



**Luciana Barros de Miranda Aviz**

**Estimativa da capacidade de carga de estacas por  
métodos semi-empíricos e teóricos**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Celso Romanel

Rio de Janeiro, março de 2006



**Luciana Barros de Miranda Aviz**

## **Estimativa da capacidade de carga de estacas por métodos semi-empíricos e teóricos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Celso Romanel**

Presidente / Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Profª Bernadete Ragoni Danziger**

UERJ

**Profº Deane de Mesquita Roehl**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico da PUC-Rio

Rio de Janeiro, 7 de março de 2006

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Luciana Barros de Miranda Aviz**

Graduou-se em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2002. Ingressou em 2003 no curso de mestrado em Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, na área de Geotecnia, desenvolvendo a dissertação de mestrado na linha de pesquisa de estimativa da capacidade de carga de estacas por métodos semi-empíricos e teóricos.

#### Ficha Catalográfica

Aviz, Luciana Barros de Miranda

Estimativa da capacidade de carga de estacas por métodos semi-empíricos e teóricos / Luciana Barros de Miranda Aviz ; orientador: Celso Romanel. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2006.

133 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia civil – Teses. 2. Capacidade de carga. 3. Estacas. 4. Estado limite último. 5. Elementos finitos. I. Romanel, Celso. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Para minha mãe,  
por todo amor e dedicação

## Agradecimentos

Ao meu orientador Celso Romanel pela orientação e esclarecimentos.

A minha mãe, Maria Sylvia pelo amor e incentivo, sem ela nadaseria possível.

Ao meu marido André Oliveira por todo amor, paciência e sobretudo pela força e incentivo nos momentos mais difíceis.

Ao professor Paulo Albuquerque qda Universidade de Campinas por me fornecer dados para este trabalho, além de sua própria tese de doutorado como orientação para os resultados.

Aos amigos Thiago Proto e Bárbara Azevedo por toda ajuda e incentivo durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos demais professores do Departamento da PUC que contribuíram de alguma forma para a minha formação profissional.

À todos os amigos e colegas que encontrei durante este curso e que de alguma forma contribuía para que este trabalho fosse realizado.

À Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio) e à CAPES pelo apoio financeiro prestado para a concretização deste trabalho.

Aos funcionários da Secretaria do Departamento de Engenharia Civil. À todas as pessoas que contribuíram, de alguma maneira, com o desenvolvimento desta tese.

## Resumo

Aviz, Luciana Barros de Miranda; Romanel, Celso. **Estimativa da capacidade de carga de estacas por métodos semi-empíricos e teóricos**. Rio de Janeiro, 2006. 133 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A fundação em estaca é uma das alternativas mais antigas de suporte de estruturas, mas seu projeto ainda é um desafio para engenharia geotécnica, sendo muito em princípios empíricos. As estacas são elementos esbeltos de grande comprimento relativo, geralmente utilizadas quando os solos que compõem as camadas mais superficiais do terreno não são suficientemente resistentes para suportar as cargas da superestrutura. A capacidade de suporte de estacas pode ser estimada através de métodos teóricos, semi-empíricos. Para aplicação de um método teórico é necessário o conhecimento mais detalhado da geometria do problema, das propriedades tensão x deformação x resistência dos solos, das características da interface solo-estaca, etc., enquanto que para os métodos semi-empíricos a aplicação é geralmente feita com base em resultados de ensaios de campo. As formulações semi-empíricas são as mais usuais na prática da engenharia para o cálculo da capacidade de suporte de estacas visto que os métodos teóricos, à exceção de grandes projetos, têm sua aplicação ainda restrita. Na prática brasileira, os projetos de fundações são elaborados frequentemente com base em resultados de ensaio SPT, sendo os dois métodos mais utilizados para a obtenção da capacidade de carga de estacas os métodos propostos por Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978, 1982). O objetivo deste trabalho consiste em comparar algumas das metodologias correntemente utilizadas na previsão da capacidade de suporte de estacas sob carregamento axial com as previsões obtidas em análises teóricas pelo método dos elementos finitos, através da utilização do programa Plaxis v. 8.

## Palavras – chave

capacidade de carga, estacas, estado limite último, elementos finitos.

## Abstract

Aviz, Luciana Barros de Miranda; Romanel, Celso (advisor). **Evaluation of the bearing capacity of piles by theoretical and empirical approaches.** Rio de Janeiro, 2005. 133 M.Sc. Thesis – Department of Civil Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Pile is one of the oldest alternatives of support of structures but its design is still considered a challenge for the ground engineering, being based on empirical principles. Piles are slender elements of great relative length, generally used when soils that compose the most superficial layers of the soil profile are not sufficiently resistant to support the loads from superstructure. The bearing capacity of piles can be estimated by empirical and theoretical approaches. For application of a theoretical approach a more detailed knowledge is necessary about the geometry of the problem, the tension x deformation x resistance soil state, interface soil-pile characteristics and others, while for empirical approaches the application is generally done on the basis of field test results. The empirical formulations are the most usual in the practice of the engineering for the calculation of the bearing capacity of piles since theoretical approaches have their application restricted. In Brazilian engineering practice, the projects of foundations are elaborated frequently on the basis of SPT test results, being the two approaches more utilized proposed by Aoki and Velloso (1975) and Décourt and Quaresma (1978, 1982). The objective of this work is compare some of the methodologies currently utilized to obtain the bearing capacity of the piles under axial loading with the results obtained in theoretical analysis by finite element approach, using Plaxis version 8.0 software.

## Keywords

Bearing capacity, piles, ultimate limit state, finite element.

## Sumário

1 Introdução	22
2 Métodos para previsão da capacidade de suporte	25
2.1 Introdução	25
2.2 Estimativa de $Q_{ult}$ por extrapolação da curva carga x recalque	26
2.2.1 Método de Van der Veen (1953)	26
2.2.2 Método de Brinch-Hansen (1963)	27
2.2.3 Método de Chin (1971, 1978)	29
2.2.4 Método de Mazurkiewicz (1972)	30
2.2.5 Método de Décourt (1996)	32
2.2.6 Método de Butler e Hoy (1977)	32
2.3 Estimativa de $Q_{lim}$ por controle de recalque	33
2.3.1 Método de Davisson (1972)	33
2.3.1 Método de Davisson (1972)	33
2.3.2. Método da Norma Brasileira NBR 6122	34
2.4 Métodos semi-empíricos baseados em ensaios SPT	35
2.4.1. Método de Aoki e Velloso (1975)	35
2.4.2. Método de Monteiro (2000)	37
2.4.3. Método de Décourt-Quaresma (1978, 1982)	38
2.5 Métodos empíricos baseados em ensaios CPT	40
2.5.1. Método de Schmertmann (1978)	40
2.5.2. Método de Ruitter e Beringen (1979)	41
2.5.3. Método de Bustamante e Gianceselli (1982)	43
2.6 Métodos teóricos	50
2.6.1. Resistência unitária de ponta $r_p$	51
2.6.1.1. Solos coesivos - carregamento não drenado	51
2.6.1.2. Solos coesivos ou granulares - carregamento drenado	53
2.6.2. Resistência unitária lateral $r_L$	56



2.6.2.1. Solos coesivos - carregamento não drenado	56
2.6.2.2. Solos coesivos - carregamento drenado	57
2.6.2.3. Solos granulares	58
3 Provas de Carga Instrumentadas	62
3.1 Prova de carga em estaca escavada no solo residual de Campinas	62
3.1.1 Perfil geológico-geotécnico	62
3.1.2 Resultados das provas de carga	65
3.2 Prova de carga em estaca escavada no solo residual de Brasília	68
3.2.1 Perfil geológico-geotécnico	68
3.2.2 Resultados das provas de carga	68
4 Previsão da capacidade de suporte	74
4.1. Modelagem com o Plaxis v.8	74
4.2 Simulação numérica das provas de carga	78
4.2.1 Prova de carga da Unicamp	79
4.2.2 Provas de carga da UnB	82
4.2.3 Resumo dos resultados	90
4.3 Simulação numérica da prova de carga com redução dos parâmetros de resistência	92
4.4 Previsão da capacidade de suporte com métodos empíricos baseados na curva carga x recalque	95
4.4.1 Método de Van der Veen (1953)	95
4.4.1.1 Estaca escavada da Unicamp	95
4.4.1.2 Estaca escavada da UnB - parâmetros de resistência na condição não saturada	96
4.4.1.3 Estaca escavada da UnB - parâmetros de resistência na condição saturada	96
4.4.2. Método de Brinch-Hansen (1963)	97
4.4.2.1. Estaca escavada da Unicamp	97
4.4.2.3 Estaca escavada UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	99
4.4.3 Método de Chin (1971)	100
4.4.3.1 Estaca escavada Unicamp	100

4.4.3.2 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	100
4.4.3.3 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	101
4.4.4 Aplicação do método de Mazurkiewicz-Massad	101
4.4.4.1 Estaca escavada Unicamp	101
4.4.4.2 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	102
4.4.4.3 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	102
4.4.5 Aplicação do método de Decourt (1996)	103
4.4.5.1 Estaca escavada Unicamp	103
4.4.5.2 Estaca escavada na UnB com parâmetro de resistência na condição não saturada	103
4.4.5.3 Estaca escavada na UnB com parâmetro de resistência na condição saturada	104
4.4.6 Método de Butler e Hoy (1977)	104
4.4.6.1 Estaca escavada Unicamp	104
4.4.6.2 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	105
4.4.6.3 Estaca escavada na UnB com parâmetro de resistência na condição saturada	106
4.4.7 Aplicação do método de Método de Davisson (1972)	106
4.4.7.1 Estaca escavada Unicamp	106
4.4.7.2 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	107
4.4.7.3 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada.	108
4.4.8 Aplicação do método da NBR 6122	109
4.4.8.1 Estaca escavada Unicamp	109
4.4.8.2 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	109
4.4.8.3 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	110

4.4.9 Resumo dos resultados obtidos com métodos baseados na curva carga x recalque	111
4.5 Previsão da capacidade de suporte com métodos empíricos baseados em ensaios SPT	112
4.5.1. Método de Aoki e Velloso (1975)	112
4.5.1.1 Estaca escavada na Unicamp	112
4.5.1.2 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	113
4.5.1.3 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	114
4.5.2. Método de Monteiro (2000)	114
4.5.2.1 Estaca escavada na Unicamp	114
4.5.2.2 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	115
4.5.2.3 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	116
4.5.3. Método de Décourt (1982)	117
4.5.3.1 Estaca escavada na Unicamp	117
4.5.3.2 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	118
4.5.3.3 Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	118
4.5.4 Resumo dos resultados com métodos baseados em ensaios SPT	119
4.6 Previsão da capacidade de suporte com método teórico	120
4.6.1. Estaca escavada na Unicamp	120
4.6.2. Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	121
4.6.3. Estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	123
4.6.4 Resumo dos resultados com método teórico	125
5 Conclusões	126
5.1 Conclusões	126

5.2 Sugestões para futuras pesquisas	127
6 Referências Bibliográficas	128

## Lista de figuras

Figura 2.1 - Método de Mazurkiewicz (1972) - (apud Massad, 1986)	31
Figura 2.2 - Método de Mazurkiewicz-Massad (1986) - (apud Massad, 1986)	31
Figura 2.3 - Método de Butler-Hoy, 1977 (apud Titi e Abu-Farsakh, 1999)	33
Figura 2.4 - Método de Davisson (1972) para determinação da carga limite.	34
Figura 2.5 - Fator de correção da resistência lateral no caso de solos coesivos para estacas cravadas (Schmertmann, 1978).	41
Figura 2.6 - Fator de correção $\alpha_s$ da resistência lateral no caso de areias (Schmertmann, 1978).	42
Figura 2.7 - Cálculo de $q_{eq}$ no método LCPC/LCP (1982) – (apud Titi e Abu-Farsakh, 1999)	45
Figura 2.8 - Curvas de máxima resistência lateral unitária da estaca apresentadas por Briaud et al. (1986).	47
Figura 2.9 - Modelo de cálculo da capacidade de suporte de uma estaca.	50
Figura 2.10 - Fatores de capacidade de carga (Chen e Kulhawy, 1994)	53
Figura 2.11 - Variações do fator b com a profundidade em estacas escavadas (O'Neill e Hassan, 1994).	61
Figura 3.1 - Prova de carga em estaca escavada no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp (Albuquerque, 2001)	63
Figura 3.2 - Sondagem de simples reconhecimento realizada no Campus experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp (Albuquerque, 2001).	64
Figura 3.3 - Sistema de reação das provas de carga em estaca escavada (Albuquerque, 2001).	66
Figura 3.4- Curvas carga x recalque das provas de carga em três estacas escavadas no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp (Albuquerque, 2001).	67
Figura 3.5 - Perfil típico de solo do Distrito Federal, em sondagem realizada no Campo Experimental de Geotecnia da UnB (Mascarenha, 2003).	69
Figura 3.6 - Propriedades do solo do Campo Experimental de Geotecnia da UnB (Mascarenha, 2003).	69

Figura 3.7 - Variação da coesão com a profundidade (Mascarenha, 2003).	70
Figura 3.8 - Variação do ângulo de atrito com a profundidade (Mascarenha, 2003).	70
Figura 3.9 - Curvas carga x recalque para estacas escavadas 1 (superior esquerda), 3 (superior direita), 2( inferior central) - Mascarenha 2003.	72
Figura 3.10 - Curvas carga x recalque para estacas escavadas 4 (esquerda), 5 (direita) - Mascarenha 2003.	73
Figura 4.1 - Modelagem do maciço de solo e estaca com elementos planos triangulares de 6 nós (à direita detalhe do topo da estaca).	76
Figura 4.2 - Alternativa de modelagem da periferia da estaca com elementos de viga (Baars, 1997)	76
Figura 4.3 - Distribuição das tensões em cantos de estruturas desconsiderando (ilustrações superiores) e considerando (ilustrações inferiores) elementos de interface – manual do Plaxis v.8.	77
Figura 4.4 - Geometria do modelo solo-estaca com 17 camadas de solo homogêneo com 1m de espessura.	80
Figura 4.5 - Malha de elementos finitos utilizada nas estacas escavadas da Unicamp.	80
Figura 4.6 - Deformada da malha de elementos com carregamento Qiult (escala ampliada).	81
Figura 4.7 - Escoamento plástico na base da estaca com carregamento Qult.	81
Figura 4.8 - Curvas carga x recalque experimental média e a previsão numérica por elementos finitos.	82
Figura 4.9 - Variação com a data do ensaio da distribuição do número de golpes do ensaio SPT com a profundidade (Mascarenha, 2003).	83
Figura 4.10 - Correlações do módulo de elasticidade com NSPT para o solo na condição saturada.	84
Figura 4.11 - Variação do módulo de elasticidade com a profundidade para o solo na condição saturada.	84
Figura 4.12 - Correlações do módulo de elasticidade com NSPT para o solo na condição não saturada.	85
Figura 4.13 - Variação do módulo de elasticidade com a profundidade para o solo na condição não saturada.	86

Figura 4.14 - Geometria do modelo solo-estaca com 12 camadas de solo homogêneo com 1m de espessura.	87
Figura 4.15 - Malha de elementos finitos utilizada nas estacas escavadas da UnB.	87
Figura 4.16 - Deformada da malha de elementos sob carregamento $Q_{ult}$ e parâmetros de resistência na condição saturada.	88
Figura 4.17 - Escoamento plástico na base da estaca sob carregamento $Q_{ult}$ e parâmetros de resistência na condição saturada	89
Figura 4.18 - Curva carga x recalque da estaca 4 e a previsão numérica com parâmetros de resistência na condição saturada.	89
Figura 4.19 - Deformação da malha de elementos sob carregamento $Q_{ult}$ e parâmetros de resistência na condição natural.	91
Figura 4.20 - Escoamento plástico na base da estaca sob carregamento $Q_{ult}$ e parâmetros de resistência na condição natural.	91
Figura 4.21 - Curva carga x recalque experimental e da previsão numérica, com parâmetros de resistência na condição natural.	92
Figura 4.22 - Estimativa da capacidade de suporte da estaca escavada na Unicamp pelo método de Butler e Hoy (1977)	105
Figura 4.23 - Estimativa da capacidade de suporte de estaca escavada na UnB, com parâmetros de resistência na condição não saturada, pelo método de Butler e Hoy (1977).	105
Figura 4.24 - Estimativa da capacidade de suporte de estaca escavada na UnB, com parâmetros de resistência na condição saturada, pelo método de Butler e Hoy (1977).	106
Figura 4.25 - Estimativa da capacidade de suporte pelo método de Davisson (1972) da estaca escavada na Unicamp.	107
Figura 4.26 - Estimativa da capacidade de suporte pelo método de Davisson (1972) da estaca escavada na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada.	108
Figura 4.27 - Estimativa da capacidade de suporte pelo método de Davisson (1972) da estaca escavada 4 na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada.	108
Figura 4.28 - Estimativa da capacidade de suporte pelo método da NBR	

6122 da estaca escavada na Unicamp.	109
Figura 4.29 - Estimativa da capacidade de suporte pelo método da NBR 6122 da estaca escavada 5 na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada.	110
Figura 4.30 - Estimativa da capacidade de suporte pelo método da NBR 6122 da estaca escavada 4 na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada.	110



## Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Valores das constantes $K$ e $\alpha$ no método de Aoki e Velloso (1975).	36
Tabela 2.2 - Valores dos fatores de correção $F_1$ e $F_2$ no método de Aoki e Velloso (1975).	36
Tabela 2.3 - Valores das constantes $K$ e $\alpha$ no método de Monteiro (2000).	37
Tabela 2.4 - Valores dos fatores de escala $F_1$ e $F_2$ no método de Monteiro (2000).	38
Tabela 2.5 - Constante $K$ no método de Décourt-Quaresma (1978, 1982) – apud Borga (1999).	38
Tabela 2.6 - Valor da adesão lateral $a_L$ de acordo com o método de Décourt-Quaresma (1978).	39
Tabela 2.7 - Constante $K$ no método de Décourt (1982).	40
Tabela 2.8 - Valores de $k_b$ no método LCPC/LCP (Bustamante e Gianceselli, 1982).	45
Tabela 2.9 - Valores de $a$ , $b'$ e $b''$ para o método de Velloso (1981).	49
Tabela 2.10 - Valores de $E_u/3S_u$ em ensaios UU e valores correspondentes de $N_c^*$ .	52
Tabela 2.11 - Coeficientes de correção dos fatores de capacidade de carga.	56
Tabela 2.12 - Valores de $\beta$ para estacas cravadas (apud Borga, 1999).	59
Tabela 2.13 - Valores de $\beta$ para estacas escavadas (apud Borga, 1999).	59
Tabela 3.1 - Parâmetros geotécnicos ao longo da profundidade (Albuquerque, 2001).	65
Tabela 3.2 - Cargas de ruptura e recalques máximos observados nas provas de carga (Albuquerque, 2001).	66
Tabela 3.3 - Quadro resumo das provas de carga em estacas escavadas no Campo Experimental de Geotecnia da UnB (Mascarenha 2003) .	71
Tabela 4.1 - Valores típicos do fator de redução de resistência $R_{inter}$ de acordo com Potyondy (1961) – apud Borga (1999).	78
Tabela 4.2 - Valores de carga última $Q_{ult}$ prevista por elementos finitos, medidos na prova de carga e os erros relativos correspondentes.	90

Tabela 4.3 - Carga última prevista com redução automática de $c$ e $\tan \phi$ com carga inicial igual a 0,95 da carga de ruptura observada em campo.	93
Tabela 4.4 - Carga última prevista com redução automática de $c$ e $\tan \phi$ com carga inicial igual a 0,80 da carga de ruptura observada em campo.	94
Tabela 4.5 - Carga última prevista com redução automática de $c$ e $\tan \phi$ com carga inicial igual a 0,20 da carga de ruptura observada em campo.	94
Tabela 4.6 - Método de Van der Veen (1953) nas provas de carga de Unicamp.	95
Tabela 4.7 - Método de Van der Veen (1953) nas provas de carga da UnB, na condição não saturada.	96
Tabela 4.8 - Método de Van der Veen (1953) nas provas de carga da UnB, na condição saturada.	97
Tabela 4.9 - Método de Brinch-Hansen (1963) nas provas de carga da Unicamp.	98
Tabela 4.10 - Valores previstos e medidos de $r_{ult}$ e $Q_{ult}$ nas provas de carga da Unicamp.	98
Tabela 4.11 - Método de Brinch-Hansen (1963) nas provas de carga da UnB na condição não saturada.	98
Tabela 4.12 - Valores previstos e medidos de $r_{ult}$ e $Q_{ult}$ nas provas de carga da UnB na condição não saturada.	99
Tabela 4.13 - Método de Brinch-Hansen (1963) nas provas de carga da UnB na condição saturada.	99
Tabela 4.14 - Valores previstos e medidos de $r_{ult}$ e $Q_{ult}$ nas provas de carga da UnB na condição saturada.	99
Tabela 4.15 - Método de Chin (1971) nas provas de carga da Unicamp.	100
Tabela 4.16 - Método de Chin (1971) nas provas de carga da UnB, com parâmetros de resistência na condição não saturada.	100
Tabela 4.17 - Método de Chin (1971) nas provas de carga da UnB, com parâmetros de resistência na condição saturada.	101
Tabela 4.18 - Método de Mazurkiewicz-Massad (1986) nas provas de carga da Unicamp.	101
Tabela 4.19 - Método de Mazurkiewicz-Massad (1986) nas provas de carga da UnB, com parâmetros de resistência na condição não saturada.	

Tabela 4.20 - Método de Mazurkiewicz-Massad (1986) nas provas de carga da UnB, com parâmetros de resistência não condição saturada.	102
Tabela 4.21 - Método de Décourt (1996) nas provas de carga da Unicamp.	103
Tabela 4.22 - Método de Décourt (1996) nas provas de carga na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada	103
Tabela 4.23 - Método de Décourt (1996) nas provas de carga da UnB com parâmetros de resistência na condição saturada	104
Tabela 4.24 - Método de Davisson (1972) nas provas de carga da Unicamp	106
Tabela 4.25 - Método de Davisson (1972) na prova de carga da estaca 5 na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada.	107
Tabela 4.26 - Método de Davisson (1972) na prova de carga da estaca 4 na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada.	108
Tabela 4.27 - Método da NBR 6122 nas provas de carga da Unicamp.	109
Tabela 4.28 - Método da NBR 6122 na prova de carga da estaca 5 na UnB com parâmetros de resistência na condição não saturada.	109
Tabela 4.29 - Método da NBR 6122 na prova de carga da estaca 4 na UnB com parâmetros de resistência na condição saturada.	110
Tabela 4.30 - Resumo dos resultados das capacidades de suporte previstas e respectivos erros relativos.	111
Tabela 4.31 - Resumo dos resultados das capacidades de suporte previstas e respectivos erros relativos.	119
Tabela 4.32 - Capacidades de suporte previstas e respectivos erros relativos.	125

## Lista de Símbolos

$A$	Área da seção transversal da estaca
$A_p$	Resistência de ponta por unidade de área
$A_L$	Área lateral da estaca
$c'$	Coesão efetiva do solo
$C_c$	Índice de compressão
CPT	Ensaio de penetração de cone (cone penetration test)
$D$	Largura ou diâmetro da seção transversal do fuste da estaca
$e$	Índice de vazios
$E_p$	Módulo de elasticidade da estaca
$E_s$	Módulo de elasticidade do solo
$f_s$	Atrito lateral unitário
$F_1$	Fator de carga de ponta em função do tipo de estaca
$F_2$	Fator de carga lateral em função do tipo de estaca
$G$	Módulo cisalhante do solo
$K$	Rigidez ou compressibilidade relativa estaca/solo
$k_b$	Fator de capacidade de carga empírico
$L$	Comprimento da estaca
$n$	Porosidade do solo (%)
$N$ ou $N_{SPT}$	Número de golpes do SPT
$N_c$	Fator de capacidade de carga
$N_p$	Número de golpes do SPT – base da estaca
$q_c$	Resistência de ponta do cone
$Q_k$	Carga aplicada no estágio $k$

$Q_{lim}$	Carga limite
$Q_{ult}$	Carga última da estaca
$R_c$	Resistência À compressão do solo
$R_{inter}$	Fator de redução de resistência na interface solo/estrutura
$r_k$	Recalque medido no topo da estaca no estágio k
$r_L$	Resistência lateral unitária da estaca
$RL$	Resistência lateral da estaca
$RP$	Resistência de ponta da estaca
$R_{ult}$	Resistência total da estaca
$S_u$	Resistência não-drenada
$U$	Perímetro da estaca
$w$	Umidade natural do solo
$\alpha$	Coefficiente de função de forma
$\alpha_c$	Fator de correção para solos coesivos
$\beta$	Fator de adesão
$\Delta L$	Intervalo de execução do ensaio SPT
$\varepsilon$	Deformação
$\delta$	Ângulo de atrito solo/estaca
$\gamma_d$	Peso específico aparente do solo
$\gamma_{nat}$	Peso específico natural do solo
$\gamma_s$	Peso específico do sólido
$\mu$	Coefficiente de Poisson
$\sigma$	Tensão
$\sigma_{ad}$	Tensão de pré-adensamento
$\tau$	Tensão cisalhante