

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Estimativa da resistência não drenada ( $S_u$ ) mediante o cálculo da energia de cravação do SPT.**

**Camilo Andrés Muñoz Rodríguez**

Porto Alegre  
2012

CAMILO ANDRÉS MUÑOZ RODRÍGUEZ

**ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA ( $S_u$ )  
MEDIANTE O CÁLCULO DA ENERGIA DE CRAVAÇÃO DO  
SPT.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia

Porto Alegre  
2012

**CAMILO ANDRÉS MUÑOZ RODRÍGUEZ**

**ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA ( $S_u$ )  
MEDIANTE O CÁLCULO DA ENERGIA DE CRAVAÇÃO DO  
SPT.**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Geotecnia, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 28 de setembro de 2012

Prof. Fernando Schnaid  
Ph.D. Oxford University, UK  
Orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Edgar Odebrecht (UDESC)**  
DSc. pela UFRGS, Brasil

**Prof. Nilo César Consoli (UFRGS)**  
Ph. D. pela Concórdia University, Canadá.

**Prof. Karla Salvagni Heineck (UFRGS)**  
DSc. pela UFRGS, Brasil.

Dedico este trabalho a todas as pessoas que de uma ou outra forma, com seus conselhos, apoio, ajuda e companhia fizeram possível seu bom termino.



## **AGRADECIMENTOS**

Sinto-me extremamente honrado por ter tido esta oportunidade, esta conquista só foi possível graças ao apoio de diversas pessoas e instituições que merecem aqui ser lembradas.

A minha família pelo acompanhamento e compreensão na distancia.

Ao meu orientador Prof. Fernando Schnaid que desde minha chegada neste país me acompanhou, aconselhou-me, alentou-me e deu força. Sem sua paciência e indicações esta pesquisa e principalmente este mestrado não teria chegado a bom porto.

A Taís da Silva por seu amor, paciência, carinho e suas repreensões nos momentos justos.

A meus professores de mestrado na UFRGS que compartilharam desinteressadamente seu conhecimento.

A Catalina que com sua paciência, acompanhamento, entusiasmo; eterna gratidão.

A todos meus colegas de trabalho e as pessoas que trabalharam de meu lado, ajudando-me a ser melhor engenheiro: Andrés, Daniel, Diana, Leidy, Ângela, Joseph, William e tantos mais.

A todos os amigos e cúmplices da casa de estudantes CEFAV: Kelly, Daniel, Morvan, Pet, Jussara, Bernard, Erick, Ângelo, Denise, Renata, William, Juliana, Leoni, Vaught, Edson, Frederico e tantos mais.

Á coordenação e funcionários do PPGEC, pelo trato humano e a confiança.

A meus colegas: João, Matheus, Eduardo, Marcelo e a Gracieli, por fazer mais agradável esta experiência, por acompanhar e ajudar, pelo carinho, sempre levarei vocês comigo. Também quero estender estes sentimentos para todos os companheiros do PPGEC, muitas pessoas que passaram por minha vida e de todos levo as melhores lembranças e recordações.

Faço um agradecimento especial a CAPES e CNPq, pelo auxílio financeiro necessário à realização desta pesquisa.

A todos aqueles que das mais diversas formas me apoiaram na conquista deste objetivo e que por ventura não encontraram aqui seus nomes peço perdão, minha sincera gratidão.

Nada é impossível para quem se atreve a escalar as alturas.

*Mao Tse Tung*

## RESUMO

MUÑOZ-RODRÍGUEZ, C. A. Estimativa da resistência não drenada ( $S_u$ ) mediante o cálculo da energia de cravação do SPT. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A presente dissertação tem por objetivo desenvolver um método para o cálculo da resistência não drenada ( $S_u$ ) através de uma metodologia que considera o cálculo da energia do ensaio SPT, partindo dos conceitos inicialmente propostos por Odebrecht (2003). Através de uma pesquisa bibliográfica foi gerado um banco de dados de estudos de casos executados em solos argilosos, em locais nos quais foram realizadas investigações geotécnicas extensivas, incluindo resultados de ensaios SPT e valores de  $S_u$  obtidos através de outros ensaios de campo ou laboratório. Estes dados subsidiam a análise e formulação da proposta baseada em uma equação que combina o cálculo da energia desenvolvida durante o ensaio SPT à capacidade de carga estática por equilíbrio limite para uma estaca individual (proposta por Poulos e Davis, 1980). Foram definidas duas formas de calcular  $S_u$ , diferenciadas pelo coeficiente de ajuste da força de atrito na capacidade de carga:  $\alpha$  segundo proposta de Tomlinson (1969) e  $\lambda$  proposto por Vijayvergiya e Focht (1972). As formulações não produziram estimativas de  $S_u$  compatíveis com valores medidos em outros ensaios e, por esta razão, foi proposta uma formulação alternativa para calcular  $\alpha$  e  $\lambda$  como função direta do  $N_{SPT}$ . Esta função é empírica e baseada em ajustes estatísticos. Dos processos de cálculo e avaliações conclui-se que o método proposto para a estimativa de  $\alpha$  oferece resultados coerentes com os observados em ensaios de campo (piezocone e palheta). As estimativas de resistência não drenada apresentam considerável dispersão de resultados, com coeficiente de correlação médio  $r^2$  de 0,65. A dispersão é inerente a estimativas baseadas em ensaios SPT devido à diversidade de procedimentos usados na sua execução e, por este motivo, recomenda-se o uso destas correlações somente em nível de anteprojeto.

**Palavras-chave:** resistência não drenada; banco de dados; ajuste estatístico; SPT;  $N_{SPT}$ .

## ABSTRACT

MUÑOZ-RODRÍGUEZ, C. Estimating the undrained shear strength ( $S_u$ ) by calculating the energy of pile driving of the SPT. 2012. Dissertation (Master in Engineering) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

The present dissertation aims at developing a method for calculating the undrained shear strength  $S_u$  using the methodology developed by Odebrecht's (2003) based on the energy transmitted by the SPT test. Through a bibliographic research, a database was created showing different case studies in clays in places where comprehensive geotechnical information is available. As a minimum requirement for selecting a case, the results of both the SPT test and the estimative of  $S_u$  (from field or laboratory test) have to be registered. These results subsidized an analysis and the formulation of the proposed method, based on the equation that combines the theory for energy conservation to the static load capacity of a pile with the methodology of limit equilibrium analysis, suggested by Poulos and Davis (1980). Two different ways of calculating  $S_u$  were defined. They were differentiated by the coefficient of adjustment of the frictional force:  $\alpha$  as proposed by Tomlinson (1969) and  $\lambda$  by Vijayvergiya and Focht (1972). The formulations did not produce compatible estimates of  $S_u$  with measureable values in other tests. For this reason a proposal was made to calculate both  $\alpha$  and  $\lambda$  as a direct function of  $N_{SPT}$ . This function is empirical and is based on statistical analysis. From the calculations, the proposed method of  $\alpha$  is recommended based on the fact that it produces results that are comparable to those obtained from other field tests (piezocone and vane). The predicted values of undrained shear strength exhibit considerable dispersion of results, with an  $r^2$  correlation coefficient medium of 0.65. The dispersion is inherent to the estimates based on the tests of SPT due to the diversity of procedures/processes used in its execution and, for this motive, the use of these correlations are recommended only in preliminary projects.

**Keywords:** Undrained shear strength; database; statistical adjustment; SPT;  $N_{SPT}$ .

## RESUMEN

MUÑOZ-RODRÍGUEZ, C. A. Estimativa de la resistencia no drenada ( $S_u$ ) mediante el cálculo de la energía de penetración del SPT. 2012. Disertación (Maestría en Ingeniería) – Programa de Pos-Graduación en Ingeniería Civil, UFRGS, Porto Alegre.

La presente disertación tiene por objetivo desarrollar un método para el cálculo de la resistencia no drenada ( $S_u$ ) mediante una metodología que considera el cálculo de la energía del ensayo SPT, partiendo de los conceptos inicialmente propuestos por Odebrecht (2003). Mediante una investigación bibliográfica se generó un banco de datos de estudios realizados en suelos arcillosos, en locales donde fueron realizadas investigaciones geotécnicas extensivas, incluyendo resultados de ensayos SPT y valores de  $S_u$  obtenidos a través de otros ensayos de campo o laboratorio. Estos datos apoyan el análisis y la formulación de la propuesta basada en la ecuación que combina el cálculo de la energía desarrollada durante el ensayo SPT y la capacidad de carga estática por equilibrio límite para pilotes unitarios (propuesta por Poulos y Davis, 1980). Fueron definidas dos formas de calcular  $S_u$ , diferenciadas por el coeficiente de ajuste de la fuerza de fricción en la capacidad de carga:  $\alpha$  según propuesta de Tomlinson, 1969 y  $\lambda$  propuesto por Vijayvergiya y Focht, 1972. Estas formulaciones no produjeron estimativas de  $S_u$  compatibles con valores medidos en otros ensayos y, es por esta razón que se propone una formulación alternativa para calcular  $\alpha$  y  $\lambda$  como función directa del  $N_{SPT}$ . Se trata de una función empírica basada en ajustes estadísticos. De los procesos de cálculo y evaluaciones realizados se concluye que el método propuesto para la estimativa de  $\alpha$  ofrece resultados coherentes con los observados en ensayos de campo (piezocono y veleta). Las estimaciones de resistencia no drenada presentan una considerable dispersión de resultados, con coeficiente de correlación  $r^2$  del orden de 0,65. La dispersión es inherente a estimativas basadas en ensayos SPT debido a la diversidad de procedimientos usados para su ejecución, por este motivo se recomienda el uso de estas correlaciones solamente al nivel de anteproyecto.

**Palabras clave:** resistencia no drenada; base de datos; ajuste estadístico; SPT;  $N_{SPT}$ .

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	19
1.1.	JUSTIFICATIVA .....	19
1.2.	ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	20
1.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
1.4.	OBJETIVO GERAL .....	21
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1.	RESISTÊNCIA NÃO DRENADA $S_u$ .....	22
2.2.	CONCEITOS DE ENERGIA .....	24
3.	METODOLOGIA.....	30
3.1.	PROCESSO INVESTIGATIVO .....	30
4.	BANCO DE DADOS.....	37
4.1.	CEASA .....	38
4.2.	AEROPORTO SALGADO FILHO.....	42
4.3.	TABAÍ .....	44
4.4.	SARAPUÍ I.....	47
4.5.	SARAPUÍ II.....	50
4.6.	GUABIROTUBA .....	52
4.7.	ARGILA DE LONDRES.....	56
5.	INTERPRETAÇÃO .....	61
5.1.	ESTIMATIVA DE $S_U$ A PARTIR DO MÉTODO $\alpha$ .....	62
5.2.	ESTIMATIVA DE $S_U$ A PARTIR DO MÉTODO $\alpha$ PROPOSTO.....	67
5.3.	ESTIMATIVA DE $S_U$ A PARTIR DO MÉTODO $\lambda$ .....	75
5.4.	ESTIMATIVA DE $S_U$ A PARTIR DO MÉTODO $\lambda$ PROPOSTO.....	79
5.5.	CONCLUSÕES PARCIAIS .....	85
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	86

6.1. CONCLUSÕES .....	86
6.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	89
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90
APÊNDICE A – BANCO DE DADOS .....	93
APÊNDICE B – RESULTADOS.....	101

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Estágios de cravação do amostrador no solo (Odebrecht, 2003).....	24
Figura 3.1: Relação entre o coeficiente de adesão e a resistência não drenada, segundo Tomlinson (1969). .....	33
Figura 3.2: Relação entre o coeficiente de adesão e a resistência não drenada, segundo Flaate (1969). .....	34
Figura 3.3: Valores de $\lambda$ em função da profundidade (Vijayvergiya e Focht, 1972) (Modificado de Doherty e Gavin, 2010). .....	35
Figura 4.1: Localização do local, Ceasa (Modificado de Soares, 1997). .....	39
Figura 4.2: Carta de plasticidade de Casagrande, Ceasa (Modificado de Soares, 1997). .....	40
Figura 4.3: Relação de OCR do perfil de solo, Ceasa (Modificado de Soares, 1997). .....	41
Figura 4.4: $S_u$ medido em campo, Ceasa (Modificado de Soares, 1997). .....	41
Figura 4.5: Localização do local, Salgado Filho (Modificado de Soares, 1997). .....	42
Figura 4.6: Carta de plasticidade de Casagrande, Aeroporto Salgado Filho (Modificado de Soares, 1997). .....	43
Figura 4.7: Relação de OCR do perfil de solo, Aeroporto Salgado Filho (Modificado de Soares, 1997). .....	43
Figura 4.8: $S_u$ medido em campo, Aeroporto Salgado Filho (Modificado de Soares, 1997). ..	44
Figura 4.9: Localização do local, Tabaí (Modificado de Soares, 1997).....	44
Figura 4.10: Carta de plasticidade de Casagrande, Tabaí (Modificado de Soares, 1997).....	45
Figura 4.11: Relação de OCR do perfil de solo, Tabaí (Modificado de Soares, 1997).....	46
Figura 4.12: $S_u$ medido em campo, Tabaí (Modificado de Soares, 1997).....	46
Figura 4.13: Localização da área de pesquisa de Sarapuí (Modificado de Almeida e Marques, 2002). .....	47
Figura 4.14: Localização relativa de Sarapuí I e Sarapuí II (Modificado de Jannuzzi, 2009). ..	48
Figura 4.15: Carta de plasticidade de Casagrande, Sarapuí (Modificado de Jannuzzi, 2009). ..	48
Figura 4.16: Relação de OCR do perfil de solo, Sarapuí (Modificado de Collet, 1978).....	49
Figura 4.17: $S_u$ medido em campo, Sarapuí I (Modificado de Collet, 1978). .....	50
Figura 4.18: Relação de OCR do perfil de solo, Sarapuí (Modificado de Collet, 1978).....	51
Figura 4.19: $S_u$ medido em campo, Sarapuí II (Modificado de Jannuzzi, 2009).....	51
Figura 4.20: Localização da bacia sedimentar de Curitiba (E. Salamuni e R. Salamuni, 1999). .....	52
Figura 4.21: Localização das áreas de pesquisa geotécnica da UFPR (Kormann, 2002).....	53



Figura 4.22: Carta de plasticidade de Casagrande, Guabirota (Modificado de Kormann, 2002).....	54
Figura 4.23: Relação de OCR do perfil de solo, Guabirota (Modificado de Kormann, 2002). .....	55
Figura 4.24: $S_u$ medido em campo, Guabirota (Modificado de Schnaid, 2007).....	55
Figura 4.25: Esquema da cidade de Londres, em vermelho a zona de estudo (Modificado do site da prefeitura de Londres). .....	57
Figura 4.26: Relação de OCR do perfil de solo, argila de Londres (Modificado de ARUP, 1992).....	57
Figura 4.27: $S_u$ medido em campo, argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace A2 (Modificado de ARUP, 1992). .....	58
Figura 4.28: $S_u$ medido em campo, argila de Londres - Paddington Station (Modificado de ARUP, 1992). .....	59
Figura 5.1: Resultados dos cálculos para Sarapuá II, sondagem I. ....	64
Figura 5.2: Resultados dos cálculos para Guabirota, sondagem B3.....	64
Figura 5.3: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\alpha$ /ponta aberta. ..	65
Figura 5.4: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\alpha$ /ponta aberta (Gráfico expandido para valores de $S_u$ de até 40 kPa). .....	65
Figura 5.5: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\alpha$ /ponta fechada. ....	66
Figura 5.6: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\alpha$ /ponta fechada (Gráfico expandido para valores de $S_u$ de até 40 kPa). .....	66
Figura 5.7: Comparação entre valores medidos $N_{SPT}$ e coeficiente $\alpha$ calculado com a energia do SPT/Ponta aberta. ....	68
Figura 5.8: Comparação entre valores medidos $N_{SPT}$ e coeficiente $\alpha$ calculado com a energia do SPT/Ponta aberta (Gráfico expandido para valores de $N_{SPT}$ de até 10).....	68
Figura 5.9: Comparação entre valores medidos $N_{SPT}$ e coeficiente $\alpha$ calculado com a energia do SPT/Ponta fechada.....	69
Figura 5.10: Comparação entre valores medidos $N_{SPT}$ e coeficiente $\alpha$ calculado com a energia do SPT/Ponta fechada (Gráfico expandido para valores de $N_{SPT}$ de até 10). .....	69
Figura 5.11: Equação de ajuste para $\alpha$ em termos de $N_{SPT}$ .....	70
Figura 5.12: Resultados para Tabai. ....	71
Figura 5.13: Resultados para Sarapuá I, sondagem III. ....	71
Figura 5.14: Resultados para Guabirota, sondagem B3. ....	72
Figura 5.15: Resultados para Londres, sondagem A2.....	72

Figura 5.16: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\alpha$ proposto/ponta aberta. ....	73
Figura 5.17: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\alpha$ proposto/ponta aberta (Gráfico expandido para valores de $S_u$ de até 30 kPa).....	73
Figura 5.18: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\alpha$ proposto/ponta fechada.....	74
Figura 5.19: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\alpha$ proposto / ponta fechada (Gráfico expandido para valores de $S_u$ de até 30 kPa). ....	74
Figura 5.20: Resultados dos cálculos para Sarapuí I, sondagem III.....	76
Figura 5.21: Resultados dos cálculos para Guabirota, sondagem B12.....	76
Figura 5.22: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\lambda$ /ponta aberta..	77
Figura 5.23: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\lambda$ /ponta aberta (Gráfico expandido para valores de $S_u$ de até 30 kPa). ....	77
Figura 5.24: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\lambda$ /ponta fechada. ....	78
Figura 5.25: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\lambda$ /ponta fechada (Gráfico expandido para valores de $S_u$ de até 30 kPa). ....	78
Figura 5.26: Comparação entre valores medidos $N_{SPT}$ e coeficiente $\lambda$ calculado com a energia do SPT/Ponta aberta. ....	79
Figura 5.27: Comparação entre valores medidos $N_{SPT}$ e coeficiente $\lambda$ calculado com a energia do SPT/Ponta aberta (Gráfico expandido para valores de $N_{SPT}$ de até 10).....	80
Figura 5.28: Comparação entre valores medidos $N_{SPT}$ e coeficiente $\lambda$ calculado com a energia do SPT/Ponta fechada.....	80
Figura 5.29: Comparação entre valores medidos $N_{SPT}$ e coeficiente $\lambda$ calculado com a energia do SPT/Ponta fechada (Gráfico expandido para valores de $N_{SPT}$ de até 10). ....	81
Figura 5.30: Equação de ajuste para $\lambda$ em termos de $N_{SPT}$ .....	82
Figura 5.31: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\lambda$ ajustado/ponta aberta. ....	82
Figura 5.32: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\lambda$ ajustado/ponta aberta (Gráfico expandido para valores de $S_u$ de até 30 kPa).....	83
Figura 5.33: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\lambda$ ajustado/ponta fechada.....	83
Figura 5.34: Comparação entre valores medidos e previstos de $S_u$ – Método $\lambda$ ajustado/ponta fechada (Gráfico expandido para valores de $S_u$ de até 30 kPa).....	84

Figura 5.35: Resultados dos cálculos para Sarapuí II, sondagem I. ....	84
Figura 6.1: Correlação aproximada entre $S_u$ e $N_{SPT}$ (Modificado de In Situ 2001, 2001). ....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Fatores de incremento de carga. (Hermansson e Grävare,1978; citados por Bernardes et al. 2000).....	29
Tabela 4.1: Referencias bibliográficas para a elaboração do banco de dados.....	38
Tabela 4.2: Resultados de SPT, Ceasa. ....	40
Tabela 4.3: Resultados de SPT, Aeroporto Salgado Filho. ....	43
Tabela 4.4: Resultados de SPT, Tabai.....	45
Tabela 4.5: Resultados de SPT, Sarapuí I sondagem II.....	49
Tabela 4.6: Resultados de SPT, Sarapuí II sondagem II. ....	50
Tabela 4.7: Resultados de SPT, Guabiro tuba sondagem B3. ....	54
Tabela 4.8: Resultados de SPT, argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace (A2). .....	58
Tabela 4.9: Resultados de SPT, argila de Londres - Paddington Station (B2).....	59
Tabela 5.1: Valores adotados para o cálculo de $S_u$ (Odebrecht, 2003). ....	62
Tabela 5.2: Valores adotados para os cálculo na argila de Londres (BS 1377-9 1990 e Odebrecht, 2003). ....	63
Tabela 5.3: Elementos para as equações de cálculo de $\alpha$ . ....	70
Tabela 5.4: Elementos para as equações de cálculo de $\alpha$ , ajuste em argilas moles.....	75
Tabela 5.5: Elementos para as equações de cálculo de $\lambda$ . ....	81

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

$A_b$	Área da base do amostrador
$A_s$	Área lateral
$C$	Perímetro do amostrador
$c$	Coesão total
$c_a$	Adesão não drenada entre o amostrador e o solo
$d$	Diâmetro do amostrador
$E^*$	Energia gravitacional teórica segundo a Norma Brasileira NBR 6484 (478J)
$EPG_m$	Energia potencial gravitacional
$F_e$	Força estática
$F_d$	Força dinâmica
$f_s$	Atrito lateral
$g$	Aceleração da gravidade
$h_m$	Altura de queda do martelo
$h_h$	Comprimento da haste
$IP$	Índice de plasticidade
$K_s$	Coefficiente de pressão lateral
$L$	Longitude onde é aplicado o atrito lateral
$l$	Comprimento da haste
$M_h$	Massa da haste
$M_m$	Massa do martelo
$N_c$	Coefficiente da capacidade de carga, associado à coesão
$N_q$	Coefficiente da capacidade de carga, associado à sobrecarga
$N_\gamma$	Coefficiente da capacidade de carga, associado ao peso unitário
$N_{SPT}$	Número de golpes do <i>Standard Penetration Test</i>
$OCR$	Razão de pré-adensamento

$P_0$	Pressão atmosférica (100 kPa)
$P_{bu}$	Parcela lateral da resistência última
$P_{su}$	Parcela da resistência última dada na base da estaca
$P_u$	Capacidade última estática de uma estaca individual
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
$S_u$	Resistência ao cisalhamento não drenada
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
W	Peso do sistema de hastes
w	Umidade natural
$W_{nc}$	Trabalho efetuado por forças não conservativas, perdas diversas
$W_s$	Trabalho efetuado por forças não conservativas na ponta do amostrador
$\alpha$	Coefficiente de adesão Peck 1958, e modificado
$\beta$	Coefficiente de adesão Zeevaert 1959
$\gamma$	Peso unitário do solo
$\Delta EPG_m$	Varição da energia potencial gravitacional para o martelo
$\Delta EPG_h$	Varição da energia potencial gravitacional para a haste
$\Delta EPG_{m+h}^{sistema}$	Varição da energia do sistema
$\Delta\rho$	Penetração permanente do amostrador devido à aplicação de um golpe
$\eta_1$	Eficiência devida ao golpe do martelo
$\eta_2$	Eficiência devida ao comprimento da haste
$\eta_3$	Eficiência do sistema
$\phi$	Ângulo de atrito do solo
$\phi_a$	Ângulo que mede o atrito entre o solo e o amostrador
$\lambda$	Parâmetro empírico de Vijayvergiga et Focht 1972, e modificado

$v$	Fator de incremento de carga
$\sigma'_v$	Tensão normal efetiva
$\sigma_v$	Tensão total vertical
$\sigma_{vb}$	Esforço vertical do solo ao nível da base do amostrador

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. JUSTIFICATIVA

O ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) continua sendo a técnica de investigação e caracterização de solo mais utilizada no Brasil e em diversas regiões do mundo. Sua simplicidade de equipamento, requerimentos básicos de experiência dos operadores, e principalmente, interpretação empírica e direta dos resultados, fazem dele uma ferramenta atrativa e versátil. Basicamente, trata-se do número de golpes requeridos para penetrar uma distancia de 30 cm de um amostrador padrão no solo e da caracterização tacto-visual das amostras de solo coletadas durante este processo.

Associações profissionais, pesquisadores e instituições de ensino trabalham em propostas para unificação de critérios buscando, desta forma, reduzir as incertezas de execução e aprimorar os métodos de interpretação. Para esta finalidade conta-se com uma série de medidas de correção para o  $N_{SPT}$  que têm como finalidade estabelecer um valor único de energia aplicada ao ensaio.

Por outro lado, motiva a que alguns pesquisadores assumam a tarefa de reinterpretar o ensaio, buscando aplicações racionais a seus resultados. Exemplo deste esforço é a tese de doutorado intitulada “*Medidas de Energia no Ensaio SPT*” (Odebrecht, 2003), na qual se desenvolve uma metodologia inovadora para o cálculo da energia aplicada na execução do ensaio durante a cravação dos dispositivos de amostragem. O elemento principal desta proposta é o cálculo da força dinâmica que representa a reação do solo que atua contra o amostrador durante o processo de cravação.

A presente dissertação dá continuidade ao trabalho de Odebrecht (2003) no que refere às propostas feitas na parte final de sua tese. Propõe-se a aplicação do cálculo de energia do ensaio SPT para o desenvolvimento de interpretações racionais, mais especificamente na caracterização das propriedades geomecânicas de materiais argilosos. Neste contexto se desenvolve o objeto da presente pesquisa, de generalizar e sistematizar a equação proposta por Odebrecht (2003) para o cálculo da resistência não drenada de argilas ( $S_u$ ).

A determinação de  $S_u$  através de ensaios SPT, historicamente, tem sido obtida através de relações empíricas. Neste contexto destaca-se a importância da presente pesquisa, pois



fornece uma alternativa metodológica de um modo racional, apoiado em formulações de capacidade de carga, para obtenção de propriedades mecânicas de materiais argilosos usando para isso informações compiladas de forma simples, obtidas do próprio ensaio.

## 1.2. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação estrutura-se em 7 capítulos, dos quais o primeiro expõe o tema da pesquisa, os elementos de estudo, bem como os objetivos a desenvolver.

O Capítulo 2 contém a revisão dos conceitos de energia que dão fundamentação teórica ao desenvolvimento da presente pesquisa, principalmente encaminhada à definição da equação para o cálculo da  $F_e$  (força estática). Também é apresentada a definição do conceito da coesão (c) presente na equação de Coulomb, encaminhado ao conceito de condição não drenada onde o termino corresponderia a  $S_u$ .

No Capítulo 3 é proporcionada a demonstração matemática das equações para o cálculo de  $S_u$  baseadas na Teoria de Capacidade de Carga. Os fundamentos teóricos são tomados do texto: *Pile foundations analysis and design*, de Poulos e Davis, 1980. Neste livro são expostas as equações para o cálculo da capacidade de carga de forma estática para uma estaca individual. Equações que, interpretadas adequadamente, podem ser extrapoladas visando a definir o cálculo da capacidade de carga em estacas como um equivalente da força estática desenvolvida no processo de cravação do amostrador nos ensaios de SPT. Também são desenvolvidas as equações para as propostas de estimação dos coeficientes  $\alpha$  e  $\lambda$ , igualmente avaliadas pela metodologia do cálculo de energia em ensaios SPT.

O banco de dados que representa a fonte de informação que dá suporte à presente pesquisa é exposto no Capítulo 4. Neste capítulo os diversos casos estudados são exibidos, dividindo-se a informação entre os locais avaliados. Mostram-se figuras e tabelas nas quais se resume de forma gráfica as informações apresentadas.

Neste capítulo – Capítulo 5 – são exibidos os resultados dos diferentes cálculos realizados na presente dissertação, exibindo a maior parte das informações em gráficos. Este tipo de apresentação mostra os resultados de forma resumida, facilitando a sua leitura e a interpretação de tendências nos resultados. O capítulo foi dividido para examinar de forma independente cada uma das metodologias estudada: metodologia  $\alpha$ , metodologia  $\alpha$  proposta,

metodologia  $\lambda$ , metodologia  $\lambda$  proposta. Ademais apresentam-se as análises estatísticas e matemáticas das propostas para a estimativa dos coeficientes  $\alpha$  e  $\lambda$ . O processo de cálculo começa com a combinação das equações para a estimativa de  $F_e$  (força estática) através do cálculo da energia dos ensaios SPT (Odebrecht, 2003), e a equação para a estimativa da capacidade de carga em estacas individuais (Poulos e Davis, 1980). São elaboradas as conclusões de cada processo de cálculo assim como as correspondentes a todo o capítulo.

Como parte final, no Capítulo 6 mostram-se as conclusões da pesquisa, assim como as considerações finais e as propostas para futuras pesquisas.

Finalmente são listadas as referências bibliográficas utilizadas para execução da presente dissertação.

### 1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) organizar um banco de dados, compilando estudos realizados em diversas localidades, baseado em publicações que apresentam resultados de ensaios SPT combinados a uma caracterização extensiva do local investigado.
- b) avaliar os diversos coeficientes utilizados nas equações de capacidade de carga e verificar suas implicações à previsão de  $S_u$ .
- c) elaborar as propostas de refinamento das equações visando a estimativa dos coeficientes de ajuste, que permitam o uso expedito do método na prática de engenharia.

### 1.4. OBJETIVO GERAL

Avaliar os elementos teóricos necessários para gerar uma equação para a estimativa da resistência não drenada ( $S_u$ ) mediante o cálculo da energia de cravação do SPT, pesquisa proposta por Odebrecht (2003), adaptando-os conceitualmente no desenvolvimento de um método expedito de cálculo aplicado a solos argilosos, cobrindo a faixa de depósitos normalmente adensados a fortemente pré-adensados.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são expostas as análises e principalmente as sínteses dos elementos essenciais obtidos ao longo da revisão bibliográfica. Os conceitos relacionados à resistência ao cisalhamento não drenada,  $S_u$ , são revisados e algumas metodologias diretas e indiretas utilizadas na sua determinação, avaliadas. Na segunda parte são apresentadas as equações e as conclusões das análises dos textos utilizados como referência para a presente dissertação.

### 2.1. RESISTÊNCIA NÃO DRENADA $S_u$

Resistência ao cisalhamento na condição não drenada,  $S_u$  (FL-2): valor máximo do esforço cortante a que um geomaterial saturado pode ser submetido sem que apresente rompimento ou deformações excessivas quando a água intersticial não é drenada, seja por condições de contorno ou pela velocidade na aplicação da carga. Em argilas saturadas a resistência ao cisalhamento em condições não drenadas é igual à coesão,  $S_u$ , dado que nesse caso o ângulo de atrito é nulo. No campo pode ser determinada preferencialmente por ensaio de palheta ou ensaios de penetração.

Coesão,  $c$  (FL-2), é definida como a componente da resistência ao corte do solo na equação de Coulomb:

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (\text{Equação 2.01})$$

A coesão é uma característica própria dos materiais que oferecem resistência ao corte perante um esforço normal nulo (termo equivalente em mecânica de rochas à resistência intrínseca ao corte), que pode ser calculado como a metade da resistência ao corte simples (Norma ASTM D2166). Assim em condições não drenadas, com  $\phi' = 0$  a coesão é por definição a resistência não drenada  $S_u$ .

Este termo não deve ser confundido com a coesão aparente de solos granulares, a qual é produzida pela tensão superficial d'água nos contatos entre as partículas do solo. Tampouco com o valor do intercepto coesivo obtido em ensaios triaxiais.

Complementarmente define-se ainda a coesão total como o valor do intercepto de uma envoltória em um solo parcialmente saturado, que leva em conta a componente da sucção. A coesão total pode ser calculada com a expressão:

$$c = c' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (\text{Equação 2.02})$$

onde

c: coesão total;

c': coesão avaliada com esforços efetivos;

( $u_a - u_w$ ): sucção;

$\phi^b$ : ângulo de sucção.

Em laboratório os parâmetros de resistência podem ser determinados em ensaios triaxiais, cujas trajetórias de tensões impostas às amostras são distintas em função das condições de drenagem:

- a) **condição drenada:** forma da execução de um ensaio triaxial no qual é permitida a drenagem d'água após a aplicação de um acréscimo de carga total. Em consequência, alteram-se as variáveis do estado de esforços, mudando também o volume do solo. A mudança de volume pode ser calculada através de variáveis de estado de acordo com as relações constitutivas da estrutura do solo. Esta condição representa em campo um carregamento aplicado lentamente permitindo que a água drene através dos poros nas regiões carregadas.
- b) **condição não drenada:** forma de execução de um ensaio triaxial no qual não é permitida a saída de água do solo. O acréscimo do esforço compressivo total produz um acréscimo das pressões intersticiais e, conseqüentemente, ocorrem mudanças no estado de tensões da amostra. No campo esta condição corresponde à aplicação rápida de carregamento, com variação das pressões intersticiais.

## 2.2. CONCEITOS DE ENERGIA

Na elaboração deste capítulo consideram-se os resultados, sínteses e análises teóricas expostas em Odebrecht (2003) e posteriormente em Lobo (2005). Estas pesquisas foram realizadas no PPGEC/UFRGS e constituem a base para o presente trabalho.

Com a intenção de não realizar repetições que poderiam sobrecarregar o documento e com o fim de resumir no que realmente compete à presente pesquisa, proporcionam-se as equações e não os processos matemáticos utilizados em sua dedução. Um detalhamento destas deduções é demonstrado por Odebrecht (2003) e Lobo (2005).

Como apresentado por Odebrecht (2003), o processo de penetração da amostra pode ser analisado em termos das variações de energia com o tempo. Na Figura 2.1 é mostrado o esquema do processo de penetração para um golpe, dividido em três fases correspondentes aos tempos  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ , onde  $t_1$  representa o instante antes da liberação do martelo (energia potencial gravitacional  $EPG_m$ );  $t_2$  o momento imediatamente anterior ao golpe do martelo na cabeça de bater; e finalmente o instante  $t_3$  ( $\infty$ ) onde a energia potencial do martelo e da haste foram completamente consumidas no processo de penetração, devolvidas elasticamente e amortecidas dinamicamente no martelo e na haste.

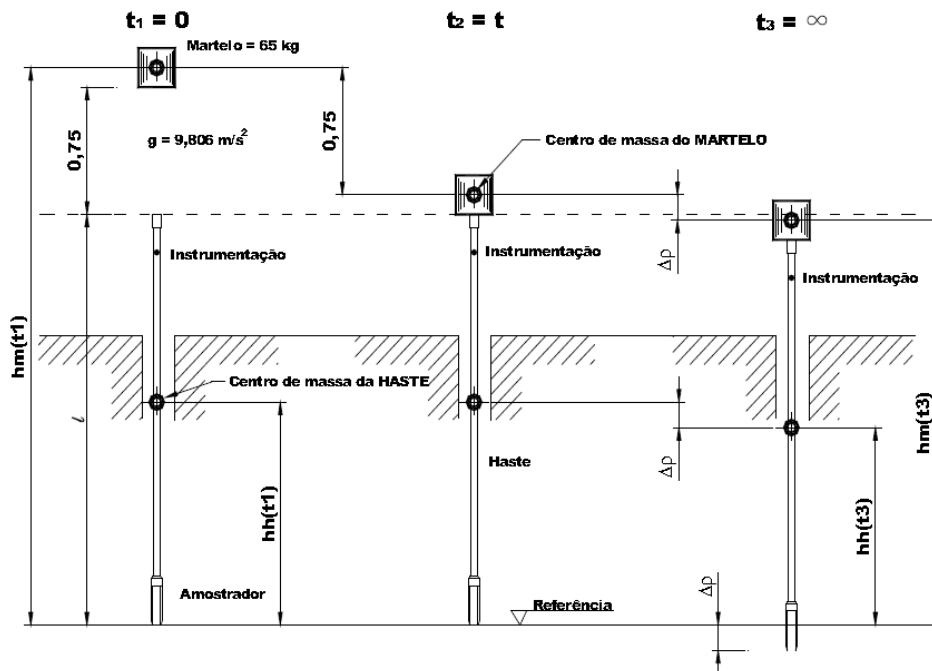


Figura 2.1: Estágios de cravação do amostrador no solo (Odebrecht, 2003).

A energia potencial gravitacional para o martelo e para a haste pode ser calculada com as Equações 2.03 e 2.04, respectivamente:

$$EPG_m = M_m g h_m(t_1) \quad (\text{Equação 2.03})$$

$$EPG_h = M_h g h_h(t_1) \quad (\text{Equação 2.04})$$

onde:

$M_m$ : massa do martelo;

$M_h$ : massa da haste;

$g$ : aceleração da gravidade.

A diferença de energia potencial gravitacional do martelo e da haste pode ser calculada depois da penetração, como uma simples diferença entre as cotas entre  $t_1$  e  $t_3$ .

$$\Delta h_m: h_m(t_1) - h_m(t_3) = 0,75\text{cm} + \Delta\rho$$

e

$$\Delta h_h: h_h(t_1) - h_h(t_3) = \Delta\rho$$

sendo  $\Delta\rho$  a penetração permanente do amostrador devido à aplicação de um golpe.

A energia potencial do martelo pode-se calcular como:

$$\Delta EPG_m = E^* + M_m g \Delta\rho \quad (\text{Equação 2.05})$$

sendo que  $E^*$  representa a energia gravitacional teórica segundo a Norma Brasileira NBR 6484. ( $E^* = 65 * 9,806 * 0,75 = 478 \text{ J}$ ).

A energia potencial da haste é calculada através da Equação 2.06:

$$\Delta EPG_h = M_h g \Delta\rho \quad (\text{Equação 2.06})$$

Considerando um referencial externo ao sistema, a energia produzida por um golpe será função da altura de queda teórica ( $75 \text{ cm} + \Delta\rho$ ). A energia efetiva consumida durante o

processo de penetração pode ser calculada como a soma das variações na energia potencial gravitacional do martelo e da haste, representada na Equação 2.07.

$$\Delta EPG_{m+h}^{sistema} = E^* + M_m g \Delta \rho + M_h g \Delta \rho \quad (\text{Equação 2.07})$$

Reescrita da forma:

$$\Delta EPG_{m+h}^{sistema} = (0,75 + \Delta \rho) M_m g + \Delta \rho M_h g \quad (\text{Equação 2.08})$$

Odebrecht (2003) calculou a relação  $\Delta EPG_{m+h}^{sistema} / E^*$ , mostrando-a em duas tabelas, uma em função do  $N_{SPT}$  e outra em função do comprimento da haste. Neste cálculo não se consideram as perdas de energia. Uma das tabelas corresponde a uma sondagem em solo sem água, enquanto a outra corresponde a uma condição saturada com lençol freático na superfície. Destas tabelas podem ser obtidas algumas conclusões importantes: para solos resistentes ( $N_{SPT} > 15$ ), junto com comprimentos das hastes menores que 20 m, os valores da relação são muito próximos à unidade, *sugerindo que a formulação tradicional para pequenas deformações é aceitável para a correlação do valor do  $N_{SPT}$  com valores de referencia  $N_{60}$* . Já para valores  $N_{SPT}$  baixos existem diferenças significativas, acima de 10%, o que sugere a incidência da energia transmitida pelas hastes.

Na interpretação do ensaio SPT, em termos da medida de energia, considera-se o trabalho exercido sobre o solo pela penetração do amostrador. O trabalho efetivamente entregue ao solo é dado pela Equação 2.08. Para a demonstração desta equação é empregado o principio de Hamilton, que estabelece que a soma da variação, no tempo, das energias cinéticas e potenciais e o trabalho efetuado por forças não conservativas ao longo de um intervalo de tempo ( $t_1$  a  $t_2$ ), é igual a zero. Este princípio teve sua aplicação no ensaio SPT sugerida por Aoki & Cintra (2000), os quais comprovaram sua validade num artigo publicado em 2004. Adotando a nomenclatura apresentada em Clough e Penzien (1975), se enuncia a Equação 2.09, a qual descreve o principio de Hamilton.

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta[T(t) - V(t)]dt + \int_{t_1}^{t_2} \delta[W_s(t) + W_{nc}(t)]dt = 0 \quad (\text{Equação 2.09})$$

onde:

T(t): Energia Cinética;

$V(t)$ : Energia Potencial;

$W_s(t)$ : Trabalho efetuado por forças não conservativas na ponta do amostrador (sobre o solo);

$W_{nc}(t)$ : Trabalho efetuado por forças não conservativas (perdas diversas);

$\delta$ : Variação;

$t_1$ : tempo inicial do período considerado (ver Figura 2.1);

$t_2$ : tempo final do período considerado (ver Figura 2.1).

Calculando para a situação onde  $t_1$  é igual ao momento inicial e  $t_2$  é igual ao momento em que todas as energias cinéticas e elásticas já foram dissipadas ( $t_3$  em Figura 2.1). Ou seja, não se tem energias cinéticas em  $t_1$  e  $t_2$ :

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta V(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} \delta [W_s(t) + W_{nc}(t)] dt \quad (\text{Equação 2.10})$$

Desta forma a variação da energia potencial do sistema martelo-haste é igual à variação do trabalho efetuado por forças não conservativas. A variação da energia potencial pode ser escrita na forma da variação do trabalho efetuado pelas forças não conservativas:

$$\Delta EPG_{m+h}^{\text{sistema}} = W_s + W_{nc} \quad (\text{Equação 2.11})$$

Como o trabalho efetivamente entregue ao solo é conhecido e proporcional à penetração do amostrador (também conhecida), a força dinâmica ( $F_d$ ) média da reação do solo à cravação do amostrador pode ser representada nas seguintes equações (Odebrecht, 2003):

$$E_s = T = \Delta EPG_{m+h}^{\text{sistema}} \text{ com perdas} = W_s = F_d \Delta \rho \quad (\text{Equação 2.12})$$

$$F_d = \Delta EPG_{m+h}^{\text{sistema}} / \Delta \rho \quad (\text{Equação 2.13})$$

É precisamente o conhecimento da força dinâmica ( $F_d$ ) que possibilita o emprego dos resultados do ensaio SPT no cálculo de  $S_u$ , como exposto no trabalho de Odebrecht (2003).

Neste ponto ainda devem ser consideradas as perdas de energia durante o processo de cravação do amostrador. Para este fim é preciso modificar a Equação 2.08 com a introdução dos coeficientes  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  e  $\eta_3$ , os quais correspondem a: ( $\eta_1$ ) perdas referentes ao golpe (atrito



no cabo de içar, no martelo com a roldana, perdas no golpe, estado do cabo, tipo de martelo, etc.); ( $\eta_2$ ) perdas ao longo das hastes; ( $\eta_3$ ) eficiência do sistema.

Desta forma a Equação 2.08 é reescrita como:

$$\Delta EPG_{m+h}^{sistema} = \eta_3[\eta_1(0,75 + \Delta\rho)M_m g + \eta_2 \Delta\rho M_h g] \quad (\text{Equação 2.14})$$

O valor de ( $\eta_1$ ) obtido experimentalmente por Odebrecht (2003) é de 0,764 (fator que não depende do comprimento da haste). A determinação dos valores para  $\eta_2$  e  $\eta_3$  não é trivial. Odebrecht (2003), adotando as hipóteses convenientes e ajustando para os dados experimentais disponíveis, expressa  $\eta_2 = 1$  e  $\eta_3$  em função do comprimento das hastes ( $\eta_3 = 1 - 0,0042l$ ).

$$\eta_1 = 0,764; \quad \eta_2 = 1; \quad \eta_3 = 1 - 0,0042l \quad (l \text{ comprimento da haste})$$

Com base nestas considerações determina-se a Equação 2.15 empregando as Equações 2.13 e 2.14. Esta equação é geral, devendo ser utilizada no cálculo da força dinâmica envolvida na cravação do amostrador e será a base para os métodos desenvolvidos na estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada apresentadas nesta dissertação.

$$F_d = \eta_3[\eta_1(0,75 + \Delta\rho)M_m g + \eta_2 \Delta\rho M_h g] / \Delta\rho \quad (\text{Equação 2.15})$$

Por outro lado, deve-se levar em conta que é possível calcular  $F_e$  em função do  $N_{SPT}$ . Para isto, a força dinâmica ( $F_d$ ) é relacionada com a força estática ( $F_e$ ) empregando o fator de incremento de carga  $\nu$ , o qual toma valor na proposta de Hermansson e Grävare (1978) citados por Bernardes et al. (2000).

$$F_d = \nu F_e \quad (\text{Equação 2.16})$$

$$F_e = F_d / \nu \quad (\text{Equação 2.17})$$

Assim é possível gerar a Equação 2.18:

$$F_e = \frac{\eta_3[\eta_1(0,75 + \Delta\rho)M_m g + \eta_2 \Delta\rho M_h g]}{\Delta\rho * \nu} \quad (\text{Equação 2.18})$$

Tabela 2.1: Fatores de incremento de carga. (Hermansson e Grävare,1978; citados por Bernardes et al. 2000).

<b>Tipo de solo</b>	<b>v</b>	<b>1/v</b>
Areias	1,00 – 1,15	1,00 – 0,95
Areia siltosa	1,15 – 1,25	0,95 – 0,87
Silte arenoso	1,20 – 1,45	0,87 – 0,77
Argila siltosa	1,40 – 1,70	0,77 – 0,60
Argila	1,70 – 2,10	<b>0,60</b> – 0,48

Neste trabalho adota-se um valor constante para  $(1/v)$  de 0,60, sendo que esta hipótese não introduz erros à análise, pois a calibração é feita com base em outros parâmetros independentes.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os fundamentos teóricos que dão suporte à pesquisa. São definidas as equações e as propostas de cálculo cujos resultados serão desenvolvidos no Capítulo 5.

#### 3.1. PROCESSO INVESTIGATIVO

No cálculo da capacidade de carga estabelecida através de métodos de equilíbrio limite o autor retomou a proposta exposta por Poulos e Davis no seu livro: *Pile foundations analysis and design*, 1980. Nesta proposta é proporcionada uma equação generalizada para o cálculo da capacidade de carga estática de uma estaca individual. As variáveis são definidas em concordância com os objetivos de cálculo da presente pesquisa.

$$P_u = P_{su} + P_{bu} - W \quad (\text{Equação 3.01})$$

onde

$P_{su}$  = parcela lateral da resistência última

$P_{bu}$  = parcela da resistência última dada na base

$W$  = peso do sistema de hastes

O  $P_{su}$  pode ser avaliado empregando a expressão de Coulomb e integrando na área de contato entre o solo e o mostrador. Com as simplificações convenientes consegue-se uma equação da forma apresentada a seguir:

$$P_{su} = \int_0^L C(c_a + \sigma_v K_s \tan \phi_a) dz \quad (\text{Equação 3.02})$$

onde

$C$ : perímetro do amostrador

$c_a$ : adesão não drenada entre o amostrador e o solo

$L$ : longitude onde é aplicado o atrito lateral

$K_s$ : coeficiente de pressão lateral

$\sigma_v$ : esforço vertical do solo

$\phi_a$ : ângulo que mede o atrito entre o solo e o amostrador

É de aceitação geral que o  $P_{bu}$  pode ser avaliado a partir da teoria da capacidade de carga empregando a expressão mostrada na Equação 3.03:

$$P_{bu} = A_b(cN_c + \sigma_{vb}N_q + 0.5\gamma dN_\gamma) \quad (\text{Equação 3.03})$$

onde:

$A_b$ : área da base do amostrador

$c$ : coesão do solo

$\sigma_{vb}$ : esforço vertical do solo ao nível da base do amostrador

$\gamma$ : peso unitário do solo

$d$ : diâmetro do amostrador

$N_c, N_q, N_\gamma$ : coeficientes de capacidade de carga

Juntando as Equações 3.01, 3.02 e 3.03 consegue-se a expressão generalizada para o cálculo da capacidade de carga por equilíbrio limite:

$$P_u = \int_0^L C(c_a + \sigma_v K_s \tan \phi_a) dz + A_b(cN_c + \sigma_{vb}N_q + 0.5\gamma dN_\gamma) - W \quad (\text{Equação 3.04})$$

Para o cálculo da capacidade de carga em condições não drenadas  $\phi=0$ ;  $\phi_a=0$ ;  $N_\gamma=0$ ;  $N_q=1$ ,  $c=S_u$ .

$$P_u = \int_0^L C c_a dz + A_b(S_u N_c + \sigma_{vb}) - W \quad (\text{Equação 3.05})$$

Uma simplificação adicional pode ser feita, desde que a área da base não seja ampla,  $A_b \sigma_{vb} \cong W$ , neste caso:

$$P_u = \int_0^L C c_a dz + A_b S_u N_c \quad (\text{Equação 3.06})$$

Esta equação pode ser escrita convenientemente em termos da força estática ( $F_e$ ):

$$F_e = A_b N_c S_u + A_s f_s \quad (\text{Equação 3.07})$$

A Equação 3.07 representa o objeto de estudo da presente dissertação, dado que com ela é possível desenvolver uma expressão que permita estimar a resistência não drenada de uma camada de solo.

O  $f_s$  representa o atrito lateral gerado durante o processo de penetração entre o solo e o corpo que nele penetra, seja este um amostrador, ou uma estaca, etc. Este atrito lateral pode ser avaliado empregando uma das metodologias que têm sido desenvolvidas para este fim, conhecidas como métodos  $\alpha$  (1),  $\beta$  (2) e  $\lambda$  (3):

(1) Proposta com esforços expressos em termos de tensões totais, onde  $f_s$  se correlaciona com a resistência não drenada ( $S_u$ ) através do coeficiente empírico  $\alpha$  (Peck 1958; Woodward et al. 1961; Tomlinson 1971; Flaate 1972; API: “Recommended Practice” 1981; e outros).

(2) Proposta com esforços expressos em termos de tensões efetivas, onde  $f_s$  se correlaciona com a tensão efetiva inicial  $\sigma'_{vo}$ , através do coeficiente empírico  $\beta$  (Zeevaert 1959; Eide et al. 1961; Chandler 1968; Burland 1973; Mayerhof 1976; Flaate et Selnes 1977).

(3) Finalmente a proposta mista, onde  $f_s$  é correlacionado com uma combinação de  $S_u$  e  $\sigma'_{vo}$  com o parâmetro empírico  $\lambda$  (Vijayvergiga e Focht 1972; Kraft et al. 1981) (Azzouz et al. 1990).

O método  $\beta$  estabelece, como uma de suas hipóteses básicas, que durante a cravação se produz amolgamento do solo ao longo da estaca, ou seja,  $c=0$ . Por esta razão, no curso da presente dissertação, somente serão avaliados os métodos  $\alpha$  e  $\lambda$ .

### 3.1.1. Equações para o método alfa ( $\alpha$ )

O método  $\alpha$ , expresso em termos de tensões totais, é a proposta mais popular para a estimativa da capacidade lateral de estacas em argilas, constituindo-se basicamente em uma relação da resistência não drenada através do coeficiente de adesão ( $\alpha$ ) (Doherty e Gavin, 2010).

$$f_s = \alpha S_u \quad (\text{Equação 3.08})$$

Desta forma a Equação 3.07 se pode reescrever da seguinte maneira:

$$F_e = A_b N_c S_u + A_s (\alpha S_u) \quad (\text{Equação 3.09})$$

Consequentemente:

$$S_u = \frac{F_e}{A_b N_c + \alpha A_s} \quad (\text{Equação 3.10})$$

Pode-se determinar o coeficiente de adesão  $\alpha$  empregando algum dos gráficos desenvolvidos para esta finalidade (Tomlinson, 1957; Peck, 1958; Flaate, 1968; Tomlinson, 1969; Tomlinson, 1974; API, 1975; McClelland, 1974, etc). Nestes gráficos representa-se a relação não linear de  $\alpha$  com  $S_u$ , sugerida inicialmente por Tomlinson (1957). Alguns autores têm incluído correlações com o índice plástico (IP) (Flaate, 1968). Na Figura 3.1 e Figura 3.2 são mostrados os gráficos para a determinação do coeficiente de adesão  $\alpha$ .

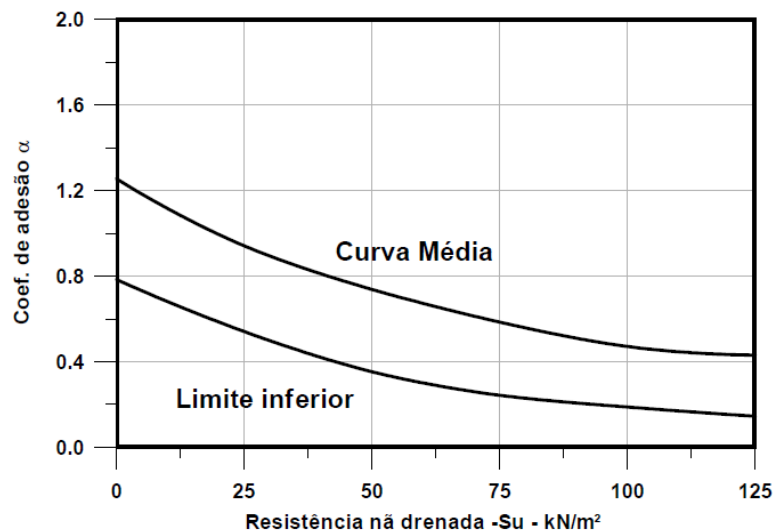


Figura 3.1: Relação entre o coeficiente de adesão e a resistência não drenada, segundo Tomlinson (1969).

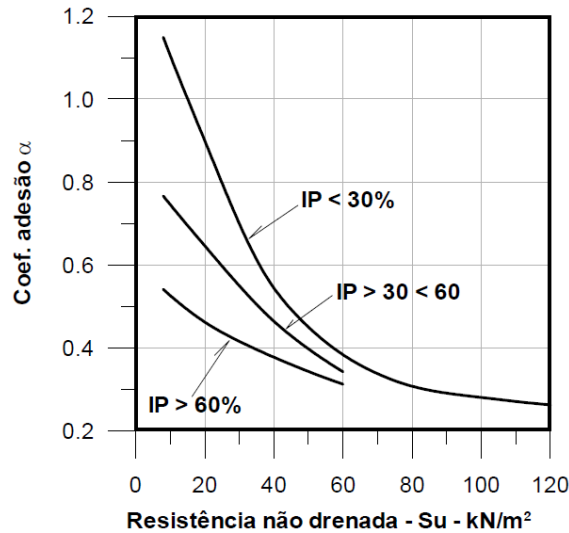


Figura 3.2: Relação entre o coeficiente de adesão e a resistência não drenada, segundo Flaate (1969).

Como pode ser visto nos gráficos anteriores, o cálculo de  $\alpha$  é dependente de  $S_u$  ( $\alpha = f(S_u)$ ). Assim, nos processos de cálculo da presente dissertação a estimativa da resistência não drenada toma a forma de um processo iterativo.

No Capítulo 5 é feita uma análise dos resultados de  $S_u$ , aplicando a Equação 3.10, calculados com os valores propostos por Odebrecht para as variáveis geométricas e ajustes estatísticos, juntamente com as estimativas de  $\alpha$  dos gráficos antes apresentados.

### 3.1.2. Proposta para a estimativa de alfa ( $\alpha$ )

Na presente dissertação é proposta uma metodologia complementar para a estimação de  $\alpha$  (coeficiente de adesão), um dos objetivos é contar com um procedimento de cálculo que seja independente de uma estimativa inicial de  $S_u$ , além de dar maior relevância nos processos de cálculo para os resultados dos ensaios SPT. O resultado final é uma equação em função do  $N_{SPT}$ .

Para este fim é proposta a Equação 3.11 (deduzida da Equação 3.09), e assim, através de uma análise estatístico-matemática, desenvolver uma relação com os resultados dos ensaios SPT.

$$\alpha = \frac{F_e - A_b N_c S_u}{S_u A_s} \quad (\text{Equação 3.11})$$

### 3.1.3. Equações para o método lambda ( $\lambda$ )

A metodologia para a estimativa do coeficiente de adesão  $\lambda$  foi proposta inicialmente por Vijayvergiya e Focht (1972). Nesta, a resistência lateral é obtida simultaneamente através das tensões efetivas e a resistência não drenada. Esta abordagem foi a primeira a levar em conta a profundidade de penetração (Doherty e Gavin, 2010).

$$f_s = \lambda(\sigma'_v + 2S_u) \quad (\text{Equação 3.12})$$

Desta forma a Equação 3.07 pode ser escrita da seguinte forma:

$$F_e = A_b(N_c S_u) + \lambda A_s(\sigma'_v + 2S_u) \quad (\text{Equação 3.13})$$

Consequentemente:

$$S_u = \frac{F_e - \lambda A_s \sigma'_v}{A_b N_c + 2\lambda A_s} \quad (\text{Equação 3.14})$$

A Figura 3.3 mostra o coeficiente  $\lambda$  em função da profundidade, segundo a proposta de Vijayvergiya e Focht (1972). Os valores de  $\lambda$  foram obtidos através de correlações com provas de carga em estacas metálicas.

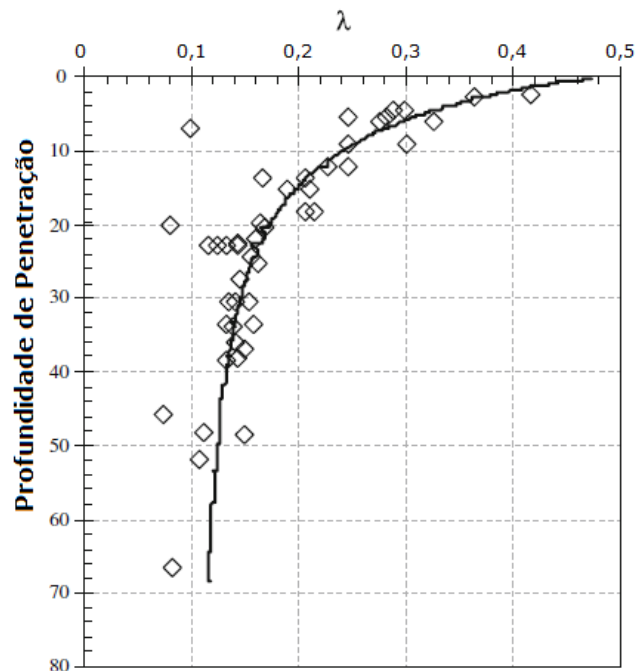


Figura 3.3: Valores de  $\lambda$  em função da profundidade (Vijayvergiya e Focht, 1972) (Modificado de Doherty e Gavin, 2010).



#### 3.1.4. Proposta para a estimativa de lambda ( $\lambda$ )

De forma análoga aos processos de cálculo para o coeficiente  $\alpha$  proposto, também é desenvolvida uma forma de estimar o coeficiente  $\lambda$  em função do  $N_{SPT}$ , e partindo da Equação 3.13 é deduzida a Equação 3.15:

$$\lambda = \frac{F_e - A_b N_c S_u}{A_s (\sigma'_v + 2S_u)} \quad (\text{Equação 3.15})$$

#### 4. BANCO DE DADOS

O ponto de partida da presente dissertação é dado pela necessidade de conformar um banco de dados na qual se registram as características de depósitos argilosos, com informações obtidas através de campanhas de ensaios de campo. O eixo da pesquisa consiste em encontrar locais onde foram realizados ensaios de SPT e determinação de  $S_u$  por meios diretos, preferivelmente em campo através de ensaios de Vane, ou alternativamente através de ensaios de laboratório ou outros ensaios de campo como pressiométricos, etc.

Como principais fontes de informação foram utilizadas as bibliotecas virtuais dos programas de pós-graduação das universidades brasileiras, além das informações disponibilizadas pelo orientador da presente dissertação. É de conhecimento do autor que, a nível internacional, trabalhos de caracterização de depósitos argilosos têm sido realizados de forma metódica e intensa. Mas a publicação destes resultados tem sido feita de forma restrita ou fragmentada, dificultando ao investigador a obtenção de um número maior de resultados, com os quais, sem dúvidas, teria produzido uma pesquisa mais abrangente.

Dos trabalhos coletados, extraíram-se as informações de interesse, como geologia e propriedades geotécnicas dos estratos de solo em estudo, além das descrições básicas de localização. Elaboraram-se fichas contendo resumos destas informações na forma de tabelas e gráficos, sendo as mesmas estruturadas em planilhas eletrônicas, usando a ferramenta Microsoft Excel © para o processamento das diferentes metodologias e equações avaliadas.

O presente capítulo contém as informações coletadas dos locais estudados. A seguir exibem-se dados de depósitos de argila muito moles, moles e argilas rijas, características de depósitos brasileiros, além de alguns dados internacionais, como no caso da argila de Londres (London Clay). A exposição desta informação é feita individualmente, local por local, incluindo os anexos, necessários para mostrar a totalidade dos resultados dos ensaios SPT nos locais em estudo.

No processo de análises das informações foram feitas as seguintes considerações:

- a) para cada ensaio SPT foram tomados os  $N_{SPT}$  de cada uma das camadas de solo classificado como tipo argila.

- b) para cada local em estudo foram escolhidos os valores de  $S_u$  mínimos, em cada estrato, com o objetivo de manter a tendência para resultados mais conservadores.
- c) nos casos de estudo em locais de argilas moles e muito moles foram encontradas penetrações de 120 cm, 110 cm, entre outros valores, para  $N_{SPT}=0$  e  $N_{SPT}=1$ . Pelas incertezas que este tipo de resultados apresentam no processo de interpretação foi adotado um procedimento no processo de cálculo: o amostrador padrão conta com uma longitude de 45 cm, esta longitude foi estabelecida como valor máximo para a penetração num estrato em particular.

A seguir, na Tabela 4.1, mostrar-se um resumo das referencias bibliográficas consultadas no processo de elaboração do banco de dados:

Tabela 4.1: Referencias bibliográficas para a elaboração do banco de dados.

Sítio	Referencia bibliográfica
Ceasa	Soares (1997); Hallal (2003)
Aeroporto Salgado Filho	Soares (1997); Hallal (2003); Odebrecht (2003)
Tabaí	Soares (1997); Hallal (2003)
Sarapuí I	Collet (1978); Ortigão (1980); Almeida e Marques (2002); Januzzi (2009)
Sarapuí II	Januzzi (2009)
Guabirota	Kormann (2002); Schnaid (2007)
Argila de Londres	ARUP (1992)

#### 4.1. CEASA

O local de estudo situa-se na zona norte da cidade de Porto Alegre, RS, na várzea do Rio Gravataí. As informações foram extraídas dos trabalhos de Soares (1997) e Hallal (2003) baseados em pesquisas desenvolvidas no PPGECC da UFRGS. A Figura 4.1 mostra um esquema de sua localização.

A descrição da geologia do local feita por Hallal (2003) indica que o local faz parte das planícies litorâneas brasileiras, que se formaram principalmente através de uma fase regressiva do mar há 5.150 anos, e que perdura até os dias de hoje, com um rebaixamento do nível do mar de 5 metros, segundo Suguio et al. (1985). Conforme discutido por Soares (1997), os Depósitos Sedimentares desenvolveram-se ao longo de toda a costa no extremo sul

do país, constituída de amplas planícies costeiras, estendendo-se na direção NE-SO e de forma alargada ao sul.

No plano local, os solos encontrados no espaço de estudo classificam-se como Glei Húmico, fazendo parte da unidade Vacacaí, cujos solos são classificados predominantemente como Planossolos (Lemos et al., 1973). Este tipo de solo é característico de áreas baixas, associado às planícies de rios e lagos. Solos hidromórficos pouco evoluídos, os Glei, têm altos teores de matéria orgânica na superfície e características de condições redutoras em seu perfil (cores cinzentas), dadas pela influencia do lençol freático.

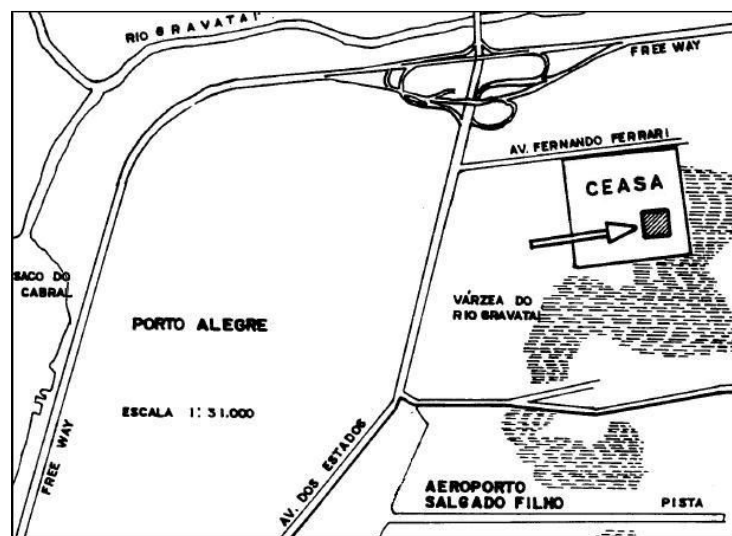


Figura 4.1: Localização do local, Ceasa (Modificado de Soares, 1997).

Na Figura 4.2 pode observar-se a carta de plasticidade de Casagrande para os materiais recuperados na sondagem. Levando em conta os altos teores de conteúdos orgânicos no solo a argila é qualificada como OH. Os teores de matéria orgânica estão entre 0,4 e 5,0 %.

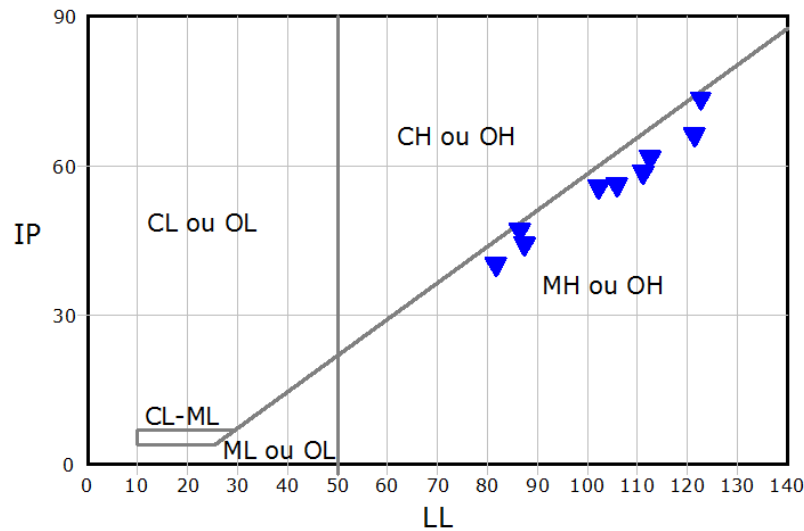


Figura 4.2: Carta de plasticidade de Casagrande, Ceasa (Modificado de Soares, 1997).

Na Tabela 4.2 são mostrados os resultados do ensaio SPT, como também o peso específico do solo. O nível do lençol freático está posicionado a 0,3 m abaixo da superfície do terreno. Na Figura 4.3 mostra-se a relação de OCR com a profundidade e na Figura 4.4 os resultados dos diferentes valores de  $S_u$  medidos neste local.

Tabela 4.2: Resultados de SPT, Ceasa.

Profundidade (m)	Peso específico ( $\text{kN/m}^3$ )	$N_{\text{SPT}}$	Penetração (cm)	Penetração (m)
2	16,0	4	30	0,08
3	15,5	2	30	0,15
4	13,8	0	45	0,45
5	14,0	0	45	0,45
6	13,9	0	45	0,45
7	13,9	0	45	0,45
8	14,2	0	45	0,45
9	14,1	2	30	0,15
10	14,0	9	30	0,03

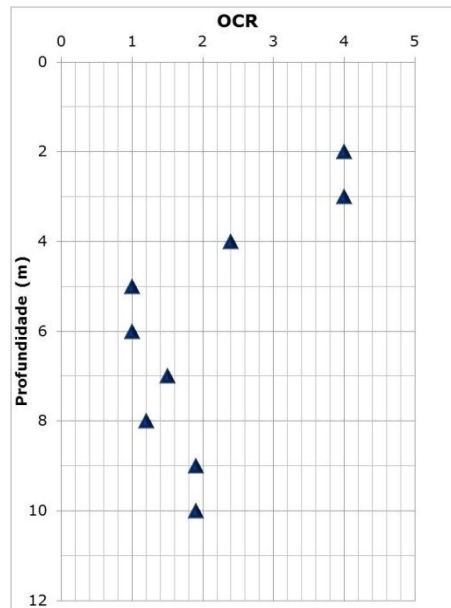


Figura 4.3: Relação de OCR do perfil de solo, Ceesa (Modificado de Soares, 1997).

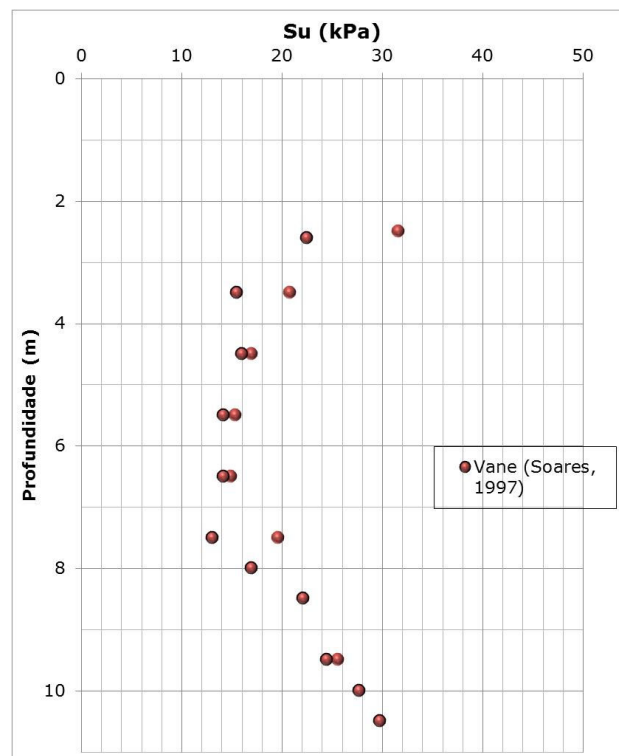


Figura 4.4:  $S_u$  medido em campo, Ceesa (Modificado de Soares, 1997).

## 4.2. AEROPORTO SALGADO FILHO

A informação necessária para estudo deste local foi obtida nas teses de Soares (1997), Hallal (2003) e Odebrecht (2003), igualmente desenvolvidas no PPGECC da UFRGS.

Este local situa-se na zona norte de Porto Alegre (RS), próximo à outra área de estudo junto à estrada Tabai-Canoas. Do ponto de vista da geologia, estes três locais compartilham propriedades e descrições. A localização relativa à cidade de Porto Alegre é mostrada na Figura 4.5. De forma geral pode-se dizer que as descrições feitas anteriormente no item 4.1, a respeito das características geológicas do solo, correspondem às que seriam feitas da área do aeroporto.

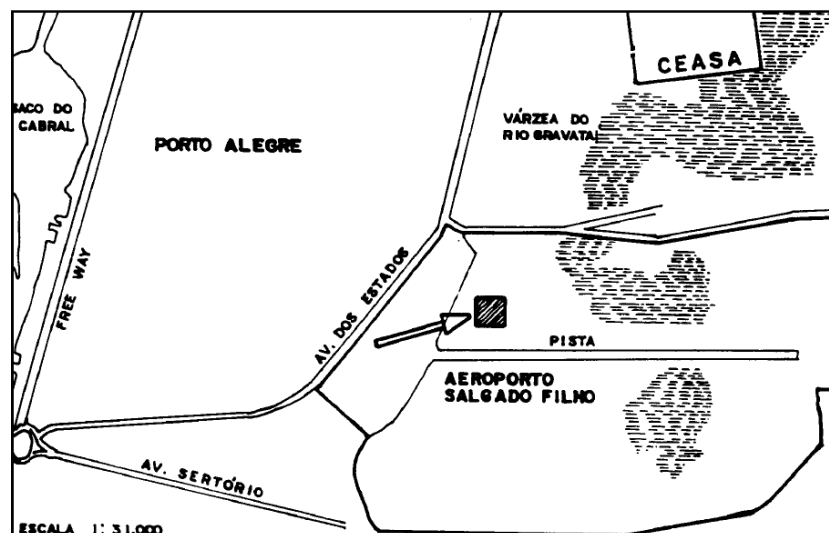


Figura 4.5: Localização do local, Salgado Filho (Modificado de Soares, 1997).

As propriedades dos materiais encontrados são oferecidas na sequência, em forma de gráficos e tabelas. A Figura 4.6 mostra a carta de plasticidade de Casagrande para os materiais recuperados na sondagem. Levando em conta os altos teores (0,4 a 3,4 %) de conteúdos orgânicos no solo a argila é qualificada como OH.

Na Tabela 4.3 são descritos os resultados do ensaio SPT e também do peso específico. O nível médio do lençol freático está 0,3 m abaixo da superfície do terreno. Na Figura 4.7 pode-se notar a relação de OCR com a profundidade e na Figura 4.8 os resultados dos diferentes valores de  $S_u$  medidos neste solo.

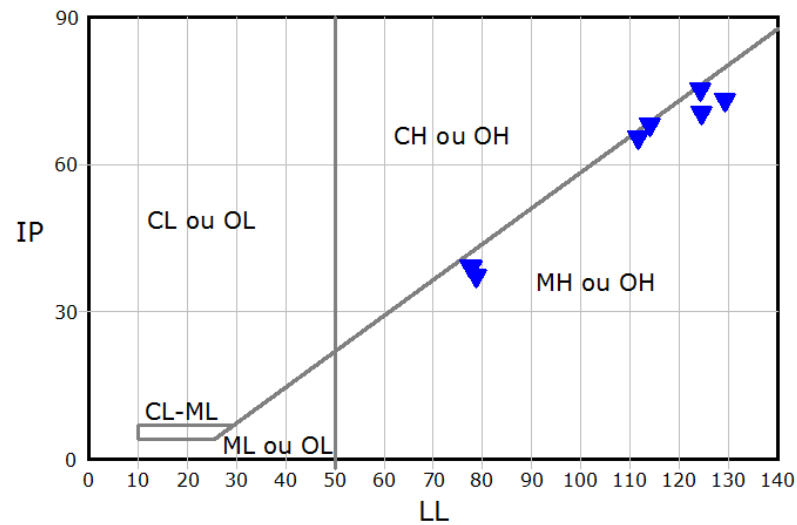


Figura 4.6: Carta de plasticidade de Casagrande, Aeroporto Salgado Filho (Modificado de Soares, 1997).

Tabela 4.3: Resultados de SPT, Aeroporto Salgado Filho.

Profundidade (m)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)
1	17,0	2	30	0,15
2	15,0	0	45	0,45
3	15,0	0	45	0,45
4	15,0	0	45	0,45
5	15,0	0	45	0,45
6	15,0	2	30	0,15

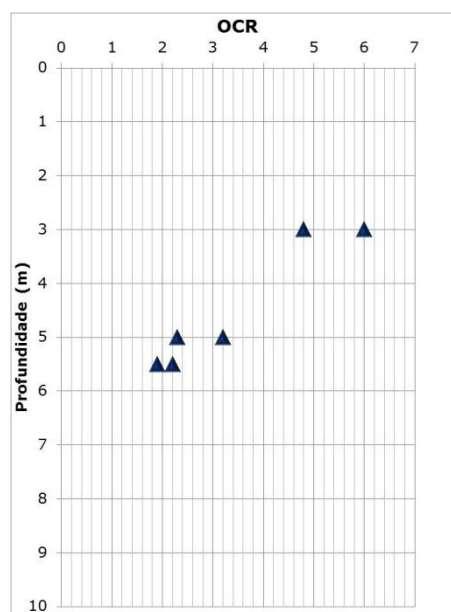


Figura 4.7: Relação de OCR do perfil de solo, Aeroporto Salgado Filho (Modificado de Soares, 1997).



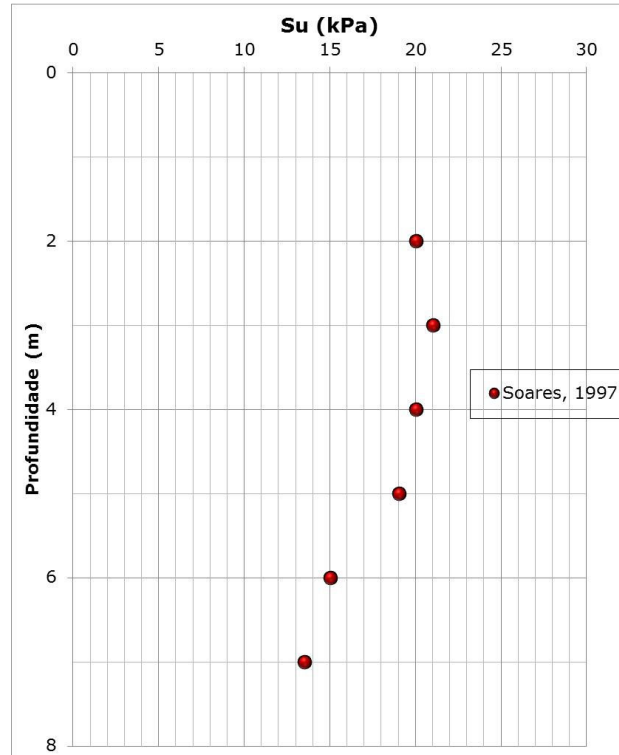


Figura 4.8:  $S_u$  medido em campo, Aeroporto Salgado Filho (Modificado de Soares, 1997).

### 4.3. TABAÍ

Conforme mencionado anteriormente, as informações deste local foram igualmente extraídas dos trabalhos de Soares (1997) e Hallal (2003). A Figura 4.9 mostra um esquema de sua localização.

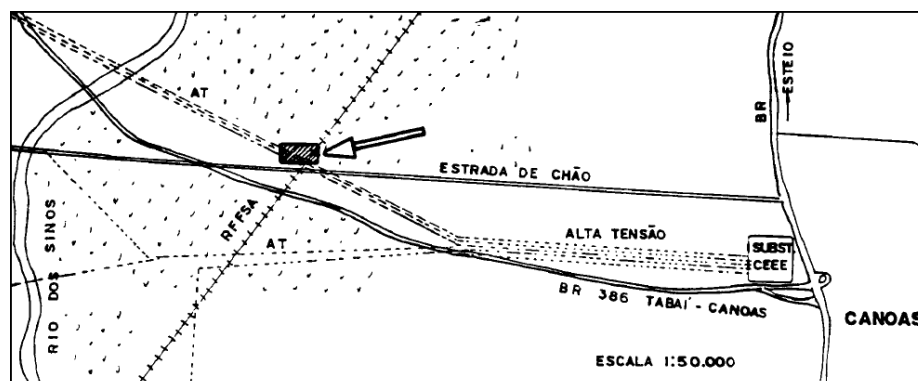


Figura 4.9: Localização do local, Tabaí (Modificado de Soares, 1997).

A Figura 4.10 mostra a carta de plasticidade de Casagrande para os materiais recuperados na sondagem, sendo a argila qualificada como OH com teores de matéria orgânica de 0,4 a 6,3 %.

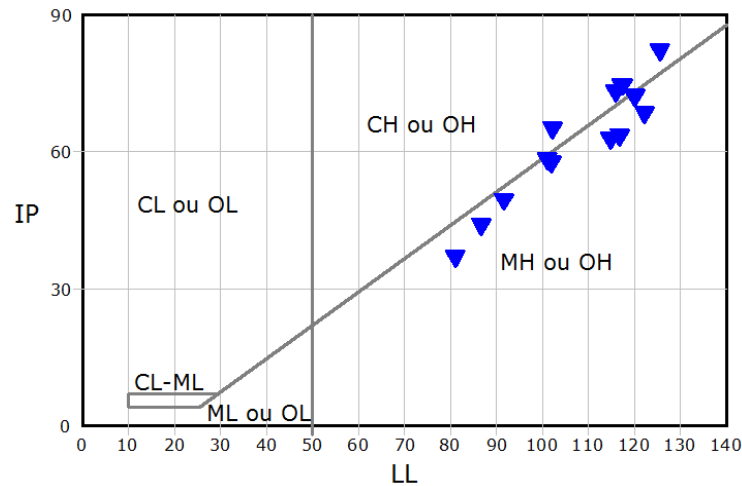


Figura 4.10: Carta de plasticidade de Casagrande, Tabai (Modificado de Soares, 1997).

Na Tabela 4.4 podem-se contemplar os resultados do ensaio SPT, e também o peso específico. O nível do lençol freático está 0,3 m abaixo da superfície do terreno. Na Figura 4.11 verifica-se a relação de OCR com a profundidade. E na Figura 4.12 os resultados dos diferentes valores de  $S_u$  medidos.

Tabela 4.4: Resultados de SPT, Tabai.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (cm)	Penetração (m)
1	14,0	1	30	0,30
2	14,0	1	30	0,30
3	14,0	1	30	0,30
4	14,0	1	30	0,30
5	14,0	1	30	0,30
6	14,0	1	30	0,30
7	14,0	1	30	0,30
8	14,0	1	30	0,30
9	14,0	0	30	0,30
10	14,0	9	30	0,03

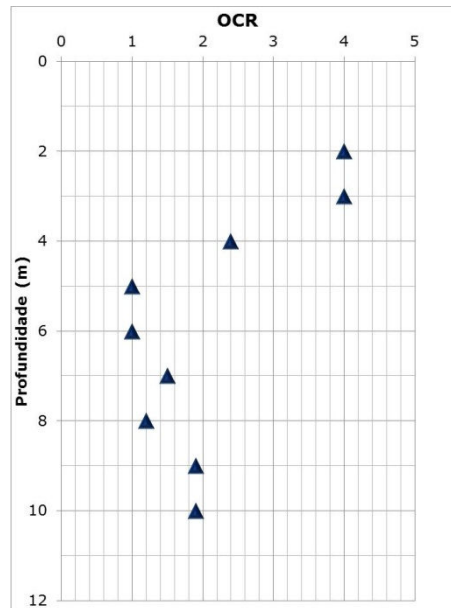


Figura 4.11: Relação de OCR do perfil de solo, Tabai (Modificado de Soares, 1997).

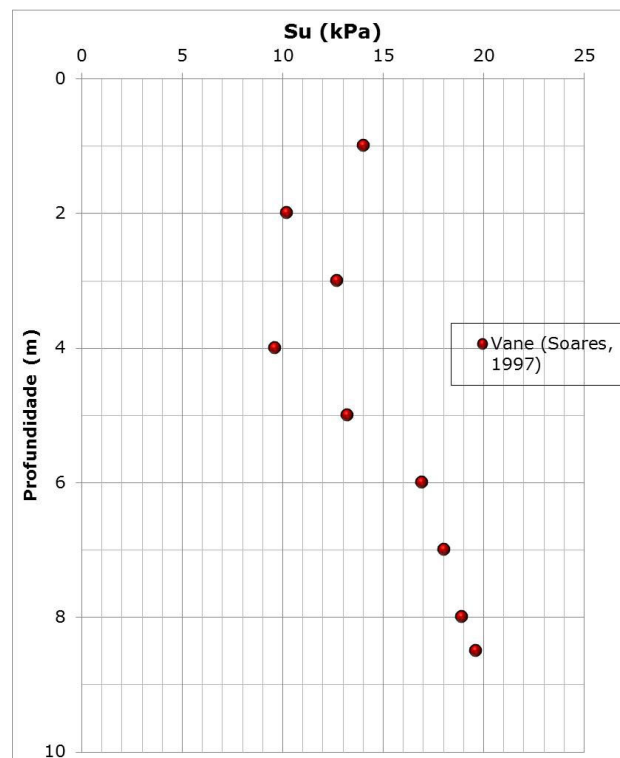


Figura 4.12:  $S_u$  medido em campo, Tabai (Modificado de Soares, 1997).

#### 4.4. SARAPUÍ I

A argila de SarapuÍ tem sido objeto de pesquisa extensiva tanto na COPPE como na PUC/RJ (Ortigão, 1975; Coutinho, 1976; Duarte, 1977; Collet, 1978; Ortigão, 1980; Bressani, 1983; Rocha Filho e Alencar, 1985; Terra, 1988; Dazinger, 1990; Alves, 2004; Francisco, 2004). Sem pretender compilar todos os dados existentes, este trabalho procura identificar um local característico, conforme reportado por Jannuzzi (2009), dando seqüência aos estudos anteriores descritos por Odebrecht (2003).

A camada argilosa é muito mole, de cor cinza, devido à matéria orgânica e ambiente de redução. Constituída de minerais cauliníticos com pouca presença de ilita (Antunes, 1978). Apresenta em superfície uma crosta ressecada pré-adensada com 3 m de espessura, sendo que abaixo da crosta o material é levemente pré-adensado (Ortigão, 1980; Terra, 1988; Almeida et al., 2005; Cavalcante et al., 2006).

A argila de SarapuÍ é um depósito quaternário de sedimentos marinho fluvial nas terras baixas ao redor da baía de Guanabara. Formou-se há 6000 anos pela sedimentação e erosão das montanhas próximas e pelos sedimentos marinhos depositados pela regressão do mar (Antunes, 1978).

Na Figura 4.13 mostra-se a localização aproximada da área de pesquisas da UFRJ denominada de SarapuÍ, onde estão localizados os campos de pesquisa SarapuÍ I e SarapuÍ II. E na Figura 4.14 uma localização relativa destes dos campos de pesquisa.

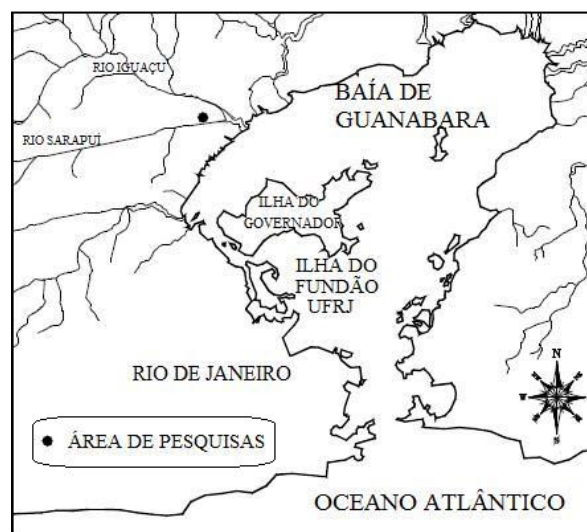


Figura 4.13: Localização da área de pesquisa de SarapuÍ (Modificado de Almeida e Marques, 2002).

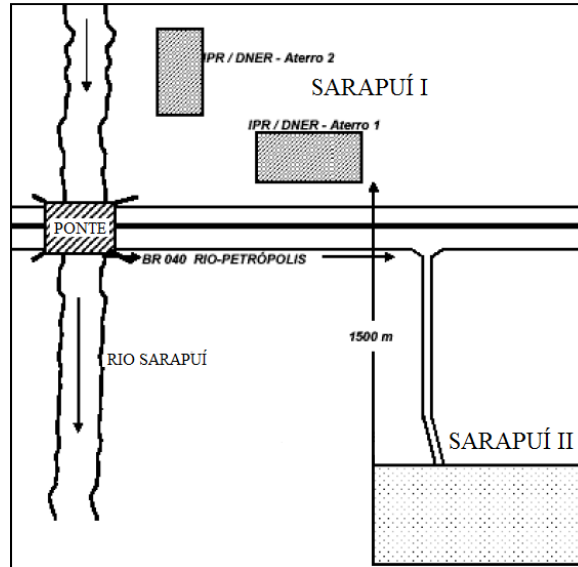


Figura 4.14: Localização relativa de Sarapuí I e Sarapuí II (Modificado de Jannuzzi, 2009).

A Figura 4.15 corresponde à carta de plasticidade de Casagrande. Levando em conta os altos teores de matéria orgânica, variando entre 4,1 a 6,4 % (Jannuzzi, 2009), esta argila é qualificada como OH.

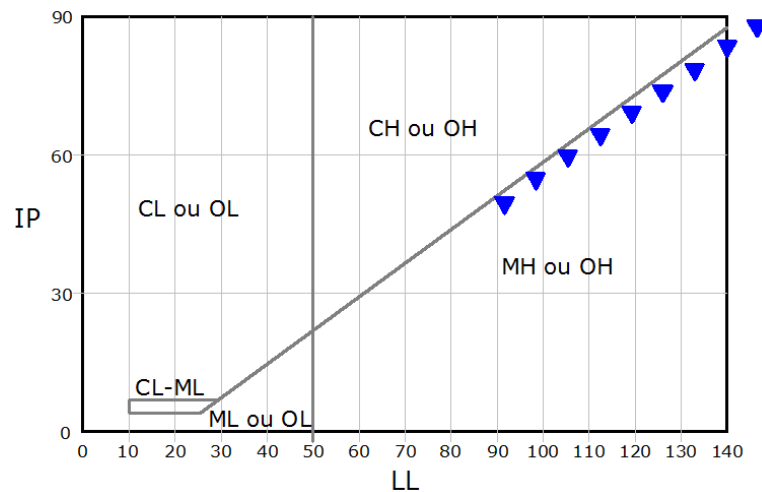


Figura 4.15: Carta de plasticidade de Casagrande, Sarapuí (Modificado de Jannuzzi, 2009).

Na Tabela 4.5 estão descritos os resultados do ensaio SPT e do peso unitário. Esta tabela mostra o comportamento médio do solo. Nos anexos correspondentes exibem-se os outros ensaios realizados neste local. O nível do lençol freático para as três escavações corresponde à superfície do terreno. Na Figura 4.16 mostra a relação de OCR com a profundidade e na Figura 4.17 podem observar-se os resultados dos diferentes  $S_u$  medidos neste solo.

Tabela 4.5: Resultados de SPT, Sarapuí I sondagem II.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (m)
1,0	13,0	0	45	0,45	45
2,0	13,0	0	45	0,45	45
3,0	13,0	0	45*	0,45	110
4,0	13,0	0	45*	0,45	-
5,0	13,1	0	45*	0,45	95
6,0	13,2	1	40	0,40	40
7,0	13,3	1	45*	0,45	72
8,0	13,4	1	45*	0,45	-
9,0	13,7	1	45*	0,45	55
10,0	13,8	1	40	0,40	40

\*Valor ajustado

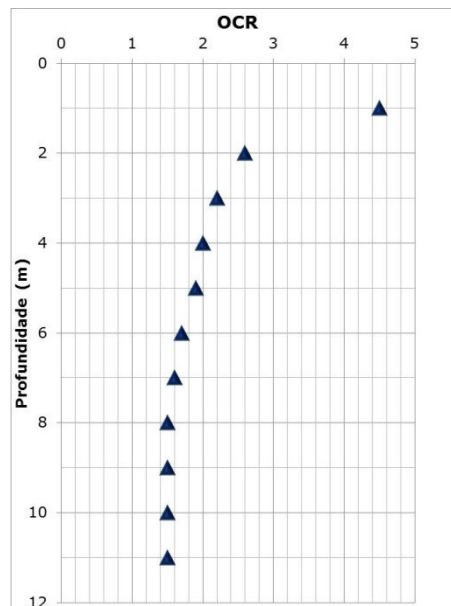


Figura 4.16: Relação de OCR do perfil de solo, Sarapuí (Modificado de Collet, 1978).

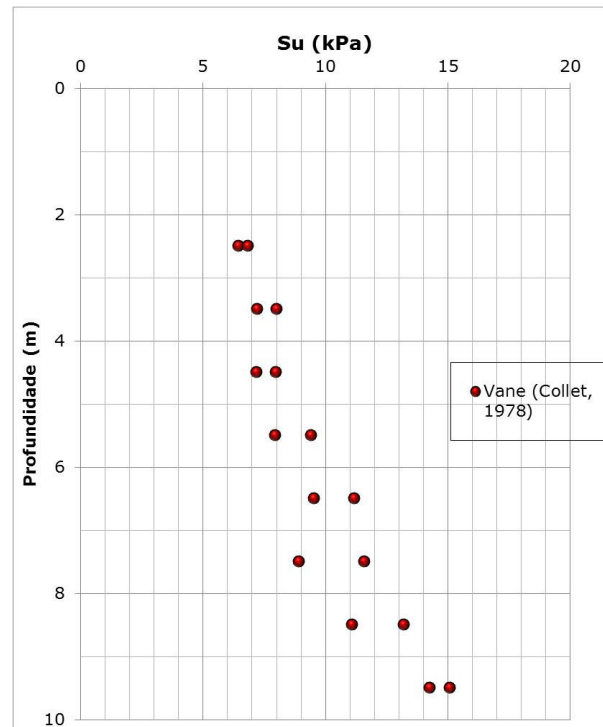


Figura 4.17:  $S_u$  medido em campo, Sarapuí I (Modificado de Collet, 1978).

#### 4.5. SARAPUÍ II

Assim como no caso de Sarapuí I, a informação necessária para este local foi obtida dos trabalhos de Jannuzzi (2009).

Na Tabela 4.6 estão os resultados do ensaio SPT e do peso unitário. Esta tabela expõe o comportamento médio do solo. Nos anexos correspondentes são proporcionados os outros ensaios realizados neste local. O nível do lençol freático para as três escavações corresponde à superfície do terreno. Verifica-se a relação de OCR com a profundidade é mostrada na Figura 4.18, enquanto os resultados dos diferentes  $S_u$  medidos neste solo são apresentados na Figura 4.19.

Tabela 4.6: Resultados de SPT, Sarapuí II sondagem II.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (m)
1,0	13,0	0	45	0,45	45
2,0	13,0	0	45	0,45	45
3,0	13,0	0	45	0,45	45
4,0	13,0	0	45	0,45	45
5,0	13,1	0	45*	0,45	70
6,0	13,2	0	45*	0,45	70

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (m)
7,0	13,3	0	45*	0,45	50
8,0	13,4	2	30	0,30	30

\*Valor ajustado

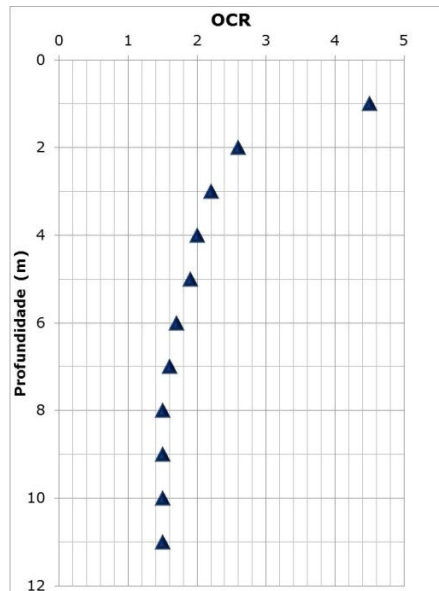


Figura 4.18: Relação de OCR do perfil de solo, Sarapuí (Modificado de Collet, 1978).

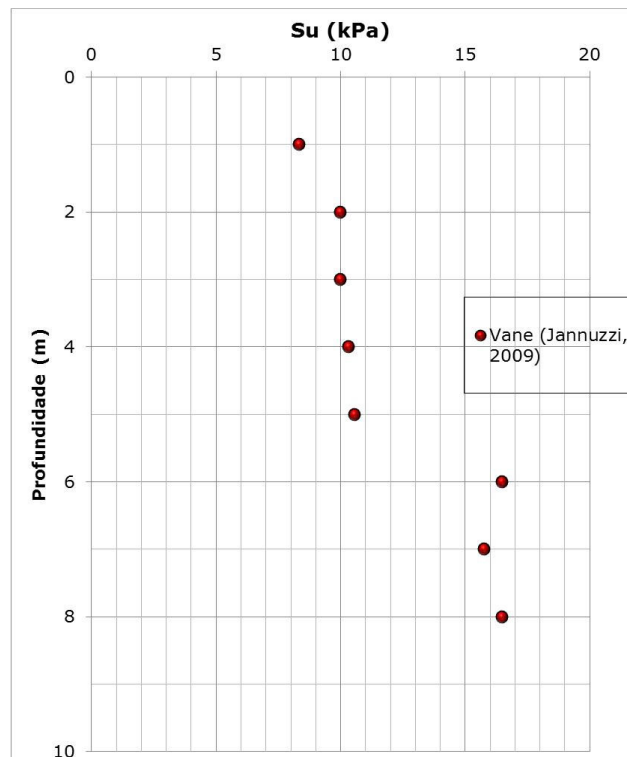


Figura 4.19:  $S_u$  medido em campo, Sarapuí II (Modificado de Jannuzzi, 2009).



#### 4.6. GUABIROTUBA

A informação necessária para este local foi obtida dos trabalhos de Kormann (2002), no departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A localização da bacia de Curitiba pode ser conferida na Figura 4.20.

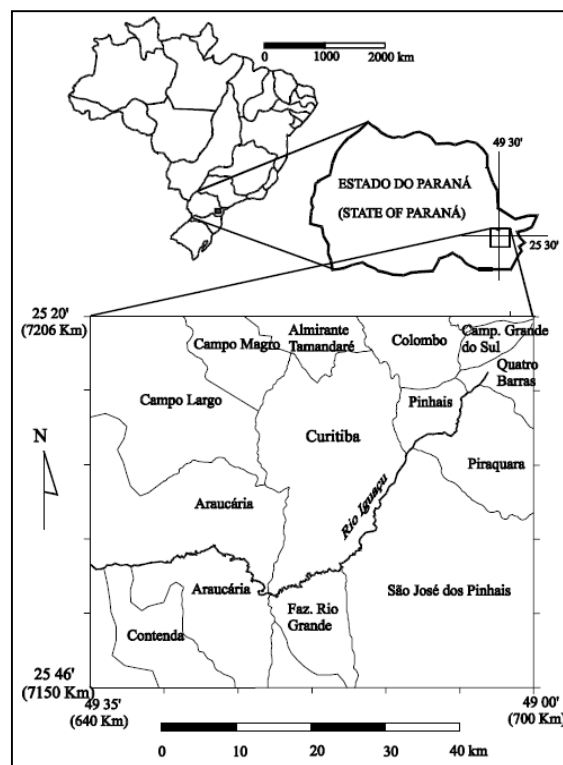


Figura 4.20: Localização da bacia sedimentar de Curitiba (E. Salamuni e R. Salamuni, 1999).

Segundo Bigarella et. al (1961) na bacia de Curitiba encontram-se duas formações sedimentares. A mais antiga corresponde à formação Guabirotuba constituída principalmente por argilitos e arcósios. A outra corresponde às formações de deposição mais recentes.<sup>1</sup> As colorações mais comuns destes materiais são cinza com tonalidades azuis ou esverdeadas. Na sua mineralogia predominam as esmectitas, com presença de partículas de siltes e areias na massa de solo. Nas camadas superficiais podem aparecer processos de alteração incipientes (Kormann, 2002)

O Centro Politécnico da Universidade Federal de Paraná, conta com duas áreas destinadas à pesquisa da formação Guabirotuba, nas quais são empregados diversos métodos de

<sup>1</sup> <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/020.pdf> 02 de abril 2011.

prospecção para estudar o terreno. O local é conhecido como Sítio Experimental de Geotecnia da UFPR (Kormann, 2002) e encontra-se no bairro Jardim das Américas. Na presente pesquisa foram empregadas unicamente as informações correspondentes à área 2, cuja localização é mostrada na Figura 4.21.

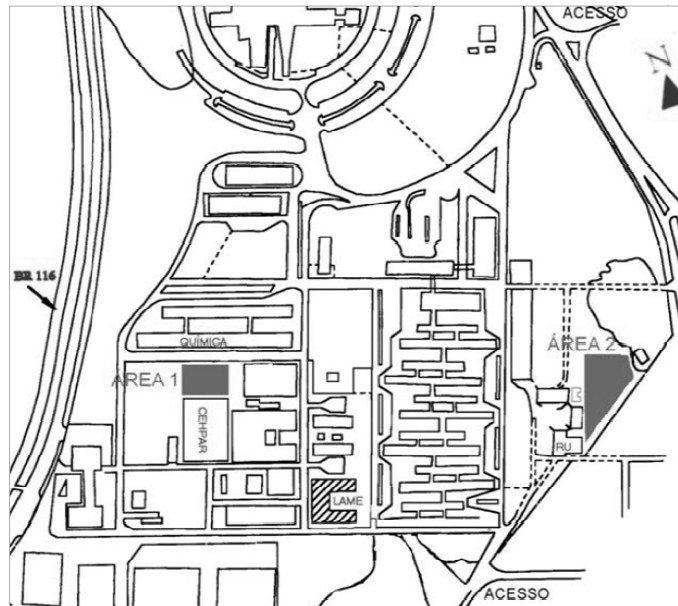


Figura 4.21: Localização das áreas de pesquisa geotécnica da UFPR (Kormann, 2002).

Na sequência podem-se observar as informações relativas ao local, nas figuras e gráficos elaborados, assim como resumos das propriedades dos geomateriais encontrados nas sondagens.

Como se pode verificar na Figura 4.22, os materiais encontrados no local estão nas proximidades da linha A, sendo que a maioria se classifica como MH. Há, ainda, uma boa quantidade de CH, segundo a carta de plasticidade de Casagrande.

A Tabela 4.7 resume os resultados dos ensaios SPT, o peso unitário e o nível do lençol freático, cujos valores são representativos do comportamento médio do solo. Nos anexos correspondentes existem outros ensaios realizados neste local. O nível do lençol freático encontra-se a uma profundidade média de 1,7 m.

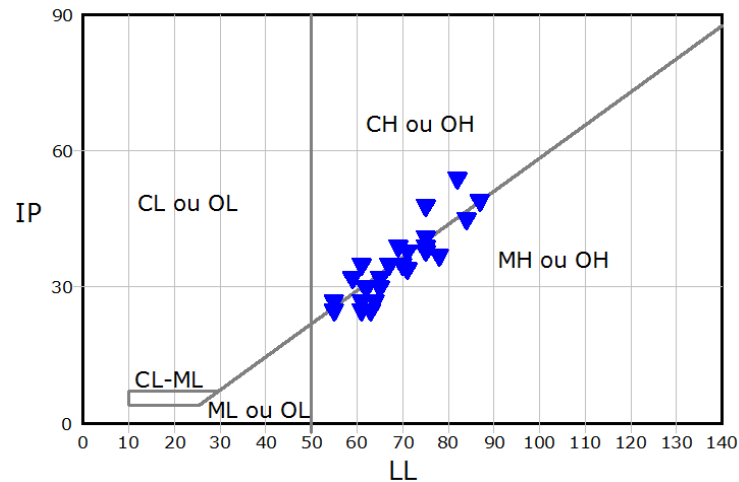


Figura 4.22: Carta de plasticidade de Casagrande, Guabiro tuba (Modificado de Kormann, 2002).

Tabela 4.7: Resultados de SPT, Guabiro tuba sondagem B3.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)
3	17,0	17	30	0,018
4	17,5	19	30	0,016
5	17,5	21	30	0,014
6	17,5	23	30	0,013
7	18,0	26	30	0,012
8	18,0	30	30	0,010
9	18,4	30	30	0,010
10	18,6	34	30	0,009
11	18,6	35	28	0,008
Lençol freático	0,15 m			

A Figura 4.23 mostra a relação de OCR com a profundidade e na Figura 4.24 os resultados dos diferentes  $S_u$  medidos neste solo.

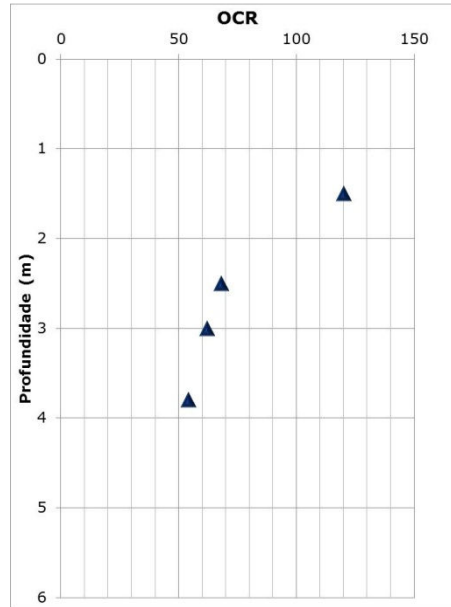


Figura 4.23: Relação de OCR do perfil de solo, Guabirota (Modificado de Kormann, 2002).

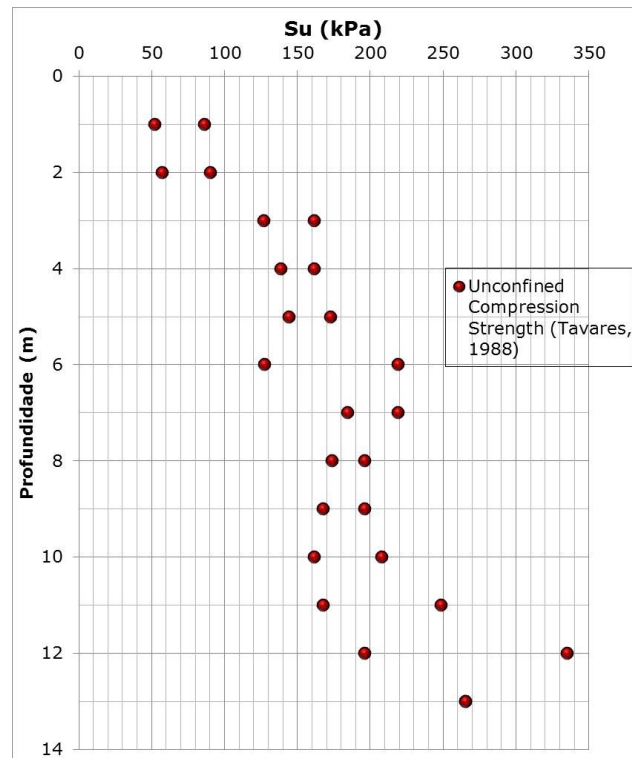


Figura 4.24:  $S_u$  medido em campo, Guabirota (Modificado de Schnaid, 2007).

#### 4.7. ARGILA DE LONDRES

O conhecimento e caracterização da argila de Londres é relatado em inúmeras publicações técnicas e científicas (Fookes et Parrish, 1969; Burland, 1989; Troughton, 1992; Simpson et al., 1979; Chandler et al., 1989; Burland et al., 2001; Gasparre, 2005; entre outros). Entretanto, são raros os trabalhos científicos que incluem o SPT como informação nas campanhas de investigação. Assim a presente pesquisa fez uso de relatórios técnicos de obras obtidos no Relatório da empresa ARUP nos estudos para o metro da cidade de Londres.

A argila de Londres é uma formação geológica de tipo marinha do Ypresiano (Eoceno inferior, 56-49 Ma) que aflorou no sudeste da Inglaterra. Tem sido reconhecida pelos seus conteúdos de fósseis, os quais indicam que se formou quando esta parte da terra tinha um clima do tipo tropical, similar ao clima atual da Indonésia ou da África ocidental.

É uma argila inorgânica e altamente plástica, com seu índice de plasticidade reduzido na profundidade (Burland, 1989), é dura, tem propriedades impermeáveis, sobre-adensada, de cor azulada, com tonalidades marrons. Contém cristais de pirita e de selenita. Tem sido empregada de forma comercial para a fabricação de tijolos, lajotas e cerâmicas. Não tem utilidade na agricultura.

Tem sido identificados mais de cinco ciclos de deposição. Cada um deles começa com materiais grossos, continuando com argilas que incrementam seus conteúdos de areias.

No processo de estudo foram escolhidos dois programas de prospecção, os dois fazem parte da avaliação de uma das linhas do metrô, na parte noroeste da cidade de Londres. Um deles corresponde ao alinhamento *Torquay Street* a *Cleveland Terrace* e o outro à *Paddington Station*.

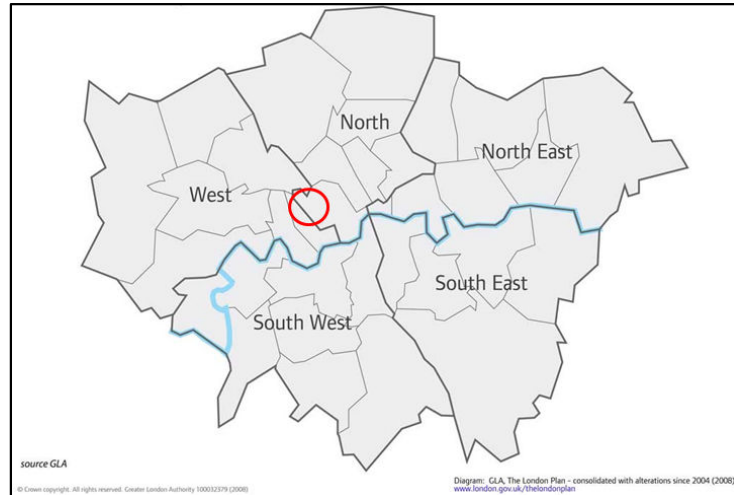


Figura 4.25: Esquema da cidade de Londres, em vermelho a zona de estudo (Modificado do site da prefeitura de Londres).

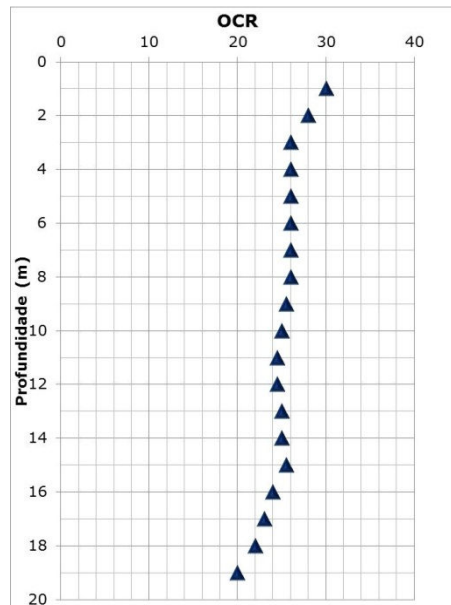


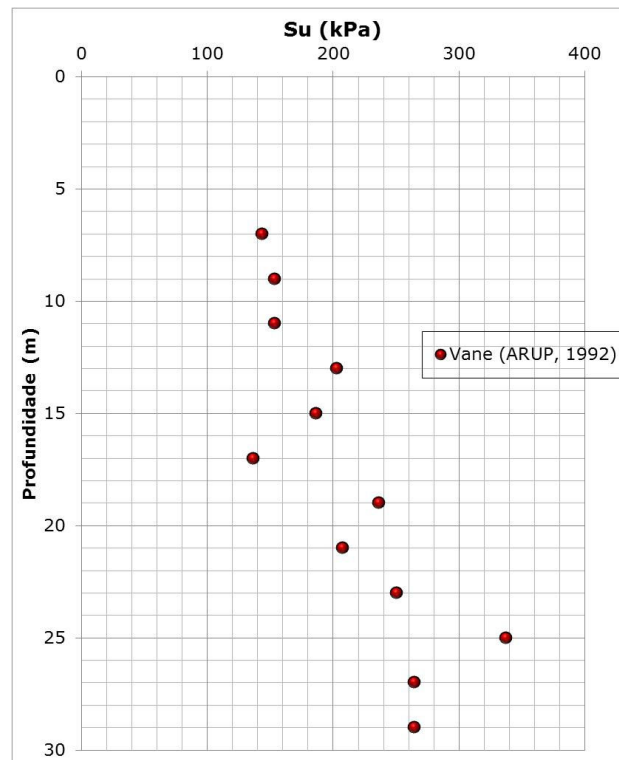
Figura 4.26: Relação de OCR do perfil de solo, argila de Londres (Modificado de ARUP, 1992).

#### 4.7.1. Argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace

A resistência à penetração é bastante variável nesta região. Na Tabela 4.8 é mostrado o comportamento do perfil mais conservador dos resultados do ensaio SPT, na área de pesquisa avaliada, além do peso unitário e do nível do lençol freático. Na Figura 4.27 reúne os resultados dos diferentes  $S_u$  medidos neste solo.

Tabela 4.8: Resultados de SPT, argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace (A2).

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)
7	20,6	22	30	0,014
9	20,6	24	30	0,013
11	20,6	25	30	0,012
13	20,6	32	30	0,009
15	20,6	35	30	0,009
17	20,6	43	30	0,007
19	20,6	39	30	0,008
21	20,6	37	30	0,008
23	20,6	40	30	0,008
25	20,6	48	30	0,006
27	20,6	45	30	0,007
29	20,6	52	30	0,006
Lençol freático	1,6 m			

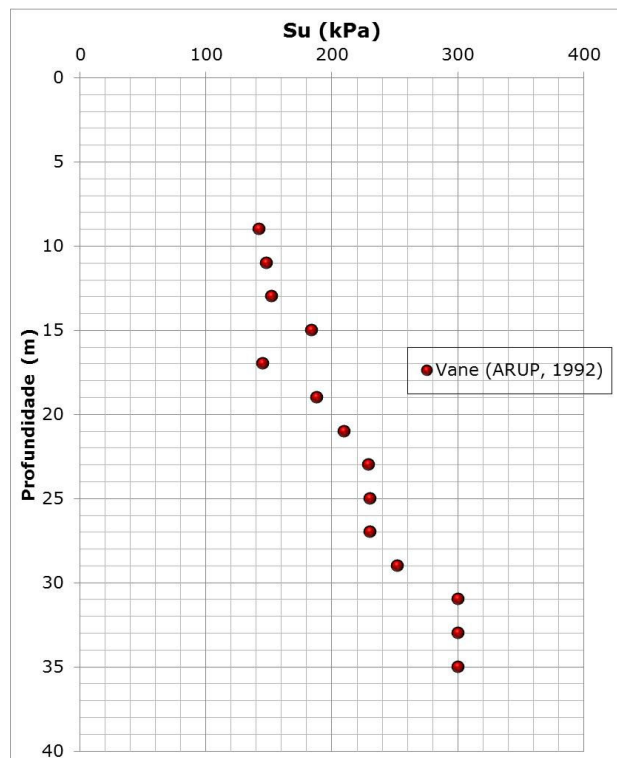
Figura 4.27:  $S_u$  medido em campo, argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace A2 (Modificado de ARUP, 1992).

#### 4.7.2. Argila de Londres - Paddington Station

A Tabela 4.9 fornece os valores referentes ao perfil mais conservador para os resultados do ensaio SPT na área de pesquisa avaliada. E, assim como no caso anterior, apresenta valores do peso unitário e do nível do lençol freático. Na Figura 4.28 reúne os resultados dos diferentes  $S_u$  medidos neste solo.

Tabela 4.9: Resultados de SPT, argila de Londres - Paddington Station (B2).

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)
9	20,6	20	30	0,015
11	20,6	27	30	0,011
13	20,6	28	30	0,011
15	20,6	33	30	0,009
17	20,6	33	30	0,009
19	20,6	36	30	0,008
21	20,6	36	30	0,008
23	20,6	38	30	0,008
25	20,6	45	30	0,007
27	20,6	45	30	0,007
29	20,6	46	30	0,007
31	20,6	42	30	0,007
33	20,6	47	30	0,006
35	20,6	54	30	0,006
Lençol freático	6,4 m			

Figura 4.28:  $S_u$  medido em campo, argila de Londres - Paddington Station (Modificado de ARUP, 1992).

Este banco de dados constitui a base para o trabalho realizado, considerando que estes locais têm abrangência, no sentido de incluir depósitos de argilas moles – fundamental à estimativa de propriedades dos depósitos sedimentares costeiros do Brasil – assim como depósitos de



argilas pré-adensadas. O conjunto de dados inclui valores de penetração de 0/45 (argilas muito moles) até valores na faixa de 50 golpes (argilas rijas).

Nos anexos correspondentes está resumida a totalidades dos registros considerados nos cálculos.

## 5. INTERPRETAÇÃO

O objetivo principal do presente capítulo é a análise estatística e matemática das equações propostas nos capítulos anteriores para a estimação de  $S_u$  (Equação 3.07 e equações derivadas), levando em consideração a força estática proposta no Capítulo 2 ( $F_e$ , Equação 2.14). Desta forma procura-se avaliar o alcance da abordagem proposta e desenvolver elementos de ajuste para melhorar a acurácia associada à previsão de parâmetros de comportamento do solo.

Para cumprir com esta finalidade, foram desenvolvidas planilhas de cálculo no Microsoft Excel ©, pois esta ferramenta possibilita o cálculo simultâneo de propriedades de todas as camadas de solo dos locais em estudo, com a facilidade de apresentar as informações em forma de tabelas, onde cada fila corresponde a uma camada de solo e nas colunas anotam-se as propriedades geomecânicas das mesmas. Esta forma de arranjo das informações permite avaliar, em termos da profundidade, as mudanças nas propriedades de solo de um local de estudo.

O mecanismo de penetração do amostrador foi levado em conta nos processos de cálculo, tanto para estimar a resistência de ponta como na estimativa da resistência por atrito lateral. Desta forma foram individualizadas duas formas de estimar  $S_u$ :

- a) ponta aberta, condição na qual as forças de atrito são aplicadas simultaneamente nas paredes internas e externas do amostrador. A área para cálculo da resistência de ponta é realizado considerando a diferença entre o diâmetro externo e o diâmetro interno do amostrador.
- b) ponta fechada, que corresponde somente ao atrito que é mobilizado na parte externa do amostrador, sendo a área de ponta calculada com o diâmetro externo do amostrador.

Uma consideração adicional tem que ser feita nos procedimentos de cálculo: para  $N_{SPT}=0$  os coeficientes  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  e  $\eta_3$  tomam o valor unitário (1,0), pois eles estão associados às perdas no processo de cravação e neste caso a penetração dá-se pela ação do peso próprio da haste e do martelo.

Estas análises são exibidas na sequência, estruturadas de forma a expor, com a ajuda de gráficos, os resultados. O arranjo dos subcapítulos que estruturam esta abordagem segue a seguinte forma:

- a) método  $\alpha$
- b) método  $\alpha$  proposto
- c) método  $\lambda$
- d) método  $\lambda$  proposto
- e) conclusões parciais

### 5.1. ESTIMATIVA DE $S_u$ A PARTIR DO MÉTODO $\alpha$

A equação utilizada neste cálculo foi demonstrada no Capítulo 3 (Equação 3.10), seguindo as propostas teóricas de Poulos e Davis (1980). Esta equação apresenta uma variação com respeito à formulação exposta em Odebrecht (2003), correspondendo à simplificação da parcela de sobrecarga (considerando-se  $A_b \sigma_{vb} \cong W$ ). Deve-se levar em conta que a presente pesquisa mantém os pressupostos teóricos pelos quais Odebrecht sugeriu a implementação de uma metodologia para a estimativa de  $S_u$  baseado no cálculo da energia do ensaio SPT.

Os cálculos foram executados estimando valores de  $\alpha$  nos gráficos contidos nas Figura 3.1 e Figura 3.2, nas quais é necessário propor um valor inicial para  $S_u$ . Também foram usados os valores médios para as outras propriedades envolvidas no cálculo, e que são mostradas na Tabela 5.1 e Tabela 5.2. Esta tabela contém as propriedades geométricas, o peso dos elementos e os coeficientes de ajuste sugeridos em Odebrecht (2003). O valor de  $N_c$  é obtido a partir da teoria de capacidade de carga e adotado como igual a 9 (e.g. Skempton, 1951).

Tabela 5.1: Valores adotados para o cálculo de  $S_u$  (Odebrecht, 2003).

Elemento	Unidade	Valor
$M_h$	kg/m	3,23
$M_m$	kg	65
$D_{\text{externo amostrador}}$	mm	53
$D_{\text{interno amostrador}}$	mm	35
$A_b$ ponta aberta	cm <sup>2</sup>	12,44
$A_b$ ponta fechada	cm <sup>2</sup>	22,06
$h_{\text{queda do martelo}}$	cm	75
$N_c$		9
$v$		1/0,6
$\eta_1$		0,764

Elemento	Unidade	Valor
$\eta_2$		1
$\eta_3$		$= a - b \times l$
a		1
b		0,0042

Tabela 5.2: Valores adotados para os cálculo na argila de Londres (BS 1377-9 1990 e Odebrecht, 2003).

Elemento	Unidade	Valor
$M_h$	kg/m	5,67
$M_m$	kg	63,5
$D_{\text{externo amostrador}}$	mm	51
$D_{\text{interno amostrador}}$	mm	35
$A_b$ ponta aberta	cm <sup>2</sup>	10,81
$A_b$ ponta fechada	cm <sup>2</sup>	20,43
$h_{\text{queda do martelo}}$	cm	75
$N_c$		9
v		1/0,6
$\eta_1$		0,764
$\eta_2$		1
$\eta_3$		$= a - b \times l$
a		1
b		0,0042

Utilizando as informações disponíveis no banco de dados foi calculada a magnitude de  $S_u$ , com os valores de  $\alpha$  e as medidas  $N_{\text{SPT}}$  correspondentes, para cada um dos locais estudado e para cada uma das camadas de solo. Leva-se em conta neste processo unicamente os solos argilosos, desconsiderando as camadas que correspondem a outras tipologias. São exibidos, a título de exemplo, dois gráficos que representam os resultados de dois dos casos de estudo: Sarapuí e Guabirota, sendo o primeiro correspondente a um solo normalmente adensado e o segundo a um solo pré-adensado (Figura 5.1 e Figura 5.2). Nestes gráficos cada ponto é calculado a partir do valor medido de  $N_{\text{SPT}}$ , e as linhas são utilizadas para representar tendências de variação dos parâmetros estimados com a profundidade. O gráfico à direita corresponde a valores estimados de  $S_u$  enquanto o da esquerda corresponde à relação normalizada de  $S_u/\sigma'_v$ .

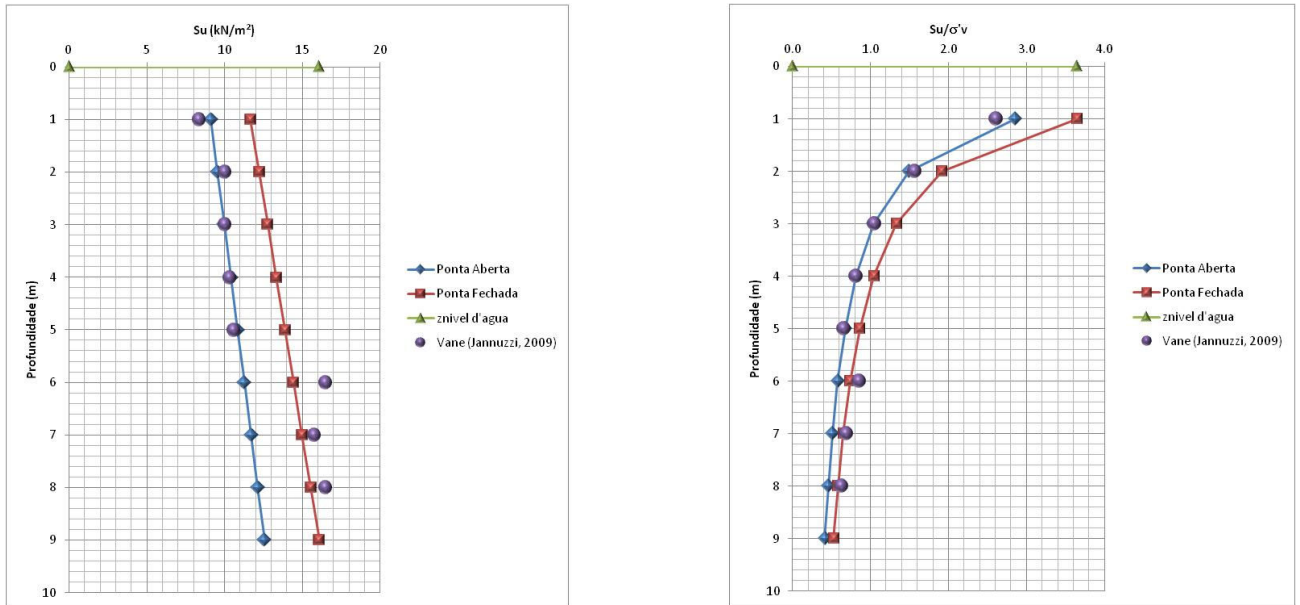


Figura 5.1: Resultados dos cálculos para Sarapuí II, sondagem I.

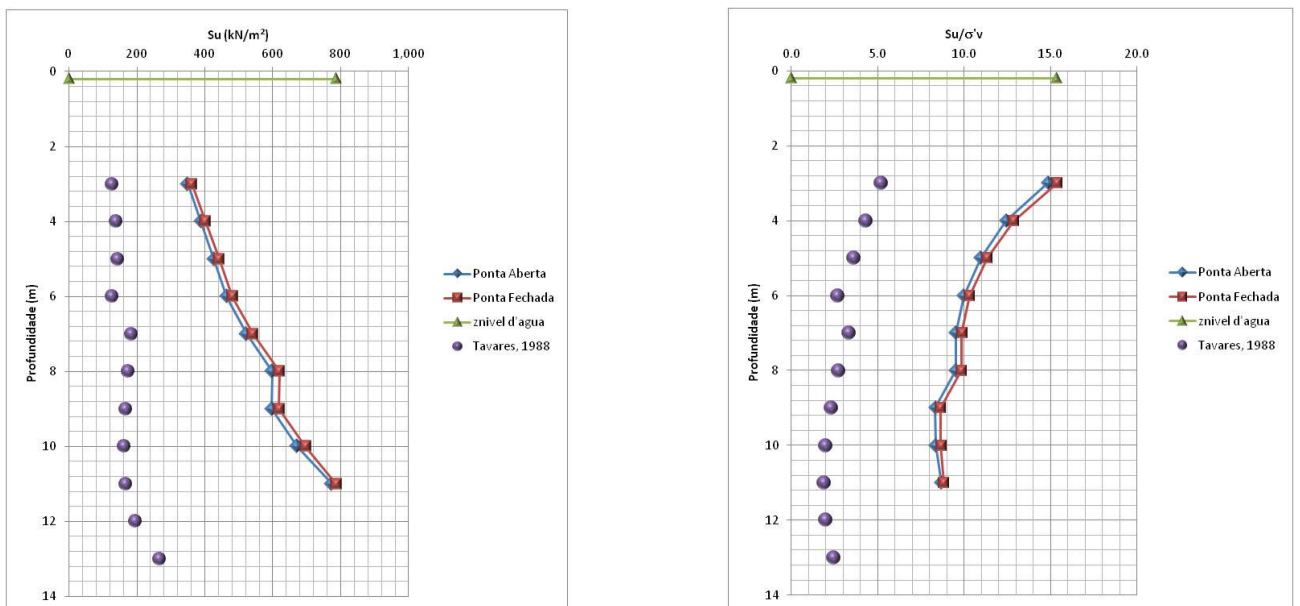


Figura 5.2: Resultados dos cálculos para Guabirota, sondagem B3.

Os resultados assim estimados são utilizados em uma comparação com valores disponíveis no banco de dados, sendo esta comparação apresentada de forma gráfica desde a Figura 5.3 a Figura 5.6. Estes gráficos têm no eixo das abscissas os valores de  $S_u$  obtidos em campo e no das ordenadas os valores calculados. Foram adicionadas linhas de tendência teóricas, das quais a principal corresponde a uma inclinação 1:1, que indica uma equivalência perfeita entre o valor medido ( $S_u$  obtido em campo) e o valor estimado. Em outras palavras o modelo de cálculo proposto teria uma representatividade 100% fiel do comportamento observado em

campo. Em todos os casos são proporcionados resultados para as condições referentes à ponta aberta e ponta fechada.

### Cálculos considerando amostrador ponta aberta:

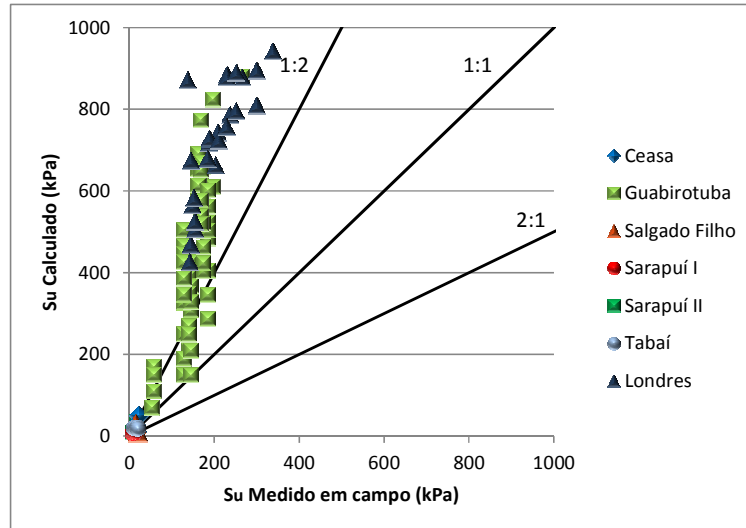


Figura 5.3: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\alpha$ /ponta aberta.

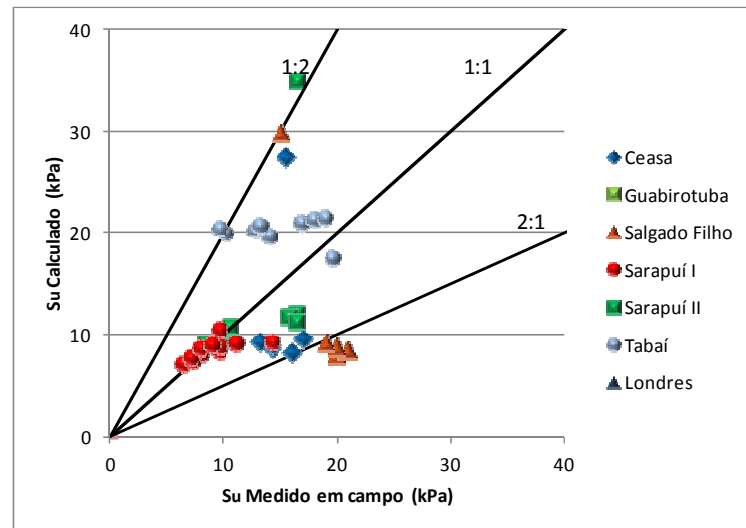


Figura 5.4: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\alpha$ /ponta aberta (Gráfico expandido para valores de  $S_u$  de até 40 kPa).

### Cálculos considerando amostrador ponta fechada:

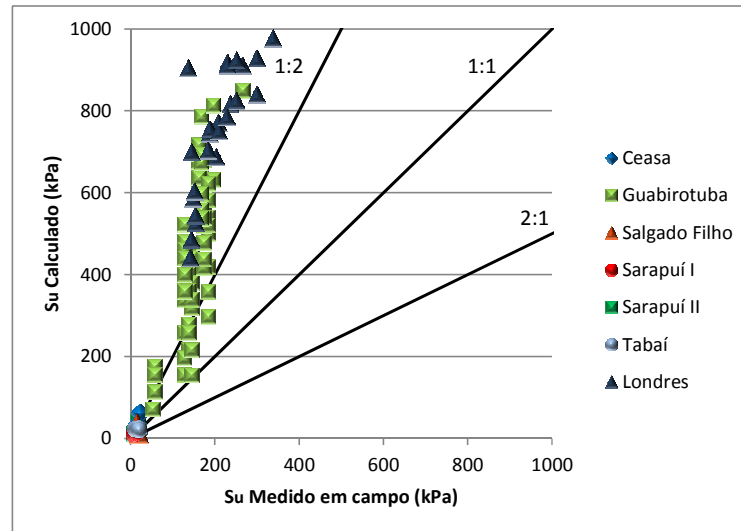


Figura 5.5: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\alpha$ /ponta fechada.

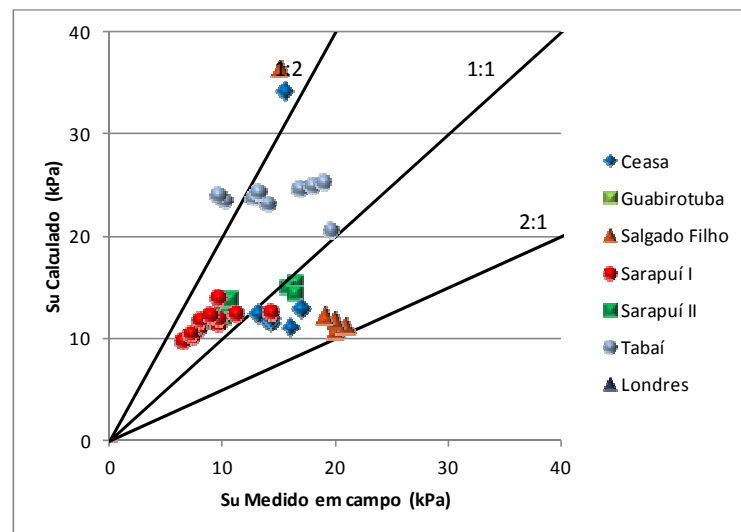


Figura 5.6: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\alpha$ /ponta fechada (Gráfico expandido para valores de  $S_u$  de até 40 kPa).

Da interpretação e análise dos gráficos podem ser estabelecidas as seguintes conclusões:

- os resultados obtidos com esta equação (Equação 3.10) superestimam (dobro) os valores obtidos em campo para argilas rijas. Já no caso das argilas moles os resultados reproduzem com maior acurácia o comportamento observado em campo. Em geral o método não é recomendado para aplicação na prática de engenharia, sendo necessário aprimorar o método de cálculo.

- b) não se percebem diferenças significativas entre os resultados obtidos para os mecanismos de ponta aberta e ponta fechada. Os resultados de  $S_u$  para ponta fechada exibem valores ligeiramente superiores.
- c) para estimar o coeficiente  $\alpha$ , a metodologia exige a estimativa de um valor inicial para  $S_u$ , o que gera um processo iterativo de cálculo.

## 5.2. ESTIMATIVA DE $S_U$ A PARTIR DO MÉTODO $\alpha$ PROPOSTO

Os resultados obtidos com a equação proposta (Equação 3.10), expostos na secção anterior, cujas previsões conduzem à superestimativa de resultados de resistência no caso de argilas rijas, justificam a necessidade de buscar um método alternativo para a previsão de  $\alpha$ .

Depois de testadas várias abordagens de cálculo, procurou-se desenvolver uma metodologia baseada nos seguintes elementos: (a) ajustar os resultados nas argilas rijas, (b) gerar uma proposta de cálculo independente de estimativa inicial de  $S_u$  e (c) facilitar a aplicação do método. O método desenvolvido a partir destes princípios é bastante simples, baseado na proposição de relacionar uma equação de ajuste estatístico cujos coeficientes sejam baseados diretamente nos valores de  $N_{SPT}$  medidos no ensaio SPT.

Na aplicação do método foram elaborados gráficos com as informações disponíveis no banco de dados, onde nas abscissas se registram as medidas de  $N_{SPT}$  e nas ordenadas os valores calculados de  $\alpha$  (Equação 3.11). As informações assim obtidas podem ser observadas desde a Figura 5.7 até a Figura 5.10.



## Ponta aberta

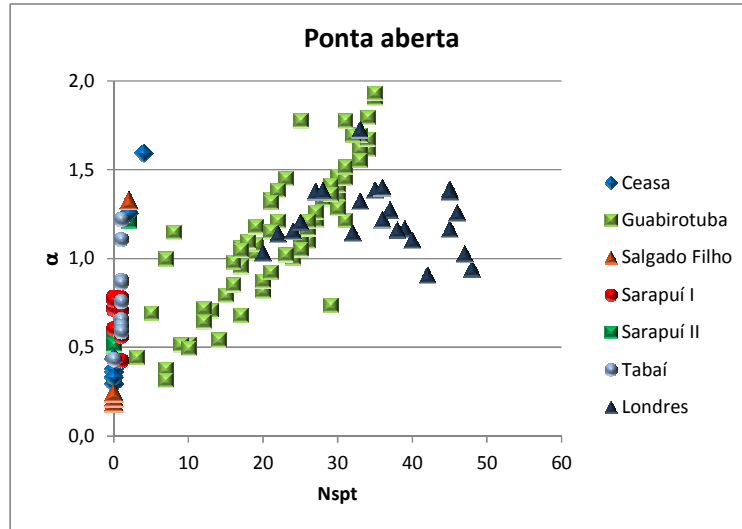


Figura 5.7: Comparação entre valores medidos  $N_{SPT}$  e coeficiente  $\alpha$  calculado com a energia do SPT/Ponta aberta.

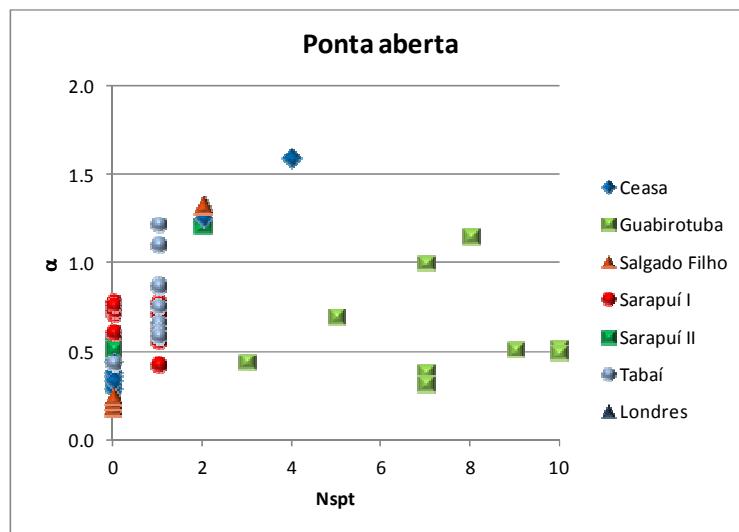


Figura 5.8: Comparação entre valores medidos  $N_{SPT}$  e coeficiente  $\alpha$  calculado com a energia do SPT/Ponta aberta (Gráfico expandido para valores de  $N_{SPT}$  de até 10).

## Ponta fechada

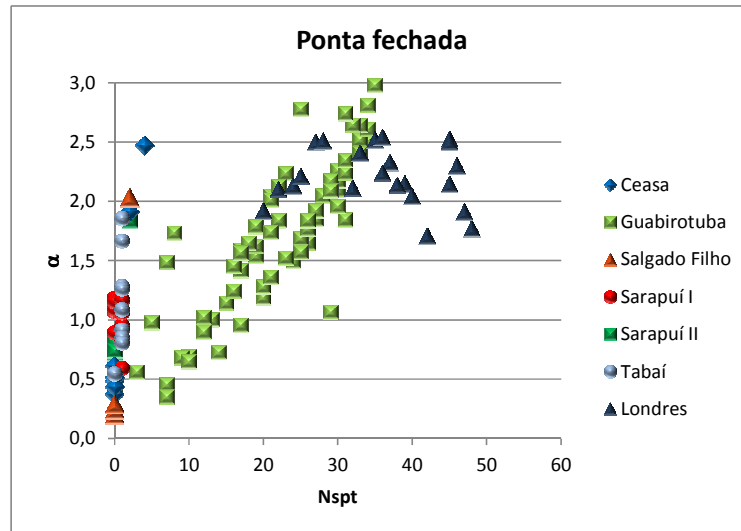


Figura 5.9: Comparação entre valores medidos  $N_{SPT}$  e coeficiente  $\alpha$  calculado com a energia do SPT/Ponta fechada.

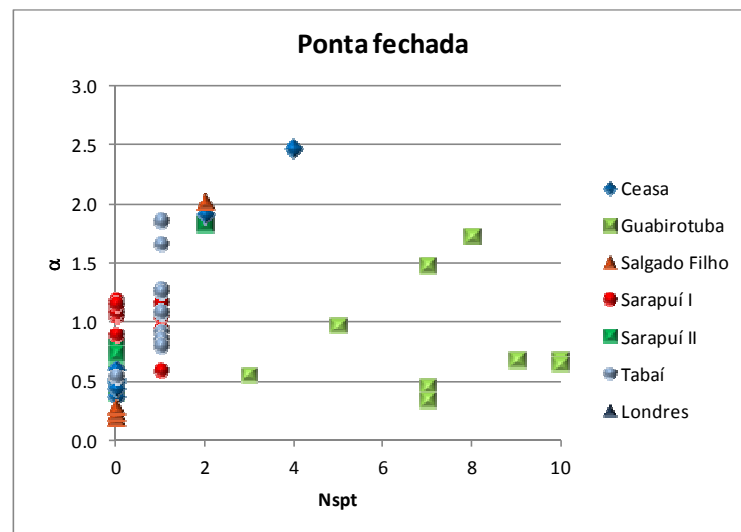


Figura 5.10: Comparação entre valores medidos  $N_{SPT}$  e coeficiente  $\alpha$  calculado com a energia do SPT/Ponta fechada (Gráfico expandido para valores de  $N_{SPT}$  de até 10).

O cálculo estatístico fundamenta-se na necessidade de buscar uma equação que melhor ajuste as nuvens de pontos mostradas anteriormente (Figura 5.7 e Figura 5.9), apesar da dispersão observada, e desta forma obter com uma equação para a estimativa de  $\alpha$  expressa em termos de  $N_{SPT}$ . Entre as diferentes ferramentas disponíveis para o cálculo estatístico foi utilizado o programa SigmaPlot v11.0, software comercial, de simples manipulação.

Foram testadas várias alternativas para a linha de ajuste, entre outras: Linear, quadrática. Existem alguns procedimentos de ajuste que não podem ser utilizados em função da necessidade de considerar  $N_{SPT}=0$  (p.e. Logarítmicos e modelo S). Entre todas as alternativas analisadas, foi escolhida uma equação do tipo Hiperbólica, que apresenta o maior  $r^2$  (coeficiente de determinação).

Valores de  $r^2$  de 0,63 e 0,68 foram determinados para ponta aberta e ponta fechada, respectivamente, demonstrando como o modelo de ajuste consegue prever dados dentro de uma faixa de dispersão da ordem de 65%. A equação desenvolvida é representada pela Equação 5.01, cujo valor inicial ( $\alpha_0$ ) representa o intercepto para  $N_{SPT}=0$ . A Figura 5.11 exibe a equação de ajuste (linha preta) e os valores experimentais disponíveis.

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{A * N_{SPT}}{B + N_{SPT}} \quad (\text{Equação 5.01})$$

Tabela 5.3: Elementos para as equações de cálculo de  $\alpha$ .

Elemento	Ponta Aberta	Ponta Fechada
$\alpha_0$	0,5594	0,8005
A	2,3655	11,2814
B	65,5723	229,9562
$r^2$	0,63	0,68

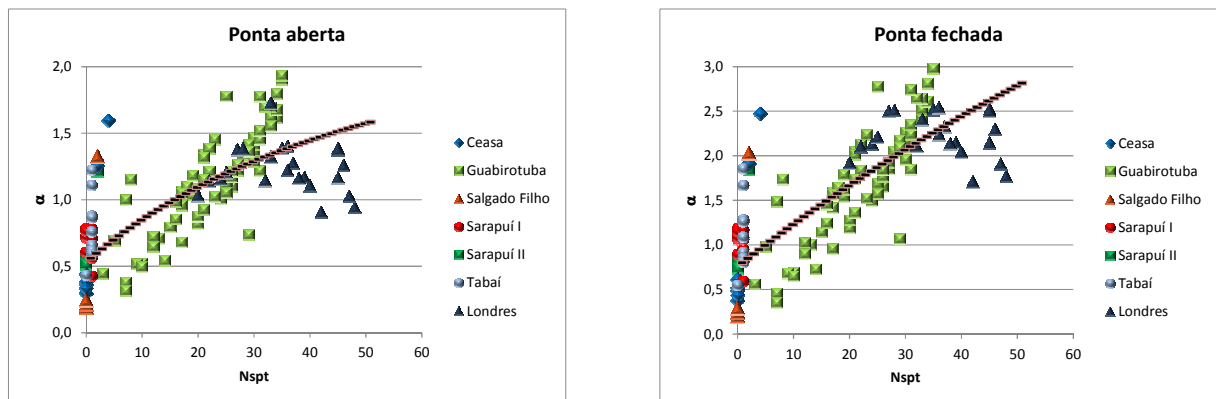


Figura 5.11: Equação de ajuste para  $\alpha$  em termos de  $N_{SPT}$ .

Uma vez determinada, a equação de ajuste para  $\alpha$  é utilizada para estimar os valores de  $S_u$  para cada uma das camadas de solo disponíveis. De forma similar ao descrito no subcapítulo anterior, os valores obtidos em campo são comparados aos valores estimados (Figura 5.16 a Figura 5.19). Mostram-se também os exemplos de cálculo em dois locais (Tabaí, Sarapuí, Guabiro tuba e Argila de Londres), na Figura 5.12 até a Figura 5.15 para ilustrar a aplicação da correlação proposta.

Exemplos de cálculo

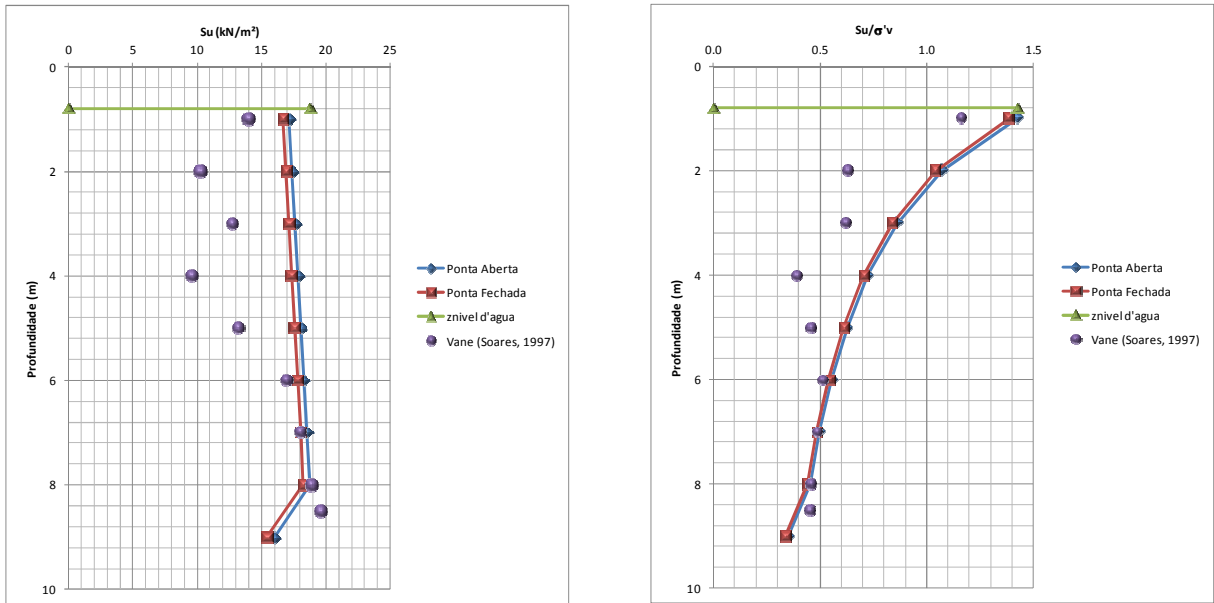


Figura 5.12: Resultados para Tabai.

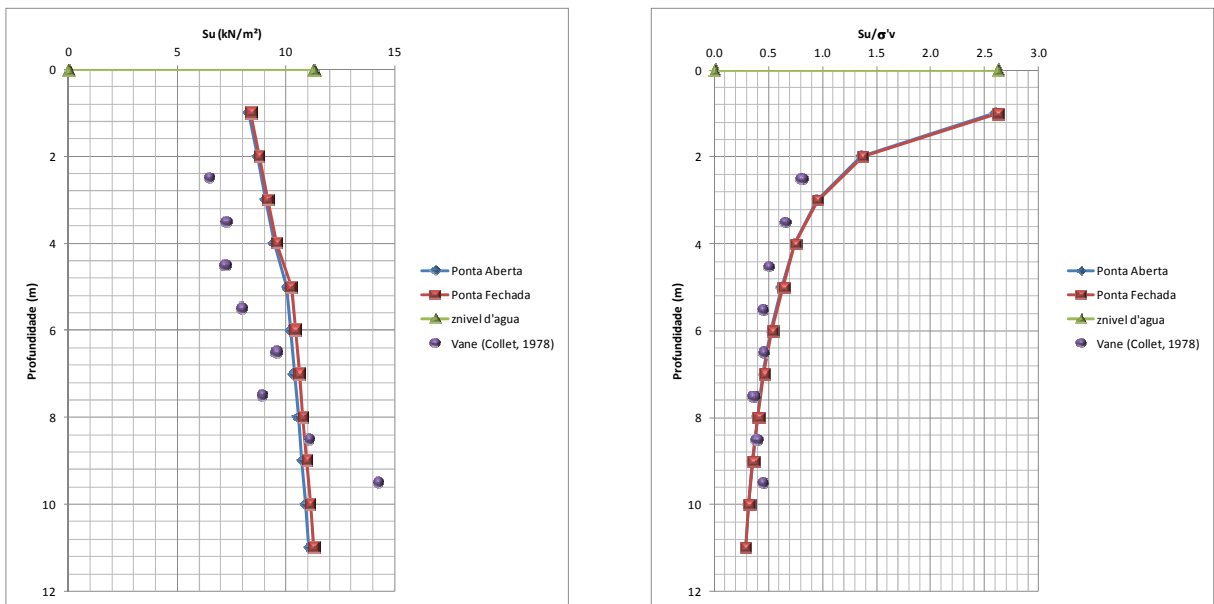


Figura 5.13: Resultados para Sarapu I, sondagem III.

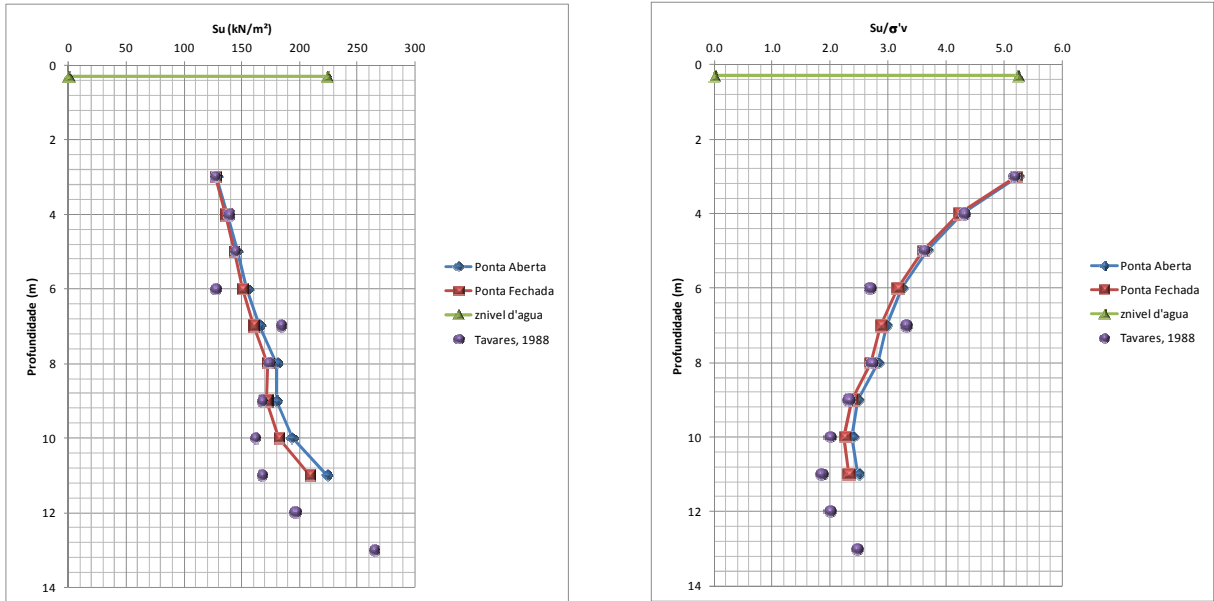


Figura 5.14: Resultados para Guabirota, sondagem B3.

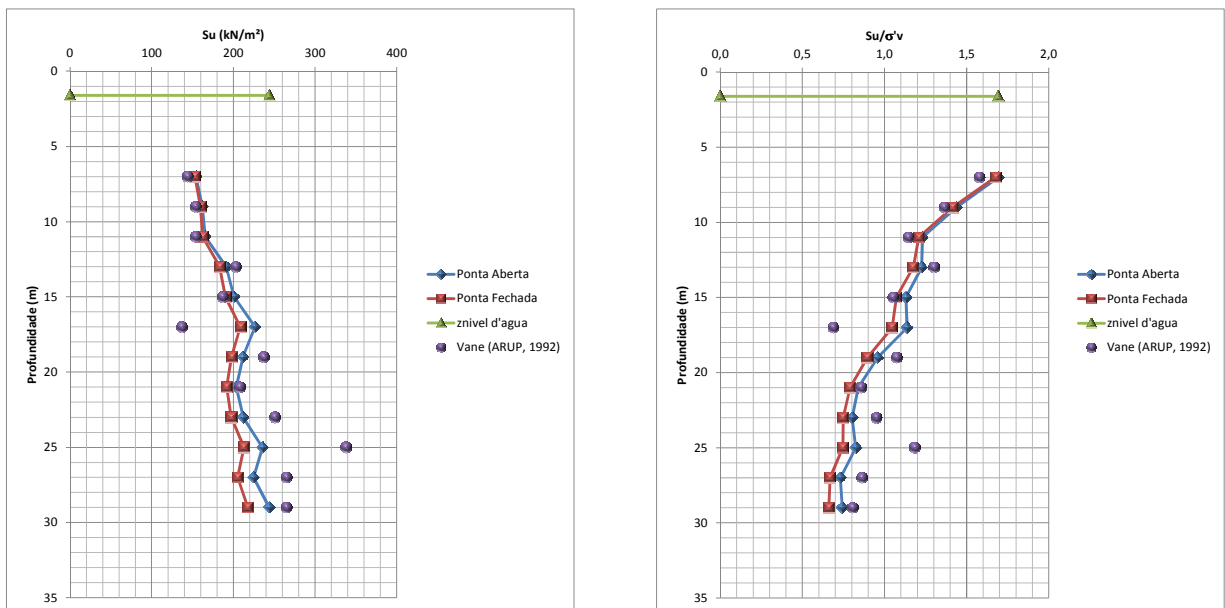


Figura 5.15: Resultados para Londres, sondagem A2.

## Ponta aberta

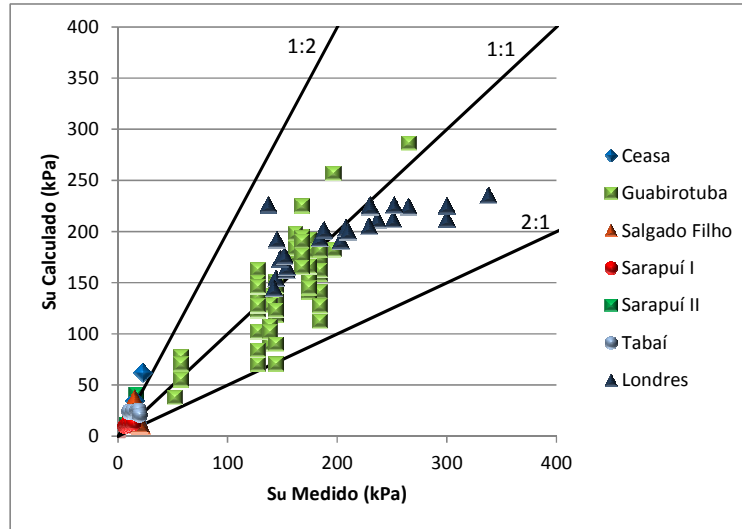


Figura 5.16: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\alpha$  proposto/ponta aberta.

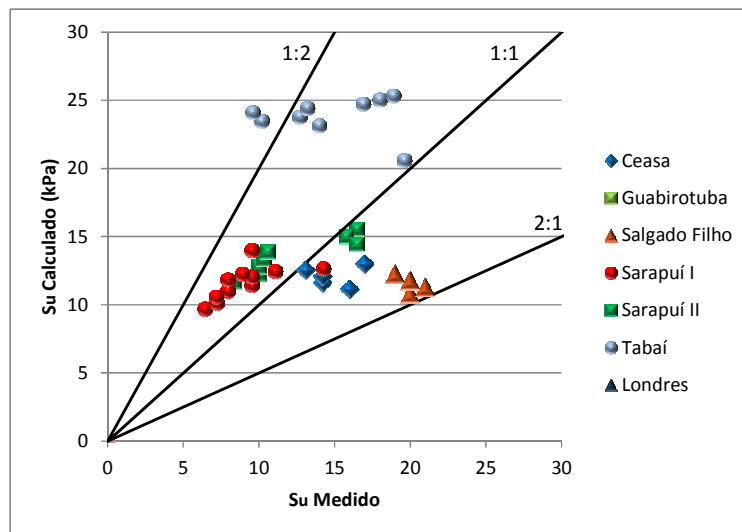


Figura 5.17: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\alpha$  proposto/ponta aberta (Gráfico expandido para valores de  $S_u$  de até 30 kPa).

## Ponta fechada

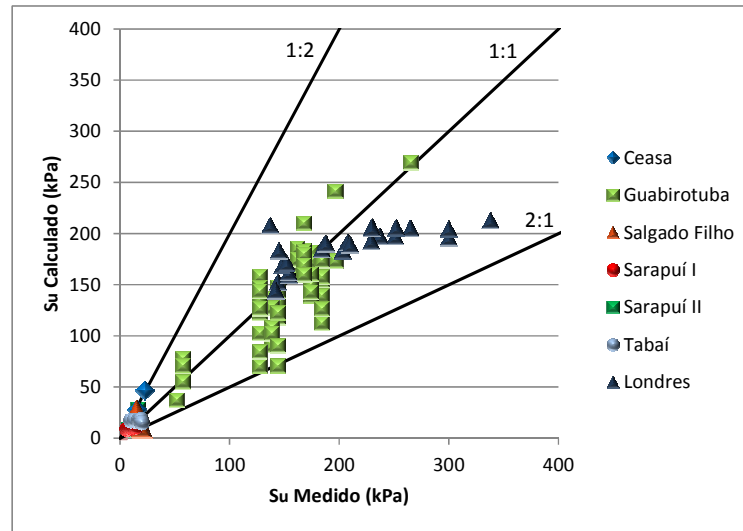


Figura 5.18: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\alpha$  proposto/ponta fechada.

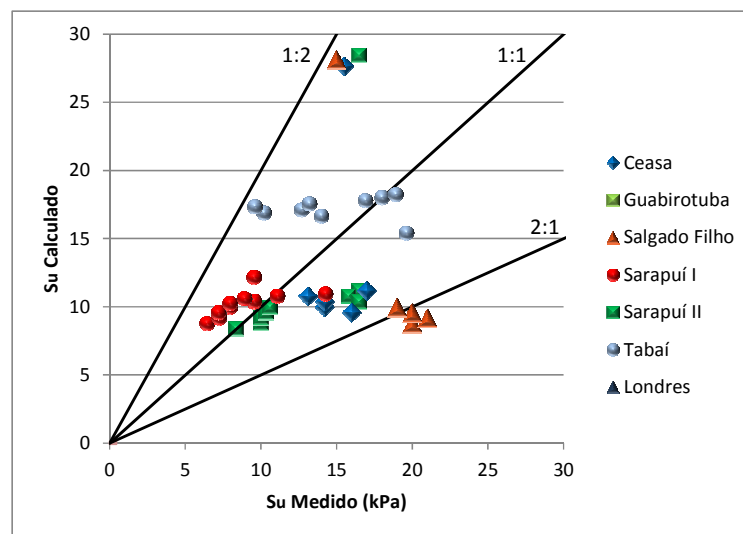


Figura 5.19: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\alpha$  proposto / ponta fechada (Gráfico expandido para valores de  $S_u$  de até 30 kPa).

Nas Figura 5.16 a Figura 5.19 verifica-se que as previsões apresentam considerável dispersão. Entretanto os valores estimados encontram-se na faixa de valores medidos, o que justifica o uso da metodologia na estimativa de  $S_u$  adotando como referencia a energia do ensaio SPT.

### Ajuste de $\alpha$ em argilas moles:

Como uma sugestão complementar, neste subcapitulo é proposta uma equação de ajuste para a estimação de  $\alpha$  em argilas moles, onde  $0 \leq N_{SPT} \leq 5$ . Deve-se levar em conta que segundo os

objetivos da presente dissertação as propostas de ajuste e verificação de resultados se fazem de forma global, ou seja, um só ajuste para todas as tipologias de argila. É por isto que a equação proposta a continuação corresponde a uma proposta complementar.

Dentre os tipos de equações de ajuste testadas equações de tipo Quadráticas apresentaram os maiores  $r^2$ . Na Tabela 5.4 são apresentados os elementos correspondentes para o cálculo.

$$\alpha = \alpha_0 + A * N_{SPT} + B * N_{SPT}^2 \quad (\text{Equação 5.02})$$

Tabela 5.4: Elementos para as equações de cálculo de  $\alpha$ , ajuste em argilas moles.

Elemento	Ponta Aberta	Ponta Fechada
$\alpha_0$	0,4503	0,6333
A	0,4199	0,6582
B	-0,0325	-0,0479
$r^2$	0,96	0,96

### 5.3. ESTIMATIVA DE $S_u$ A PARTIR DO MÉTODO $\lambda$

A equação utilizada neste cálculo foi demonstrada no Capítulo 3 (Equação 3.14), seguindo as propostas teóricas de Vijayvergiya e Focht (1972). Os cálculos foram executados estimando os valores de  $\lambda$  no gráfico contido na Figura 3.3. Nos processos de cálculo são usados os valores expostos na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2.

Os procedimentos de cálculo, interpretação e comparação de resultados são realizados de forma análoga aos realizados no item 5.1 para a metodologia baseada no parâmetro  $\alpha$ .

Nesta abordagem os valores de  $S_u$  foram estimados a partir dos valores de  $\lambda$  e  $N_{SPT}$  correspondentes. São mostradas, a título de exemplo, dois gráficos que representam os resultados de dois dos casos de estudo: Sarapuí e Guabirota.



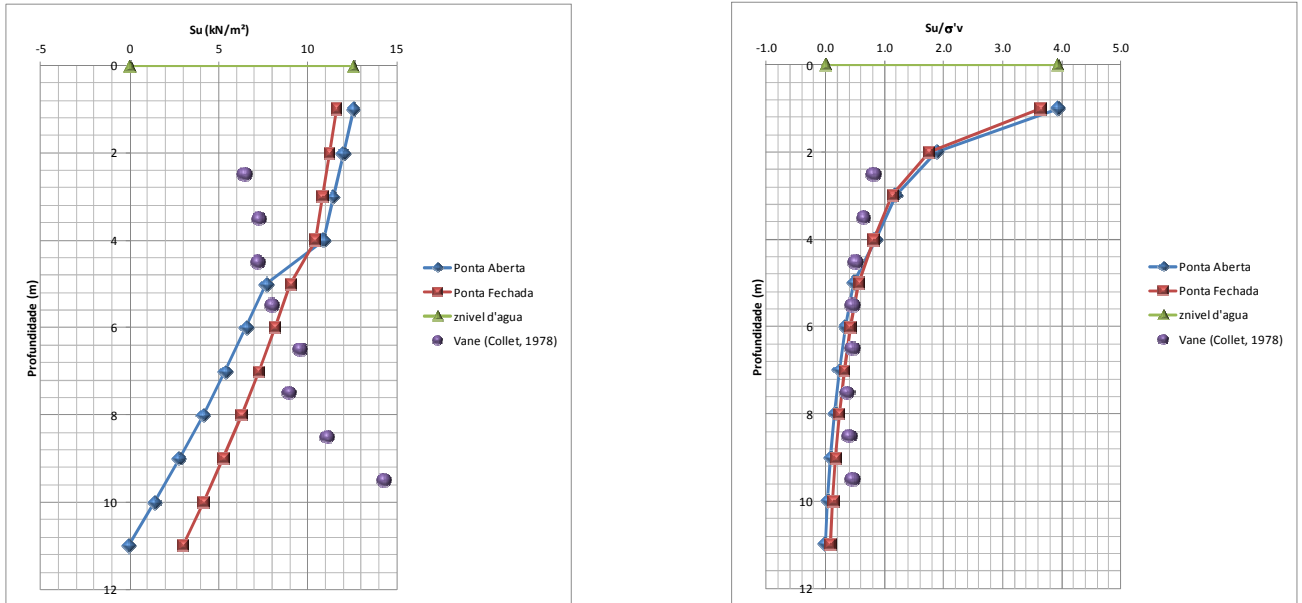


Figura 5.20: Resultados dos cálculos para Sarapuí I, sondagem III.

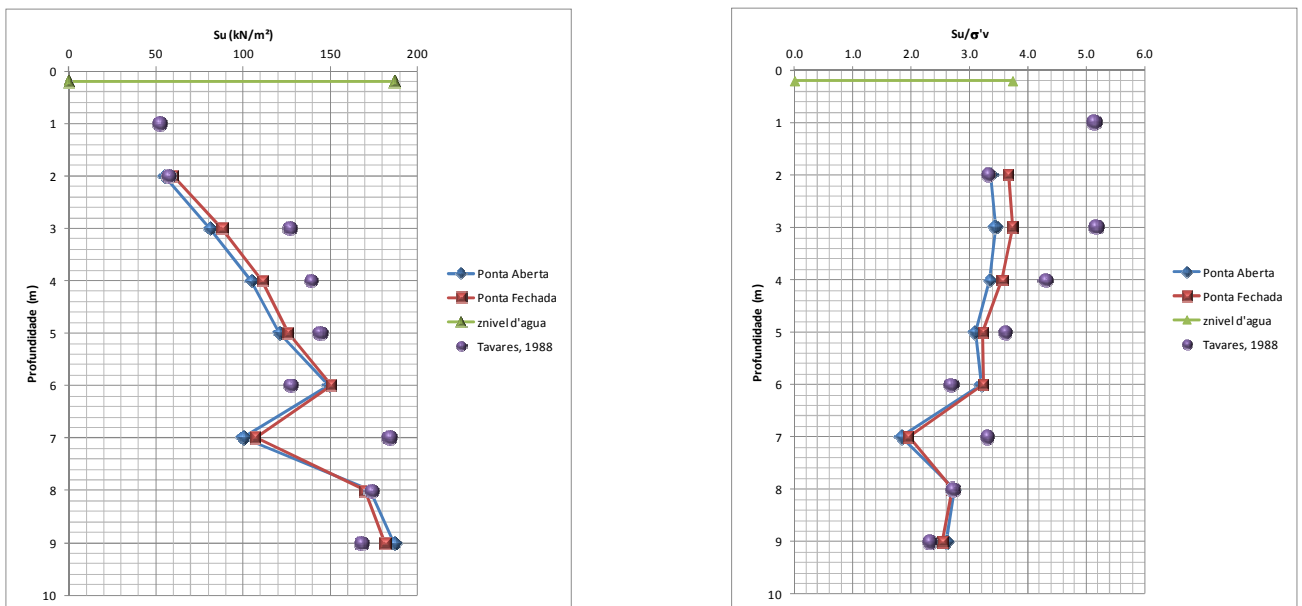


Figura 5.21: Resultados dos cálculos para Guabirota, sondagem B12.

Os resultados foram analisados de maneira análoga aos itens anteriores com gráficos de  $S_u$  calculado e  $S_u$  medido em campo (exibidas nas Figura 5.22 a Figura 5.25).

**Cálculos considerando amostrador ponta aberta:**

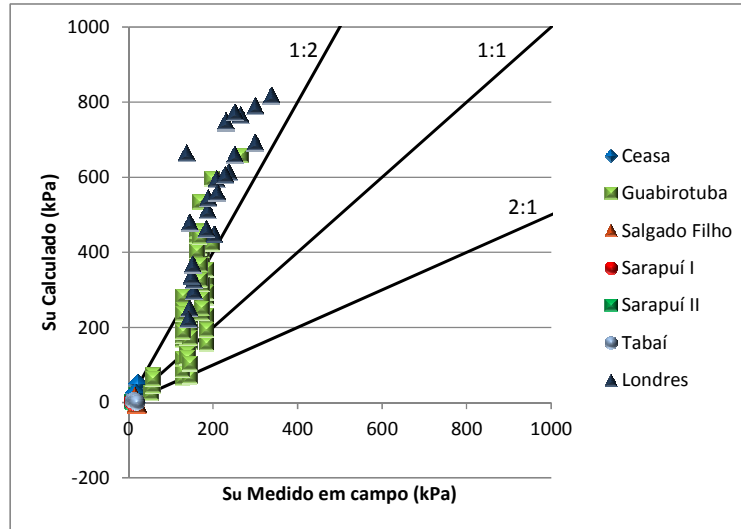


Figura 5.22: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\lambda$ /ponta aberta.

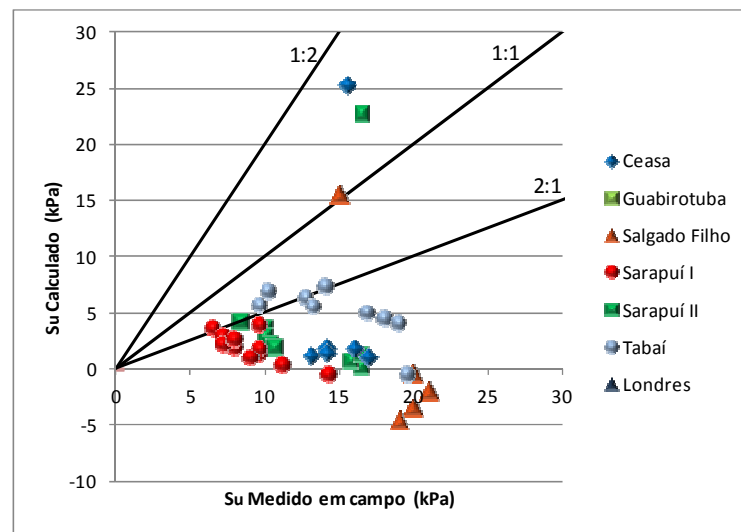


Figura 5.23: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\lambda$ /ponta aberta (Gráfico expandido para valores de  $S_u$  de até 30 kPa).

### Cálculos considerando amostrador ponta fechada:

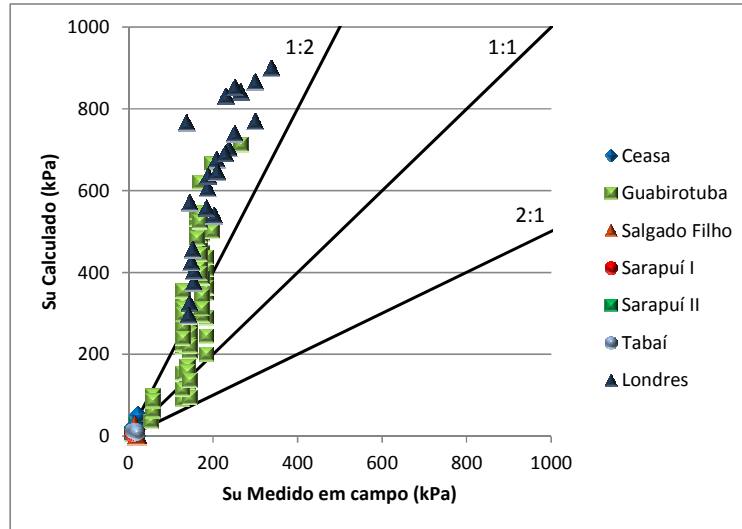


Figura 5.24: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\lambda$ /ponta fechada.

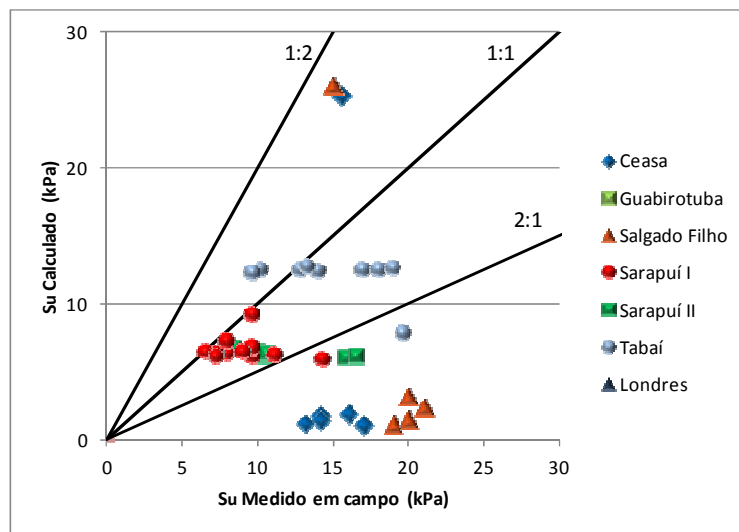


Figura 5.25: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\lambda$ /ponta fechada (Gráfico expandido para valores de  $S_u$  de até 30 kPa).

Da interpretação e análise dos gráficos podem ser feitas as seguintes conclusões:

- a) os resultados obtidos com esta equação resultam em valores superestimados de  $S_u$  nas argilas rijas. Para as argilas moles os resultados não conseguem reproduzir o comportamento observado em campo, apresentando em algumas profundidades valores negativos para  $S_u$ , situação inadequada e sem representação física.

- b) em função destas observações é desaconselhado o uso deste procedimento de cálculo na estimativa de  $S_u$ .

#### 5.4. ESTIMATIVA DE $S_u$ A PARTIR DO MÉTODO $\lambda$ PROPOSTO

A metodologia de cálculo baseada no coeficiente  $\lambda$  não oferece resultados adequados à estimativa de  $S_u$  através do cálculo da energia do ensaio SPT. Para esta finalidade é portanto necessário desenvolver uma proposta alternativa adicional à exposta no item 5.2.

Tanto os processos de cálculo, quanto as respectivas análises estatísticas, foram realizados de forma análoga aos discutidos nos parágrafos anteriores para o Método  $\alpha$ , empregando a Equação 3.15 para calcular  $\lambda$ .

Os gráficos gerados são mostrados a seguir:

##### Ponta aberta

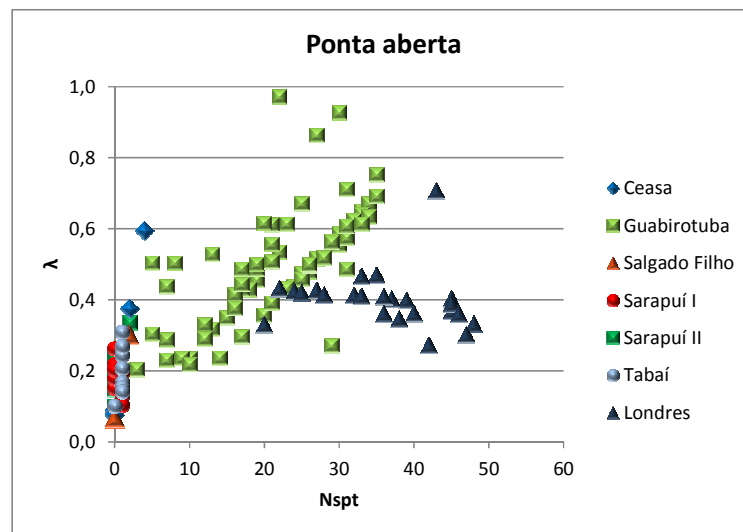


Figura 5.26: Comparação entre valores medidos  $N_{SPT}$  e coeficiente  $\lambda$  calculado com a energia do SPT/Ponta aberta.

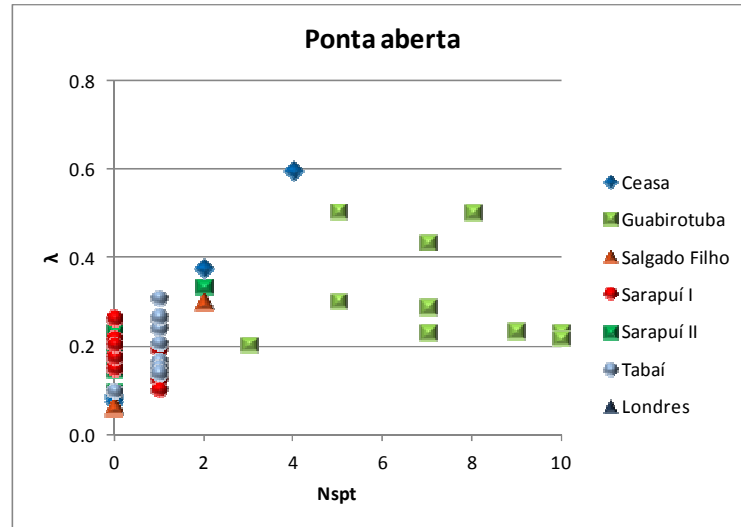


Figura 5.27: Comparação entre valores medidos  $N_{SPT}$  e coeficiente  $\lambda$  calculado com a energia do SPT/Ponta aberta (Gráfico expandido para valores de  $N_{SPT}$  de até 10).

### Ponta fechada

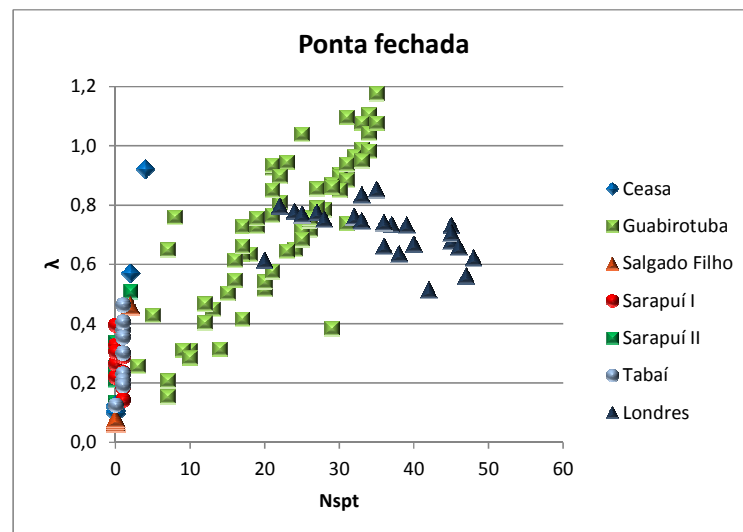


Figura 5.28: Comparação entre valores medidos  $N_{SPT}$  e coeficiente  $\lambda$  calculado com a energia do SPT/Ponta fechada.

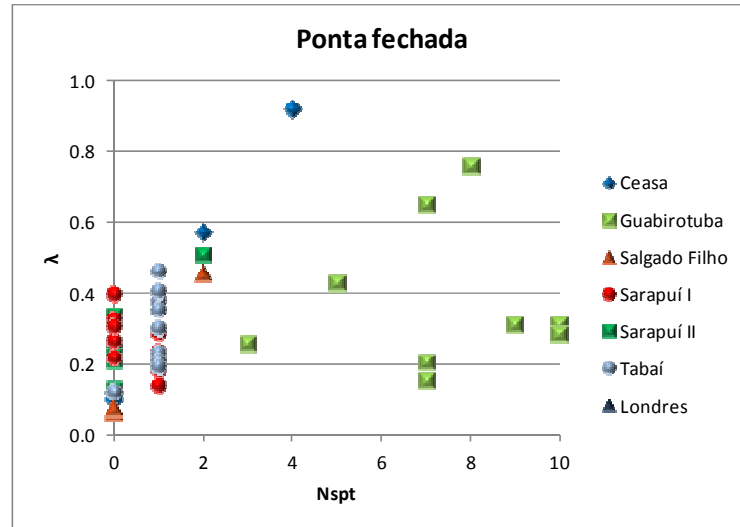


Figura 5.29: Comparação entre valores medidos  $N_{SPT}$  e coeficiente  $\lambda$  calculado com a energia do SPT/Ponta fechada (Gráfico expandido para valores de  $N_{SPT}$  de até 10).

Utilizando o mesmo software e os mesmos conceitos referidos nos itens precedentes adota-se uma equação de ajuste do tipo Hiperbólica, com a qual se conseguem os maiores coeficientes de determinação ( $r^2$ ): 0,66 e 0,75 (Ponta Aberta e Ponta Fechada, respectivamente). Novamente verifica-se uma dispersão considerável nos valores de  $S_u$ , cujo comportamento é muito similar ao exibido nas análises do coeficiente  $\alpha$ .

A Equação 5.03 representa a equação de ajuste e a Tabela 5.5 os valores correspondentes dos coeficientes ajustados. Na Figura 5.30 podem ser vistas as equações de ajuste (linha preta) juntamente com os valores experimentais.

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{A * N_{SPT}}{B + N_{SPT}} \quad (\text{Equação 5.03})$$

Tabela 5.5: Elementos para as equações de cálculo de  $\lambda$ .

Elemento	Ponta Aberta	Ponta Fechada
$\lambda_0$	0,1497	0,2215
A	0,4625	1,001
B	8,8647	22,10
$r^2$	0,66	0,75

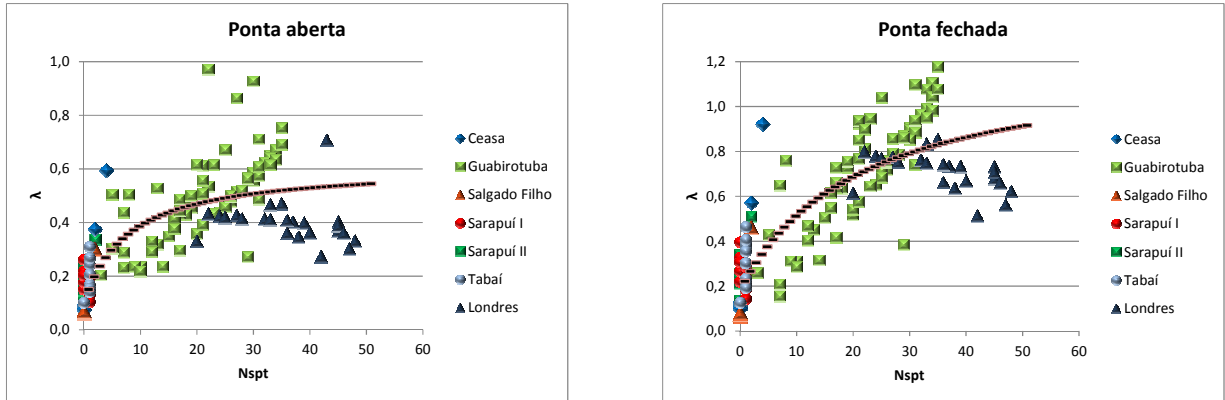


Figura 5.30: Equação de ajuste para  $\lambda$  em termos de  $N_{SPT}$ .

Com a equação de ajuste obtida para  $\lambda$  são estimados os valores de  $S_u$ , cujos resultados são comparados de forma gráfica com os valores obtidos em campo (Figura 5.31 a Figura 5.34). Adicionalmente mostra-se um exemplo de cálculo no local de Sarapuí (Figura 5.35) para ilustrar a variação de  $S_u$  com a profundidade de um depósito de argilas moles.

#### Ponta aberta

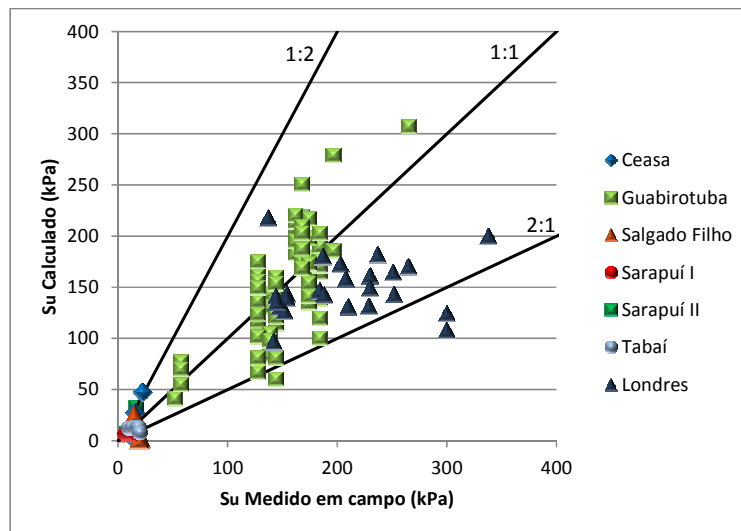


Figura 5.31: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\lambda$  ajustado/ponta aberta.

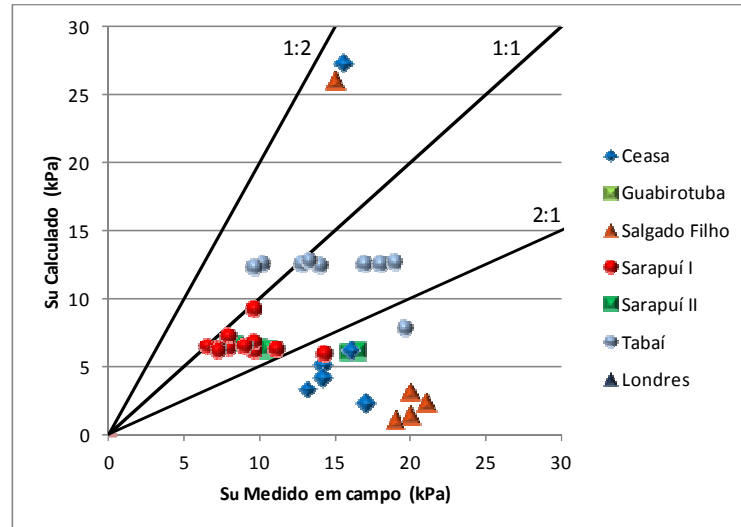


Figura 5.32: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\lambda$  ajustado/ponta aberta (Gráfico expandido para valores de  $S_u$  de até 30 kPa).

### Ponta fechada

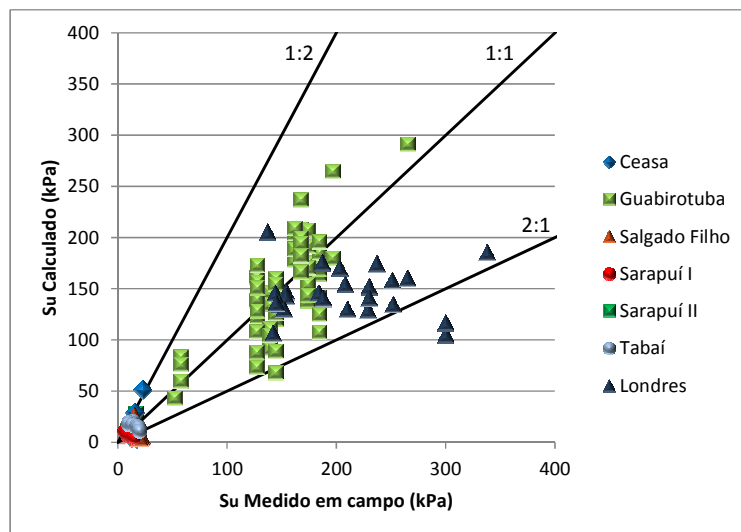


Figura 5.33: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\lambda$  ajustado/ponta fechada.



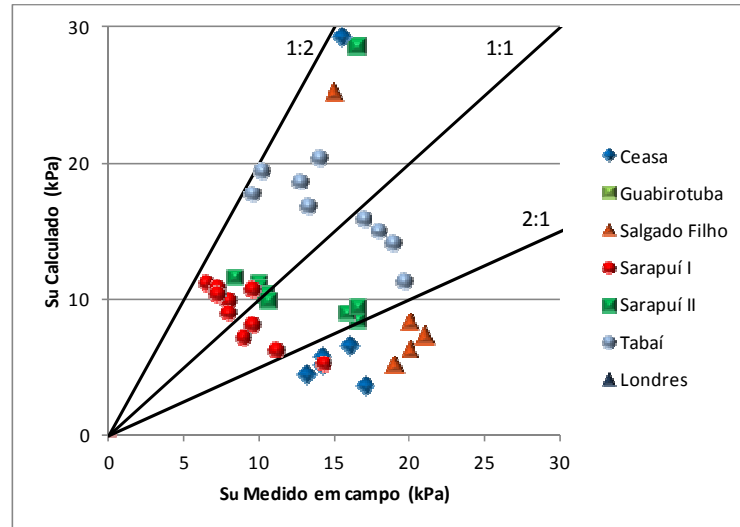


Figura 5.34: Comparação entre valores medidos e previstos de  $S_u$  – Método  $\lambda$  ajustado/ponta fechada (Gráfico expandido para valores de  $S_u$  de até 30 kPa).

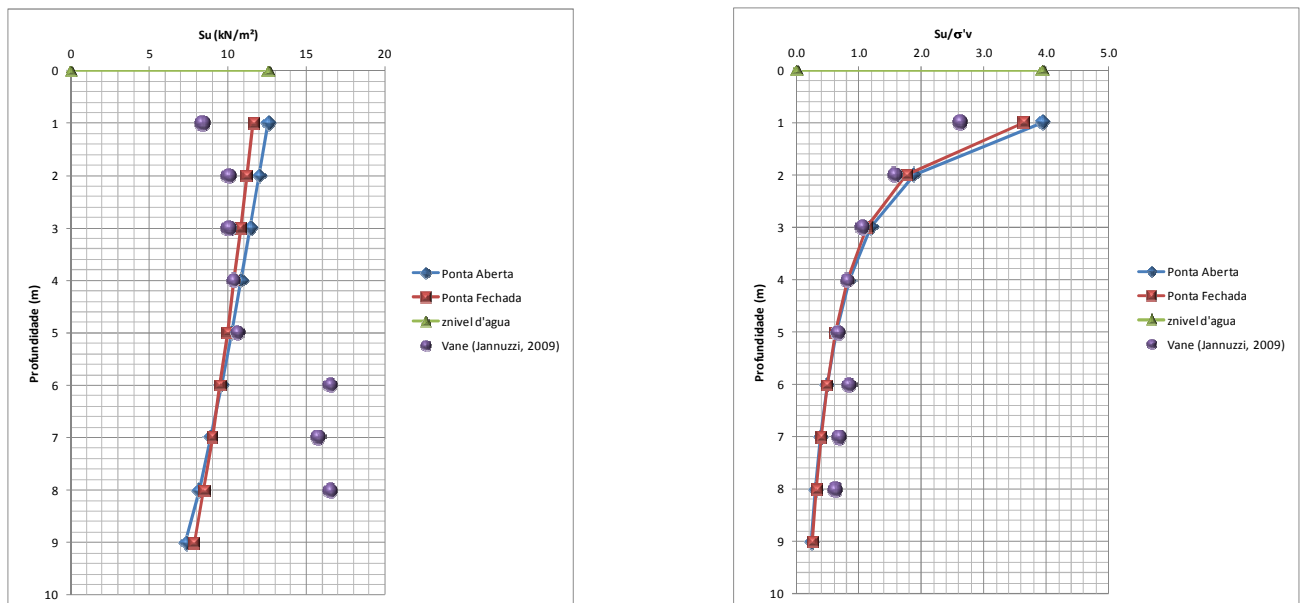


Figura 5.35: Resultados dos cálculos para Sarapuí II, sondagem I.

As conclusões estabelecidas a partir do uso desta metodologia:

Os valores previstos de  $S_u$  são decrescentes com a profundidade. Verifica-se na análise dos resultados que a taxa de variação de crescimento da parcela correspondente à força estática ( $F_e$ ) é menor que a taxa de variação do crescimento da parcela  $\lambda A_s \sigma'_v$  (ambos na Equação 3.14), levando valores de  $S_u$  negativos em algumas profundidades. Valores negativos não tem representatividade física.

Independente da metodologia adotada, observa-se considerável dispersão nos resultados, atribuídas às incertezas e erros do próprio ensaio SPT, que se refletem nos valores calculados de energia.

Em função da dispersão observada e dos valores incorretos de  $S_u$  previstos, o uso da metodologia de cálculo considerando o coeficiente  $\lambda$  não é recomendado. Nem a expressão proposta por Vijayvergiya e Focht (1972), nem a equação de ajuste estatístico proposta no presente trabalho resultam em previsões realistas de valores de resistência ao cisalhamento não drenada.

## 5.5. CONCLUSÕES PARCIAIS

- a) a equação proposta originalmente (Equação 3.10) resulta em estimativa realista de  $S_u$  para argilas moles, mas expõe superestimativa de resultados para argilas rijas. Além disso, sua aplicação exige a adoção de um valor inicial de  $S_u$ , um procedimento iterativo de cálculo, que pode dificultar seu uso na prática de engenharia.
- b) os resultados obtidos para  $S_u$  mediante o uso da equação de ajuste de  $\alpha$  refinam as previsões e produzem valores de  $S_u$  na faixa dos valores medidos in situ tanto para argilas rijas como para as argilas moles. As previsões são ligeiramente conservadoras, condição necessária para um método baseado em dados que têm considerável dispersão de resultados.
- c) a escolha das equações de ajuste estatístico foi feita segundo os valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), correspondendo a linhas de ajuste de tipo Hiperbólica.
- d) a metodologia de cálculo com o coeficiente  $\lambda$  não apresenta resultados satisfatórios. Recomenda-se o uso do Método  $\alpha$  para estimativa da resistência não drenada em projetos correntes, em nível de ante-projeto.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são expostas as conclusões do presente trabalho e sugestões para pesquisas futuras.

### 6.1. CONCLUSÕES

A presente pesquisa encontra-se no marco dos estudos realizados na UFRGS, através do PPGEC, que tem como elemento de partida a proposta de Odebrecht (2003) para o cálculo da energia do ensaio SPT.

O trabalho iniciou com uma intensiva revisão bibliográfica, em arquivos físicos e digitais, com o objetivo de encontrar estudos de casos com caracterização detalhada de solos argilosos, relatando informações de depósitos de argilas brasileiras e internacionais.

O objetivo principal da revisão bibliográfica é a obtenção de estudos de solos argilosos nos quais haja a descrição de ensaios SPT e a determinação de  $S_u$  de forma direta (através de ensaios de campo ou laboratório).

A componente de atrito lateral ( $f_s$ ) mobilizada no amostrador SPT constitui-se na variável essencial à determinação da resistência ao cisalhamento não-drenada no solo ( $S_u$ ) a partir de resultados de ensaios SPT. Esta pesquisa se concentra na quantificação desta variável.

Na elaboração das equações para a estimativa de  $S_u$  foram identificados 3 procedimentos para o cálculo da força de atrito ( $f_s$ ), conhecidos pelo coeficiente de ajuste que utilizam nas formulações e que são referidos como metodologias  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\lambda$ .

A metodologia  $\beta$ : proposta com esforços expressos em termos de tensões efetivas foi originalmente desenvolvida para aplicações em solos arenosos, logo não é utilizada na presente pesquisa.

### Metodologias estudadas

**Metodologia  $\alpha$ :** proposta com esforços expressados em termos de tensões totais, na qual a estimativa de  $\alpha$  é feita através dos gráficos propostos por Tomlinson (1969). Com base na aplicação do método define-se:

- a) exige a adoção de um valor inicial de  $S_u$ , gerando um procedimento iterativo no cálculo de  $\alpha$ , situação que pode dificultar seu uso na prática de engenharia.
- b) superestima os resultados para as argilas rijas.
- c) é desaconselhado o uso deste procedimento nas estimativas de  $S_u$ .

**Metodologia  $\lambda$ :** faz uma combinação entre esforços totais e efetivos, onde a estimativa de  $\lambda$  é feita através do gráfico proposto por Vijayvergiya e Focht (1972). Com base no estudo chega-se as seguintes considerações:

- a) apresenta superestimativa de valores para  $S_u$  em argilas rijas.
- b) não consegue reproduzir o comportamento observado em campo das argilas moles.
- c) é desaconselhado o uso deste procedimento nas estimativas de  $S_u$ .

### Metodologias propostas

Levando em conta as conclusões expostas anteriormente, principalmente no que se refere às duas metodologias estudadas, desaconselhadas para a estimativa de  $S_u$  através do cálculo da energia dos ensaios SPT, na presente pesquisa projeta-se uma metodologia alternativa para a obtenção dos coeficientes  $\alpha$  e  $\lambda$ .

O procedimento proposto foi deduzido de forma empírica, com ajuste estatístico, de uma relação com  $N_{SPT}$  medido nos ensaios SPT. Dentre as equações de ajuste examinadas, foram adotadas expressões do tipo Hiperbólicas, propostas por ter os maiores coeficientes de correlação ( $r^2$  da ordem de 0,65). Independente do método escolhido, observa-se considerável dispersão nas previsões obtidas no ensaio SPT. Esta dispersão é considerada intrínseca ao ensaio em função das disparidades de procedimentos, extensivamente discutidos ao longo da presente dissertação.

Um dos benefícios deste modo de estimar os  $\alpha$  e  $\lambda$  é poder computá-los utilizando planilhas de cálculo.

**Metodologia  $\alpha$ :**

- a) produzem-se valores de  $S_u$  na faixa dos valores obtidos em campo tanto para argilas rijas como para as argilas moles.
- b) as previsões são ligeiramente conservadoras, condição necessária para um método baseado em dados que têm considerável dispersão de resultados.
- c) pelos motivos expostos, recomenda-se o seu uso para a estimativa da resistência não drenada em projetos correntes, somente em nível de anteprojeto.

**Metodologia  $\lambda$ :**

- a) observa-se considerável dispersão nos resultados.
- b) superestima os resultados para as argilas rijas.
- c) o uso da metodologia de cálculo considerando o coeficiente  $\lambda$  não é recomendado. Nenhum dos procedimentos testados no presente trabalho resultam em previsões realistas de valores de resistência ao cisalhamento não drenada.

A metodologia  $\alpha$  proposta fornece bons resultados, podendo ser útil para a prática da engenharia, nomeadamente no que diz respeito às aplicações para o cálculo da energia dos ensaios SPT. A abordagem proposta, embora simples, é mais rigorosa que a adotada na prática de engenharia, na qual  $S_u/N_{SPT}$  é aproximado a uma constante.

Como verificação complementar foi elaborada a Figura 6.1. Esta figura contém os  $N_{SPT}$  com os correspondentes  $S_u$  que se conseguem ao usar a metodologia  $\alpha$  proposta, e como elemento de comparação é usada a proposta de Terzaghi e Peck (1967) e Sowers (1979) para a correlação aproximada de resultados de ensaios SPT e  $S_u$ , associados estes aos tipos de material encontrados no local em estudo. Pode-se ver o bom ajuste que se conseguiu com os resultados da proposta feita neste trabalho. Tem-se para salientar que para estes dois trabalhos um  $N_{SPT}=0$  corresponde a um  $S_u=0$ , como já foi mostrado nos apartados correspondentes, na presente proposta de cálculo  $N_{SPT}=0$  não necessariamente corresponde a um  $S_u=0$ .

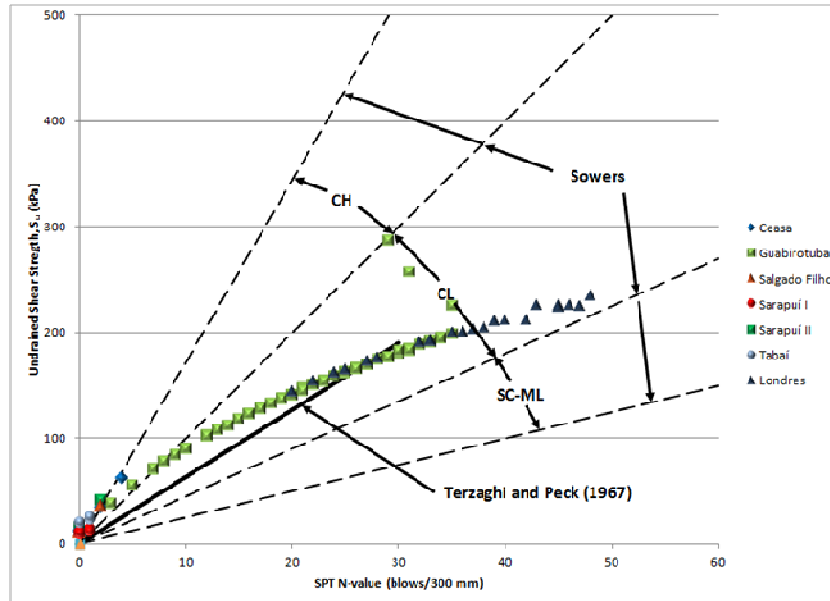


Figura 6.1: Correlação aproximada entre  $S_u$  e  $N_{SPT}$  (Modificado de In Situ 2001, 2001).

Como procedimento final, foi elaborada uma planilha de cálculo para estimativa da resistência não drenada ( $S_u$ ) a partir dos valores medidos de  $N_{SPT}$ . O procedimento de cálculo é simples e direto, e está pronto para uso em projetos de engenharia.

## 6.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como sugestão de pesquisas futuras, tem-se:

- aumentar o banco de dados, com o objetivo de estabelecer parâmetros que expressem diferentes tipologias e sejam validados localmente.
- desenvolver ou adaptar o método proposto à luz de sua aplicação em diferentes estudos de casos.
- elaborar estudos semelhantes por forma a se conseguir, através da energia de cravação do SPT, estimar parâmetros geotécnicos com maior confiabilidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. S. S. e MARQUES, M. E. S., **The behavior of Sarapuí soft organic clay**, In: Proc. International Workshop, Vol. 1, pp. 447-504, Singapore.

ARUP, **Geotechnical interpretative report. Sectional Interpretative report 1 of 2. Torquay Street to Charing Cross Road. Part B: Results of ground investigations**, Ove Arup & Partners, Londres, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: solo – sondagem de simples reconhecimento com SPT: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13441**: rochas e solos – simbologia. Rio de Janeiro, 1995.

BOWLES J. E., **Foundation analysis and design**. Fifth Edition, MacGraw-Hill, Singapore, 1997.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1377-9 1990**: Methods of test for Soil for civil engineering purposes – Part 9: In-situ tests. London, 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 4019-5 1999**: Rotary core drilling equipment – Specification for wireline diamond drilling equipment – System A. Metric units. London, 1999.

COLLET, H. B., **Ensaio de palheta de campo em argilas moles da baixada Fluminense**. Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 1978.

DAS B. M., **Principios de ingeniería de cimentaciones**. Cuarta edición, International Thomson editores, México DF, 2001.

DOHERTY, P. e GAVIN K., **The shaft capacity of displacement piles in clay: a state of the art review**, Journal Geotechnical and Geological Engineering, Volume 29, Number 4 (2011), 389-410.

FRANCISCO, G. M., **Estudo dos efeitos do tempo em estacas de fundação em solos argilosos**. Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

HALLAL, R. R., **Características de depósitos de argilas moles no estado do Rio Grande do Sul**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HOYOS PATIÑO, F., **Geotecnia Dicionario Básico**, Hombre Nuevo Editores, Medellín, 2001.

IN SITU 2001, **In Situ Testing and Soil Properties Correlations**, memorias do: International Conference on In Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories – Bali Indonesia. Parahyangan Catholic University, Bandung, 2001.

JANNUZZI, G. M. F., **Caracterização do Depósito de Solo Mole de Sarapuí II através de ensaios de campo**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2009.

KORMANN, A. C. M., **Comportamento Geomecânico da Formação Guabirotuba: Estudos de Campo e Laboratório**, Tese de Doutorado, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2002.

LOBO, V. de O., **Método de previsão de Capacidade de Carga de Estacas: Aplicação dos Conceitos de Energia do Ensaio SPT**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

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

ORTIGÃO, J. A. R., **Aterro experimental levado a ruptura sobre argila cinza do Rio de Janeiro**. Teses de Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 1980.

POULOS H. G. e DAVIS E. H., **Pile foundation analysis and design**. The University of Sydney, 1980.

SCHNAID, F., **Aeroporto internacional Salgado Filho Infra-Estrutura civil e geotécnica**. Editora Sagra Luzzatto, Porto Alegre, 2001.



SCHNAID, F., **In situ testing in geomechanics, the main tests**. Taylor & Francis Group, New York, 2009.

SCHNAID, F., **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2000.

SCHNAID, F. et al., **Prediction of soil properties from the concepts of energy transfer in dynamic penetration tests**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 135 (2009) 1092-1100.

SIMONS N. E. e MENZIES B. K., **A short course in foundation engineering**, Butterworth & Co Ltd. London, 1997.

SOARES, J. M. D., **Estudo do comportamento geotécnico do depósito de argila mole da Grande Porto Alegre**, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

## APÊNDICE A – BANCO DE DADOS

### CEASA

Tabela A.1: Resultados de SPT, Ceasa.

Profundidade (m)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
2,0	16,0	4	30	0,08	Argila mole
3,0	15,5	2	30	0,15	
4,0	13,8	0	45	0,45	
5,0	14,0	0	45	0,45	
6,0	13,9	0	45	0,45	
7,0	13,9	0	45	0,45	
8,0	14,2	0	45	0,45	
9,0	14,1	2	30	0,15	Areia
10,0	14,0	9	30	0,03	

### AEROPORTO SALGADO FILHO

Tabela A.2: Resultados de SPT, Aeroporto Salgado Filho.

Profundidade (m)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	17,0	2	30	0,15	Aterro
2,0	15,0	0	45	0,45	Argila mole
3,0	15,0	0	45	0,45	
4,0	15,0	0	45	0,45	
5,0	15,0	0	45	0,45	
6,0	15,0	2	30	0,15	

### TABAÍ

Tabela A.3: Resultados de SPT, Tabai.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	14,0	1	30	0,30	Argila mole
2,0	14,0	1	30	0,30	
3,0	14,0	1	30	0,30	
4,0	14,0	1	30	0,30	
5,0	14,0	1	30	0,30	
6,0	14,0	1	30	0,30	

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
7,0	14,0	1	30	0,30	
8,0	14,0	1	30	0,30	
9,0	14,0	0	30	0,30	
10	14,0	9	30	0,03	Areia

## SARAPUÍ I

Tabela A.4: Resultados de SPT, SarapuÍ I sondagem I.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (cm)	Tipo de solo
1,0	13,0	0	45	0,45	45	
2,0	13,0	0	45	0,45	45	
3,0	13,0	0	45*	0,45	120	
4,0	13,0	0	45*	0,45	-	
5,0	13,1	0	45*	0,45	115	
6,0	13,2	0	45*	0,45	-	
7,0	13,3	1	18	0,18	18	Argila mole
8,0	13,4	1	45*	0,45	95	
9,0	13,7	1	45*	0,45	-	
10,0	13,8	1	45*	0,45	82	
11,0	14,0	1	47	0,47	47	

\*Valor ajustado

Tabela A.5: Resultados de SPT, SarapuÍ I sondagem II.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (cm)	Tipo de solo
1,0	13,0	0	45	0,45	45	
2,0	13,0	0	45	0,45	45	
3,0	13,0	0	45*	0,45	110	
4,0	13,0	0	45*	0,45	-	
5,0	13,1	0	45*	0,45	95	
6,0	13,2	1	40	0,40	40	Argila mole
7,0	13,3	1	45*	0,45	72	
8,0	13,4	1	45*	0,45	-	
9,0	13,7	1	45*	0,45	55	
10,0	13,8	1	40	0,40	40	

\*Valor ajustado

Tabela A.6: Resultados de SPT, SarapuÍ I sondagem III.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (cm)	Tipo de solo
1,0	13,0	0	45	0,45	45	
2,0	13,0	0	45	0,45	45	Argila mole
3,0	13,0	0	45*	0,45	127	

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (cm)	Tipo de solo
4,0	13,0	0	45*	0,45	-	
5,0	13,1	1	45*	0,45	74	
6,0	13,2	1	45*	0,45	70	
7,0	13,3	1	45*	0,45	98	
8,0	13,4	1	45*	0,45	-	
9,0	13,7	1	45*	0,45	89	
10,0	13,8	1	45*	0,45	71	
11,0	14,0	1	45	0,45	45	

\*Valor ajustado

## SARAPUÍ II

Tabela A.7: Resultados de SPT, Sarapuí II sondagem I.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (m)	Tipo de solo
1,0	13,0	0	45*	0,45	60	Argila mole
2,0	13,0	0	45*	0,45	50	
3,0	13,0	0	45*	0,45	60	
4,0	13,0	0	45*	0,45	55	
5,0	13,1	0	45*	0,45	50	
6,0	13,2	0	45*	0,45	60	
7,0	13,3	0	45*	0,45	50	
8,0	13,4	0	45*	0,45	65	
9,0	13,7	0	45*	0,45	50	

\*Valor ajustado

Tabela A.8: Resultados de SPT, Sarapuí II sondagem II.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Penetração original (m)	Tipo de solo
1,0	13,0	0	45	0,45	45	Argila mole
2,0	13,0	0	45	0,45	45	
3,0	13,0	0	45	0,45	45	
4,0	13,0	0	45	0,45	45	
5,0	13,1	0	45*	0,45	70	
6,0	13,2	0	45*	0,45	70	
7,0	13,3	0	45*	0,45	50	
8,0	13,4	2	30	0,15	30	
9,0	13,7	0	45	0,45	45	
10,0	13,8	3	30	0,10	30	

\*Valor ajustado

Tabela A.9: Resultados de SPT, Sarapuí II sondagem IV.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	13,0	0	45	0,45	Argila mole
2,0	13,0	0	45	0,45	
3,0	13,0	0	45	0,45	
4,0	13,0	0	45	0,45	
5,0	13,1	0	45	0,45	
6,0	13,2	0	45	0,45	

## GUABIROTUBA

Tabela A.10: Resultados de SPT, Guabirotuba sondagem B1.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	17,0	2	30	0,150	Argila
2,0	17,0	6	30	0,050	Silte
3,0	17,0	9	30	0,033	
4,0	17,5	10	30	0,030	Argila
5,0	17,5	15	30	0,020	
6,0	17,5	17	30	0,018	
7,0	18,0	24	30	0,013	
8,0	18,0	27	30	0,011	
9,0	18,4	29	30	0,010	
10,0	18,6	31	30	0,010	
11,0	18,6	30	30	0,010	
12,0	18,6	32	25	0,008	
Lençol freático		0,6 m			

Tabela A.11: Resultados de SPT, Guabirotuba sondagem B2.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo	
1,0	17,0	2	30	0,150	Argila	
2,0	17,0	5	30	0,060	Areia	
3,0	17,0	10	30	0,030		
4,0	17,5	14	30	0,021	Argila	
5,0	17,5	19	30	0,016		
6,0	17,5	21	30	0,014		
7,0	18,0	25	30	0,012		
8,0	18,0	27	30	0,011		
9,0	18,4	34	30	0,009		
10,0	18,6	33	30	0,009		
11,0	18,6	32	22	0,007		
Lençol freático		0,2 m				

Tabela A.12: Resultados de SPT, Guabiro tuba sondagem B3.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	17,0	2	30	0,150	Argila
2,0	17,0	5	30	0,060	Silte
3,0	17,0	17	30	0,018	Argila
4,0	17,5	19	30	0,016	
5,0	17,5	21	30	0,014	
6,0	17,5	23	30	0,013	
7,0	18,0	26	30	0,012	
8,0	18,0	30	30	0,010	
9,0	18,4	30	30	0,010	
10,0	18,6	34	30	0,009	
11,0	18,6	35	28	0,008	
Lençol freático		0,15 m			

Tabela A.13: Resultados de SPT, Guabiro tuba sondagem B6.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	17,0	3	30	0,100	Argila
2,0	17,0	8	30	0,038	
3,0	17,0	21	30	0,014	
4,0	17,5	12	30	0,025	
5,0	17,5	15	30	0,020	
6,0	17,5	27	30	0,011	Areia
7,0	18,0	29	30	0,010	
8,0	18,0	25	30	0,012	Argila
9,0	18,4	31	30	0,010	
10,0	18,6	30	30	0,010	
11,0	18,6	30	30	0,010	
12,0	18,6	29	19	0,007	
Lençol freático		2,5 m			

Tabela A.14: Resultados de SPT, Guabiro tuba sondagem B8.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	17,0	6	30	0,050	Argila
2,0	17,0	6	30	0,050	
3,0	17,0	8	30	0,038	Silte
4,0	17,5	17	30	0,018	
5,0	17,5	18	30	0,017	Argila
6,0	17,5	25	30	0,012	
7,0	18,0	28	30	0,011	
8,0	18,0	33	30	0,009	
9,0	18,4	32	30	0,009	
10,0	18,6	35	30	0,009	
11,0	18,6	34	30	0,009	
12,0	18,6	30	20	0,007	

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
13,0	18,6	29	33	0,008	
Lençol freático		2,0 m			

Tabela A.15: Resultados de SPT, Guabirota sondagem B9.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	17,0	6	30	0,050	Silte
2,0	17,0	10	30	0,030	
3,0	17,0	15	30	0,020	
4,0	17,5	17	30	0,018	
5,0	17,5	22	30	0,014	
6,0	17,5	19	30	0,016	
7,0	18,0	25	30	0,012	Argila
8,0	18,0	30	30	0,010	
9,0	18,4	30	30	0,010	
10,0	18,6	29	30	0,010	
11,0	18,6	31	30	0,010	
12,0	18,6	31	30	0,010	
13,0	18,6	33	21	0,006	
Lençol freático		2,6 m			

Tabela A.16: Resultados de SPT, Guabirota sondagem B10.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
1,0	17,0	8	30	0,038	Argila
2,0	17,0	14	30	0,021	Areia
3,0	17,0	30	30	0,010	
4,0	17,5	19	30	0,016	Silte
5,0	17,5	21	30	0,014	Argila
6,0	17,5	16	30	0,019	
7,0	18,0	20	30	0,015	
8,0	18,0	23	30	0,013	
9,0	18,4	26	30	0,012	
10,0	18,6	31	30	0,010	
11,0	18,6	33	30	0,009	
12,0	18,6	31	25	0,008	
Lençol freático		1,0 m			

Tabela A.17: Resultados de SPT, Guabirota sondagem B11.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
2,0	17,0	5	30	0,060	Argila
3,0	17,0	7	30	0,043	
4,0	17,5	13	30	0,023	
5,0	17,5	7	30	0,043	
6,0	17,5	22	30	0,014	

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
7,0	18,0	30	30	0,010	
8,0	18,0	20	30	0,015	
9,0	18,4	27	30	0,011	
10,0	18,6	30	25	0,008	
Lençol freático		1,8 m			

Tabela A.18: Resultados de SPT, Guabirota sondagem B12.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
2,0	17,0	5	30	0,060	Argila
3,0	17,0	9	30	0,033	
4,0	17,5	13	30	0,023	Silte
5,0	17,5	16	30	0,019	
6,0	17,5	21	30	0,014	
7,0	18,0	14	30	0,021	Argila
8,0	18,0	26	30	0,012	
9,0	18,4	29	30	0,010	
Lençol freático		2,0 m			

Tabela A.19: Resultados de SPT, Guabirota sondagem B13.

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
2,0	17,0	7	30	0,043	
3,0	17,0	12	30	0,025	
4,0	17,5	12	30	0,025	
5,0	17,5	10	30	0,030	
6,0	17,5	17	30	0,018	Argila
7,0	18,0	17	30	0,018	
8,0	18,0	21	30	0,014	
9,0	18,4	26	30	0,012	
10,0	18,4	30	22	0,007	
Lençol freático		1,7 m			

## ARGILA DE LONDRES

### Argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace

Tabela A.20: Resultados de SPT, Argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace (A2).

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
7,0	20,6	22	30	0,014	
9,0	20,6	24	30	0,013	Argila
11,0	20,6	25	30	0,012	
13,0	20,6	32	30	0,009	



15,0	20,6	35	30	0,009
17,0	20,6	43	30	0,007
19,0	20,6	39	30	0,008
21,0	20,6	37	30	0,008
23,0	20,6	40	30	0,008
25,0	20,6	48	30	0,006
27,0	20,6	45	30	0,007
29,0	20,6	52	30	0,006
Lençol freático		1,6 m		

### Argila de Londres - Paddington Station

Tabela A.21: Resultados de SPT, argila de Londres - Paddington Station (B2).

Profundidade (m)	Peso unitário (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Tipo de solo
9	20,6	20	30	0,015	Argila
11	20,6	27	30	0,011	
13	20,6	28	30	0,011	
15	20,6	33	30	0,009	
17	20,6	33	30	0,009	
19	20,6	36	30	0,008	
21	20,6	36	30	0,008	
23	20,6	38	30	0,008	
25	20,6	45	30	0,007	
27	20,6	45	30	0,007	
29	20,6	46	30	0,007	
31	20,6	42	30	0,007	
33	20,6	47	30	0,006	
35	20,6	54	30	0,006	
Lençol freático		6,4 m			

## APÊNDICE B – RESULTADOS

### CÁLCULOS MÉTODO $\alpha$

#### Ceasa

Tabela B.1: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Ceasa.

	Massa da haste/m			3,23			
	Diâmetro do amostrador			0,053			
	$N_c$ argila			9			
	$\alpha$			0,7			
	$1/v$			0,6			
	$\eta_1$			0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	16,0	4	0,08	403,08	3,22	49,5	61,6
3,0	15,5	2	0,15	446,82	1,79	27,5	34,2
4,0	13,8	0	0,45	343,84	0,76	8,3	11,1
5,0	14,0	0	0,45	358,09	0,80	8,6	11,6
6,0	13,9	0	0,45	372,34	0,83	9,0	12,1
7,0	13,9	0	0,45	386,60	0,86	9,3	12,5
8,0	14,2	0	0,45	400,85	0,89	9,7	13,0

#### Salgado Filho

Tabela B.2: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Aeroporto Salgado Filho.

	Massa da haste/m			3,23			
	Diâmetro do amostrador			0,053			
	$N_c$ argila			9			
	$\alpha$			0,8			
	$1/v$			0,6			
	$\eta_1$			0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	15,0	0	0,45	315,33	0,70	8,2	10,8
3,0	15,0	0	0,45	329,58	0,73	8,5	11,3
4,0	15,0	0	0,45	343,84	0,76	8,9	11,8
5,0	15,0	0	0,45	358,09	0,80	9,3	12,3
6,0	15,0	2	0,15	455,01	1,82	29,9	36,5

## Tabaí

Tabela B.3: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Tabaí.

Massa da haste/m		3,23					
Diâmetro do amostrador		0,053					
$N_c$ argila		9					
$\alpha$		0,5					
$1/v$		0,6					
$\eta_1$		0,764					
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
1,0	14,0	1	0,30	518,63	1,04	19,7	23,1
2,0	14,0	1	0,30	525,86	1,05	20,0	23,5
3,0	14,0	1	0,30	533,02	1,07	20,2	23,8
4,0	14,0	1	0,30	540,09	1,08	20,5	24,1
5,0	14,0	1	0,30	547,09	1,09	20,8	24,4
6,0	14,0	1	0,30	554,00	1,11	21,0	24,7
7,0	14,0	1	0,30	560,84	1,12	21,3	25,0
8,0	14,0	1	0,30	567,60	1,14	21,6	25,3
9,0	14,0	0	0,30	276,74	0,92	17,5	20,6

## Sarapuí I

Tabela B.4: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem I.

Massa da haste/m		3,23					
Diâmetro do amostrador		0,053					
$N_c$ argila		9					
$\alpha$		0,5					
$1/v$		0,6					
$\eta_1$		0,764					
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	7,1	9,7
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	7,5	10,1
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	7,8	10,6
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	8,1	11,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	8,4	11,4
8,0	13,4	1	0,18	674,92	0,90	9,2	12,4
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	9,3	12,6

Tabela B.5: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem II.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	7,1	9,7
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	7,5	10,1
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	7,8	10,6
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	8,1	11,0

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
6,0	13,2	1	0,40	620,00	0,93	10,5	14,0
7,0	13,3	1	0,45	664,02	0,89	9,0	12,2
8,0	13,4	1	0,45	674,92	0,90	9,2	12,4
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	9,3	12,6

Tabela B.6: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí I sondagem III.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	7,1	9,7
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	7,5	10,1
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	7,8	10,6
5,0	13,1	1	0,45	641,86	0,86	8,7	11,8
6,0	13,2	1	0,45	653,00	0,87	8,9	12,0
7,0	13,3	1	0,45	664,02	0,89	9,0	12,2
8,0	13,4	1	0,45	674,92	0,90	9,2	12,4
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	9,3	12,6

## Sarapuí II

Tabela B.7: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí II sondagem I.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
$\alpha$				0,5			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	9,1	11,7
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	9,5	12,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	10,0	12,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,4	13,3
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	10,8	13,9
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	11,3	14,4
7,0	13,3	0	0,45	386,60	0,86	11,7	15,0
8,0	13,4	0	0,45	400,85	0,89	12,1	15,5

Tabela B.8: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí II sondagem II.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	9,1	11,7
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	9,5	12,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	10,0	12,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,4	13,3
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	10,8	13,9
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	11,3	14,4

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
7,0	13,3	0	0,50	386,60	0,86	11,7	15,0
8,0	13,4	2	0,15	460,27	1,84	35,0	41,1

Tabela B.9: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí II sondagem IV.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	9,1	11,7
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	9,5	12,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	10,0	12,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,4	13,3
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	10,8	13,9
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	11,3	14,4

## Guabirota

Tabela B.10: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B1.

Massa da haste/m	3,23						
Diâmetro do amostrador	0,053						
N <sub>c</sub> argila	9						
$\alpha$	0,3						
1/v	0,6						
$\eta_1$	0,764						
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
4,0	17,5	10	0,030	377,19	7,54	209,1	216,5
5,0	17,5	15	0,020	370,19	11,11	307,8	318,8
6,0	17,5	17	0,018	367,67	12,50	346,5	358,8
7,0	18,0	24	0,013	363,08	17,43	483,1	500,2
8,0	18,0	27	0,011	360,90	19,49	540,2	559,4
9,0	18,4	29	0,010	359,10	20,83	577,3	597,8
10,0	18,6	31	0,010	357,34	22,15	614,1	635,9
11,0	18,6	30	0,010	356,32	21,38	592,6	613,6

Tabela B.11: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
5,0	17,5	19	0,016	367,53	13,97	387,1	400,9
6,0	17,5	21	0,014	365,45	15,35	425,4	440,5
7,0	18,0	25	0,012	362,74	18,14	502,7	520,6
8,0	18,0	27	0,011	360,90	19,49	540,2	559,4
9,0	18,4	34	0,009	357,97	24,34	674,7	698,7
10,0	18,6	33	0,009	356,88	23,55	652,9	676,1

Tabela B.12: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirotuba sondagem B3.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
3,0	17,0	17	0,018	370,76	12,61	349,4	361,8
4,0	17,5	19	0,016	368,62	14,01	388,3	402,0
5,0	17,5	21	0,014	366,58	15,40	426,8	441,9
6,0	17,5	23	0,013	364,63	16,77	464,9	481,4
7,0	18,0	26	0,012	362,42	18,85	522,4	540,9
8,0	18,0	30	0,010	360,11	21,61	598,9	620,1
9,0	18,4	30	0,010	358,85	21,53	596,8	618,0
10,0	18,6	34	0,009	356,68	24,25	672,3	696,1
11,0	18,6	35	0,008	354,73	26,60	773,0	786,1

Tabela B.13: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirotuba sondagem B6.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
1,0	17,0	3	0,100	415,34	2,49	69,1	71,5
2,0	17,0	8	0,038	382,62	6,12	169,7	175,7
3,0	17,0	21	0,014	368,83	15,49	429,4	444,6
4,0	17,5	12	0,025	374,17	8,98	248,9	257,7
5,0	17,5	15	0,020	370,19	11,11	307,8	318,8
8,0	18,0	25	0,012	361,54	18,08	501,1	518,8
9,0	18,4	31	0,010	358,61	22,23	616,3	638,1
10,0	18,6	30	0,010	357,58	21,46	594,7	615,8
11,0	18,6	30	0,010	356,32	21,38	592,6	613,6

Tabela B.14: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirotuba sondagem B8.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
5,0	17,5	18	0,017	368,08	13,25	367,3	380,3
6,0	17,5	25	0,012	363,94	18,20	504,4	522,3
7,0	18,0	28	0,011	361,86	20,26	561,7	581,6
8,0	18,0	33	0,009	359,46	23,72	657,6	680,9
9,0	18,4	32	0,009	358,38	22,94	635,7	658,3
10,0	18,6	35	0,009	356,48	24,95	691,7	716,2
11,0	18,6	34	0,009	355,38	24,17	669,8	693,6
13,0	18,6	29	0,008	352,02	26,63	879,7	849,6

Tabela B.15: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirotuba sondagem B9.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
4,0	17,5	17	0,018	369,74	12,57	348,4	360,8
5,0	17,5	22	0,014	366,17	16,11	446,6	462,4
6,0	17,5	19	0,016	366,44	13,92	386,0	399,7
7,0	18,0	25	0,012	362,74	18,14	502,7	520,6
8,0	18,0	30	0,010	360,11	21,61	598,9	620,1
9,0	18,4	30	0,010	358,85	21,53	596,8	618,0
10,0	18,6	29	0,010	357,85	20,76	575,3	595,7

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
11,0	18,6	31	0,010	356,06	22,08	611,9	633,6
12,0	18,6	31	0,010	354,79	22,00	609,7	631,3

Tabela B.16: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B10.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
5,0	17,5	21	0,014	366,58	15,40	426,8	441,9
6,0	17,5	16	0,019	368,39	11,79	326,8	338,4
7,0	18,0	20	0,015	364,80	14,59	404,5	418,8
8,0	18,0	23	0,013	362,29	16,67	461,9	478,3
9,0	18,4	26	0,012	359,99	18,72	518,9	537,3
10,0	18,6	31	0,010	357,34	22,15	614,1	635,9
11,0	18,6	33	0,009	355,59	23,47	650,5	673,6
12,0	18,6	31	0,008	353,46	26,30	823,6	813,1

Tabela B.17: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B11.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	17,0	5	0,060	394,90	3,95	109,5	113,3
3,0	17,0	7	0,043	385,25	5,39	149,5	154,8
4,0	17,5	13	0,023	373,01	9,70	268,8	278,4
5,0	17,5	7	0,043	384,63	5,38	149,3	154,6
6,0	17,5	22	0,014	365,02	16,06	445,2	461,0
7,0	18,0	30	0,010	361,37	21,68	601,0	622,3
8,0	18,0	20	0,015	363,69	14,55	403,2	417,5
9,0	18,4	27	0,011	359,67	19,42	538,3	557,5

Tabela B.18: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B12.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	17,0	5	30	0,060	394,90	3,95	109,5	113,3
3,0	17,0	9	30	0,033	379,78	6,84	189,5	196,2
4,0	17,5	13	30	0,023	373,01	9,70	268,8	278,4
5,0	17,5	16	30	0,019	369,40	11,82	327,6	339,3
6,0	17,5	21	30	0,014	365,45	15,35	425,4	440,5
7,0	18,0	14	30	0,021	369,23	10,34	286,6	296,7
8,0	18,0	26	30	0,012	361,21	18,78	520,6	539,1
9,0	18,4	29	30	0,010	359,10	20,83	577,3	597,8

Tabela B.19: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B13.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	17,0	7	30	0,043	385,54	5,40	149,6	154,9
3,0	17,0	12	30	0,025	374,99	9,00	249,5	258,3
4,0	17,5	12	30	0,025	374,17	8,98	248,9	257,7
5,0	17,5	10	30	0,030	376,51	7,53	208,7	216,1

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
6,0	17,5	17	30	0,018	367,67	12,50	346,5	358,8
7,0	18,0	17	30	0,018	366,63	12,47	345,5	357,8
8,0	18,0	21	30	0,014	363,17	15,25	422,8	437,8
9,0	18,4	26	30	0,012	359,99	18,72	518,9	537,3

### Argila de Londres

Tabela B.20: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace A2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
				5,67			
				0,051			
				9			
				0,3			
				0,6			
				0,764			
7,0	20,6	22	0,014	366,08	16,11	468,4	486,0
9,0	20,6	24	0,013	363,29	17,44	507,1	526,2
11,0	20,6	25	0,012	360,92	18,05	524,8	544,6
13,0	20,6	32	0,009	356,01	22,78	662,6	687,6
15,0	20,6	35	0,009	352,82	24,70	718,2	745,3
17,0	20,6	43	0,007	348,43	29,96	871,4	904,3
19,0	20,6	39	0,008	347,00	27,07	787,2	816,8
21,0	20,6	37	0,008	345,24	25,55	743,0	771,0
23,0	20,6	40	0,008	341,91	27,35	795,5	825,5
25,0	20,6	48	0,006	337,38	32,39	942,0	977,5
27,0	20,6	45	0,007	335,56	30,20	878,4	911,5

Tabela B.21: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Argila de Londres - Paddington Station B2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
9,0	20,6	20	0,015	365,67	14,63	425,3	441,4
11,0	20,6	27	0,011	359,99	19,44	565,3	586,6
13,0	20,6	28	0,011	357,54	20,02	582,3	604,2
15,0	20,6	33	0,009	353,47	23,33	678,4	704,0
17,0	20,6	33	0,009	351,24	23,18	674,2	699,6
19,0	20,6	36	0,008	347,91	25,05	728,5	756,0
21,0	20,6	36	0,008	345,58	24,88	723,7	750,9
23,0	20,6	38	0,008	342,54	26,03	757,1	785,7
25,0	20,6	45	0,007	338,08	30,43	884,9	918,3
27,0	20,6	45	0,007	335,56	30,20	878,4	911,5
29,0	20,6	46	0,007	332,76	30,61	890,4	924,0
31,0	20,6	42	0,007	331,41	27,84	809,7	840,2
33,0	20,6	47	0,006	327,37	30,77	895,1	928,8



## CÁLCULOS MÉTODO $\alpha$ AJUSTADO

### Ceasa

Tabela B.22: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Ceasa.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	16,0	4	0,08	403,08	3,22	46,8	46,4
3,0	15,5	2	0,15	446,82	1,79	28,2	27,6
4,0	13,8	0	0,45	343,84	0,76	9,5	9,6
5,0	14,0	0	0,45	358,09	0,80	9,8	10,0
6,0	13,9	0	0,45	372,34	0,83	10,2	10,4
7,0	13,9	0	0,45	386,60	0,86	10,6	10,8
8,0	14,2	0	0,45	400,85	0,89	11,0	11,2

### Salgado Filho

Tabela B.23: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Aeroporto Salgado Filho.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	15,0	0	0,45	315,33	0,70	8,7	8,8
3,0	15,0	0	0,45	329,58	0,73	9,1	9,2
4,0	15,0	0	0,45	343,84	0,76	9,5	9,6
5,0	15,0	0	0,45	358,09	0,80	9,8	10,0
6,0	15,0	2	0,15	455,01	1,82	28,7	28,1

### Tabaí

Tabela B.24: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Tabaí.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	14,0	1	0,30	518,63	1,04	17,1	16,7

2,0	14,0	1	0,30	525,86	1,05	17,4	16,9
3,0	14,0	1	0,30	533,02	1,07	17,6	17,1
4,0	14,0	1	0,30	540,09	1,08	17,8	17,3
5,0	14,0	1	0,30	547,09	1,09	18,1	17,6
6,0	14,0	1	0,30	554,00	1,11	18,3	17,8
7,0	14,0	1	0,30	560,84	1,12	18,5	18,0
8,0	14,0	1	0,30	567,60	1,14	18,8	18,2
9,0	14,0	0	0,30	276,74	0,92	16,0	15,4

## Sarapuí I

Tabela B.25: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem I.

Massa da haste/m	3,23						
Diâmetro do amostrador	0,053						
$N_c$ argila	9						
$1/v$	0,6						
$\eta_1$	0,764						
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	8,7	8,8
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	9,1	9,2
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	9,5	9,6
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	9,8	10,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	10,2	10,4
8,0	13,4	1	0,18	674,92	0,90	10,6	10,8
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	10,7	10,9

Tabela B.26: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem II.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	8,7	8,8
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	9,1	9,2
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	9,5	9,6
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	9,8	10,0
6,0	13,2	1	0,40	620,00	0,93	12,1	12,2
7,0	13,3	1	0,45	664,02	0,89	10,4	10,6
8,0	13,4	1	0,45	674,92	0,90	10,6	10,8
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	10,7	10,9

Tabela B.27: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem III.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	8,7	8,8
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	9,1	9,2
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	9,5	9,6
5,0	13,1	1	0,45	641,86	0,86	10,0	10,2
6,0	13,2	1	0,45	653,00	0,87	10,2	10,4
7,0	13,3	1	0,45	664,02	0,89	10,4	10,6

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
8,0	13,4	1	0,45	674,92	0,90	10,6	10,8
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	10,7	10,9

## Sarapuí II

Tabela B.28: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí II sondagem I.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	8,3	8,4
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	8,7	8,8
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	9,1	9,2
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	9,5	9,6
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	9,8	10,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	10,2	10,4
7,0	13,3	0	0,45	386,60	0,86	10,6	10,8
8,0	13,4	0	0,45	400,85	0,89	11,0	11,2

Tabela B.29: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí II sondagem II.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	8,3	8,4
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	8,7	8,8
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	9,1	9,2
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	9,5	9,6
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	9,8	10,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	10,2	10,4
7,0	13,3	0	0,50	386,60	0,86	10,6	10,8
8,0	13,4	2	0,15	460,27	1,84	29,0	28,5

Tabela B.30: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí II sondagem IV.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	8,3	8,4
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	8,7	8,8
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	9,1	9,2
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	9,5	9,6
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	9,8	10,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	10,2	10,4

## Guabirota

Tabela B.31: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B1.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
$N_c$ argila				9			
$1/v$				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
4,0	17,5	10	0,030	377,19	7,54	90,3	90,5
5,0	17,5	15	0,020	370,19	11,11	118,0	117,7
6,0	17,5	17	0,018	367,67	12,50	127,6	126,7
7,0	18,0	24	0,013	363,08	17,43	158,2	154,1
8,0	18,0	27	0,011	360,90	19,49	169,7	163,7
9,0	18,4	29	0,010	359,10	20,83	176,9	169,4
10,0	18,6	31	0,010	357,34	22,15	183,8	174,7
11,0	18,6	30	0,010	356,32	21,38	179,4	171,2

Tabela B.32: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
5,0	17,5	19	0,016	367,53	13,97	137,4	135,8
6,0	17,5	21	0,014	365,45	15,35	145,9	143,5
7,0	18,0	25	0,012	362,74	18,14	162,3	157,6
8,0	18,0	27	0,011	360,90	19,49	169,7	163,7
9,0	18,4	34	0,009	357,97	24,34	195,4	183,8
10,0	18,6	33	0,009	356,88	23,55	191,1	180,4

Tabela B.33: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B3.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
3,0	17,0	17	0,018	370,76	12,61	128,7	127,8
4,0	17,5	19	0,016	368,62	14,01	137,8	136,2
5,0	17,5	21	0,014	366,58	15,40	146,4	143,9
6,0	17,5	23	0,013	364,63	16,77	154,5	151,0
7,0	18,0	26	0,012	362,42	18,85	166,3	161,0
8,0	18,0	30	0,010	360,11	21,61	181,3	173,0
9,0	18,4	30	0,010	358,85	21,53	180,7	172,4
10,0	18,6	34	0,009	356,68	24,25	194,7	183,1
11,0	18,6	35	0,008	354,73	26,60	225,0	210,1

Tabela B.34: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B6.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
1,0	17,0	3	0,100	415,34	2,49	37,7	37,1
2,0	17,0	8	0,038	382,62	6,12	77,6	77,7
3,0	17,0	21	0,014	368,83	15,49	147,3	144,8

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
4,0	17,5	12	0,025	374,17	8,98	102,1	102,3
5,0	17,5	15	0,020	370,19	11,11	118,0	117,7
8,0	18,0	25	0,012	361,54	18,08	161,8	157,1
9,0	18,4	31	0,010	358,61	22,23	184,4	175,4
10,0	18,6	30	0,010	357,58	21,46	180,0	171,8
11,0	18,6	30	0,010	356,32	21,38	179,4	171,2

Tabela B.35: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B8.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
5,0	17,5	18	0,017	368,08	13,25	132,7	131,5
6,0	17,5	25	0,012	363,94	18,20	162,8	158,1
7,0	18,0	28	0,011	361,86	20,26	174,2	167,5
8,0	18,0	33	0,009	359,46	23,72	192,5	181,7
9,0	18,4	32	0,009	358,38	22,94	188,1	178,2
10,0	18,6	35	0,009	356,48	24,95	198,3	185,8
11,0	18,6	34	0,009	355,38	24,17	194,0	182,5
13,0	18,6	29	0,008	352,02	26,63	286,7	269,3

Tabela B.36: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B9.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
4,0	17,5	17	0,018	369,74	12,57	128,3	127,5
5,0	17,5	22	0,014	366,17	16,11	150,7	147,7
6,0	17,5	19	0,016	366,44	13,92	137,0	135,4
7,0	18,0	25	0,012	362,74	18,14	162,3	157,6
8,0	18,0	30	0,010	360,11	21,61	181,3	173,0
9,0	18,4	30	0,010	358,85	21,53	180,7	172,4
10,0	18,6	29	0,010	357,85	20,76	176,3	168,8
11,0	18,6	31	0,010	356,06	22,08	183,1	174,1
12,0	18,6	31	0,010	354,79	22,00	182,4	173,5

Tabela B.37: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B10.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
5,0	17,5	21	0,014	366,58	15,40	146,4	143,9
6,0	17,5	16	0,019	368,39	11,79	122,7	122,2
7,0	18,0	20	0,015	364,80	14,59	141,1	139,1
8,0	18,0	23	0,013	362,29	16,67	153,5	150,0
9,0	18,4	26	0,012	359,99	18,72	165,2	159,9
10,0	18,6	31	0,010	357,34	22,15	183,8	174,7
11,0	18,6	33	0,009	355,59	23,47	190,4	179,8
12,0	18,6	31	0,008	353,46	26,30	257,0	241,3

Tabela B.38: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B11.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	5	0,060	394,90	3,95	55,2	55,0
3,0	17,0	7	0,043	385,25	5,39	70,5	70,5
4,0	17,5	13	0,023	373,01	9,70	107,7	107,8
5,0	17,5	7	0,043	384,63	5,38	70,4	70,4
6,0	17,5	22	0,014	365,02	16,06	150,3	147,3
7,0	18,0	30	0,010	361,37	21,68	181,9	173,6
8,0	18,0	20	0,015	363,69	14,55	140,6	138,6
9,0	18,4	27	0,011	359,67	19,42	169,2	163,1

Tabela B.39: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B12.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	5	30	0,060	394,90	3,95	55,2	55,0
3,0	17,0	9	30	0,033	379,78	6,84	84,1	84,3
4,0	17,5	13	30	0,023	373,01	9,70	107,7	107,8
5,0	17,5	16	30	0,019	369,40	11,82	123,0	122,5
6,0	17,5	21	30	0,014	365,45	15,35	145,9	143,5
7,0	18,0	14	30	0,021	369,23	10,34	112,2	112,2
8,0	18,0	26	30	0,012	361,21	18,78	165,8	160,4
9,0	18,4	29	30	0,010	359,10	20,83	176,9	169,4

Tabela B.40: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B13.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	7	30	0,043	385,54	5,40	70,5	70,6
3,0	17,0	12	30	0,025	374,99	9,00	102,3	102,5
4,0	17,5	12	30	0,025	374,17	8,98	102,1	102,3
5,0	17,5	10	30	0,030	376,51	7,53	90,1	90,4
6,0	17,5	17	30	0,018	367,67	12,50	127,6	126,7
7,0	18,0	17	30	0,018	366,63	12,47	127,2	126,4
8,0	18,0	21	30	0,014	363,17	15,25	145,0	142,6
9,0	18,4	26	30	0,012	359,99	18,72	165,2	159,9

## Argila de Londres

Tabela B.41: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace A2.

Massa da haste/m	5,67						
Diâmetro do amostrador	0,051						
$N_c$ argila	9						
$1/v$	0,6						
$\eta_1$	0,764						
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
7,0	20,6	22	0,014	366,08	16,11	154,4	153,0

9,0	20,6	24	0,013	363,29	17,44	162,2	159,7
11,0	20,6	25	0,012	360,92	18,05	165,4	162,4
13,0	20,6	32	0,009	356,01	22,78	191,2	183,2
15,0	20,6	35	0,009	352,82	24,70	200,8	190,3
17,0	20,6	43	0,007	348,43	29,96	226,4	208,5
19,0	20,6	39	0,008	347,00	27,07	211,7	197,8
21,0	20,6	37	0,008	345,24	25,55	203,6	191,6
23,0	20,6	40	0,008	341,91	27,35	212,0	197,4
25,0	20,6	48	0,006	337,38	32,39	235,6	213,1
27,0	20,6	45	0,007	335,56	30,20	224,7	205,4

Tabela B.42: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Argila de Londres - Paddington Station B2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
9,0	20,6	20	0,015	365,67	14,63	145,0	144,4
11,0	20,6	27	0,011	359,99	19,44	173,4	169,0
13,0	20,6	28	0,011	357,54	20,02	176,3	171,3
15,0	20,6	33	0,009	353,47	23,33	193,7	184,9
17,0	20,6	33	0,009	351,24	23,18	192,4	183,7
19,0	20,6	36	0,008	347,91	25,05	201,6	190,4
21,0	20,6	36	0,008	345,58	24,88	200,2	189,1
23,0	20,6	38	0,008	342,54	26,03	205,5	192,7
25,0	20,6	45	0,007	338,08	30,43	226,3	206,9
27,0	20,6	45	0,007	335,56	30,20	224,7	205,4
29,0	20,6	46	0,007	332,76	30,61	226,0	205,8
31,0	20,6	42	0,007	331,41	27,84	212,2	196,0
33,0	20,6	47	0,006	327,37	30,77	225,5	204,7

## CÁLCULOS MÉTODO $\lambda$

### Ceasa

Tabela B.43: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Ceasa.

Massa da haste/m	3,23						
Diâmetro do amostrador	0,053						
$N_c$ argila	9						
$1/v$	0,6						
$\eta_1$	0,764						
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	16,0	4	0,08	403,08	3,22	36,0	49,7
3,0	15,5	2	0,15	446,82	1,79	16,4	25,3
4,0	13,8	0	0,45	343,84	0,76	-3,0	1,8
5,0	14,0	0	0,45	358,09	0,80	-3,7	1,8
6,0	13,9	0	0,45	372,34	0,83	-4,6	1,4
7,0	13,9	0	0,45	386,60	0,86	-5,5	1,2
8,0	14,2	0	0,45	400,85	0,89	-6,3	1,0

## Salgado Filho

Tabela B.44: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Aeroporto Salgado Filho.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	15,0	0	0,45	315,33	0,70	-0,4	3,2
3,0	15,0	0	0,45	329,58	0,73	-1,9	2,4
4,0	15,0	0	0,45	343,84	0,76	-3,4	1,5
5,0	15,0	0	0,45	358,09	0,80	-4,5	1,2
6,0	15,0	2	0,15	455,01	1,82	15,6	26,1

## Tabaí

Tabela B.45: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Tabaí.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	14,0	1	0,30	518,63	1,04	7,4	12,4
2,0	14,0	1	0,30	525,86	1,05	6,9	12,5
3,0	14,0	1	0,30	533,02	1,07	6,4	12,5
4,0	14,0	1	0,30	540,09	1,08	5,7	12,3
5,0	14,0	1	0,30	547,09	1,09	5,6	12,7
6,0	14,0	1	0,30	554,00	1,11	5,0	12,6
7,0	14,0	1	0,30	560,84	1,12	4,5	12,6
8,0	14,0	1	0,30	567,60	1,14	4,1	12,7
9,0	14,0	0	0,30	276,74	0,92	-0,4	7,9

## Sarapuí I

Tabela B.46: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem I.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	3,6	6,6



3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	3,0	6,4
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	2,3	6,2
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	2,0	6,4
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	1,3	6,2
8,0	13,4	1	0,18	674,92	0,90	0,3	6,3
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	-0,4	6,0

Tabela B.47: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem II.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	3,6	6,6
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	3,0	6,4
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	2,3	6,2
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	2,0	6,4
6,0	13,2	1	0,40	620,00	0,93	3,9	9,3
7,0	13,3	1	0,45	664,02	0,89	1,1	6,5
8,0	13,4	1	0,45	674,92	0,90	0,3	6,3
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	-0,4	6,0

Tabela B.48: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem III.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	3,6	6,6
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	3,0	6,4
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	2,3	6,2
5,0	13,1	1	0,45	641,86	0,86	2,7	7,3
6,0	13,2	1	0,45	653,00	0,87	1,8	6,9
7,0	13,3	1	0,45	664,02	0,89	1,1	6,5
8,0	13,4	1	0,45	674,92	0,90	0,3	6,3
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	-0,4	6,0

## Sarapuí II

Tabela B.49: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí II sondagem I.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
$N_c$ argila				9			
$1/v$				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	4,2	6,7
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	3,6	6,6
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	3,0	6,4
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	2,3	6,2
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	2,0	6,4
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	1,3	6,2
7,0	13,3	0	0,45	386,60	0,86	0,7	6,1

8,0	13,4	0	0,45	400,85	0,89	0,2	6,1
-----	------	---	------	--------	------	-----	-----

Tabela B.50: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí II sondagem II.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	4,2	6,7
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	3,6	6,6
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	3,0	6,4
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	2,3	6,2
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	2,0	6,4
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	1,3	6,2
7,0	13,3	0	0,50	386,60	0,86	0,7	6,1
8,0	13,4	2	0,15	460,27	1,84	22,8	32,2

Tabela B.51: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí II sondagem IV.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	4,2	6,7
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	3,6	6,6
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	3,0	6,4
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	2,3	6,2
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	2,0	6,4
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	1,3	6,2

## Guabirota

Tabela B.52: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B1.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
$N_c$ argila				9			
$1/v$				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
4,0	17,5	10	0,030	377,19	7,54	98,6	130,3
5,0	17,5	15	0,020	370,19	11,11	161,4	206,6
6,0	17,5	17	0,018	367,67	12,50	188,9	239,5
7,0	18,0	24	0,013	363,08	17,43	280,3	348,4
8,0	18,0	27	0,011	360,90	19,49	328,2	402,6
9,0	18,4	29	0,010	359,10	20,83	367,3	444,6
10,0	18,6	31	0,010	357,34	22,15	403,0	483,5
11,0	18,6	30	0,010	356,32	21,38	398,8	475,2

Tabela B.53: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
5,0	17,5	19	0,016	367,53	13,97	207,1	262,9
6,0	17,5	21	0,014	365,45	15,35	236,3	297,2

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
7,0	18,0	25	0,012	362,74	18,14	292,6	363,2
8,0	18,0	27	0,011	360,90	19,49	328,2	402,6
9,0	18,4	34	0,009	357,97	24,34	434,0	523,0
10,0	18,6	33	0,009	356,88	23,55	430,4	515,4

Tabela B.54: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B3.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
3,0	17,0	17	0,018	370,76	12,61	167,9	218,2
4,0	17,5	19	0,016	368,62	14,01	194,2	250,4
5,0	17,5	21	0,014	366,58	15,40	229,9	291,1
6,0	17,5	23	0,013	364,63	16,77	260,0	326,1
7,0	18,0	26	0,012	362,42	18,85	304,9	378,0
8,0	18,0	30	0,010	360,11	21,61	366,6	448,4
9,0	18,4	30	0,010	358,85	21,53	380,6	460,3
10,0	18,6	34	0,009	356,68	24,25	444,1	531,3
11,0	18,6	35	0,008	354,73	26,60	534,5	621,0

Tabela B.55: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B6.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	17,0	3	0,100	415,34	2,49	26,2	36,5
2,0	17,0	8	0,038	382,62	6,12	73,7	98,7
3,0	17,0	21	0,014	368,83	15,49	208,5	269,9
4,0	17,5	12	0,025	374,17	8,98	119,8	157,0
5,0	17,5	15	0,020	370,19	11,11	161,4	206,6
8,0	18,0	25	0,012	361,54	18,08	302,6	372,2
9,0	18,4	31	0,010	358,61	22,23	394,0	476,0
10,0	18,6	30	0,010	357,58	21,46	389,3	467,5
11,0	18,6	30	0,010	356,32	21,38	398,8	475,2

Tabela B.56: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B8.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
5,0	17,5	18	0,017	368,08	13,25	195,6	248,9
6,0	17,5	25	0,012	363,94	18,20	283,7	355,0
7,0	18,0	28	0,011	361,86	20,26	329,5	407,7
8,0	18,0	33	0,009	359,46	23,72	405,0	494,1
9,0	18,4	32	0,009	358,38	22,94	407,3	491,7
10,0	18,6	35	0,009	356,48	24,95	457,9	547,3
11,0	18,6	34	0,009	355,38	24,17	455,2	540,3
12,0	18,6	30	0,007	352,31	31,71	658,3	712,5
13,0	18,6	29	0,008	352,02	26,63	195,6	248,9

Tabela B.57: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabiro tuba sondagem B9.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
4,0	17,5	17	0,018	369,74	12,57	172,9	223,7
5,0	17,5	22	0,014	366,17	16,11	241,3	305,1
6,0	17,5	19	0,016	366,44	13,92	212,6	268,4
7,0	18,0	25	0,012	362,74	18,14	292,6	363,2
8,0	18,0	30	0,010	360,11	21,61	366,6	448,4
9,0	18,4	30	0,010	358,85	21,53	380,6	460,3
10,0	18,6	29	0,010	357,85	20,76	375,5	451,5
11,0	18,6	31	0,010	356,06	22,08	412,9	491,5
12,0	18,6	31	0,010	354,79	22,00	423,8	500,1

Tabela B.58: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabiro tuba sondagem B10.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
5,0	17,5	21	0,014	366,58	15,40	229,9	291,1
6,0	17,5	16	0,019	368,39	11,79	177,1	225,1
7,0	18,0	20	0,015	364,80	14,59	231,1	289,1
8,0	18,0	23	0,013	362,29	16,67	277,0	341,7
9,0	18,4	26	0,012	359,99	18,72	327,2	397,6
10,0	18,6	31	0,010	357,34	22,15	403,0	483,5
11,0	18,6	33	0,009	355,59	23,47	441,1	524,0
12,0	18,6	31	0,008	353,46	26,30	596,2	665,4

Tabela B.59: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabiro tuba sondagem B11.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	5	0,060	394,90	3,95	45,1	61,7
3,0	17,0	7	0,043	385,25	5,39	66,1	89,0
4,0	17,5	13	0,023	373,01	9,70	130,4	170,3
5,0	17,5	7	0,043	384,63	5,38	70,0	94,1
6,0	17,5	22	0,014	365,02	16,06	248,1	311,7
7,0	18,0	30	0,010	361,37	21,68	354,1	437,3
8,0	18,0	20	0,015	363,69	14,55	238,7	296,0
9,0	18,4	27	0,011	359,67	19,42	340,6	413,3

Tabela B.60: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabiro tuba sondagem B12.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	5	30	0,060	394,90	3,95	45,1	61,7
3,0	17,0	9	30	0,033	379,78	6,84	86,5	114,9
4,0	17,5	13	30	0,023	373,01	9,70	130,4	170,3
5,0	17,5	16	30	0,019	369,40	11,82	172,8	220,7
6,0	17,5	21	30	0,014	365,45	15,35	236,3	297,2
7,0	18,0	14	30	0,021	369,23	10,34	157,3	200,1
8,0	18,0	26	30	0,012	361,21	18,78	315,4	387,4
9,0	18,4	29	30	0,010	359,10	20,83	367,3	444,6

Tabela B.61: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B13.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	7	30	0,043	385,54	5,40	64,2	86,4
3,0	17,0	12	30	0,025	374,99	9,00	117,0	153,6
4,0	17,5	12	30	0,025	374,17	8,98	119,8	157,0
5,0	17,5	10	30	0,030	376,51	7,53	104,3	136,3
6,0	17,5	17	30	0,018	367,67	12,50	188,9	239,5
7,0	18,0	17	30	0,018	366,63	12,47	194,2	244,6
8,0	18,0	21	30	0,014	363,17	15,25	251,4	311,2
9,0	18,4	26	30	0,012	359,99	18,72	327,2	397,6

## Argila de Londres

Tabela B.62: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace A2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
7,0	20,6	22	0,014	366,08	16,11	251,7	324,8
9,0	20,6	24	0,013	363,29	17,44	298,0	375,0
11,0	20,6	25	0,012	360,92	18,05	326,7	404,5
13,0	20,6	32	0,009	356,01	22,78	449,2	539,6
15,0	20,6	35	0,009	352,82	24,70	513,4	605,9
17,0	20,6	43	0,007	348,43	29,96	665,8	766,8
19,0	20,6	39	0,008	347,00	27,07	615,0	703,9
21,0	20,6	37	0,008	345,24	25,55	595,7	676,2
23,0	20,6	40	0,008	341,91	27,35	660,9	740,2
25,0	20,6	48	0,006	337,38	32,39	818,9	900,7
27,0	20,6	45	0,007	335,56	30,20	766,0	842,2

Tabela B.63: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Argila de Londres - Paddington Station B2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
9,0	20,6	20	0,015	365,67	14,63	223,6	296,0
11,0	20,6	27	0,011	359,99	19,44	337,4	425,7
13,0	20,6	28	0,011	357,54	20,02	369,0	456,8
15,0	20,6	33	0,009	353,47	23,33	463,1	557,8
17,0	20,6	33	0,009	351,24	23,18	480,2	570,5
19,0	20,6	36	0,008	347,91	25,05	545,5	636,2
21,0	20,6	36	0,008	345,58	24,88	560,5	646,1
23,0	20,6	38	0,008	342,54	26,03	607,2	690,8
25,0	20,6	45	0,007	338,08	30,43	746,2	831,7
27,0	20,6	45	0,007	335,56	30,20	749,2	831,9

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
29,0	20,6	46	0,007	332,76	30,61	774,1	853,3
31,0	20,6	42	0,007	331,41	27,84	693,3	769,9
33,0	20,6	47	0,006	327,37	30,77	790,2	866,4

## CÁLCULOS MÉTODO $\lambda$ AJUSTADO

### Ceasa

Tabela B.64: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Ceasa.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	16,0	4	0,08	403,08	3,22	47,3	51,3
3,0	15,5	2	0,15	446,82	1,79	27,3	29,2
4,0	13,8	0	0,45	343,84	0,76	6,2	6,6
5,0	14,0	0	0,45	358,09	0,80	5,2	5,9
6,0	13,9	0	0,45	372,34	0,83	4,3	5,2
7,0	13,9	0	0,45	386,60	0,86	3,4	4,5
8,0	14,2	0	0,45	400,85	0,89	2,3	3,7

### Salgado Filho

Tabela B.65: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Aeroporto Salgado Filho.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	15,0	0	0,45	315,33	0,70	8,6	8,4
3,0	15,0	0	0,45	329,58	0,73	7,2	7,4
4,0	15,0	0	0,45	343,84	0,76	5,9	6,4
5,0	15,0	0	0,45	358,09	0,80	4,5	5,3
6,0	15,0	2	0,15	455,01	1,82	22,1	25,3

## Tabaí

Tabela B.66: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Tabaí.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	14,0	1	0,30	518,63	1,04	20,9	20,4
2,0	14,0	1	0,30	525,86	1,05	19,7	19,5
3,0	14,0	1	0,30	533,02	1,07	18,5	18,6
4,0	14,0	1	0,30	540,09	1,08	17,2	17,7
5,0	14,0	1	0,30	547,09	1,09	16,0	16,8
6,0	14,0	1	0,30	554,00	1,11	14,7	15,9
7,0	14,0	1	0,30	560,84	1,12	13,5	15,0
8,0	14,0	1	0,30	567,60	1,14	12,2	14,1
9,0	14,0	0	0,30	276,74	0,92	11,6	11,2

## Sarapuí I

Tabela B.67: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem I.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	12,0	11,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	11,4	10,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,9	10,4
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	7,6	9,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	6,5	8,1
8,0	13,4	1	0,18	674,92	0,90	4,1	6,3
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	2,8	5,2

Tabela B.68: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí I sondagem II.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	12,0	11,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	11,4	10,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,9	10,4
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	10,2	10,0
6,0	13,2	1	0,40	620,00	0,93	9,2	10,6
7,0	13,3	1	0,45	664,02	0,89	5,3	7,2
8,0	13,4	1	0,45	674,92	0,90	4,1	6,3

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	2,8	5,2

Tabela B.69: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí I sondagem III.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	12,0	11,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	11,4	10,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,9	10,4
5,0	13,1	1	0,45	641,86	0,86	7,6	9,0
6,0	13,2	1	0,45	653,00	0,87	6,5	8,1
7,0	13,3	1	0,45	664,02	0,89	5,3	7,2
8,0	13,4	1	0,45	674,92	0,90	4,1	6,3
9,0	13,7	1	0,45	685,70	0,91	2,8	5,2

## Sarapuí II

Tabela B.70: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí II sondagem I.

Massa da haste/m				3,23			
Diâmetro do amostrador				0,053			
N <sub>c</sub> argila				9			
1/v				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	12,6	11,6
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	12,0	11,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	11,4	10,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,9	10,4
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	10,2	10,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	9,6	9,5
7,0	13,3	0	0,45	386,60	0,86	8,9	9,0
8,0	13,4	0	0,45	400,85	0,89	8,2	8,5

Tabela B.71: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Sarapuí II sondagem II.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	12,6	11,6
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	12,0	11,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	11,4	10,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,9	10,4
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	10,2	10,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	9,6	9,5
7,0	13,3	0	0,50	386,60	0,86	8,9	9,0
8,0	13,4	2	0,15	460,27	1,84	26,2	28,6



Tabela B.72: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Sarapuí II sondagem IV.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
1,0	13,0	0	0,45	301,08	0,67	12,6	11,6
2,0	13,0	0	0,45	315,33	0,70	12,0	11,2
3,0	13,0	0	0,45	329,58	0,73	11,4	10,8
4,0	13,0	0	0,45	343,84	0,76	10,9	10,4
5,0	13,1	0	0,45	358,09	0,80	10,2	10,0
6,0	13,2	0	0,45	372,34	0,83	9,6	9,5

## Guabirota

Tabela B.73: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B1.

Massa da haste/m	3,23						
Diâmetro do amostrador	0,053						
$N_c$ argila	9						
$1/v$	0,6						
$\eta_1$	0,764						
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
4,0	17,5	10	0,030	377,19	7,54	84,5	91,8
5,0	17,5	15	0,020	370,19	11,11	114,3	120,0
6,0	17,5	17	0,018	367,67	12,50	123,6	128,4
7,0	18,0	24	0,013	363,08	17,43	164,5	163,7
8,0	18,0	27	0,011	360,90	19,49	179,3	175,9
9,0	18,4	29	0,010	359,10	20,83	187,4	182,3
10,0	18,6	31	0,010	357,34	22,15	195,3	188,5
11,0	18,6	30	0,010	356,32	21,38	184,4	179,0

Tabela B.74: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
5,0	17,5	19	0,016	367,53	13,97	140,4	143,2
6,0	17,5	21	0,014	365,45	15,35	149,5	151,0
7,0	18,0	25	0,012	362,74	18,14	170,9	169,1
8,0	18,0	27	0,011	360,90	19,49	179,3	175,9
9,0	18,4	34	0,009	357,97	24,34	218,8	208,4
10,0	18,6	33	0,009	356,88	23,55	207,8	198,8

Tabela B.75: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B3.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
3,0	17,0	17	0,018	370,76	12,61	134,9	138,5
4,0	17,5	19	0,016	368,62	14,01	144,2	146,7
5,0	17,5	21	0,014	366,58	15,40	153,4	154,5
6,0	17,5	23	0,013	364,63	16,77	162,3	162,1
7,0	18,0	26	0,012	362,42	18,85	177,3	174,5
8,0	18,0	30	0,010	360,11	21,61	198,3	191,8

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
9,0	18,4	30	0,010	358,85	21,53	193,7	187,6
10,0	18,6	34	0,009	356,68	24,25	214,0	204,0
11,0	18,6	35	0,008	354,73	26,60	250,8	236,7

Tabela B.76: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B6.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
1,0	17,0	3	0,100	415,34	2,49	41,0	43,3
2,0	17,0	8	0,038	382,62	6,12	77,1	83,5
3,0	17,0	21	0,014	368,83	15,49	161,2	161,6
4,0	17,5	12	0,025	374,17	8,98	98,0	104,8
5,0	17,5	15	0,020	370,19	11,11	114,3	120,0
8,0	18,0	25	0,012	361,54	18,08	166,7	165,2
9,0	18,4	31	0,010	358,61	22,23	200,0	192,8
10,0	18,6	30	0,010	357,58	21,46	189,0	183,3
11,0	18,6	30	0,010	356,32	21,38	184,4	179,0

Tabela B.77: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B8.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
5,0	17,5	18	0,017	368,08	13,25	133,9	137,5
6,0	17,5	25	0,012	363,94	18,20	175,2	173,0
7,0	18,0	28	0,011	361,86	20,26	190,0	185,2
8,0	18,0	33	0,009	359,46	23,72	217,2	207,5
9,0	18,4	32	0,009	358,38	22,94	206,3	198,0
10,0	18,6	35	0,009	356,48	24,95	220,3	209,1
11,0	18,6	34	0,009	355,38	24,17	209,3	199,6
12,0	18,6	30	0,007	352,31	31,71	307,2	291,3
13,0	18,6	29	0,008	352,02	26,63	133,9	137,5

Tabela B.78: Cálculo de S<sub>u</sub> a partir de SPT, Guabirota sondagem B9.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	S <sub>u pa</sub> (kPa)	S <sub>u pf</sub> (kPa)
4,0	17,5	17	0,018	369,74	12,57	131,1	135,1
5,0	17,5	22	0,014	366,17	16,11	159,8	160,1
6,0	17,5	19	0,016	366,44	13,92	136,6	139,8
7,0	18,0	25	0,012	362,74	18,14	170,9	169,1
8,0	18,0	30	0,010	360,11	21,61	198,3	191,8
9,0	18,4	30	0,010	358,85	21,53	193,7	187,6
10,0	18,6	29	0,010	357,85	20,76	182,8	178,1
11,0	18,6	31	0,010	356,06	22,08	190,6	184,2
12,0	18,6	31	0,010	354,79	22,00	185,9	179,9

Tabela B.79: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B10.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
5,0	17,5	21	0,014	366,58	15,40	153,4	154,5
6,0	17,5	16	0,019	368,39	11,79	117,1	122,6
7,0	18,0	20	0,015	364,80	14,59	139,0	141,7
8,0	18,0	23	0,013	362,29	16,67	154,0	154,4
9,0	18,4	26	0,012	359,99	18,72	168,5	166,5
10,0	18,6	31	0,010	357,34	22,15	195,3	188,5
11,0	18,6	33	0,009	355,59	23,47	203,0	194,5
12,0	18,6	31	0,008	353,46	26,30	279,0	264,6

Tabela B.80: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B11.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	5	0,060	394,90	3,95	54,9	59,9
3,0	17,0	7	0,043	385,25	5,39	66,8	73,4
4,0	17,5	13	0,023	373,01	9,70	104,7	111,0
5,0	17,5	7	0,043	384,63	5,38	60,2	67,9
6,0	17,5	22	0,014	365,02	16,06	155,9	156,5
7,0	18,0	30	0,010	361,37	21,68	202,7	195,8
8,0	18,0	20	0,015	363,69	14,55	134,9	138,0
9,0	18,4	27	0,011	359,67	19,42	174,8	171,8
10,0	18,6	30	0,008	356,30	25,65	54,9	59,9

Tabela B.81: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B12.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	5	30	0,060	394,90	3,95	54,9	59,9
3,0	17,0	9	30	0,033	379,78	6,84	81,0	87,9
4,0	17,5	13	30	0,023	373,01	9,70	104,7	111,0
5,0	17,5	16	30	0,019	369,40	11,82	120,9	125,9
6,0	17,5	21	30	0,014	365,45	15,35	149,5	151,0
7,0	18,0	14	30	0,021	369,23	10,34	100,2	107,3
8,0	18,0	26	30	0,012	361,21	18,78	173,0	170,6
9,0	18,4	29	30	0,010	359,10	20,83	187,4	182,3

Tabela B.82: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Guabirota sondagem B13.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (cm)	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
2,0	17,0	7	30	0,043	385,54	5,40	69,9	76,0
3,0	17,0	12	30	0,025	374,99	9,00	101,6	107,9
4,0	17,5	12	30	0,025	374,17	8,98	98,0	104,8
5,0	17,5	10	30	0,030	376,51	7,53	81,0	88,8
6,0	17,5	17	30	0,018	367,67	12,50	123,6	128,4
7,0	18,0	17	30	0,018	366,63	12,47	119,7	124,8
8,0	18,0	21	30	0,014	363,17	15,25	141,2	143,5
9,0	18,4	26	30	0,012	359,99	18,72	168,5	166,5

## Argila de Londres

Tabela B.83: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Argila de Londres - Torquay Street a Cleveland Terrace A2.

Massa da haste/m				5,67			
Diâmetro do amostrador				0,051			
$N_c$ argila				9			
$1/v$				0,6			
$\eta_1$				0,764			
Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
7,0	20,6	22	0,014	366,08	16,11	141,1	145,8
9,0	20,6	24	0,013	363,29	17,44	143,5	147,4
11,0	20,6	25	0,012	360,92	18,05	139,3	143,2
13,0	20,6	32	0,009	356,01	22,78	172,7	170,3
15,0	20,6	35	0,009	352,82	24,70	180,2	175,6
17,0	20,6	43	0,007	348,43	29,96	218,2	205,5
19,0	20,6	39	0,008	347,00	27,07	181,9	174,7
21,0	20,6	37	0,008	345,24	25,55	158,2	154,3
23,0	20,6	40	0,008	341,91	27,35	164,7	158,3
25,0	20,6	48	0,006	337,38	32,39	200,3	185,8
27,0	20,6	45	0,007	335,56	30,20	170,6	160,5

Tabela B.84: Cálculo de  $S_u$  a partir de SPT, Argila de Londres - Paddington Station B2.

Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	Penetração (m)	Energia (J)	Força (kN)	$S_{u\ pa}$ (kPa)	$S_{u\ pf}$ (kPa)
9,0	20,6	20	0,015	365,67	14,63	96,8	106,8
11,0	20,6	27	0,011	359,99	19,44	131,0	135,1
13,0	20,6	28	0,011	357,54	20,02	126,5	130,5
15,0	20,6	33	0,009	353,47	23,33	146,7	146,2
17,0	20,6	33	0,009	351,24	23,18	135,5	136,0
19,0	20,6	36	0,008	347,91	25,05	142,5	140,6
21,0	20,6	36	0,008	345,58	24,88	131,1	130,2
23,0	20,6	38	0,008	342,54	26,03	131,6	129,3
25,0	20,6	45	0,007	338,08	30,43	161,4	152,1
27,0	20,6	45	0,007	335,56	30,20	149,4	141,1
29,0	20,6	46	0,007	332,76	30,61	143,2	134,7
31,0	20,6	42	0,007	331,41	27,84	108,1	105,2
33,0	20,6	47	0,006	327,37	30,77	124,6	117,0