454,1	124,2	73,6	0,6	58,9
-15,26	1470,2	124,3	74,6	0,6	59,7
-15,28	1467,5	124,4	74,4	0,6	59,5
-15,3	1478,2	124,5	75,0	0,6	60,0
-15,32	1448,8	124,6	73,2	0,6	58,5
-15,34	1443,4	124,7	72,8	0,6	58,3
-15,36	1451,4	124,8	73,3	0,6	58,7
-15,38	1454,1	124,9	73,5	0,6	58,8
-15,4	1475,5	125,0	74,8	0,6	59,8
-15,42	1502,3	125,1	76,4	0,6	61,2
-15,44	1497,0	125,2	76,1	0,6	60,9
-15,46	1486,2	125,3	75,4	0,6	60,3
-15,48	1491,6	125,4	75,7	0,6	60,6
-15,5	1475,5	125,5	74,7	0,6	59,8
-15,52	1480,9	125,6	75,0	0,6	60,0
-15,54	1483,6	125,7	75,2	0,6	60,1
-15,56	1462,1	125,8	73,8	0,6	59,0
-15,58	1486,2	125,9	75,3	0,6	60,2
-15,6	1472,9	126,0	74,4	0,6	59,5
-15,62	1491,6	126,1	75,6	0,6	60,5
-15,64	1475,5	126,2	74,6	0,6	59,6
-15,66	1488,9	126,3	75,4	0,6	60,3
-15,68	1518,4	126,4	77,2	0,6	61,8
-15,7	1523,7	126,5	77,5	0,6	62,0
-15,72	1454,1	126,6	73,1	0,6	58,5
-15,74	1521,1	126,7	77,3	0,6	61,8
-15,76	1534,5	126,8	78,1	0,6	62,5
-15,78	1521,1	126,9	77,3	0,6	61,8
-15,8	1475,5	127,0	74,4	0,6	59,5
-15,82	1483,6	127,1	74,9	0,6	59,9
-15,84	1480,9	127,2	74,7	0,6	59,8

-15,86	1464,8	127,3	73,7	0,6	58,9
-15,88	1470,2	127,4	74,0	0,6	59,2
-15,9	1446,1	127,5	72,5	0,6	58,0
-15,92	1446,1	127,6	72,5	0,6	58,0
-15,94	1470,2	127,7	73,9	0,6	59,2
-15,96	1443,4	127,8	72,3	0,6	57,8
-15,98	1467,5	127,9	73,7	0,6	59,0
-16	1462,1	128,0	73,4	0,6	58,7
-16,02	1467,5	128,2	73,7	0,6	59,0
-16,04	1523,7	128,4	77,2	0,6	61,7
-16,06	1515,7	128,5	76,7	0,6	61,3
-16,08	1542,5	128,7	78,3	0,6	62,6
-16,1	1563,9	128,9	79,6	0,6	63,7
-16,12	1555,9	129,1	79,1	0,6	63,3
-16,14	1606,8	129,3	82,3	0,6	65,8
-16,16	1571,9	129,4	80,1	0,6	64,0
-16,18	1569,3	129,6	79,9	0,6	63,9
-16,2	1577,3	129,8	80,3	0,6	64,3
-16,22	1628,2	130,0	83,5	0,6	66,8
-16,24	1596,0	130,2	81,5	0,6	65,2
-16,26	1577,3	130,3	80,3	0,6	64,2
-16,28	1537,1	130,5	77,7	0,6	62,2
-16,3	1580,0	130,7	80,4	0,6	64,3
-16,32	1571,9	130,9	79,9	0,6	63,9
-16,34	1569,3	131,1	79,7	0,6	63,7
-16,36	1580,0	131,2	80,3	0,6	64,3
-16,38	1571,9	131,4	79,8	0,6	63,8
-16,4	1531,8	131,6	77,3	0,6	61,8
-16,42	1467,5	131,8	73,2	0,6	58,6
-16,44	1470,2	132,0	73,4	0,6	58,7
-16,46	1403,2	132,1	69,2	0,5	55,3
-16,48	1395,2	132,3	68,6	0,5	54,9
-16,5	1438,0	132,5	71,3	0,5	57,0
-16,52	1521,1	132,7	76,4	0,6	61,2
-16,54	1614,8	132,9	82,3	0,6	65,8
-16,56	1842,4	133,0	96,5	0,7	77,2
-16,58	2217,3	133,2	119,9	0,9	95,9
-16,6	2244,1	133,4	121,5	0,9	97,2
-16,62	2380,7	133,6	130,1	1,0	104,0
-16,64	2490,5	133,8	136,9	1,0	109,5
-16,66	2546,7	133,9	140,4	1,0	112,3
-16,68	2694,0	134,1	149,6	1,1	119,7
-16,7	3031,4	134,3	170,6	1,3	136,5

-16,72	3363,5	134,5	191,4	1,4	153,1
-16,74	3813,4	134,7	219,5	1,6	175,6
-16,76	4255,2	134,8	247,0	1,8	197,6
-16,78	4207,0	135,0	244,0	1,8	195,2
-16,8	3971,4	135,2	229,3	1,7	183,4
-16,82	4107,9	135,4	237,8	1,8	190,2
-16,84	4338,2	135,6	252,1	1,9	201,7
-16,86	4357,0	135,7	253,3	1,9	202,6
-16,88	4032,9	135,9	233,0	1,7	186,4
-16,9	3800,0	136,1	218,4	1,6	174,7
-16,92	3733,0	136,3	214,2	1,6	171,4
-16,94	3818,7	136,5	219,6	1,6	175,6
-16,96	3947,3	136,6	227,6	1,7	182,1
-16,98	4989,0	136,8	292,6	2,1	234,1
-17	6333,3	137,0	376,6	2,7	301,3
-17,02	6713,5	137,2	400,4	2,9	320,3
-17,04	5985,2	137,4	354,8	2,6	283,9
-17,06	5559,4	137,7	328,2	2,4	262,6
-17,08	5323,7	137,9	313,4	2,3	250,8
-17,1	5468,3	138,1	322,5	2,3	258,0
-17,12	5548,7	138,3	327,4	2,4	262,0
-17,14	5267,5	138,5	309,8	2,2	247,9
-17,16	4863,1	138,8	284,5	2,1	227,6
-17,18	4343,6	139,0	252,1	1,8	201,6
-17,2	4019,6	139,2	231,8	1,7	185,4
-17,22	3593,8	139,4	205,1	1,5	164,1
-17,24	3277,8	139,6	185,4	1,3	148,3
-17,26	3036,8	139,9	170,3	1,2	136,2
-17,28	3176,0	140,1	178,9	1,3	143,2
-17,3	3644,7	140,3	208,2	1,5	166,6
-17,32	4102,6	140,5	236,8	1,7	189,4
-17,34	3767,8	140,7	215,9	1,5	172,7
-17,36	3446,5	141,0	195,7	1,4	156,6
-17,38	3363,5	141,2	190,5	1,3	152,4
-17,4	3288,5	141,4	185,8	1,3	148,7
-17,42	3441,1	141,6	195,3	1,4	156,3
-17,44	3518,8	141,8	200,2	1,4	160,1
-17,46	3612,5	142,1	206,0	1,5	164,8
-17,48	4099,9	142,3	236,4	1,7	189,1
-17,5	4193,6	142,5	242,3	1,7	193,8
-17,52	4557,8	142,7	265,0	1,9	212,0
-17,54	4440,0	142,9	257,6	1,8	206,1
-17,56	3232,3	143,2	182,1	1,3	145,7

-17,58	3106,4	143,4	174,2	1,2	139,4
-17,6	3039,4	143,6	170,0	1,2	136,0
-17,62	2961,8	143,8	165,1	1,1	132,1
-17,64	2940,4	144,0	163,7	1,1	131,0
-17,66	3789,3	144,3	216,8	1,5	173,4
-17,68	3845,5	144,5	220,3	1,5	176,2
-17,7	4236,5	144,7	244,7	1,7	195,7
-17,72	6408,3	144,9	380,4	2,6	304,3
-17,74	8577,4	145,1	515,9	3,6	412,7
-17,76	7792,7	145,4	466,9	3,2	373,5
-17,78	7069,7	145,6	421,6	2,9	337,3
-17,8	6804,6	145,8	405,0	2,8	324,0
-17,82	6025,3	146,0	356,3	2,4	285,1
-17,84	5457,6	146,2	320,8	2,2	256,6
-17,86	5355,8	146,5	314,4	2,1	251,5
-17,88	6512,7	146,7	386,7	2,6	309,4
-17,9	9546,8	146,9	576,3	3,9	461,0
-17,92	13577,0	147,1	828,2	5,6	662,5
-17,94	12645,1	147,3	769,9	5,2	615,9
-17,96	10264,5	147,6	621,1	4,2	496,9
-17,98	8853,2	147,8	532,9	3,6	426,3
-18	7549,1	148,0	451,3	3,0	361,1
-18,02	6153,9	148,2	364,1	2,5	291,3
-18,04	5283,5	148,4	309,7	2,1	247,7
-18,06	5610,2	148,5	330,1	2,2	264,1
-18,08	6100,3	148,7	360,7	2,4	288,5
-18,1	8264,1	148,9	495,9	3,3	396,7
-18,12	9354,0	149,1	564,0	3,8	451,2
-18,14	8871,9	149,3	533,8	3,6	427,1
-18,16	8098,0	149,4	485,4	3,2	388,3
-18,18	7755,3	149,6	464,0	3,1	371,2
-18,2	7286,6	149,8	434,7	2,9	347,7
-18,22	7053,6	150,0	420,1	2,8	336,1
-18,24	6204,7	150,2	367,0	2,4	293,6
-18,26	6028,0	150,3	355,9	2,4	284,8
-18,28	7878,4	150,5	471,6	3,1	377,3
-18,3	10497,4	150,7	635,2	4,2	508,2
-18,32	10730,4	150,9	649,8	4,3	519,8
-18,34	8880,0	151,1	534,1	3,5	427,3
-18,36	8922,8	151,2	536,7	3,5	429,4
-18,38	12843,3	151,4	781,8	5,2	625,4
-18,4	16311,2	151,6	998,5	6,6	798,8
-18,42	17382,4	151,8	1065,4	7,0	852,3

-18,44	15740,8	152,0	962,8	6,3	770,2
-18,46	13681,5	152,1	834,0	5,5	667,2
-18,48	11557,9	152,3	701,3	4,6	561,0
-18,5	10679,5	152,5	646,4	4,2	517,1
-18,52	9495,9	152,7	572,4	3,7	457,9
-18,54	8526,5	152,9	511,8	3,3	409,4
-18,56	8274,8	153,0	496,0	3,2	396,8
-18,58	8178,4	153,2	490,0	3,2	392,0
-18,6	7776,7	153,4	464,8	3,0	371,9
-18,62	7425,9	153,6	442,9	2,9	354,3
-18,64	7203,6	153,8	429,0	2,8	343,2
-18,66	7123,3	153,9	423,9	2,8	339,1
-18,68	7283,9	154,1	433,9	2,8	347,2
-18,7	7498,2	154,3	447,3	2,9	357,8
-18,72	7790,1	154,5	465,5	3,0	372,4
-18,74	7733,8	154,7	462,0	3,0	369,6
-18,76	7945,4	154,8	475,2	3,1	380,1
-18,78	7752,6	155,0	463,1	3,0	370,5
-18,8	7674,9	155,2	458,2	3,0	366,6
-18,82	7763,3	155,4	463,7	3,0	371,0
-18,84	8090,0	155,6	484,1	3,1	387,3
-18,86	8398,0	155,7	503,4	3,2	402,7
-18,88	8569,3	155,9	514,0	3,3	411,2
-18,9	8290,8	156,1	496,6	3,2	397,3
-18,92	7685,6	156,3	458,8	2,9	367,0
-18,94	7340,2	156,5	437,1	2,8	349,7
-18,96	7018,8	156,6	417,0	2,7	333,6
-18,98	6812,6	156,8	404,1	2,6	323,3
-19	6809,9	157,0	403,9	2,6	323,1
-19,02	6879,6	157,2	408,3	2,6	326,6
-19,04	6793,9	157,4	402,9	2,6	322,3
-19,06	6344,0	157,7	374,7	2,4	299,8
-19,08	6215,5	157,9	366,7	2,3	293,3
-19,1	6491,3	158,1	383,9	2,4	307,1
-19,12	6868,9	158,3	407,5	2,6	326,0
-19,14	7211,6	158,5	428,9	2,7	343,1
-19,16	7964,1	158,8	475,9	3,0	380,7
-19,18	8853,2	159,0	531,4	3,3	425,1
-19,2	9458,4	159,2	569,2	3,6	455,4
-19,22	9720,8	159,4	585,6	3,7	468,5
-19,24	10020,8	159,6	604,3	3,8	483,4
-19,26	10936,6	159,9	661,5	4,1	529,2
-19,28	11906,0	160,1	722,1	4,5	577,7

-19,3	11306,2	160,3	684,6	4,3	547,6
-19,32	11330,3	160,5	686,0	4,3	548,8
-19,34	10778,6	160,7	651,5	4,1	521,2
-19,36	9734,2	161,0	586,2	3,6	469,0
-19,38	9016,6	161,2	541,3	3,4	433,1
-19,4	8647,0	161,4	518,2	3,2	414,6
-19,42	8467,6	161,6	507,0	3,1	405,6
-19,44	8545,2	161,8	511,8	3,2	409,4
-19,46	8331,0	162,1	498,4	3,1	398,7
-19,48	7669,6	162,3	457,0	2,8	365,6
-19,5	7144,7	162,5	424,2	2,6	339,4
-19,52	6135,1	162,7	361,1	2,2	288,9
-19,54	6287,8	162,9	370,6	2,3	296,5
-19,56	6279,7	163,2	370,1	2,3	296,0
-19,58	6204,7	163,4	365,3	2,2	292,3
-19,6	6563,6	163,6	387,7	2,4	310,2
-19,62	7404,4	163,8	440,3	2,7	352,2
-19,64	8724,7	164,0	522,8	3,2	418,2
-19,66	9113,0	164,3	547,0	3,3	437,6
-19,68	8598,8	164,5	514,8	3,1	411,9
-19,7	8515,8	164,7	509,6	3,1	407,7
-19,72	8502,4	164,9	508,8	3,1	407,0
-19,74	7894,5	165,1	470,7	2,9	376,6
-19,76	7091,1	165,4	420,5	2,5	336,4
-19,78	6330,6	165,6	373,0	2,3	298,4
-19,8	5920,9	165,8	347,3	2,1	277,9
-19,82	5754,8	166,0	336,9	2,0	269,5
-19,84	5621,0	166,2	328,5	2,0	262,8
-19,86	5238,0	166,5	304,6	1,8	243,6
-19,88	5165,7	166,7	300,0	1,8	240,0
-19,9	5187,1	166,9	301,3	1,8	241,1
-19,92	5414,8	167,1	315,5	1,9	252,4
-19,94	6199,4	167,3	364,5	2,2	291,6
-19,96	7270,6	167,6	431,5	2,6	345,2
-19,98	8456,9	167,8	505,6	3,0	404,5
-20	9220,1	168,0	553,3	3,3	442,6

**APÊNDICE B – Estimativa do ângulo de atrito interno do solo a partir do
ensaio CPT**

Nível (m/TN)	Ø' (°)		
	Lancellotta (2009)	Jamiolkowski (2004)	Mayne (2006)
-4,02	27,3	24,6	35,1
-4,04	28,2	25,4	36,1
-4,06	29,0	26,2	37,0
-4,08	29,3	26,5	37,3
-4,1	29,2	26,3	37,1
-4,12	29,4	26,6	37,4
-4,14	29,3	26,5	37,2
-4,16	29,1	26,3	37,0
-4,18	28,7	25,9	36,4
-4,2	28,9	26,1	36,7
-4,22	29,0	26,2	36,7
-4,24	28,9	26,1	36,6
-4,26	28,3	25,5	35,9
-4,28	27,4	24,8	34,8
-4,3	26,7	24,1	33,8
-4,32	26,3	23,7	33,2
-4,34	26,6	24,0	33,5
-4,36	27,2	24,6	34,4
-4,38	27,5	24,8	34,7
-4,4	27,5	24,8	34,7
-4,42	27,1	24,5	34,2
-4,44	27,4	24,7	34,4
-4,46	27,5	24,8	34,5
-4,48	27,5	24,8	34,5
-4,5	27,6	24,9	34,6
-4,52	27,4	24,7	34,3
-4,54	27,3	24,6	34,2
-4,56	27,1	24,5	33,9
-4,58	26,9	24,2	33,6
-4,6	26,6	24,0	33,2
-4,62	25,3	22,8	31,1
-4,64	24,2	21,8	29,3
-4,66	24,0	21,7	28,9
-4,68	24,8	22,4	30,3
-4,7	27,1	24,5	33,7
-4,72	29,5	26,6	36,5
-4,74	30,3	27,3	37,3
-4,76	29,7	26,8	36,7
-4,78	29,8	26,9	36,7
-4,8	30,9	27,9	37,8

-4,82	31,5	28,5	38,4
-4,84	31,2	28,1	38,0
-4,86	31,6	28,5	38,4
-4,88	32,2	29,0	38,8
-4,9	32,5	29,3	39,1
-4,92	32,4	29,3	39,0
-4,94	32,8	29,6	39,3
-4,96	33,8	30,5	40,0
-4,98	33,5	30,2	39,8
-5	33,1	29,8	39,4
-5,02	32,7	29,5	39,2
-5,04	32,9	29,7	39,3
-5,06	33,4	30,1	39,6
-5,08	33,6	30,4	39,8
-5,1	33,8	30,5	39,9
-5,12	34,0	30,7	40,1
-5,14	34,1	30,8	40,1
-5,16	34,1	30,8	40,1
-5,18	34,2	30,9	40,1
-5,2	34,5	31,1	40,3
-5,22	34,7	31,4	40,5
-5,24	34,8	31,4	40,5
-5,26	34,3	31,0	40,1
-5,28	33,8	30,5	39,7
-5,3	33,5	30,3	39,5
-5,32	33,3	30,0	39,3
-5,34	33,3	30,1	39,3
-5,36	33,4	30,2	39,3
-5,38	33,5	30,2	39,4
-5,4	33,7	30,4	39,5
-5,42	33,7	30,5	39,5
-5,44	33,3	30,0	39,2
-5,46	32,4	29,3	38,4
-5,48	32,7	29,5	38,7
-5,5	32,7	29,5	38,6
-5,52	31,6	28,5	37,7
-5,54	31,8	28,7	37,8
-5,56	32,0	28,9	38,0
-5,58	32,2	29,1	38,1
-5,6	32,6	29,5	38,5
-5,62	32,7	29,5	38,5
-5,64	32,4	29,2	38,2
-5,66	31,7	28,6	37,6

-5,68	30,5	27,5	36,5
-5,7	32,3	29,1	38,1
-5,72	34,0	30,7	39,4
-5,74	34,6	31,2	39,9
-5,76	33,4	30,2	39,0
-5,78	34,1	30,8	39,5
-5,8	34,2	30,9	39,5
-5,82	33,9	30,6	39,3
-5,84	35,3	31,9	40,3
-5,86	35,9	32,5	40,7
-5,88	36,6	33,0	41,1
-5,9	37,5	33,9	41,7
-5,92	37,7	34,1	41,8
-5,94	38,3	34,6	42,1
-5,96	37,7	34,1	41,8
-5,98	37,3	33,7	41,5
-6	36,7	33,2	41,1
-6,02	35,7	32,3	40,5
-6,04	35,8	32,3	40,5
-6,06	35,9	32,5	40,6
-6,08	35,1	31,7	40,0
-6,1	33,9	30,6	39,1
-6,12	34,1	30,7	39,2
-6,14	34,5	31,2	39,5
-6,16	34,3	31,0	39,4
-6,18	31,8	28,7	37,2
-6,2	38,4	34,7	42,0
-6,22	38,4	34,7	42,0
-6,24	37,6	34,0	41,5
-6,26	35,7	32,2	40,3
-6,28	34,7	31,4	39,6
-6,3	34,3	30,9	39,2
-6,32	33,7	30,4	38,7
-6,34	33,1	29,9	38,3
-6,36	33,0	29,8	38,2
-6,38	32,9	29,7	38,0
-6,4	32,2	29,0	37,4
-6,42	31,6	28,5	36,9
-6,44	31,3	28,2	36,6
-6,46	31,2	28,2	36,5
-6,48	31,1	28,1	36,4
-6,5	31,2	28,2	36,5
-6,52	31,2	28,2	36,4

-6,54	31,4	28,3	36,6
-6,56	31,6	28,5	36,7
-6,58	31,9	28,8	37,1
-6,6	32,4	29,3	37,5
-6,62	32,7	29,5	37,7
-6,64	32,6	29,4	37,6
-6,66	32,4	29,3	37,5
-6,68	32,3	29,2	37,4
-6,7	32,1	29,0	37,2
-6,72	32,2	29,0	37,2
-6,74	32,4	29,2	37,3
-6,76	32,3	29,1	37,3
-6,78	32,5	29,3	37,4
-6,8	32,5	29,4	37,5
-6,82	32,3	29,1	37,2
-6,84	31,9	28,8	36,9
-6,86	31,7	28,6	36,6
-6,88	31,3	28,2	36,2
-6,9	30,8	27,8	35,8
-6,92	30,5	27,6	35,5
-6,94	30,1	27,1	35,0
-6,96	30,1	27,2	35,0
-6,98	30,6	27,6	35,6
-7	31,4	28,4	36,3
-7,02	32,0	28,9	36,8
-7,04	32,4	29,2	37,2
-7,06	32,2	29,1	37,0
-7,08	31,9	28,8	36,7
-7,1	31,6	28,6	36,4
-7,12	31,5	28,5	36,3
-7,14	31,9	28,7	36,6
-7,16	32,4	29,2	37,1
-7,18	32,6	29,4	37,2
-7,2	32,9	29,7	37,5
-7,22	34,5	31,1	38,7
-7,24	36,3	32,8	40,0
-7,26	38,0	34,3	41,0
-7,28	38,3	34,6	41,2
-7,3	39,4	35,6	41,8
-7,32	40,4	36,6	42,4
-7,34	41,8	37,9	43,1
-7,36	42,8	38,8	43,5
-7,38	43,5	39,4	43,8

-7,4	44,0	39,9	44,0
-7,42	44,4	40,3	44,2
-7,44	44,9	40,7	44,3
-7,46	45,1	40,9	44,4
-7,48	45,1	40,9	44,4
-7,5	45,0	40,8	44,4
-7,52	44,8	40,7	44,3
-7,54	44,8	40,6	44,3
-7,56	44,8	40,7	44,3
-7,58	45,0	40,8	44,3
-7,6	45,4	41,2	44,5
-7,62	45,6	41,4	44,5
-7,64	45,6	41,4	44,5
-7,66	45,3	41,1	44,4
-7,68	45,0	40,9	44,3
-7,7	44,7	40,6	44,1
-7,72	44,6	40,4	44,1
-7,74	44,6	40,4	44,1
-7,76	44,8	40,6	44,1
-7,78	45,1	40,9	44,2
-7,8	45,3	41,1	44,3
-7,82	45,1	40,9	44,2
-7,84	45,0	40,8	44,2
-7,86	45,0	40,8	44,2
-7,88	45,0	40,9	44,2
-7,9	45,0	40,9	44,2
-7,92	45,1	40,9	44,2
-7,94	45,3	41,1	44,2
-7,96	45,8	41,6	44,4
-7,98	46,9	42,6	44,9
-8	48,2	43,8	45,3
-8,02	49,3	44,8	45,7
-8,04	50,2	45,7	46,0
-8,06	51,1	46,6	46,2
-8,08	51,7	47,1	46,4
-8,1	52,3	47,7	46,6
-8,12	52,9	48,3	46,8
-8,14	53,3	48,7	46,9
-8,16	53,6	49,0	47,0
-8,18	53,9	49,2	47,0
-8,2	54,0	49,3	47,0
-8,22	54,0	49,4	47,0
-8,24	54,0	49,4	47,0

-8,26	52,2	47,6	46,5
-8,28	52,4	47,9	46,6
-8,3	54,0	49,3	47,0
-8,32	54,7	50,0	47,2
-8,34	55,4	50,7	47,4
-8,36	56,3	51,6	47,6
-8,38	57,0	52,2	47,8
-8,4	57,4	52,7	47,9
-8,42	57,8	53,1	48,0
-8,44	58,1	53,3	48,0
-8,46	58,0	53,3	48,0
-8,48	57,9	53,1	48,0
-8,5	57,6	52,9	47,9
-8,52	57,7	52,9	47,9
-8,54	57,7	52,9	47,9
-8,56	57,7	52,9	47,9
-8,58	57,8	53,1	47,9
-8,6	58,1	53,4	48,0
-8,62	58,6	53,8	48,1
-8,64	59,0	54,2	48,2
-8,66	59,4	54,6	48,3
-8,68	59,7	54,9	48,3
-8,7	59,9	55,0	48,3
-8,72	60,1	55,3	48,4
-8,74	60,2	55,4	48,4
-8,76	60,4	55,5	48,4
-8,78	59,9	55,0	48,3
-8,8	60,8	55,9	48,5
-8,82	60,9	56,1	48,6
-8,84	61,0	56,2	48,6
-8,86	61,1	56,3	48,6
-8,88	61,2	56,3	48,6
-8,9	61,2	56,3	48,6
-8,92	61,1	56,3	48,6
-8,94	60,9	56,1	48,5
-8,96	60,7	55,9	48,4
-8,98	60,4	55,6	48,4
-9	60,1	55,3	48,3
-9,02	59,8	55,0	48,2
-9,04	59,5	54,7	48,1
-9,06	59,1	54,3	48,0
-9,08	58,8	54,0	48,0
-9,1	58,6	53,8	47,9

-9,12	58,4	53,6	47,8
-9,14	58,3	53,5	47,8
-9,16	58,2	53,4	47,8
-9,18	57,9	53,1	47,7
-9,2	57,5	52,8	47,6
-9,22	56,9	52,1	47,4
-9,24	56,5	51,8	47,3
-9,26	56,3	51,5	47,2
-9,28	56,0	51,2	47,1
-9,3	55,7	51,0	47,1
-9,32	55,4	50,7	47,0
-9,34	55,1	50,4	46,9
-9,36	54,7	50,0	46,8
-9,38	54,2	49,5	46,6
-9,4	52,6	48,0	46,1
-9,42	53,3	48,7	46,4
-9,44	53,6	49,0	46,4
-9,46	53,8	49,2	46,5
-9,48	54,0	49,4	46,5
-9,5	54,1	49,4	46,6
-9,52	54,1	49,5	46,6
-9,54	54,0	49,3	46,5
-9,56	53,7	49,0	46,4
-9,58	53,4	48,7	46,3
-9,6	53,2	48,5	46,2
-9,62	53,1	48,5	46,2
-9,64	53,1	48,5	46,2
-9,66	52,8	48,2	46,1
-9,68	52,4	47,8	46,0
-9,7	52,0	47,4	45,9
-9,72	51,6	47,0	45,7
-9,74	51,1	46,5	45,5
-9,76	50,2	45,7	45,2
-9,78	49,3	44,8	44,9
-9,8	48,6	44,2	44,7
-9,82	48,7	44,3	44,7
-9,84	50,2	45,7	45,2
-9,86	52,4	47,8	45,9
-9,88	53,9	49,2	46,4
-9,9	54,4	49,7	46,5
-9,92	54,4	49,7	46,5
-9,94	54,1	49,4	46,4
-9,96	53,8	49,2	46,3

-9,98	53,5	48,8	46,2
-10	53,1	48,5	46,1
-10,02	52,7	48,1	46,0
-10,04	52,3	47,7	45,8
-10,06	51,8	47,3	45,7
-10,08	51,4	46,9	45,5
-10,1	51,1	46,5	45,4
-10,12	50,7	46,2	45,3
-10,14	50,3	45,8	45,2
-10,16	49,8	45,3	45,0
-10,18	49,2	44,8	44,8
-10,2	48,5	44,1	44,5
-10,22	47,7	43,4	44,2
-10,24	47,0	42,7	43,9
-10,26	47,6	43,3	44,2
-10,28	50,4	45,9	45,1
-10,3	53,4	48,7	46,1
-10,32	55,6	50,9	46,7
-10,34	57,0	52,2	47,1
-10,36	57,5	52,8	47,2
-10,38	57,4	52,7	47,2
-10,4	57,2	52,5	47,1
-10,42	57,0	52,3	47,0
-10,44	56,9	52,2	47,0
-10,46	56,9	52,2	47,0
-10,48	56,9	52,1	47,0
-10,5	56,9	52,2	47,0
-10,52	56,8	52,0	47,0
-10,54	53,9	49,3	46,2
-10,56	55,8	51,1	46,7
-10,58	55,8	51,1	46,7
-10,6	55,7	51,0	46,6
-10,62	55,6	50,9	46,6
-10,64	55,5	50,8	46,6
-10,66	55,5	50,8	46,6
-10,68	55,6	50,8	46,6
-10,7	55,4	50,7	46,5
-10,72	55,2	50,6	46,5
-10,74	55,0	50,3	46,4
-10,76	54,4	49,8	46,2
-10,78	53,6	48,9	46,0
-10,8	52,2	47,7	45,6
-10,82	50,3	45,9	44,9

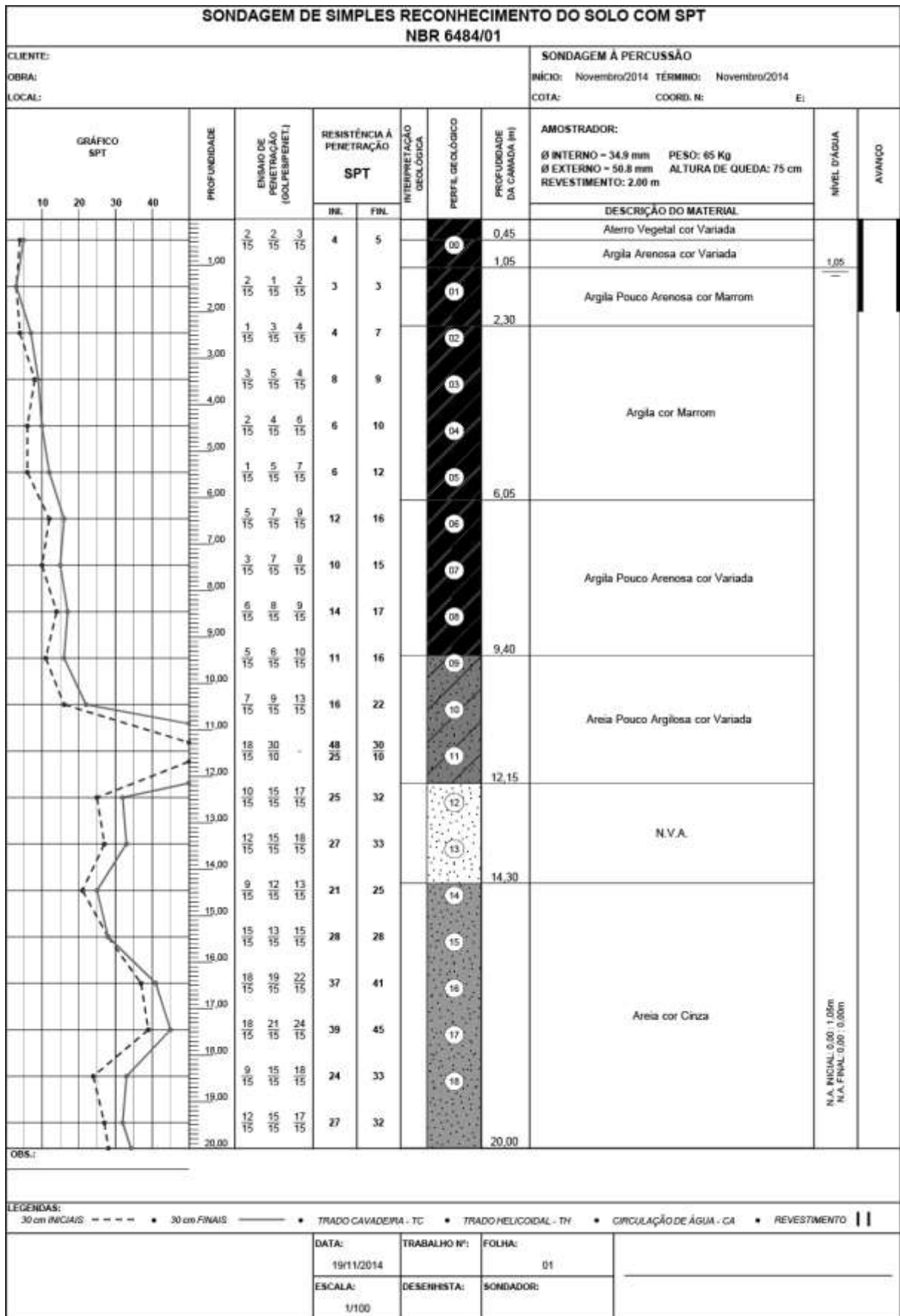
-10,84	47,8	43,5	44,1
-10,86	45,0	40,8	42,9
-10,88	42,1	38,1	41,6
-10,9	39,8	36,0	40,3
-10,92	38,1	34,4	39,3
-10,94	36,7	33,1	38,4
-10,96	36,3	32,8	38,1
-10,98	42,7	38,7	41,8
-11	48,3	43,9	44,2
-12,02	41,5	37,6	40,9
-12,04	40,7	36,8	40,4
-12,06	39,9	36,1	40,0
-12,08	39,7	35,9	39,9
-12,1	39,7	35,9	39,9
-12,12	39,6	35,9	39,9
-12,14	40,7	36,8	40,4
-12,16	42,5	38,5	41,3
-12,18	43,8	39,7	42,0
-12,2	44,8	40,6	42,4
-12,22	45,5	41,3	42,7
-12,24	45,6	41,4	42,8
-12,26	45,7	41,5	42,8
-12,28	45,8	41,6	42,8
-12,3	45,9	41,7	42,8
-12,32	45,9	41,6	42,8
-12,34	45,7	41,5	42,8
-12,36	45,4	41,2	42,6
-12,38	45,0	40,8	42,4
-12,4	44,4	40,3	42,2
-12,42	43,9	39,8	41,9
-12,44	43,1	39,1	41,6
-12,46	42,5	38,5	41,2
-12,48	42,1	38,2	41,1
-12,5	42,0	38,1	41,0
-12,52	41,9	37,9	40,9
-12,54	41,9	38,0	41,0
-12,56	41,9	38,0	41,0
-12,58	42,1	38,1	41,0
-12,6	42,2	38,2	41,1
-12,62	37,9	34,3	38,7
-12,64	41,6	37,7	40,8
-12,66	40,9	37,1	40,4
-12,68	39,6	35,8	39,6

-12,7	38,3	34,6	38,9
-12,72	37,0	33,4	38,0
-12,74	35,4	32,0	36,9
-12,76	35,3	31,9	36,8
-12,78	35,4	31,9	36,8
-12,8	35,9	32,4	37,2
-12,82	37,0	33,4	38,0
-12,84	37,9	34,3	38,6
-12,86	38,7	35,0	39,1
-12,88	39,6	35,9	39,6
-12,9	40,4	36,5	40,0
-12,92	41,3	37,4	40,5
-12,94	42,6	38,6	41,2
-12,96	43,7	39,7	41,7
-12,98	44,9	40,7	42,2
-13	46,4	42,1	42,8
-13,02	47,9	43,5	43,4
-13,04	48,9	44,5	43,8
-13,06	49,8	45,3	44,1
-13,08	50,5	46,0	44,4
-13,1	51,1	46,6	44,6
-13,12	51,7	47,1	44,8
-13,14	52,3	47,7	45,0
-13,16	52,7	48,1	45,1
-13,18	53,0	48,4	45,2
-13,2	53,2	48,6	45,2
-13,22	53,3	48,7	45,3
-13,24	53,4	48,7	45,3
-13,26	53,4	48,7	45,3
-13,28	53,2	48,6	45,2
-13,3	52,9	48,3	45,1
-13,32	52,6	48,0	45,0
-13,34	52,3	47,7	44,9
-13,36	51,9	47,3	44,8
-13,38	51,5	47,0	44,6
-13,4	51,6	47,0	44,6
-13,42	51,7	47,1	44,7
-13,44	51,7	47,1	44,7
-13,46	51,5	47,0	44,6
-13,48	51,0	46,4	44,4
-13,5	50,3	45,8	44,2
-13,52	49,5	45,1	43,9
-13,54	48,6	44,2	43,6

-13,56	47,8	43,5	43,3
-13,58	46,9	42,6	42,9
-13,6	45,7	41,5	42,4
-13,62	44,7	40,6	42,0
-13,64	43,9	39,8	41,6
-13,66	43,3	39,3	41,3
-13,68	43,0	39,0	41,2
-13,7	43,1	39,0	41,2
-13,72	44,1	40,0	41,7
-13,74	44,7	40,5	41,9
-13,76	45,1	40,9	42,1
-13,78	45,5	41,3	42,3
-13,8	45,6	41,4	42,3
-13,82	45,6	41,4	42,3
-13,84	45,4	41,2	42,2
-13,86	45,0	40,8	42,0
-13,88	44,3	40,2	41,7
-13,9	43,5	39,4	41,4
-13,92	42,5	38,5	40,9
-13,94	41,7	37,7	40,4
-13,96	41,1	37,2	40,2
-13,98	40,9	37,0	40,0
-14	41,1	37,2	40,1
-20,02	38,1	34,5	37,3
-20,04	38,1	34,4	37,3
-20,06	37,7	34,1	37,1
-20,08	37,2	33,6	36,7
-20,1	36,4	32,9	36,1
-20,12	35,7	32,2	35,6
-20,14	35,3	31,9	35,3
-20,16	35,0	31,6	35,0
-20,18	34,9	31,5	34,9
-20,2	35,4	32,0	35,3
-20,22	35,8	32,3	35,6
-20,24	36,2	32,7	36,0
-20,26	36,6	33,0	36,2
-20,28	37,5	33,9	36,9
-20,3	39,8	36,0	38,4
-20,32	41,7	37,8	39,4
-20,34	43,7	39,6	40,4
-20,36	45,4	41,2	41,2
-20,38	46,9	42,6	41,9
-20,4	47,8	43,4	42,2

-20,42	48,5	44,1	42,5
-20,44	49,1	44,7	42,7
-20,46	48,8	44,4	42,6
-20,48	49,7	45,2	42,9
-20,5	50,4	45,9	43,2
-20,52	51,0	46,5	43,4
-20,54	51,5	47,0	43,6
-20,56	52,0	47,4	43,7
-20,58	52,3	47,7	43,8
-20,6	52,8	48,2	44,0
-20,62	53,4	48,8	44,2
-20,64	54,1	49,5	44,4
-20,66	54,9	50,2	44,6
-20,68	56,0	51,3	44,9
-20,7	57,3	52,5	45,3
-20,72	58,4	53,6	45,6
-20,74	59,2	54,4	45,8
-20,76	59,9	55,1	46,0

ANEXO A – Sondagem SPT



Fundação sobre estacas hélice contínua para aerogerador em Viamão/RS: análise de métodos de previsão de capacidade de carga axial a partir de dados do SPT e CPT

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT										
NBR 6484/01					SONDAGEM À PERCUSSÃO					
CLIENTE:			SONDAGEM À PERCUSSÃO							
OBRA:			INÍCIO: Novembro/2014 TÉRMINO: Novembro/2014							
LOCAL:			COTA:			COORD. N:		E:		
GRÁFICO SPT	PROFUNDIDADE	ENSAIO DE PENETRAÇÃO (OLPES/PEMET)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO SPT		INTERPRETAÇÃO GEOLOGICA	PERFIL GEOLÓGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	AMOSTRADOR:	NÍVEL D'ÁGUA	AVANÇO
			INL.	FINL.				Ø INTERNO - 34,9 mm PESO: 65 Kg		
10 20 30 40								REVESTIMENTO: 2,00 m		
								DESCRÇÃO DO MATERIAL		
	21,00	12 15 17 15 19 15	29	36		19	20,10	Areia cor Cinza		
	22,00	9 15 12 15 14 15	21	26		20				
	23,00	7 15 10 15 12 15	17	22		21		N.V.A.		
	24,00	8 15 11 15 14 15	19	25		22				
	25,00	10 15 13 15 16 15	23	29		23				
	26,00	13 15 15 15 18 15	28	33		24	25,35			
	27,00	12 15 14 15 15 15	26	29		25				
	28,00	15 15 12 15 14 15	27	26		26		N.V.A.		
	29,00	18 15 19 15 23 15	37	42		27				
	30,00	20 15 23 15 25 15	43	48		28				
	31,00	22 15 24 15 26 15	46	50		29	31,00			
	32,00	20 15 22 15 24 15	42	46		30				
	33,00	23 15 24 15 27 15	47	51		31				
	34,00	22 15 26 15 25 15	48	51		32				
	35,00	24 15 28 15 29 15	52	57		33				
	36,00	26 15 30 15 30 15	56	60		34		N.V.A.		
	37,00	24 15 28 15 29 15	52	57		35				
	38,00	25 15 29 15 30 15	54	59		36				
	39,00	27 15 28 15 28 15	55	56		37				
	40,00	29 15 29 15 30 15	58	59						
OBS.:										
LEGENDAS:										
30 cm INICIAIS - - - - - 30 cm FINAIS - - - - - TRADO CAVADEIRA - TC - TRADO HELICOIDAL - TH - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA - REVESTIMENTO										
DATA:			TRABALHO Nº:		FOLHA:					
19/11/2014					01					
ESCALA:			DESENHISTA:		SONDADOR:					
1/100										

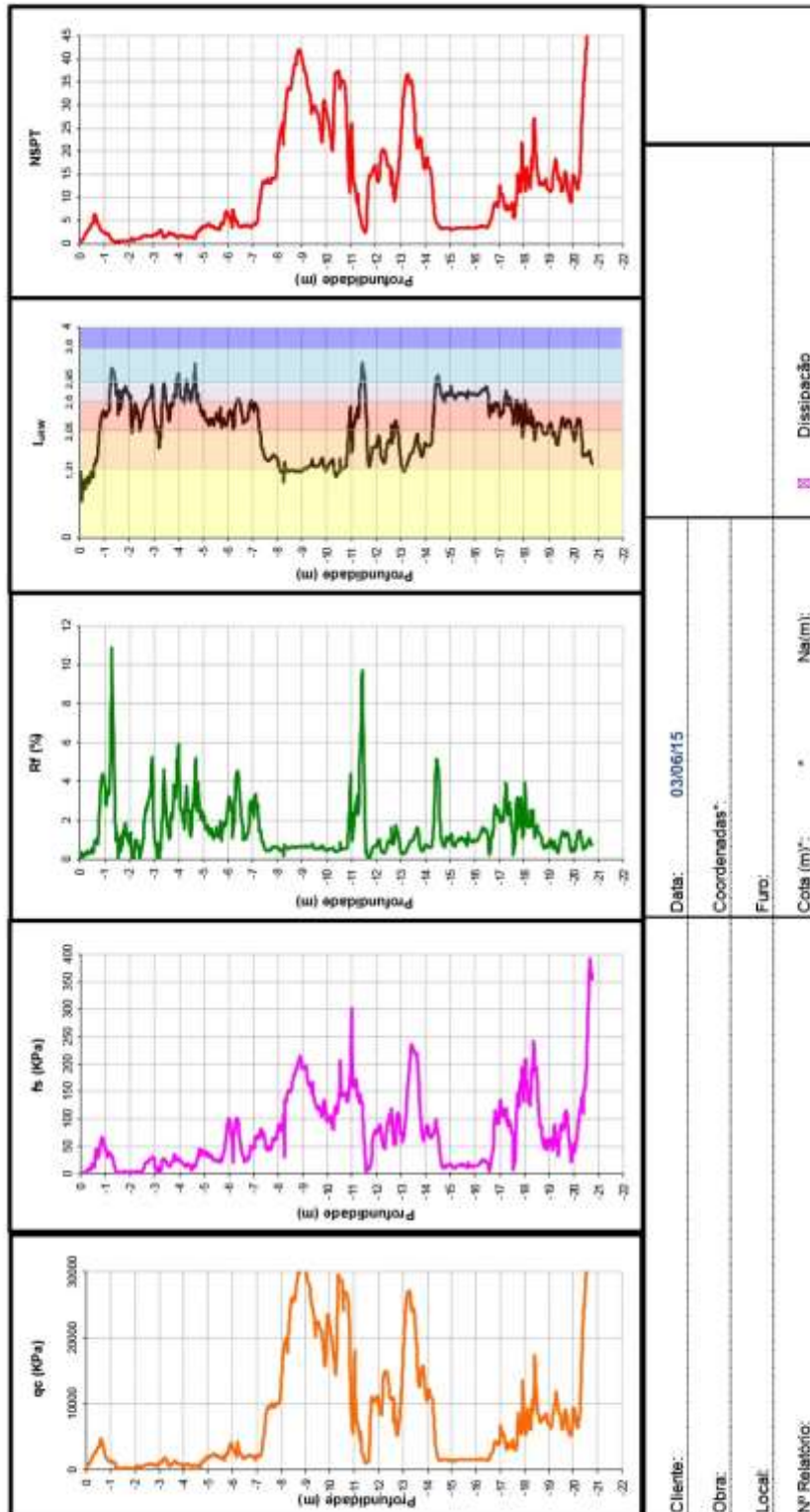
Sondagem SPT - s Trado - Rotativas - Ensaios Geotécnicos

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT										
NBR 6484/01					SONDAGEM À PERCUSSÃO					
CLIENTE:					INÍCIO: Novembro/2014					
OBRA:					TÉRMINO: Novembro/2014					
LOCAL:					CÓTA: COORD. N: E:					
GRÁFICO SPT	PROFUNDIDADE	ENSAYO DE PENETRAÇÃO (COLPES/PEL)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO SPT		INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA	PERFIL DE OLÓGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	AMOSTRADOR:	NÍVEL D'ÁGUA	AVANÇO
			INL	FINL				Ø INTERNO – 34,9 mm PESO: 65 Kg		
10 20 30 40								REVESTIMENTO: 2,00 m		
								DESCRIÇÃO DO MATERIAL		
	41,00	26 15 30 15 29 15	56	59		(36)		N.V.A.		
	42,00	26 15 30 15 29 15	58	59		(39)				
	43,00	25 15 27 15 30 15	52	57		(40)				
	44,00	30 10 - -	30 10	-		(41)				
	45,00	28 15 30 10 -	58 25	30 10		(42)	45,05			
	46,00	30 12 - -	30 12	-				LIMITE DA SONDAGEM		
	47,00							NOTA:		
	48,00							Furo paralisado conforme descrito no item 6.4.1 da norma		
	49,00							NBR6484:2001 - Solo - Sondagem de Simples		
	50,00							Reconhecimento com SPT.		
	51,00									
	52,00									
	53,00									
	54,00									
	55,00									
	56,00									
	57,00									
	58,00									
	59,00									
	60,00									
OBS.:										
LEGENDAS:										
- - - - - 30 cm INICIAIS * 30 cm FINAIS - - - - - TRADO CAVADEIRA - TC * TRADO HELICOIDAL - TH * CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA * REVESTIMENTO										
				DATA:	TRABALHO Nº:	FOLHA:				
				19/11/2014		01				
				ESCALA:	DESENHISTA:	SONDADOR:				
				1/100						

Sondagem SPT - a Trado - Rotativa - Ensaio Geotécnicos

ANEXO B – Ensaio CPT

BOLETIM DE ENSAIO C.P.T. - Conforme NBR 12069/MB-3406



* Coordenadas e cotas fornecidas pelo cliente.

ANEXO C – Prova de carga estática

