



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

BRENDA KAREN SILVA ARAUJO

**CÁLCULO DE CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS UTILIZANDO MÉTODOS
SEMI-EMPÍRICOS: ABORDAGEM PROBABILÍSTICA DOS RESULTADOS**

CRATEÚS

2019

BRENDA KAREN SILVA ARAUJO

CÁLCULO DE CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS UTILIZANDO MÉTODOS
SEMI-EMPÍRICOS: ABORDAGEM PROBABILÍSTICA DOS RESULTADOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de graduada em Engenharia Civil.
Área de concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof^a. Dr.^a Carla Beatriz Costa de Araújo.

CRATEÚS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A687c Araujo, Brenda Karen Silva.

Cálculo de capacidade de carga em estacas utilizando métodos semi-empíricos : abordagem probabilística dos resultados / Brenda Karen Silva Araujo. – 2019.
123 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Carla Beatriz Costa de Araújo.

1. Capacidade de Carga. 2. Métodos Semi-empíricos. 3. Estaca Raiz. 4. Análise Probabilística. I. Título.
CDD 620

BRENDA KAREN SILVA ARAUJO

CÁLCULO DE CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS UTILIZANDO MÉTODOS
SEMI-EMPÍRICOS: ABORDAGEM PROBABILÍSTICA DOS RESULTADOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de graduada em Engenharia Civil.
Área de concentração: Geotecnia.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr.^a Carla Beatriz Costa de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Carlos David Rodrigues Melo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Ms. Heloína Nogueira da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus por ser meu refúgio e fortaleza. Aos meus pais, Maria das Dores e João Batista por terem me inspirado cada dia a ser alguém melhor e por todo o apoio e ensinamentos durante essa árdua trajetória.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ser meu guia nessa trajetória, por ser amável em momentos conturbados e rígido quando necessário, por ser meu refúgio e fortaleza contra tudo que me aflige. Por toda a força que me proporciona diariamente, por sempre estar ao meu lado, guiando minhas decisões e me capacitando para realizá-las.

Aos meus pais, Maria das Dores e João Batista, por serem meus maiores exemplos de fé, honra e amor, por fazerem essa vida mais leve e pela confiança depositada em todas as minhas escolhas. Por sempre se fazerem presentes em todos os momentos da minha vida apesar da distância e por terem me inspirado a ser uma pessoa melhor, sem vocês nada disso seria possível.

À Professora e orientadora, Carla Beatriz, por acreditar em minha capacidade, pela paciência de me conduzir a cada passo desse trabalho nos últimos meses. Pelas correções e incentivos que me fizeram crescer, e pelo exemplo de professora e ser humano.

Aos coordenadores do curso de Engenharia Civil, Luís Felipe Cândido e Alan Michell Barros, por todo o esforço em proporcionar a melhor orientação aos alunos, por todos os conselhos, por toda a atenção proporcionada mesmo em dias e horários inoportunos. Por toda paciência em sanar as mais diversas dúvidas e toda a dedicação em trazer atividades e experiências de alto valor educacional e profissional para seus alunos.

Aos meus amigos e colegas de estudo, pela companhia e incentivo em todas as noites passadas em claro devido à enorme quantidade de trabalhos e provas, por todos os conselhos em momentos difíceis e risadas em momentos leves.

À minha família e a todos que acreditaram em mim e sonharam com esse momento junto comigo.

À Empresa GeoBrasil por ter cedido os resultados dos ensaios SPT e prova de carga estática necessários a esse estudo.

A cada um que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação e desenvolvimento pessoal.

“Nenhum problema pode ser resolvido pelo mesmo grau de consciência que o gerou.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O estudo da estimativa da capacidade de carga em estacas é, historicamente, um grande desafio para a engenharia de fundações, pois a maioria dos métodos é baseada em correlações empíricas com o ensaio SPT, além disso, há a elevada variabilidade das características do solo podendo culminar em resultados imprecisos. Dessa forma, esse trabalho visa fazer análises comparativas entre os métodos de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978), Teixeira (1996), Antunes e Cabral (1996), Brasfond (1991), Lizzi (1982) e Vorcaro e Velloso (2000), através de análises probabilísticas dos resultados de capacidade de carga calculados utilizando os dados de 8 (oito) ensaio SPT e uma prova de carga estática realizada em estaca do tipo raiz, na cidade de Fortaleza, Ceará. A comparação dos resultados foi feita por meio de parâmetros estatísticos, como a Variação Percentual (VP), a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e o Viés. Além disso, foram geradas as distribuições de probabilidades, com base nos resultados dos ensaios SPT e por meios da geração de variáveis aleatórias. A partir das distribuições, foi estimada a probabilidade de cada método apresentar valores próximos a prova de carga. Foi possível concluir, portanto, que o método de Brasfond (1991) apresentou resultados próximos ao da prova de carga estática (PCE), uma vez que a média das capacidades de carga calculadas demonstrou boa aproximação com 110 tf (valor de ruptura encontrado na prova de carga) e o desvio-padrão relativamente baixo. Ademais, esse método obteve a maior probabilidade de encontrar valores dentro do intervalo de ± 20 tf, além de exibir resultados aceitáveis para o Viés e a REQM, sendo eles -8 e 34,76, respectivamente. A metodologia proposta por Vorcaro e Velloso (2000) também se destacou por revelar bons resultados, alcançando baixa REQM e alta probabilidade (34,24%) de encontrar valores próximos à da prova de carga. A formulação de Lizzi (1982), no entanto, apresentou resultados exacerbados em todos os ensaios, resultando em uma média de 142,59 tf e, portanto, uma distribuição de probabilidade fora do intervalo analisado. Segundo o resultado da REQM, Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996) exibiram as maiores divergências dos valores das provas de carga, sendo 114,05 tf, 62,70 tf e 72,27 tf, respectivamente. Conclui-se, portanto, que as distribuições de probabilidade permitem analisar os resultados de maneira mais aproximada da realidade, visto que, não se analisam valores únicos, mas sim uma distribuição dos mesmos.

Palavras-chave: Capacidade de Carga. Métodos Semi-empíricos. Estaca Raiz. Análise Probabilística.

ABSTRACT

Studying pile load estimation has historically been a major challenge for foundation engineering, as most methods are based on empirical correlations with the SPT test, and there is high variability in soil characteristics. culminate in inaccurate results. In that way, this work wants to make comparative analyses between methods of Aoki and Velloso (1975), Décourt and Quaresma (1978), Teixeira (1996), Antunes and Cabral (1996), Brasfond (1991), Lizzi (1982) and Vorcaro and Velloso (2000), through probabilistic analyzes of the load capacity results calculated using data from 8 (eight) SPT tests and a static load test performed on a root pile in the city of Fortaleza, Ceará. Results were compared using statistical parameters such as Percentage Variation (PV), Mean Square Error Root (REQM) and Vies. Besides, probability distributions were generated based on SPT tests results and by means of random variable generation. Starting the distributions, it was estimated the probability of each method presenting values close to the load test Therefore, it was possible to conclude that the Brasfond (1991) method presented results close to the PCE, since the average load capacities showed a good approximation with 110 tf (rupture value found in the load test) and the deviation-relatively low standard. Besides, this method had the highest probability of find values within the interval of ± 20 tf, besides showing acceptable results for Vies and the REQM, being -8 and 34.76, respectively. The methodology proposed by Vorcaro and Velloso (2000) also stood out for revealing good results, reaching low REQM and high probability (34.24%) of find values close to the load test. Lizzi's (1982) formulation, however, showed up exacerbated results in all tests, resulting in an average of 142.59 tf and, therefore, a probability distribution outside the range analysed. According to the result of REQM, Aoki and Velloso (1975), Decourt and Quaresma (1978) and Antunes and Cabral (1996) exhibited the greatest divergences in the load test values, being 114.05 tf, 62.70 tf and 72, 27 tf, respectively. Therefore, it is concluded that probability distributions allow the analysis of results to be closer to reality since one does not analyze single values, but rather a distribution of them.

Keywords: *Bearing Capacity. Semi-empirical Methods. Micropile. Probabilistic Analysis*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fundação superficial e profunda.....	20
Figura 2 - Execução de tubulão a céu aberto: (a) escavação, (b) concretagem a seco, (c) tubulão pronto.....	23
Figura 3 - Campânula para pressurização de tubulão.....	24
Figura 4 - Execução de estaca-raiz	25
Figura 5 - Mobilização da resistência do elemento de fundação por estaca.....	33
Figura 6 - Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga	34
Figura 7 - Etapas na execução de sondagem a percussão: (a) avanço da sondagem por desagregação e lavagem; (b) ensaio de penetração dinâmica (SPT).....	27
Figura 8 - Ensaio CPT: princípio de funcionamento.....	29
Figura 9 - Ensaio de prova de carga	31
Figura 10 - Exemplo de curva carga x recalque.	32
Figura 11 - Localização dos furos para o ensaio SPT.	48
Figura 12 - Perfil geológico-geotécnico entre SPT 07 e SPT 08.	50
Figura 13 - Fluxograma de como fazer distribuição de probabilidade.....	54
Figura 14 - Geração de variáveis aleatórias no Excel.	55
Figura 15 - Fluxograma de como fazer distribuição de probabilidade para variáveis aleatórias.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de estacas.....	22
Tabela 2 - Valores de k e α	36
Tabela 3 - Valores de F_1 e F_2	36
Tabela 4 - Atrito lateral médio segundo Décourt e Quaresma (1978).....	37
Tabela 5 - Coeficiente C característico do solo.....	38
Tabela 6 - Valores do fator α em função do tipo de estaca e do tipo de solo.....	38
Tabela 7 - Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo de solo.....	38
Tabela 8 - Valores para α (kPa).....	39
Tabela 9 - Valores do parâmetro β	39
Tabela 10 – Parâmetros β_1 e β_2	40
Tabela 11 - Grupos de solos.....	41
Tabela 12 - Número de provas de carga e solo em torno da ponta da estaca.....	41
Tabela 13 - Coeficiente K	43
Tabela 14 - Coeficiente I	43
Tabela 15 - Valores de α e β	44
Tabela 16 - Programa de carregamento para a prova de carga.....	46
Tabela 17 - Programa de descarregamento para a prova de carga.....	47
Tabela 18 - Características da estaca analisada.....	47
Tabela 19 - Características da estaca analisada.....	47
Tabela 20 – Designação dos solos de acordo com o índice de resistência à penetração.....	52
Tabela 21 - Comparativo entre métodos.....	64
Tabela 22 - Média e desvio-padrão dos métodos.....	64
Tabela 23 - Análise comparativa.....	66
Tabela 24 - Análise comparativa para distribuição de variáveis aleatórias.....	68
Tabela 25 - Comparação entre distribuições para o método de Aoki e Velloso (1975).....	70
Tabela 26 - Comparação entre distribuições para o método de Décourt e Quaresma (1978).....	70
Tabela 27 - Comparação entre distribuições para o método de Teixeira (1996).....	70
Tabela 28 - Comparação entre distribuições para o método de Antunes e Cabral (1996).....	70
Tabela 29 - Comparação entre distribuições para o método de Brasfond (1991).....	70
Tabela 30 - Comparação entre distribuições para o método de Lizzi (1982).....	71
Tabela 31 - Comparação entre distribuições para o método de Vorcaro e Velloso (2000).....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - VP (%) dos métodos referentes ao SPT 02.	58
Gráfico 2 - VP (%) dos métodos referentes ao SPT 05.	59
Gráfico 3 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 01.	60
Gráfico 4 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 02.	60
Gráfico 5 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 03.	61
Gráfico 6 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 04.	61
Gráfico 7 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 05.	62
Gráfico 8 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 06.	62
Gráfico 9 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 07.	63
Gráfico 10 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 08.	63
Gráfico 11 - Distribuição normal de probabilidade para Aoki e Velloso (1975).	65
Gráfico 12 - Distribuição normal de probabilidade para Lizzi (1985).	67
Gráfico 13 – Distribuição de probabilidade para Aoki e Velloso (1975) utilizando variáveis aleatórias.	68
Gráfico 14 - Distribuição de probabilidade para Lizzi (1982) utilizando variáveis aleatórias.	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CPT	<i>Cone Penetration Test</i>
CPTU	<i>Piezocone Penetration Test</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
N_{SPT}	Índice de Resistência à Penetração
PCE	Prova de Carga Estática
R_L	Resistência de Atrito Lateral
R_p	Resistência de Atrito de Ponta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Consideração preliminares	17
1.2	Justificativa.....	18
1.3	Objetivos.....	18
1.4	Estrutura do trabalho.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Fundações superficiais e profundas	25
2.1.1	<i>Estaca</i>	21
2.1.2	<i>Tubulão</i>	23
2.1.3	<i>Estaca raiz</i>	24
2.2	Ensaio de Campo.....	25
2.2.1	<i>Standard Penetration Test (SPT)</i>	26
2.2.2	<i>Cone Penetration Test (CPT)</i>	28
2.2.3	<i>Prova de Carga</i>	30
2.3	Capacidade de Carga em Estacas.....	32
2.3.1	<i>Aoki e Velloso (1975)</i>	35
2.3.2	<i>Décourt e Quaresma (1978)</i>	36
2.3.3	<i>Método de Teixeira (1996)</i>	39
2.3.4	<i>Método de Antunes-Cabral (1996)</i>	40
2.3.5	<i>Método de Vocaro e Velloso (2000)</i>	40
2.3.6	<i>Método de Lizzi (1982)</i>	42
2.3.7	<i>Método de Brasfond (1991)</i>	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	Bases Teóricas	45
3.2	Levantamento de Dados.....	45
3.2.1	<i>Documentos analisados</i>	46

3.2.2	<i>Perfis geológicos-geotécnicos</i>	47
3.4	Cálculo da capacidade de carga	50
3.3.1	<i>Aoki e Velloso (1975)</i>	51
3.3.2	<i>Décourt e Quaresma (1978)</i>	51
3.3.3	<i>Teixeira (1996)</i>	51
3.3.4	<i>Antunes e Cabral (1996)</i>	51
3.3.5	<i>Brasfond (1991)</i>	52
3.3.6	<i>Lizzi (1982)</i>	52
3.3.7	<i>Vorcaro e Velloso (2000)</i>	52
3.4	Análise dos Dados	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1	Cálculo da capacidade de carga	57
4.2	Análise de cada SPT isolado	58
4.3	Comparativo geral	59
4.4	Comparativo baseado nas distribuições de probabilidade	65
4.5	Utilização de variáveis aleatórias	67
4.6	Comparação entre as duas distribuições	69
5	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	75
	APÊNDICE A - CÁLCULO DAS CAPACIDADES DE CARGA PARA CADA MÉTODO E SPT UTILIZADOS.	77
	APÊNDICE B - PERFIS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	105
	APÊNDICE C - TABELAS COM OS RESULTADOS DA CAPACIDADE DE CARGA DE CADA MÉTODO	107
	APÊNDICE D - GRÁFICOS COMPARATIVOS ENTRE OS MÉTODOS RELACIONADOS AO SPT	110
	APÊNDICE E - DISTRIBUIÇÃO NORMAL DE PROBABILIDADE DOS MÉTODOS UTILIZADOS	113

APÊNDICE F - DISTRIBUIÇÃO NORMAL DE PROBABILIDADE ATRAVÉS DE GERAÇÃO DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS	116
ANEXO A - CURVA CARGA-DESCOLAMENTO DE ENSAIOS DE PROVA DE CARGA ESTÁTICAS.....	120
ANEXO B - TABELA Z, ÁREAS ABAIXO DA CURVA NORMAL	122

1 INTRODUÇÃO

1.1 Consideração preliminares

Fundações formam a base resistente de qualquer edificação, pois são elas as responsáveis por transmitir toda a carga da estrutura ao solo. Sendo assim, é de significativa relevância a presença de um projeto bem elaborado que atenda a todos os requisitos técnicos evitando, assim, a presença de recalques excessivos, ou em casos extremos, a ruína da edificação.

Porém, em projetos de fundações é comum que o responsável técnico se depare com diversas incertezas relacionadas ao comportamento do solo que, por ser um material natural está suscetível a variabilidades locais de suas propriedades. O estudo adequado do maciço do solo que receberá as cargas transmitidas pela edificação é de significativa importância para evitar transtornos advindos de recalques excessivos ou, em casos extremos, a ruína da estrutura.

Diante disso, é válido enfatizar a importância da investigação das características do subsolo, uma vez que serve como base para a elaboração de um projeto que, segundo Martha (2010), atenda a todas as necessidades para as quais a estrutura será construída, satisfazendo questões de segurança, condições de utilização, econômicas, estética, ambientais, condições construtivas e restrições legais.

Para essa obtenção de conhecimento sobre as particularidades do solo são utilizados diversos ensaios, como poços e trincheiras, sondagens a trado, *Standard Penetration Test* (SPT) e *Cone Penetration Test* (CPT), provas de carga estática (PCE) etc. No entanto, no Brasil esses ensaios nem sempre são realizados, ou são realizados em quantidade mínima, por serem vistos, muitas vezes como dispendiosos e desnecessários.

Schnaid e Odebrecht (2012) afirmam que o SPT é utilizado com frequência na prática brasileira de engenharia para a obtenção de parâmetros constitutivos a serem adotados em projetos geotécnicos. O SPT apesar de frequentemente apresentar ser muito utilizado, contém uma série de problemas relacionados, a priori, à sua execução, uma vez que depende majoritariamente do operador que executa o ensaio. Sendo este um fator que contribui para o aumento das vulnerabilidades relacionadas à previsão de capacidade de carga de elementos de fundação.

Em vista disso, é possível afirmar que a previsão de capacidade de carga ainda é um grande desafio para a engenharia de fundações por demandar uma boa estimativa do

comportamento do solo, bem como suas propriedades e singularidades, inclusive seu desempenho durante e após a instalação do elemento estrutural.

Sendo assim, atualmente são realizados diversos estudos sobre capacidades de carga em estacas de diferentes tipos, como estaca raiz, hélice contínua, strauss, entre outras, e apresentados em artigos e trabalhos científicos de modo a se conhecer mais profundamente os métodos mais eficientes para fazer essa estimativa em determinada estaca.

1.2 Justificativa

Devido a existência de diversos tipos de solos com características geotécnicas diversas, a capacidade de carga do sistema estaca-solo também será variável. Por isto são necessárias metodologias que representem esta variabilidade, a fim de realizar estudos aprofundados para determinar a capacidade de carga do local em que a obra será construída.

Como dito anteriormente, as metodologias para cálculo de capacidade de carga utilizam o ensaio SPT. No entanto, vários estudos comparativos entre resultados de provas de carga e valores obtidos por meio da utilização de alguns métodos semi-empíricos baseados nesse ensaio, já comprovaram a existência de uma grande discrepância entre eles, o que acaba dificultando a escolha do melhor método para o dimensionamento das fundações.

Na busca por tentar reduzir essa dificuldade, apresenta-se uma metodologia com o uso de análises probabilísticas, de modo a realizar um estudo comparativo dos resultados e verificar, assim, a variância em torno do valor real obtido nos ensaios de provas de carga. Dessa forma, é possível afirmar que a estatística é uma grande aliada da engenharia geotécnica, uma vez que não se pode contar com resultados puramente determinísticos, já que os solos se comportam como variáveis probabilísticas.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma análise probabilística dos resultados de capacidade de carga utilizando métodos semi-empíricos baseados em ensaios de resistência à penetração (SPT) realizados em um maciço de solo na cidade de Fortaleza, Ceará.

Como objetivos específicos, podem ser citados:

- Analisar diferentes metodologias semi-empíricas e fazer comparações dos resultados;

- Desenvolver uma abordagem simples que permita o emprego de métodos estatísticos para projeto de estacas;
- Aplicar a metodologia em um caso real.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é dividido em 5 seções. A primeira trata de uma introdução, onde apresenta uma contextualização sobre o uso de ensaios para a investigação geotécnica e suas incertezas na determinação da capacidade de carga de uma fundação. Além disso, expõe a justificativa do tema abordado e pontua-se os objetivos alcançados neste estudo.

Na segunda seção encontra-se a revisão bibliográfica, onde discorre-se sobre conceitos necessários para ao melhor entendimento dos métodos utilizados e assuntos importantes, como definições sobre estacas, capacidade de carga e prova de carga.

A terceira seção fala da metodologia adotada na avaliação dos resultados dos métodos empregados, bem como as considerações feitas no decorrer do estudo.

Os resultados e discussões são apresentados na quarta seção, onde são feitos os cálculos e análises referentes à viabilidade dos métodos estudados nesse trabalho.

Por fim, na quinta seção são feitas considerações finais sobre os objetivos propostos e conclusões que puderam ser extraídas dos dados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

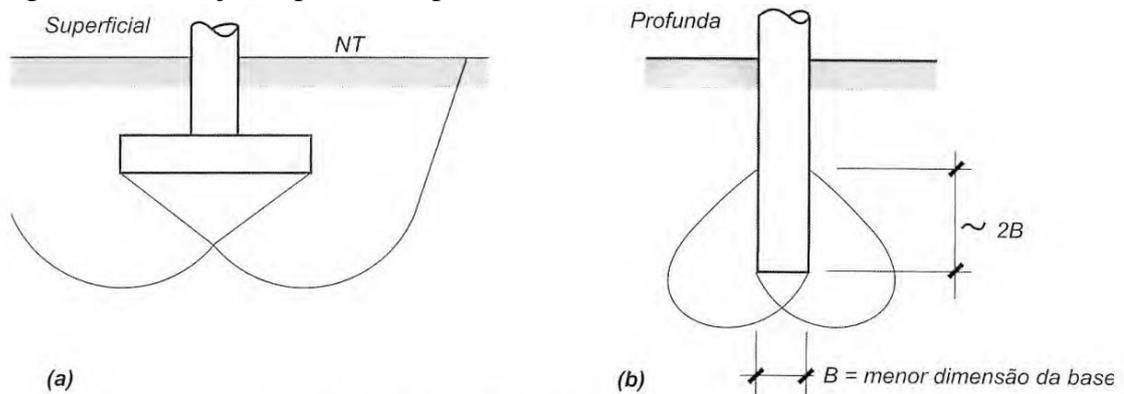
Fundação é a designação dada a parte do sistema estrutural responsável por sustentar as cargas da superestrutura e transmiti-las ao solo de maneira segura e de forma a garantir o atendimento aos requisitos técnicos de segurança. Portanto, um projeto e uma execução bem elaborados apresentam grande importância para a viabilidade e prolongamento da vida útil da obra.

2.1 Fundações Superficiais e Profundas

Segundo Velloso e Lopes (1998), as fundações são geralmente divididas em dois grandes grupos, o primeiro trata das fundações superficiais e o segundo denomina-se fundações profundas. É possível distingui-los segundo o critério de que uma fundação profunda é aquela cujo mecanismo de ruptura de base não surge na superfície do terreno, Figura 1(b), ao contrário da superficial, Figura 1(a), onde é possível perceber superficialmente sua ruptura.

Com base na ABNT NBR 6122/2010, fundações superficiais são aquelas em que a carga é transmitida ao solo predominantemente pelas pressões distribuídas na base do elemento e sua profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente não ultrapassa duas vezes sua menor dimensão. Pode-se incluir nesse grupo as sapatas, *radier*, vigas de fundação e sapatas corrida.

Figura 1 - Fundação superficial e profunda



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Segundo Velloso e Lopes (1998), as fundações superficiais são divididas em:

- a) Bloco: elemento dimensionado de modo que as tensões de tração possam ser resistidas pelo concreto, ou seja, não há a necessidade de armadura;

- b) Sapata: Elemento de fundação de concreto armado, utilizando armadura para resistir aos esforços de tração;
- c) Viga de fundação: elemento de fundação que recebe pilares alinhados, geralmente de concreto armado;
- d) Radier: elemento que recebe todos os pilares da obra.

De acordo com a NBR 6122/2010, as fundações profundas são aquelas em que a transmissão da carga ao terreno se realiza pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação de ambas, além disso, deve estar assentada a uma profundidade superior ao dobro da sua menor dimensão, e no mínimo 3 metros (Figura 1). Se enquadram nessa definição as estacas e os tubulões.

2.1.1 Estaca

“As estacas são elementos esbeltos, implantados no solo por meio de percussão ou pela previa perfuração do solo com posterior concretagem, podendo dessa forma, serem classificadas estacas cravadas e estacas escavadas.” (JOPPERT JR., 2007)

As estacas são elementos executados em sua totalidade apenas com equipamentos e ferramentas, sem que, em qualquer etapa da sua execução haja a descida de operário (NBR 6122/2010).

Segundo Velloso e Lopes (2010), as fundações em estacas podem ser classificadas adotando diferentes critérios. De acordo com o material, podem ser de madeira, de concreto, de aço e mistas. De acordo com o processo executivo, as estacas podem ser diferenciadas segundo o efeito no solo, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de estacas

Tipo de execução	Estacas
De deslocamento	Grande Madeira pré-moldadas de concreto tubos de aço de ponta fechada tipo Franki microestacas injetadas
	Pequeno Perfis de aço tubos de aço de ponta aberta (desde que não haja embuchamento na cravação) estacas hélice especiais ("estacas hélice de deslocamento")
Sem deslocamento	Escavadas com revestimento metálico perdido que avança à frente da escavação estaca raiz
De substituição	Escavadas sem revestimento ou com uso de lama tipo Strauss Estaca hélice contínua em geral

Fonte: Velloso e Lopes (2010, adaptado)

Para Velloso e Lopes (2010), se enquadram nas estacas “de deslocamento” as cravadas em geral, uma vez que o solo do local que a estaca irá ocupar é deslocado (horizontalmente), já as estacas “de substituição” abrigam as escavadas em geral, visto que o solo no espaço que a estaca irá ocupar é removido.

A NBR 6122/2010 faz uma classificação das estacas, dividindo-as, dentre outras em:

- Estaca raiz: estaca armada e preenchida com argamassa de cimento e areia, moldada in loco, podendo ser executada por perfuração rotativa ou rotopercussiva, revestida integralmente por um conjunto de tubos metálicos recuperáveis;
- Estaca escavada com injeção ou microestaca: apresenta semelhanças com a raiz por ser moldada in loco, armada e executada através da perfuração rotativa ou rotopercussiva, porém é injetada com calda de cimento por meio de um tubo com válvulas;
- Estaca Strauss: executada por perfuração do solo com uma sonda ou piteira e revestimento total com camisa metálica;
- Estaca escavada mecanicamente: executada por perfuração do solo com um trado mecânico, sem emprego de revestimento ou fluido estabilizante;
- Estaca Franki: moldada in loco, executada por cravação, por meio de sucessivos golpes de um pilão. Possui base alargada e é integralmente armada;

- Estaca metálica ou de aço: estaca escavada, constituída de elemento estrutural produzido industrialmente.

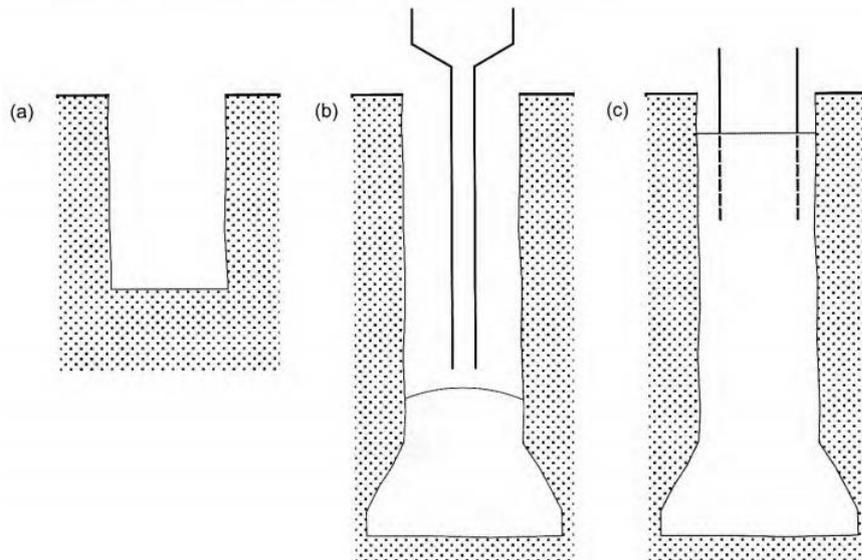
2.1.2 Tubulão

Na NBR 6122/2010 consta que tubulão é um elemento de fundação profunda, escavado no terreno, em que, pelo menos na sua etapa final, há descida de operário, que e faz necessária para executar o alargamento da base ou pelo menos a limpeza do fundo da escavação.

Velloso e Lopes (2010) afirmam que, quanto ao uso de ar comprimido, os tubulões separam-se em:

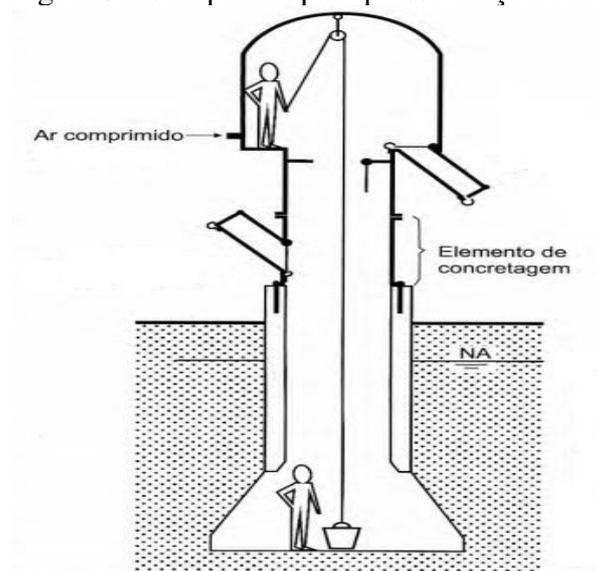
- tubulão a céu aberto: não há necessidade do uso de ar comprimido. Quando sua execução é feita acima do lençol d'água, pode ser necessário um suporte para as paredes (revestimento). Na Figura 2 pode-se observar as etapas de execução desse tipo de tubulão;
- tubulão executado sob ar comprimido: quando em sua execução o tubulão atinge o lençol d'água, deve-se revestir a escavação e utilizar ar comprimido, sendo neste caso necessário o uso de uma campânula (Figura 3).

Figura 2 - Execução de tubulão a céu aberto: (a) escavação, (b) concretagem a seco, (c) tubulão pronto.



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Figura 3 - Campânula para pressurização de tubulão



Fonte: Velloso e Lopes (2010, adaptado)

Alonso (1983) afirma que tubulões devem ser executados acima do nível de água, possibilitando sua execução abaixo apenas em terrenos argilosos onde seja possível a retirada de água por bombeamento e que seja excluído a possibilidade de erosões nesse processo.

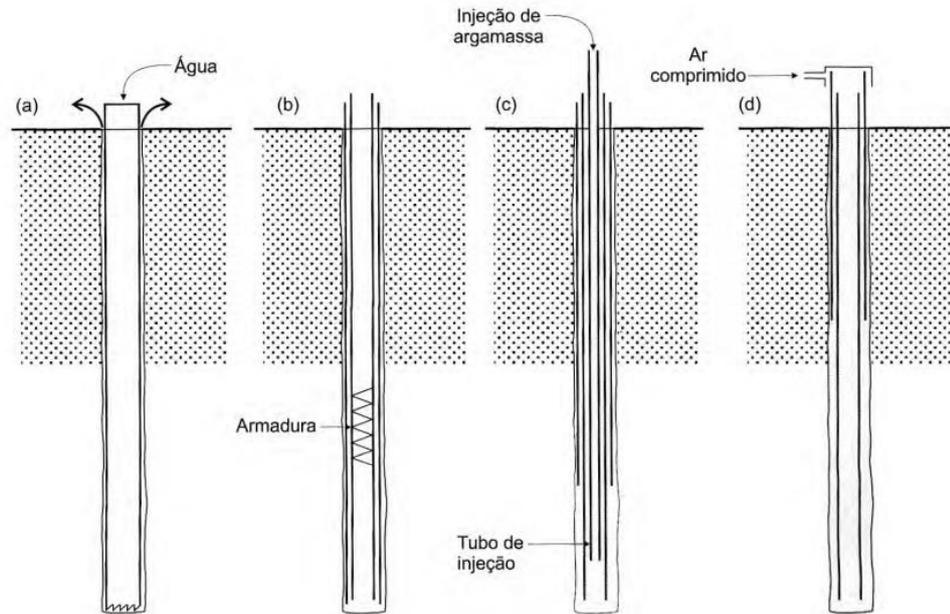
2.1.3 Estaca Raiz

Conforme a NBR 6122/2010, estaca raiz trata-se de uma estaca moldada in loco, armada em todo o seu comprimento, em que a perfuração é revestida integralmente por meio de tubos metálicos rosqueados à medida que a perfuração é executada, logo após é preenchida por uma argamassa de cimento e areia.

Velloso e Lopes (2010) afirmam que essas estacas apresentam particularidades que permitem sua utilização em casos que outros tipos não se mostram viáveis, já que não produzem choques ou vibrações, suas ferramentas possibilitam o acesso a locais com obstáculos, seu equipamento é de pequeno porte, permitindo o acesso a locais restritos e podem ser executadas tanto na vertical como em qualquer inclinação.

Velloso e Lopes (2010) expõem na Figura 4 o processo executivo da estaca raiz e, em seguida, esclarecem seu passo-a-passo.

Figura 4 - Execução de estaca-raiz



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

De acordo com Velloso e Lopes (2010)

- a) Perfuração: para a colocação do tubo de revestimento provisório que se estende até a ponta da estaca utiliza-se o processo de perfuração rotativa, com circulação de água ou lama bentonítica.
- b) Armadura: a armadura é constituída por uma ou mais barras, devidamente estribadas e inserida após a perfuração.
- c) Concretagem: inicia-se a concretagem a partir da parte inferior do local perfurado com uma argamassa de areia e cimento. À medida que esta mistura sobe pelo tubo de revestimento, este é concomitantemente retirado através de macacos-hidráulicos, após isso são dados golpes de ar comprimido que adensam a argamassa e promovem o contato com o solo, o que favorece o atrito lateral.

2.2 Ensaio de Campo

“Para uma previsão completa do comportamento e para o dimensionamento da fundação de uma obra é fundamental que seja avaliada a segurança e confiabilidade desta na fase de projeto e de execução” (BARROS, 2012).

Durante a fase de projeto, para a elaboração de projetos geotécnicos com nível de confiança aceitável, se faz necessário uma análise mais apurada do reconhecimento do solo de forma a fornecer subsídios indispensáveis para a escolha da mesma.

Para Schnaid e Odebrecht (2012), os custos com a realização de uma investigação geotécnica no Brasil gira em torno de 0,2 a 0,5% do custo total de uma obra considerada convencional, podendo esse custo aumentar no momento que for ser executada alguma obra em região de condições adversas de solo ou em obras especiais.

Diante dessa necessidade, a NBR 6122/2010 orienta que, para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagens a percussão (SPT), visando a determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração N_{SPT} .

Portanto, é necessário a definição de um programa que define as etapas da investigação e os objetivos a serem alcançados. A primeira trata-se de uma investigação preliminar, onde objetiva-se conhecer as principais características do subsolo através, geralmente, de sondagens a percussão. A segunda fase refere-se a uma investigação complementar ou de projeto, na qual procuram-se estabelecer as feições relevantes do subsolo e caracterizar as propriedades dos solos mais importantes do ponto de vista do comportamento das fundações. Por último, há a investigação para a fase de execução, que visa confirmar as condições de projeto em áreas críticas da obra (VELLOSO; LOPES, 2010).

Ainda de acordo com Velloso e Lopes (2010), os principais processos de investigação do subsolo para fins de projeto de fundações são: poços, sondagens a trado, sondagens a percussão com SPT, sondagens rotativas, sondagens mistas, ensaio de cone (CPT), ensaio pressiométrico (PMT) e, para fundações para estruturas, em casos excepcionais são utilizados os ensaios de campo de palheta (*vane test*) e de dilatômetro (DMT), uma vez que são indicados para argilas moles.

2.2.1 Standard Penetration Test (SPT)

Schnaid e Odebrecht (2012) defendem que o *Standard Penetration Test* (SPT) é, reconhecidamente, a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo o mundo.

Em concordância a isso, Lima (1979) explica que esse método de sondagem é o mais difundido no Brasil por seu emprego fornecer inúmeras vantagens, dentre as principais:

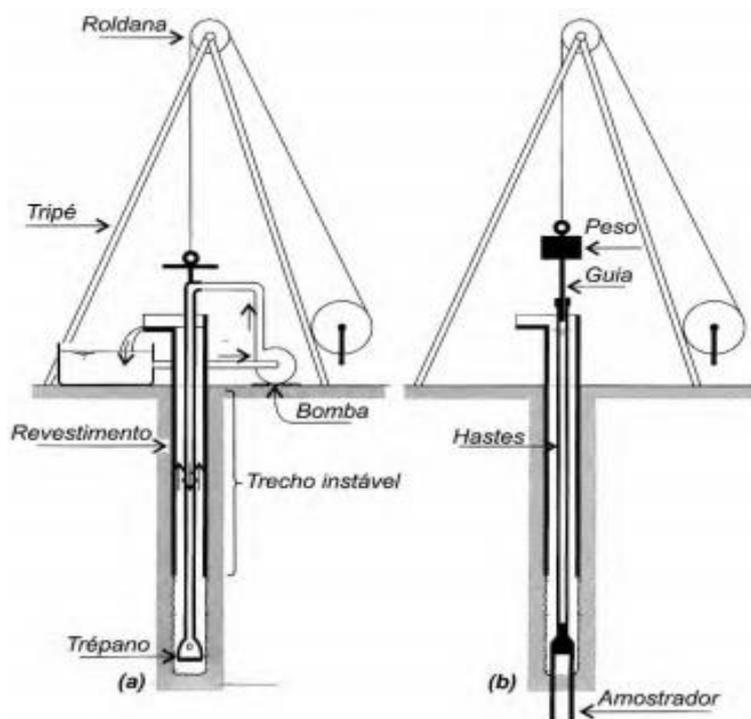
- Possui um custo relativamente baixo;

- É de fácil execução e ainda possibilita o trabalho em locais de difícil acesso;
- Permite a coleta de amostras do terreno, a diversas profundidades, possibilitando o conhecimento de sua estratigrafia.
- Pode determinar, por meio da maior ou menor dificuldade oferecida pelo solo a penetração de ferramenta padronizada, indicações sobre a consistência ou compacidade dos solos investigados.

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), os equipamentos que compõem um sistema de sondagem SPT são compostos basicamente por seis partes distintas: amostrador, hastes, martelo, torre ou tripé de sondagem, cabeça de bater e conjunto de perfuração, os quais são apresentados na Figura 7.

Segundo indicações da NBR 6484/2001, o amostrador padrão deve ter um diâmetro externo de $50,8 \text{ mm} \pm 2\text{mm}$ e diâmetro interno de $34,9 \pm 2 \text{ mm}$.

Figura 5 - Etapas na execução de sondagem a percussão: (a) avanço da sondagem por desagregação e lavagem; (b) ensaio de penetração dinâmica (SPT)



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Inicialmente, utiliza-se o trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 metro para a retirada da matéria orgânica concentrada. (NBR 6484, 2001). O ensaio se dá pela

cravação de um amostrador normalizado, por meio de quedas sucessivas de um peso de 65 Kg, chamado martelo, a uma altura de 75 cm. O índice de resistência à penetração (N_{SPT}) é encontrado através da contabilização da quantidade de golpes necessários para se atingir os 30 cm finais de avanço do amostrador. (VELLOSO; LOPES, 2010)

Utiliza-se, então, o trado helicoidal ou o trépano de lavagem para o avanço dos próximos 55 cm, completando assim o metro inicial. O ensaio é feito até o considerado impenetrável ao equipamento seguindo alguns critérios pré-estabelecidos pela NBR 6484/2001.

Conforme Velloso e Lopes (2010), as sondagens a percussão são perfurações que apresentam capacidade de ultrapassar o nível d'água e atravessar solos relativamente compactos ou duros. Se o furo apresentar instabilidade será revestido, caso contrário, a perfuração pode prosseguir sem revestimento, eventualmente adicionando-se um pouco de bentonita à água.

Vale ressaltar que, nesse método é necessário determinar a quantidade adequada de furos a ser realizado seguindo alguns critérios da NBR 8036/1983, onde:

- Deve haver, no mínimo uma sondagem para cada 200 m² de área de projeção em planta do edifício, até 1200 m²;
- Entre 1200 m² e 2400 m² deve-se fazer uma sondagem para cada 400 m² que excederem de 1200 m²;
- Acima de 2400 m², o número de sondagens deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção e sua localização;
- Sob quaisquer circunstâncias, o número mínimo de sondagens deve ser de dois para área até 200 m² e três para área entre 200 m² e 400 m².

Além disso, Velloso e Lopes (2010) deixam claro que as sondagens a percussão não ultrapassam, naturalmente, matacões e blocos de rocha e têm dificuldade de atravessar saprólitos (solos residuais jovens) muito compactos.

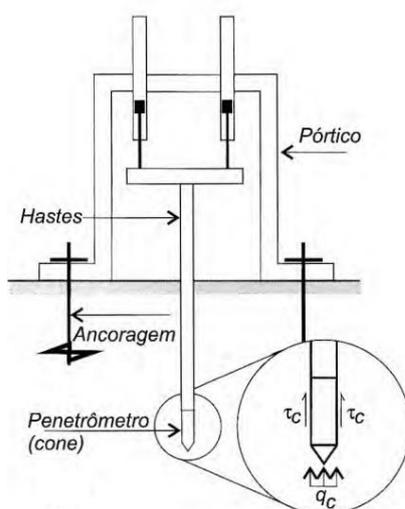
2.2.2 Cone Penetration Test (CPT)

No Brasil, esse ensaio era normalizado pela NBR 12069, porém o desenvolvimento de novas tecnologia e equipamentos modernos levaram ao cancelamento da mesma. Entretanto, existem algumas normas estrangeiras que atendem a esses requisitos dentre elas está a norma americana ASTM D344: *Standard test method for deep quase-static, cone and friction-cone penetration tests of soils*.

“O ensaio consiste basicamente na cravação a velocidade lenta e constante (dita "estática" ou "quase estática") de uma haste com ponta cônica, medindo-se a resistência encontrada na ponta e a resistência por atrito lateral” (VELLOSO; LOPES, 2010). É possível observar na Figura 6 as noções de funcionamento desse equipamento.

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), o princípio desse ensaio se dá pela cravação, no terreno, de uma ponteira cônica (60° de ápice) a uma velocidade constante de $20 \text{ mm/s} \pm 5 \text{ mm/s}$. O cone apresenta uma seção transversal de 10 cm^2 na maioria dos casos, podendo atingir 15 cm^2 ou mais para equipamentos mais robustos, de maior capacidade de carga, e 5 cm^2 ou menos para condições especiais.

Figura 6 - Ensaio CPT: princípio de funcionamento



Fonte: Velloso e Lopes (2010, adaptado)

Esse ensaio, juntamente com o CPTU (piezocone com medição da pressão intersticial), apresentam maior nível de detalhamento que o SPT e são considerados internacionalmente ferramentas de grande importância de prospecção geotécnica. “A grande vantagem dessa sondagem, em relação à de percussão, é que os resultados são apresentados ao longo de toda a profundidade da sondagem, ininterruptamente, ao contrário da percussão que mede o número de golpes em 30 cm de cada metro” (REBELLO, 2008).

Sendo assim, na sondagem CPT é possível medir as resistências de ponta (q_c) e o atrito lateral (f_s), onde a razão de atrito (R_f) ($=f_s/q_c$) é o primeiro parâmetro derivado do ensaio, utilizado para a classificação dos solos (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012).

2.2.3 Prova de Carga

De acordo com a NBR 9607 (2019), prova de carga é definida como sendo um conjunto de atividades destinadas a analisar o desempenho de uma estrutura através da medição e controle de efeitos causados pela aplicação de ações externas de intensidade e natureza previamente estabelecidas.

“Existem dois tipos de prova de carga: a prova de carga estática, que consiste na observação do comportamento da estrutura sob carga estática e a prova de carga dinâmica, que consiste basicamente na vibração da estrutura e observação de seu comportamento.” (OLIVEIRA; MORENO JUNIOR, 2007)

Segundo Velloso e Lopes (2010), as provas de carga estáticas são realizadas em estacas e tubulões com um dos seguintes objetivos:

- Verificar o comportamento previsto em projeto (capacidade de carga e recalque);
- Definir a carga de serviço em casos em que não se consegue fazer uma previsão de comportamento.

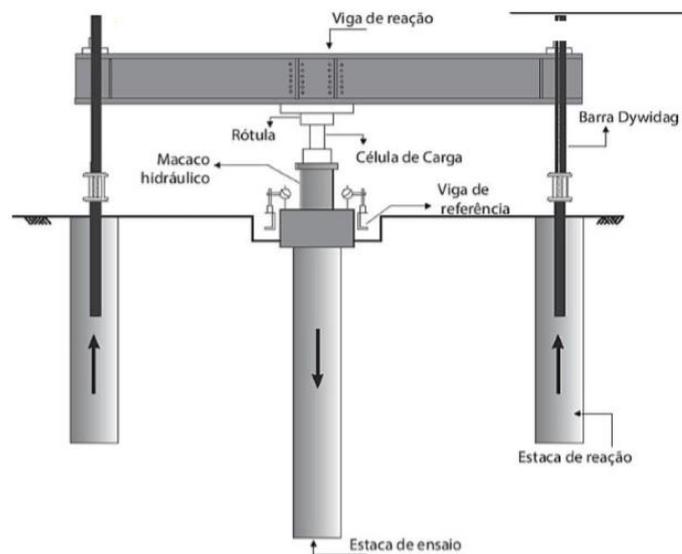
Além disso, os autores também afirmam que é recomendável que toda obra com mais de 100 estacas tenha, no mínimo, uma prova de carga estática, é preciso também ter em mente que os ensaios de carregamento dinâmico não substituem as provas de carga estáticas.

O ensaio em questão consiste na aplicação de cargas conhecidas no topo da estaca, em incrementos sucessivos e iguais (os chamados estágios de carga), monitorando os respectivos recalques da cabeça da estaca até que seja atingida a ruptura ou a carga máxima programada, seguida do descarregamento (CINTRA *et al.*, 2013).

Vale salientar que a NBR 12131/1992, norma que regulamenta a metodologia empregada para a realização de provas de carga estáticas, recomenda que entre a instalação da estaca e o início do carregamento da prova de carga deve ser respeitado um prazo mínimo de três dias, sendo no caso de solos coesivos esse período se estende a dez dias.

Para um melhor entendimento, Cintra *et al.* (2013) mostram na Figura 7 as estacas de reação que são instaladas ao redor da estaca de ensaio e fixadas em uma viga metálica de modo a formar um sistema de reação. Faz-se essa fixação geralmente com barras de aço do tipo Dywidag, que são ancoradas nas estacas de reação.

Figura 7 - Ensaio de prova de carga



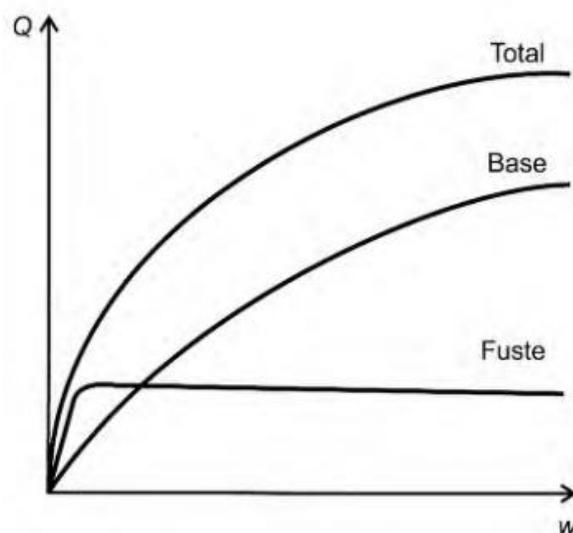
Fonte: Cintra *et al.* (2013)

Além disso, a NBR 12131 (1992) afirma que esses ensaios podem ser realizados de duas formas:

- Com carregamento lento: é feito em estágios iguais e sucessivos, salientando que a carga aplicada em cada um deles não deve ser superior a 20% da carga de trabalho prevista para a estaca ensaiada e, a mesma deve ser mantida até a estabilização dos deslocamentos, sendo no mínimo, 30 minutos. Deve-se destacar que, não sendo atingida a ruptura da estaca, a carga máxima deve ser mantida durante um tempo mínimo de 12 horas entre a estabilização e o início do carregamento;
- Com carregamento rápido: também é feito em estágios iguais e sucessivos, porém, a carga aplicada não deve ser superior a 10% da carga de trabalho prevista, além disso, em cada estágio a carga deve ser mantida durante 5 minutos, independente da estabilização dos deslocamentos, sendo os mesmos lidos obrigatoriamente no início e final do estágio.

Os resultados desse ensaio devem ser apresentados em relatório contendo pelo menos as seguintes informações: descrição geral do ensaio realizado, tipo e característica da estaca, seus dados de instalação, referência aos dispositivos de aplicação de carga e de medição das deformações (incluindo número e localização dos extensômetros e dados de aferição do conjunto macaco-bomba-manômetro), tabelas de leitura tempo-recalque e carga-recalque de todos os estágios e curva carga-recalque x deslocamento salientando os tempos de início e fim de cada estágio. A Figura 8 representa um exemplo da curva carga x recalque.

Figura 8 - Exemplo de curva carga x recalque.



Fonte: Velloso e Lopes (2010, adaptado)

É válido ressaltar que Décourt (1994) recomenda a apresentação do gráfico "carga (ou pressão) x recalque" de forma adimensional, com as tensões normalizadas pela tensão de ruptura convencional ou física, e as deformações normalizadas pela largura da fundação.

2.3 Capacidade de carga em estacas

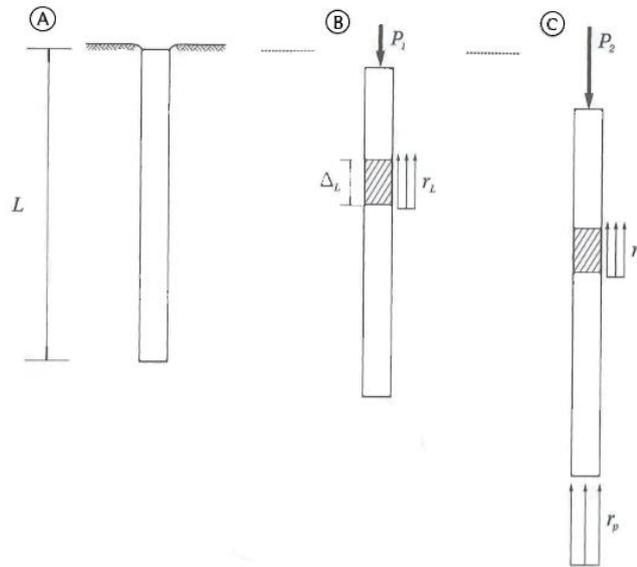
Segundo a NBR 6122/2010, carga admissível de uma estaca ou tubulão isolado é definida como a força adotada em projeto que, quando aplicada sobre o elemento estrutural atenda, com coeficientes de segurança predeterminados, ao estado-limite último (ruptura) ou de serviço (recalques, vibrações etc.).

Décourt (1998) afirma que métodos semi-empíricos possuem correlações com boas probabilidades de acertos, pois sua filosofia visa estabelecer através de ajustes estatísticos equações de correlação que possuam em sua essência os princípios definidos nos métodos teóricos e/ou experimentais.

Albiero e Cintra (1998) defendem ainda que a realização de prova de carga em protótipos é a maneira mais confiável de se estabelecer o valor da carga limite última. Proposição essa confirmada pela NBR 6122/2010, onde recomenda um fator de segurança 2 para a determinação da carga admissível, sem prova de carga. Caso contrário pode-se utilizar o fator de 1,6.

Conforme Cintra e Aoki (2010), com a aplicação gradativa de uma carga P de compressão na cabeça de uma estaca, serão mobilizadas tensões resistentes por atrito lateral entre o solo e o fuste da estaca, assim como tensões resistentes normais à base ou ponta da mesma. Observa-se, então que, na condição de ruptura da ligação estaca-solo, onde $P = P_1$, tem-se a atuação do atrito lateral local de ruptura ou atrito unitário (r_L), mostrado na Figura 9B, para um segmento qualquer na estaca, com comprimento ΔL . Aumentando a carga para $P_2 > P_1$, verifica-se a atuação também da resistência de ponta (r_p), como observado na Figura 9C.

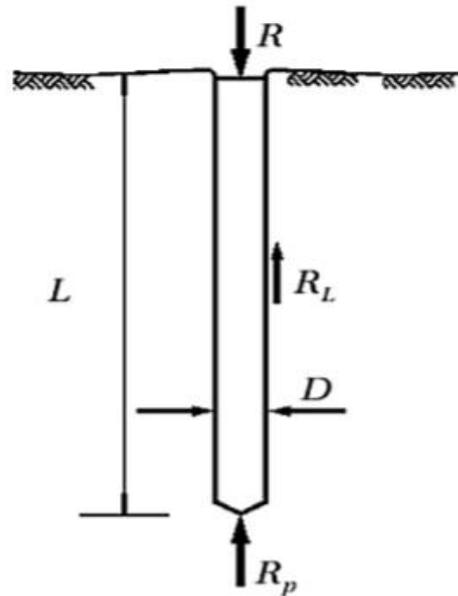
Figura 9 - Mobilização da resistência do elemento de fundação por estaca



Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Logo, é possível separar a resistência em duas parcelas: a resistência por atrito lateral (R_L) e a resistência de ponta (R_p), esquematicamente mostrado na Figura 10, onde D é o diâmetro ou lado da seção transversal da estaca e o valor P_2 passa a ser representado por R . (CINTRA E AOKI, 2010).

Figura 10 - Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga



Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Desta maneira, o equilíbrio de forças entre essas duas parcelas resulta na expressão da capacidade de carga, apresentada na Equação 1.

$$R = R_L + R_p = U \sum (r_L \Delta_L) + r_p A_p \quad (1)$$

Sendo:

R: Capacidade de carga da estaca;

U: Perímetro da seção transversal do fuste;

r_L : Parcela de resistência de atrito lateral, em unidades de tensão;

Δ_L : Segmento de alturas da estaca;

r_p : Parcela de resistência de ponta, em unidades de tensão;

A_p : Área da seção transversal da ponta da estaca.

No geral, as diferenças entre os métodos semi-empíricos consistem na maneira como se determinam r_p e r_L .

2.3.1 Aoki e Velloso (1975)

“O método de Aoki e Velloso (1975) foi desenvolvido a partir de um estudo comparativo entre resultados de provas de carga em estacas e de SPT. O método pode ser utilizado tanto com dados do SPT como do ensaio CPT.” (VELLOSO; LOPES, 2010).

Schnaid e Odebrecht (2012) afirmam que esse método foi originalmente concebido mediante os resultados dos ensaios de penetração estática (cone) e dinâmica (SPT). Afirmam ainda que a teoria para a estimativa da capacidade de carga de estacas é fundamentada no ensaio de penetração estática; porém, por meio da utilização do coeficiente K, torna-se possível o uso direto dos resultados de ensaios SPT.

Logo, o cálculo das resistências lateral e de ponta são feitos através da Equação 2 e Equação 3, respectivamente.

$$r_L = \frac{\alpha KN_L}{F_2} \quad (2)$$

$$r_p = \frac{KN_p}{F_1} \quad (3)$$

Onde:

α : Expressa a relação entre as resistências de ponta e lateral do ensaio de penetração estática;

K: Coeficiente de conversão da resistência da ponta do cone para N_{SPT} ;

N_p : Valor da resistência à penetração na camada em que a ponta imediatamente abaixo da camada que a ponta se encontra (adimensional);

N_L : Valor da resistência média à penetração da camada de solo analisada (adimensional);

F_1 e F_2 : Fatores de escala e execução.

Portanto, através de um simples procedimento matemático de substituição, encontra-se a fórmula de Aoki e Velloso (1975) para capacidade de carga de elementos de fundação, Equação 4.

$$R = \frac{U}{F_2} \sum (\alpha KN_L \Delta_L) + \frac{KN_p}{F_1} A_p \quad (4)$$

Os coeficientes k e α podem ser encontrados na Tabela 2, assim como F_1 e F_2 na Tabela 3.

Tabela 2 - Valores de k e α

Tipo de solo	k (kgf/cm ²)	α (%)
Areia	7,3	2,1
Areia siltosa	6,8	2,3
Areia siltoargilosa	6,3	2,4
Areia argilosa	5,7	2,9
Areia argilosiltosa	5,4	2,8
Silte	5	3
Silte arenoso	4,5	3,2
Silte arenoargiloso	4,8	3,2
Silte argiloso	4	3,3
Silte argiloarenoso	3,2	3,6
Argila	4,4	3,2
Argila arenosa	3	3,8
Argila arenossiltosa	3,3	4,1
Argila siltosa	2,6	4,5
Argila siltoarenosa	2,5	5,5

Fonte: Monteiro (1997) *apud* Velloso e Lopes (2010)

Tabela 3 - Valores de F1e F2

Tipo de estaca	F1	F2
Franki de fuste apilado	2,3	3
Franki de fuste vibrado	2,3	3,2
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto cravada a percussão	2,5	3,5
Pré-moldada de concreto cravada por prensagem	1,2	2,3
Escavada com lama betonítica	3,5	4,5
Raiz	2,2	2,4
Strauss	4,2	3,9
Hélice contínua	3	3,8

Fonte: Monteiro (1997) *apud* Velloso e Lopes (2010)

2.3.2 Décourt e Quaresma (1978)

Em 1978, Luciano Décourt e Arthur R. Quaresma apresentaram ao 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações um método para a determinação da capacidade de carga de estacas que se baseia diretamente em valores de ensaio SPT.

Esse método foi desenvolvido para estacas pré-moldadas de concreto e, posteriormente estendido a outros tipos de estacas – escavadas em geral, hélice contínua e injetadas (SCHNAID, 2012).

De acordo com Cintra e Aoki (2010), a estimativa da tensão de adesão ou de atrito lateral (r_L) é feita com o valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste (N_L), de acordo com uma tabela (Tabela 4) apresentada pelos autores, adotando-se os limites $N_L \geq 3$ e $N_L \leq 15$.

Tabela 4 - Atrito lateral médio segundo Décourt e Quaresma (1978)

N (médio ao longo do fuste)	Atrito Lateral (kPa)
≤ 3	20
6	30
9	40
12	50
≥ 15	60

Fonte: Décourt e Quaresma (1978, adaptado)

Segundo os estudos de Décourt e Quaresma (1978) foi possível adaptar a tabela para uma fórmula, observada na Equação 5.

$$r_L = 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \quad (5)$$

Onde:

r_L : Resistência de atrito lateral (kN);

N_L : Valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste.

Além disso, a estimativa da capacidade de carga junto à ponta ou base da estaca (r_p) pode ser realizada pela Equação 6.

$$r_p = CN_p \quad (6)$$

Onde:

C: Coeficiente característico do solo (Tabela 5);

N_p : Valor médio do índice de resistência à penetração na ponta da estaca, obtido por três valores: o correspondente ao nível da ponta, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior (kN).

Tabela 5 - Coeficiente C característico do solo

Tipo de solo	C (kPa)
Argila	120
Silte argiloso*	200
Silte arenoso*	250
Areia	400

*alteração de rocha (solos residuais)

Fonte: Décourt e Quaresma (1978)

Em vista disso, a capacidade de carga resultante do método em questão é determinada pela Equação 7.

$$R = \alpha C N_p A_p + \beta 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) U L \quad (7)$$

Onde Décourt (1996) introduz dois fatores: α (Tabela 6), na parcela de resistência de ponta, e β (Tabela 7), na parcela de resistência lateral. Com isso, torna-se possível a aplicação desse método em estacas escavadas em geral, inclusive tubulões a céu aberto, estacas tipos hélice contínua e raiz, e estacas injetadas sob altas pressões. (CINTRA E AOKI, 2010, p.28)

Tabela 6 - Valores do fator α em função do tipo de estaca e do tipo de solo

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,3*	0,85*	1,0*
Solos intermediários	0,6	0,6	0,3*	0,6*	1,0*
Areias	0,5	0,5	0,3*	0,5*	1,0*

*valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: Décourt *et al.* (1998, adaptado)Tabela 7 - Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo de solo

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,8*	0,9	1,0*	1,5*	3,0*
Solos intermediários	0,65*	0,75*	1,0*	1,5*	3,0*
Areias	0,5*	0,6	1,0*	1,5*	3,0*

*valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: Décourt *et al.* (1998, adaptado)

É válido ainda ressaltar que, segundo Décourt *et al.* (1998), para estacas escavadas a ruptura física jamais ocorre, portanto considera-se a ruptura convencional, ou seja, a carga

correspondente a um deslocamento no topo da estaca de 10% de seu diâmetro para argilas e de 30% do seu diâmetro para solos granulares.

2.3.3 Método de Teixeira (1996)

Teixeira (1996) teve como base métodos como Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma e propôs uma espécie de equação unificada para a capacidade de carga, em função de dois parâmetros, α e β (CINTRA E AOKI, 2010, p.29). Teve como resultado então a Equação 8:

$$R = R_p + R_L = \alpha N_p A_p + \beta N_L UL \quad (8)$$

Onde:

N_p : Valor médio do índice de resistência à penetração medido no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca e 1 diâmetro abaixo;

N_L : Valor médio do índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca.

A Tabela 8 apresenta os valores correspondentes ao parâmetro α , o qual leva em consideração em sua escolha o tipo de solo e de estaca. Já o coeficiente β , apresentados na Tabela 9 é relativo à resistência de atrito lateral e independe do tipo de solo.

Tabela 8 - Valores para α (kPa)

Solo (4 < NSPT < 40)	Tipo de estaca			
	Pré-moldada	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
Argila siltosa	110	100	100	100
Silte argiloso	160	120	110	110
Argila arenosa	210	160	130	140
Silte arenoso	260	210	160	160
Areia argilosa	300	240	200	190
Areia siltosa	360	300	240	220
Areia	400	340	270	260
Areia com pedregulhos	440	380	310	290

Fonte: Teixeira (1996)

Tabela 9 - Valores do parâmetro β

Tipo de estaca	β (kPa)
Pré-moldada e Perfil Metálico	4
Franki	5
Escavada a céu aberto	4
Raiz	6

Fonte: Teixeira (1996)

Cintra e Aoki (2010) ressaltam que há uma advertência do autor em seu método, que menciona que não se deve aplicá-lo a casos de estacas pré-moldadas de concreto flutuantes em espessas camadas de argilas moles sensíveis, com N_{SPT} normalmente inferior a 3.

2.3.4 Método Antunes-Cabral (1996)

Inicialmente, os autores propuseram esse método para previsão de capacidade de carga em estacas hélice contínua a partir de resultados de ensaios SPT, baseando-se em informações de 9 provas de carga estáticas, testes esses feitos em estacas de diâmetros de 35, 50 e 75 cm. A Equação 9 demonstra a equação derivada desses estudos.

$$Q_u = U \cdot \sum (N \cdot \beta_1) \cdot \Delta L + \beta_2 \cdot N \cdot A_p \quad (9)$$

Onde:

Q_u : Carga última da estaca;

β_1 e β_2 : Fatores que dependem do tipo de solo;

A_p : Área da seção transversal;

N : Índice de resistência à penetração (adimensional);

U : Perímetro da estaca;

ΔL : Profundidade da camada de solo.

Os valores para β_1 e β_2 podem ser encontrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Parâmetros β_1 e β_2

Solo	β_1 (%)	β_2
Areia	4,0 - 5,0	2,0 - 2,5
Silte	2,5 - 3,5	1,0 - 2,0
Argila	2,0 - 3,5	1,0 - 1,5

Fonte: Antunes e Cabral (1996)

2.3.5 Método de Vorcaro e Velloso (2000)

Conforme Vorcaro (2000), formulou-se esse método probabilístico, tendo como base o Banco de Dados da COPPE-UFRJ, que permite prever a carga última compressiva em estacas tipo Franki, pré-moldadas, escavadas e hélices contínuas. Para isso foram utilizadas ferramentas analíticas e gráficas da regressão linear múltipla para, segundo o autor, “indicarem

o modelo que representa, de forma mais adequada, os sistemas ‘solo-estaca-carga última medida’ conhecidos pelas observações disponíveis”.

Vorcaro e Velloso (2000) utilizaram o critério de Van der Veen de extrapolação da curva carga x recalque para a obtenção das cargas máximas utilizadas.

Na Tabela 11 é possível verificar os grupos a que pertence determinado tipo de solo e na Tabela 12 observa-se os números de provas de carga utilizadas por tipo de estaca e de solo em torno da ponta da estaca.

Tabela 11 - Grupos de solos

		Grupo		
1	2	3	4	5
areia	areia siltosa	silte	silte arenoargiloso	silte argiloso
	areia siltoargilosa	silte arenoso	silte argiloarenoso	argila
	areia argilosa	argila arenosa	argila arenossiltosa	argila siltosa
	areia argilossiltosa	argila siltoarenosa		

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Tabela 12 - Número de provas de carga e solo em torno da ponta da estaca

Estaca	Solo da ponta:					Total
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	
Tipo Franki	5	17	11	12	5	50
Pré-moldada	9	19	12	5	3	48
Escavada	1	7	5	0	3	26
Hélice contínua	-	8	5	9	4	26
Total	15	51	33	36	15	150

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Segundo Velloso e Lopes (2010), as equações de previsão do valor médio provável da carga de ruptura, Q_{EST} , em kN, são:

a) Estaca Franki

$$Q_{EST} = \exp \left[(61,17 \ln XP + 58,25 \ln XF)^{1/3} \right], \text{ para bases em solos do grupo 1} \quad (10)$$

$$Q_{EST} = \exp \left[(66,74 \ln XP + 58,25 \ln XF)^{1/3} \right], \text{ para bases em solos do grupo 2} \quad (11)$$

$$Q_{EST} = \exp \left[(59,72 \ln XP + 58,25 \ln XF)^{1/3} \right], \text{ para bases em solos do grupo 3} \quad (12)$$

$$Q_{EST} = \exp \left[(60,65 \ln XP + 58,25 \ln XF)^{1/3} \right], \text{ para bases em solos do grupo 4} \quad (13)$$

$$Q_{EST} = \exp \left[(67,79 \ln XP + 58,25 \ln XF)^{1/3} \right], \text{ para bases em solos do grupo 5} \quad (14)$$

b) Estacas pré-moldadas de concreto

$$Q_{EST} = 676,0XP^{1/2} + 3,1XF, \text{ para pontas em solos do grupo 1} \quad (15)$$

$$Q_{EST} = 705,3XP^{1/2} + 3,1XF, \text{ para pontas em solos do grupo 2} \quad (16)$$

$$Q_{EST} = 648,3XP^{1/2} + 3,1XF, \text{ para pontas em solos do grupo 3} \quad (17)$$

$$Q_{EST} = 534,7XP^{1/2} + 3,1XF, \text{ para pontas em solos do grupo 4} \quad (18)$$

$$Q_{EST} = 649,5XP^{1/2} + 3,1XF, \text{ para pontas em solos do grupo 5} \quad (19)$$

c) Estacas escavadas

$$Q_{EST} = \exp \left[(6,23 \ln XP + 7,78 \ln XF)^{1/2} \right], \text{ para bases em solo do grupo 2} \quad (20)$$

$$Q_{EST} = \exp \left[(4,92 \ln XP + 7,78 \ln XF)^{1/2} \right], \text{ para bases em solo do grupo 3} \quad (21)$$

$$Q_{EST} = \exp \left[(6,96 \ln XP + 7,78 \ln XF)^{1/2} \right], \text{ para bases em solo do grupo 4} \quad (22)$$

$$Q_{EST} = \exp \left[(7,32 \ln XP + 7,78 \ln XF)^{1/2} \right], \text{ para bases em solo do grupo 1 e 5} \quad (23)$$

d) Estacas tipo hélice contínua, e para qualquer solo

$$Q_{EST} = \exp(1,96 \ln XP - 0,34XP \ln XF + 1,36 \ln XF) \quad (24)$$

Onde, para todos os tipos de estacas:

$$XP = AN_{ponta} \quad (25)$$

$$XF = U \sum N_{fuste} \Delta l \quad (26)$$

A = área da ponta da estaca em m²;

U = perímetro do fuste da estaca em m;

Δl = espessura de solo, em m, ao longo da qual N pode ser considerado constante.

2.3.6 Método de Lizzi (1982)

De acordo com Monteiro (2016), Lizzi não leva em consideração a resistência de ponta da estaca, podendo ser calculada pela Equação 27.

$$Q_{ult} = U \sum KI\Delta_L \quad (27)$$

Onde:

d = diâmetro nominal da estaca;

L = comprimento da estaca;

K = coeficiente que representa a interação média entre a estaca e o solo (Tabela 13);

I = coeficiente adimensional de forma (Tabela 14).

Tabela 13 - Coeficiente K

Características do solo	K (kPa)
Solo mole	50
Solo fofo	100
Solo medianamente compacto	150
Solos rijos, pedregulho e areia	200

Fonte: Lizzi (1982 apud MONTEIRO, 2016)

Tabela 14 - Coeficiente I

Diâmetro nominal da estaca (mm)	I
100	1
150	0,9
200	0,85
250	0,8
310	0,74
410	0,64

Fonte: Lizzi (1982 apud MONTEIRO, 2016)

2.3.7 Método de Brasfond (1991)

Segundo publicação da empresa Brasfond, é possível obter a capacidade de carga de uma estaca escavada a partir da Equação 28.

$$Q_u = \alpha \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot N_s \cdot U \cdot \Delta L \quad (28)$$

Onde:

α = coeficiente que depende do tipo de solo onde se situa a ponta da estaca (Tabela 15);

N_p = média dos valores N_{SPT} determinados a um metro acima e um metro abaixo da ponta da estaca;

A_p = área da ponta da estaca;

β = índice de atrito lateral (Tabela 15);

N_s = média dos valores do índice de resistência à penetração medida ao longo do fuste. Para valores superiores a 40 deve-se adotar 40;

U = perímetro do fuste da estaca;

ΔL = comprimento unitário.

Tabela 15 - Valores de α e β .

Solo	α (kPa)	β (kPa)
Argila siltosa	80	5
Silte argiloso	100	5
Argila arenosa	120	5
Silte arenoso	150	5
Areia argilosa	180	5
Areia siltosa	210	5
Areia	270	5
Areia com pedregulhos	300	5

Fonte: Brasfond (1991)

De acordo com o catálogo da empresa responsável, esse método foi formulado em função dos resultados das sondagens de reconhecimento à percussão com medidas de SPT, executadas de acordo com a norma NBR 6484.

3 METODOLOGIA

Para a melhor compreensão deste trabalho, a metodologia foi dividida em 4 (quatro) etapas:

- a) bases teóricas, que trata das informações relevantes para o estudo da situação-problema analisada;
- b) levantamento de dados, onde discorre sobre os documentos utilizados;
- c) cálculo da capacidade de carga, o qual exhibe as considerações feitas nesse processo; e
- d) análise de dados, retratando todo o procedimento realizado para de chegar nos resultados.

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de caráter quantitativa, que, segundo Richardson (1999), caracteriza-se pelo emprego da quantificação tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas, podendo ser as mais simples, como média e desvio-padrão, ou mais complexas, como análise de regressão.

Além disso, sua coleta de dados é realizada de forma documental, a qual Beuren e Raupp (2004) esclarecem que se baseia em materiais que não receberam nenhum tratamento analítico, ou, podendo também ser reelaborado conforme o objetivo da pesquisa.

3.1 Bases Teóricas

A priori, um vasto acervo de livros, artigos e dissertações foram avaliados e selecionados para servir como base para estudos aprofundados sobre os principais temas abordados nesse trabalho, tais como fundações profundas e métodos tradicionais de capacidade de carga, tonando, assim, possível o desenvolvimento da metodologia apresentada.

A partir disso, foram escolhidas as informações mais relevantes para o estudo e organizadas de forma a facilitar o entendimento do leitor.

3.2 Levantamento de Dados

Como mencionado anteriormente, esse estudo é baseado em técnica documental, onde o levantamento dos dados se dá por meio da utilização de documentos legais, sendo neste

caso, ensaios SPT's e ensaios de provas de carga. Com esses dados, foi possível realizar a elaboração de perfis geológico-geotécnicos considerados de suma importância para o desenvolvimento dessa pesquisa.

3.2.1 Documentos analisados

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados ensaios de sondagem à percussão e de provas de carga, sendo esta última apresentada no Anexo A, adquiridos por meio da empresa GeoBrasil, localizada no município de Fortaleza, no Estado do Ceará.

Os dados foram obtidos a partir do resultado de duas provas de carga estáticas em estacas tipo raiz, com carregamento lento, seguindo recomendações da NBR 12131, sendo assim, o programa de carregamento para esse ensaio foi realizado em 10 (dez) estágios de carga, exposto na Tabela 16, cada um, a 20% da carga de trabalho da estaca. As leituras foram feitas depois de decorridos dois, quatro, oito e quinze minutos.

Após concluído o carregamento, a carga máxima foi mantida por um período de 12 (doze) horas. Já o descarregamento foi executado em 5 (cinco) estágios, como apresentado na Tabela 17. A estaca escolhida foi tipo raiz, com características observadas na Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 16 - Programa de carregamento para a prova de carga.

Estágio	Carga
1º	22,0 t
2º	44,0 t
3º	66,0 t
4º	88,0 t
5º	110,0 t
6º	132,0 t
7º	154,0 t
8º	176,0 t
9º	198,0 t
10º	220,0 t

Fonte: Empresa GeoBrasil

Tabela 17 - Programa de descarregamento para a prova de carga.

Estágio	Carga
1º	176,0 t
2º	132,0 t
3º	88,0 t
4º	44,0 t
5º	0,0 t

Fonte: Empresa GeoBrasil

Tabela 18 - Características da estaca analisada.

CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
DENOMINAÇÃO DA ESTACA	BLOCO A - PILAR P-22/P-20 / ESTACA E-136
TIPO DA ESTACA	RAIZ Φ 410 mm
COMPRIMENTO DA ESTACA	9,40 m
CARGA MÁXIMA ATINGIDA NO ENSAIO	220,0 t
DESLOCAMENTO NA CARGA MÁXIMA	3,55 mm
DESLOCAMENTO RESIDUAL	0,86 mm

Fonte: Empresa GeoBrasil

Tabela 19 - Características da estaca analisada.

CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
DENOMINAÇÃO DA ESTACA	PILAR P-04 / ESTACA E - 189
TIPO DA ESTACA	RAIZ Φ 410 mm
COMPRIMENTO DA ESTACA	13,00 m
CARGA MÁXIMA ATINGIDA NO ENSAIO	220,0 t
DESLOCAMENTO NA CARGA MÁXIMA	2,97 mm
DESLOCAMENTO RESIDUAL	0,60 mm

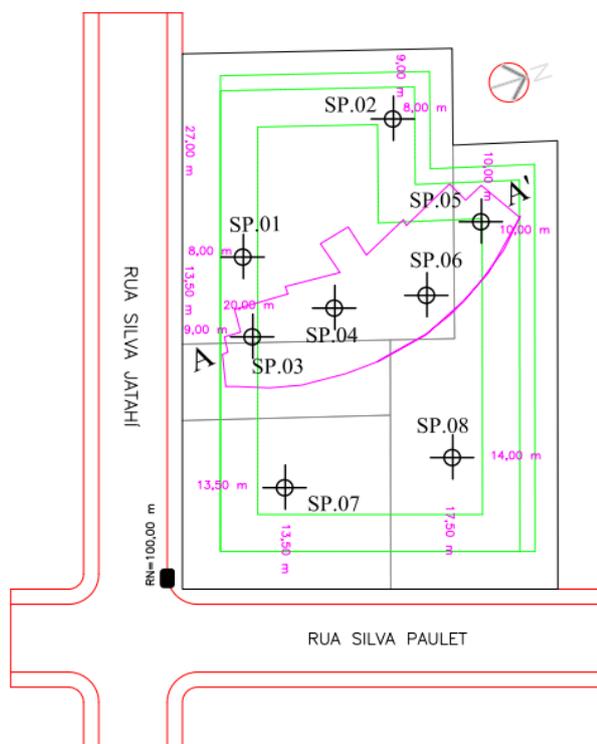
Fonte: Empresa GeoBrasil

Além disso, foram realizados 8 (oito) furos de sondagem à percussão, onde utilizou-se dois processos de avanço, inicialmente fez-se o uso de um trado concha de 4" e, ao se encontrar o nível de água ou material impenetrável, prosseguiu-se com auxílio de circulação de água.

3.2.2 Perfis geológicos-geotécnicos

A Figura 11 apresenta um desenho esquemático do terreno em que os ensaios foram realizados e a localização dos furos realizados. Além disso, os perfis geológicos-geotécnicos descritos abaixo podem ser encontrados no Apêndice B.

Figura 11 - Localização dos furos para o ensaio SPT.



Fonte: Empresa GeoBrasil

O resultado dos ensaios SPT's resultaram na elaboração de perfis geológico-geotécnicos, compostos em seu primeiro metro basicamente por aterro, seguido por uma extensa camada de areia variando de dois a sete metros.

Entre os SPT's 01 e 02 há a presença de uma camada de areia com muito pouco pedregulho, cinza, com índices de resistência à penetração (N_{SPT}) variando entre 3 e 17 metros. A camada seguinte é composta por argila arenosa, em torno do primeiro SPT e por areia argilo-siltosa, cinza em seu segundo ensaio, apresentando N_{SPT} variando entre 4 e 10 no SPT 01 e entre 15 e 20 no SPT 02. Por fim, a última camada desse perfil é constituída por areia argilosa com muito pedregulho, variegada.

No perfil formado pelo SPT 03 e SPT 04, a segunda camada é composta por areia, com pouco pedregulho, cinza a cinza amarronzado, com N_{SPT} variando entre 4 e 17 no SPT 03 e entre 4 e 21 no SPT 04. Observando agora apenas o SPT 03 verifica-se a presença de argila arenosa, com pedregulhos, cinza a variegada em sua terceira camada até, aproximadamente, 10 metros, onde é demonstrada uma resistência à penetração fluando entre 4 e 13 golpes. Já o SPT 04 possui uma terceira camada composta por areia com muito pouco pedregulho, cinza, com seu N_{SPT} variando entre 21 e 28. A última camada de ambos os ensaios possui areia argilosa, com pedregulhos, variegada.

A segunda camada do solo que se encontra entre os SPT's 05 e 06 é composta por areia com pouco pedregulho, cinza, com índice de resistência à penetração oscilando entre 12 e 14 à altura do SPT 06 e o mesmo solo, porém cinza escuro, contendo N_{SPT} entre 14 e 18, próximo ao SPT 05. A terceira camada estende-se até, aproximadamente, 7 metros, contendo argila arenosa, com muito a pouco pedregulho, cinza no ensaio 06 e argila arenosa, com pedregulho, cinza a variegada no ensaio 05.

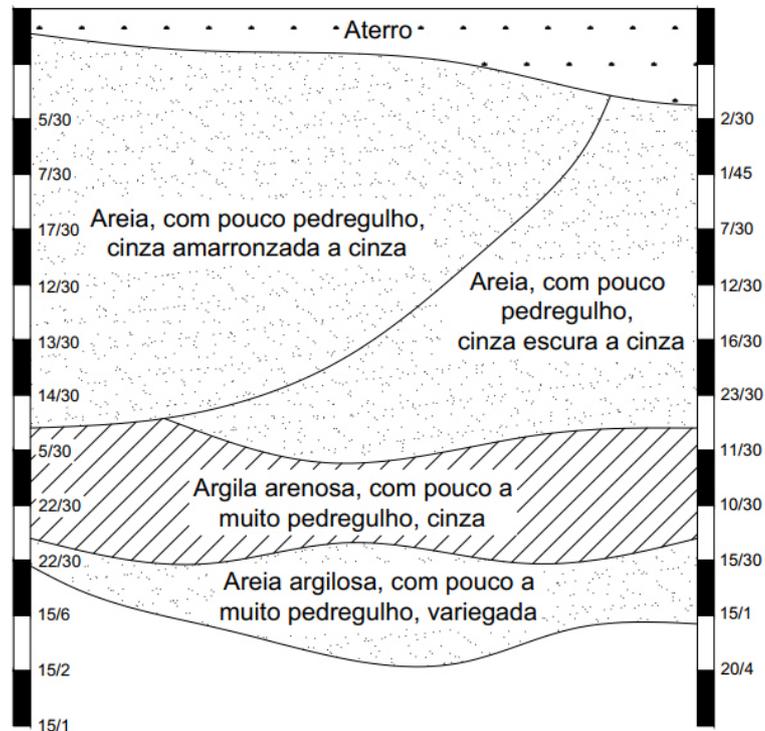
A próxima camada, encontrada em ambos os ensaios, é composta por argila arenosa, com muito a pouco pedregulho, variegada, propagando-se até o 12º (décimo segundo) metro no SPT 06 e até o 8º (oitavo) metro no SPT 05. Por fim, a última camada, que só pode ser observada no ensaio 05, apresenta areia argilosa, com muito pedregulho, variegada e índice de resistência chegando até 15 golpes para 4 cm.

O último perfil geológico-geotécnico, exibido na Figura 12, apresenta sua segunda camada, em torno do SPT 07, composta por areia com pouco pedregulho, cinza amarronzada a cinza, estendendo-se até, aproximadamente o oitavo metro de profundidade e índices de resistência variando entre 5 e 17 golpes. Já o SPT 08 apresenta areia com pouco pedregulho, cinza escura a cinza, apresentando seu N_{SPT} com uma oscilação entre 2 e 23, porém, em um determinado ponto esse índice exibe um comportamento diferente, onde o equipamento profere apenas um golpe para 45 cm.

O solo da terceira camada coincide em ambos os ensaios, sendo ele argila arenosa, com pouco a muito pedregulho, cinza, até, aproximadamente 10 metros. Finalmente, a última camada apresenta areia argilosa, com pouco a muito pedregulho, variegada nos dois ensaios, podendo variar o N_{SPT} de 15 a 22.

Vale ressaltar ainda que o nível de água não foi encontrado em nenhum dos furos realizados.

Figura 12 - Perfil geológico-geotécnico entre SPT 07 e SPT 08.
SPT - 07 SPT - 08



Fonte: Autora (2019)

3.3 Cálculo da capacidade de carga

Neste trabalho foram escolhidos 7 (sete) métodos semi-empíricos de previsão de carga, sendo esses: Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978), Teixeira (1996), Antunes e Cabral (1996), Brasfond (1991), Lizzi (1982) e Vorcaro e Velloso (2000). De forma geral, em determinada profundidade, quando atinge-se algum critério de parada nos ensaios, utilizou-se de um artifício matemático, chamado regra de três, para estimar o N_{SPT} médio. Por exemplo, se com 15 golpes houve apenas 4 cm de penetração, então estima-se que com 112,5 golpes irá penetrar 30 cm, porém, foi adotado um limite máximo de índice de resistência a penetração de 60.

Para a determinação das estimativas da capacidade de carga da estaca através dos métodos mencionados anteriormente foram utilizadas planilhas eletrônicas no software Excel, adotando-se nos cálculos estaca tipo raiz de 410 mm de diâmetro conforme projeto das estacas adotado pela empresa GeoBrasil.

3.3.1 Aoki e Velloso (1975)

Através das sondagens SPT foi possível constatar a presença dos diferentes tipos de solos presentes no perfil geológico-geotécnico. Com isso, para a previsão da capacidade de carga da estaca utilizada na prova de carga, foi necessário a identificação de coeficientes presentes neste método referentes a cada solo encontrado, através da observação da Tabela 2 e Tabela 3. Dessa forma, é possível aplicá-los na Equação 2 e Equação 3, propostas por Aoki e Velloso.

3.3.2 Décourt e Quaresma (1978)

Nesse método há algumas observações importantes a serem levadas em consideração: para solos mistos, ou seja, aqueles que em sua composição apresentam mais de um tipo, a escolha do coeficiente característico do solo “C”, encontrado na Tabela 5, foi realizada tendo em vista somente o solo de maior predominância no local. Para argila arenosa, por exemplo, foi considerado apenas argila. Pela mesma premissa, os coeficientes “ α ” e “ β ” utilizados, vistos na Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente, em solos mistos foram os valores equivalentes a solos intermediários.

3.3.3 Teixeira (1996)

Teixeira (1996) propôs a Equação 8 para previsão de capacidade de carga, onde o coeficiente β (beta) pode ser encontrado na Tabela 9, e para o α (alfa) deve-se consultar a Tabela 8 para solos com N_{SPT} 's entre 4 e 40.

3.3.4 Antunes e Cabral (1996)

Para o método de Antunes e Cabral (1996) a escolha dos coeficientes β_1 e β_2 foi realizada com base no solo prevalecente, uma vez que não há abrangência para solos com duas ou mais frações. Vale ressaltar ainda que esses valores foram obtidos com base na média entre os intervalos dados na Tabela 10.

3.3.5 Brasfond (1991)

Para o cálculo da capacidade de carga utilizando a metodologia de Brasfond (1991), verifica-se a presença de dois coeficientes que compõem a Equação 28 podem ser encontrados na Tabela 15. Porém esses não contemplam solos com três ou mais frações, por exemplo, no SPT 02 há a presença considerável de três tipos de solos, apresentando-se, portanto, como areia argilosiltosa. Neste caso é necessário haver uma adaptação, sendo utilizado os coeficientes referentes a areia argilosa devido à sua predominância nos ensaios.

3.3.6 Lizzi (1982)

Como mencionado no tópico 2.2.7, Lizzi (1982) desconsidera a resistência de ponta da estaca e propôs a Equação 27, na qual nota-se a presença de alguns coeficientes, como o “I”, que leva em conta o diâmetro nominal da estaca (Tabela 14), e o “K” (Tabela 13), que baseia-se na compactidade do solo. Para este utilizou-se a Tabela 20 apresentada pela NBR 7250/1982, que faz essa análise de acordo com o tipo de solo e o índice de resistência à penetração.

Tabela 20 – Designação dos solos de acordo com o índice de resistência à penetração.

Solo	Índice de resistência a penetração	Designação
Areia e silte arenoso	≤ 4	fofa (o)
	5 a 8	pouco compacta (o)
	9 a 18	medianamente compacta (o)
	19 a 40	compacta (o)
	> 40	muito compacta (o)
Argila e silte argiloso	≤ 2	muito forte
	3 a 5	mole
	6 a 10	média (o)
	11 a 19	rija (o)
	> 19	dura (o)

Fonte: ABNT NBR 7250/1982

3.3.7 Vorcaro e Velloso (2000)

Para esse método, observa-se a princípio na Tabela 11 para identificar qual grupo cada tipo de solo se encaixa, em seguida calculam-se os coeficientes XP e XF, de acordo com

a Equação 25 e Equação 26 respectivamente. Por fim, escolhe-se dentre as Equações 10 a 24 aquela equivalente ao tipo de solo e estaca utilizada.

3.4 Análise dos Dados

Inicialmente foram gerados gráficos comparativos entre todos os métodos de cálculo de capacidade de carga com os resultados da prova de carga estática, sendo possível, assim, relacionar os valores encontrados.

No intuito de fazer uma análise isolada de cada ensaio SPT, foram calculadas variações percentuais (VP%) entre o valor de provas de carga estática e aqueles calculados através dos métodos semi-empíricos, através da aplicação da Equação 29.

$$VP (\%) = \frac{R - PCE}{PCE} * 100 \quad (29)$$

Onde:

VP: Variação percentual, em %;

R: Valor calculado no método semi-empírico, em tf;

PCE: Valor encontrado na prova de carga estática, em tf.

Para a análise dos resultados obtidos foram utilizados também parâmetros estáticos, como a raiz do erro quadrático médio (REQM) e Viés, obtidos pelas Equações 30 e 31, respectivamente.

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (F - O)^2} \quad (30)$$

$$VIÉS = \frac{1}{n} \sum (F - O) \quad (31)$$

Onde,

REQM: Raiz do erro quadrático médio;

n: Número de amostras;

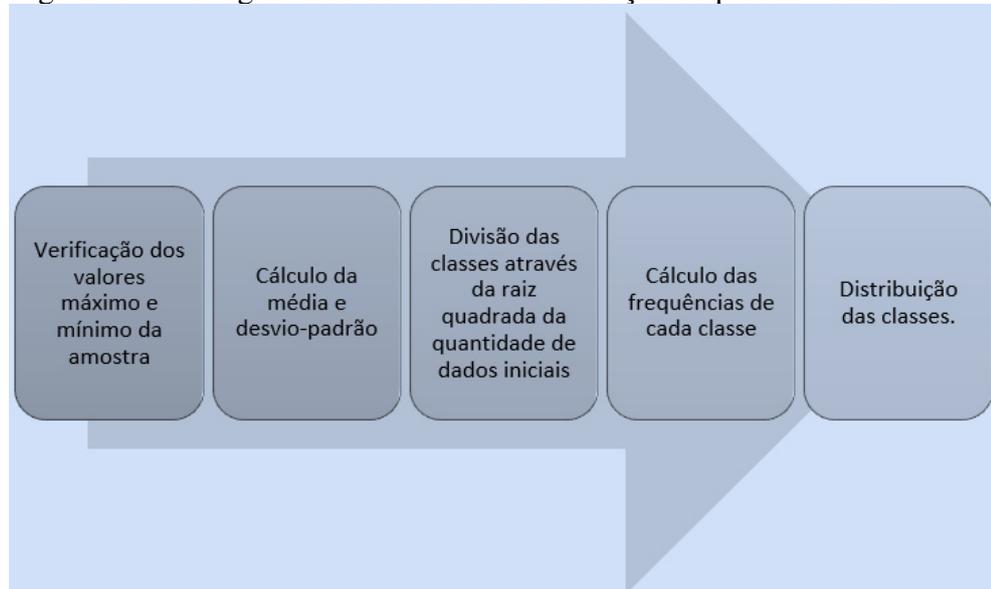
F: Valor encontrado no método semi-empírico;

O: Valor encontrado na prova de carga estática.

A fim de analisar a distribuição dos dados de capacidade de carga, foram gerados gráficos de distribuição de probabilidade, seguindo o fluxograma da Figura 13, de modo a

observar qual intervalo de maior predominância dos valores de capacidade de carga encontrados. Sendo possível, assim, determinar se o valor encontrado na prova de carga está dentro desse intervalo.

Figura 13 - Fluxograma de como fazer distribuição de probabilidade.

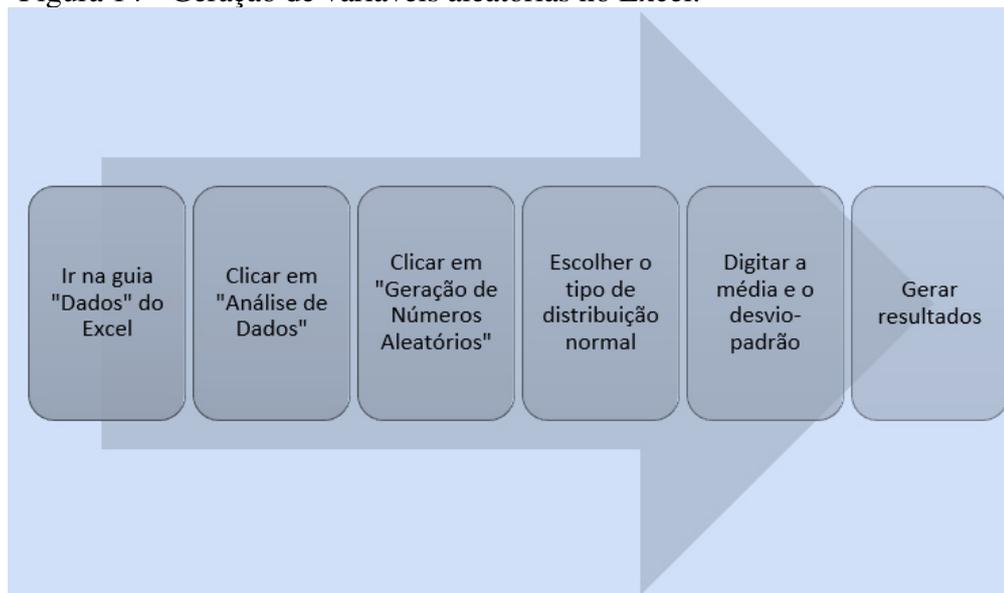


Fonte: Autora (2019)

Além disso, foi realizada uma análise para determinar sua distribuição normal de probabilidade através da função `DIST.NORM.N` do Excel, onde calcula-se a curva referente à função densidade de massa dos dados.

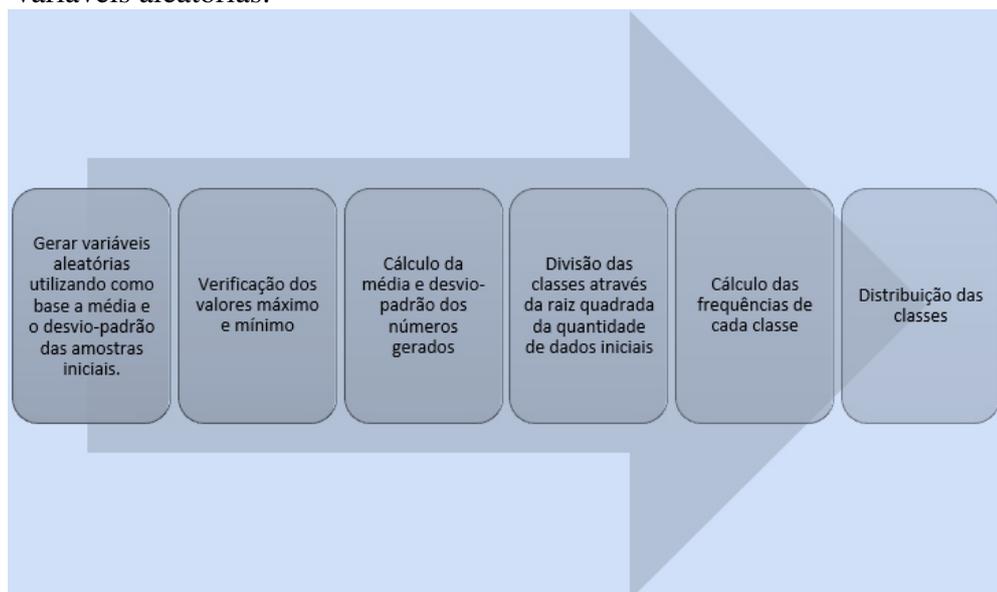
Posteriormente, devido à pequena quantidade de dados viu-se a necessidade de utilizar uma ferramenta de geração de variáveis aleatórias baseadas na média e desvio-padrão da amostra original. Para isso foi utilizada uma função do próprio software mencionado anteriormente e geradas 100 variáveis dentro de uma distribuição normal, procedimento este ilustrado na Figura 14. Em seguida, foi realizado o mesmo procedimento que aquele mostrado para amostra inicial, ilustrado na Figura 15.

Figura 14 - Geração de variáveis aleatórias no Excel.



Fonte: Autora (2019)

Figura 15 - Fluxograma de como fazer distribuição de probabilidade para variáveis aleatórias.



Fonte: Autora (2019)

Foram analisados, então, os gráficos de distribuição de probabilidade através da Tabela z, encontrada no Anexo A, que determina a área abaixo da curva de distribuição normal de acordo com a Equação 32. Dessa forma, foi possível fazer comparações entre os resultados dos métodos semi-empíricos e o valor determinado pela prova de carga estática.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (32)$$

Onde:

X: Valor que se deseja fazer a comparação;

μ : Média da amostra;

σ : Desvio padrão da amostra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção serão exibidos e discutidos os resultados encontrados através de análises estatísticas de capacidades de carga calculadas por meio de 7 (sete) métodos semi-empíricos e 8 (oito) ensaios SPT.

4.1 Cálculo da capacidade de carga

Os cálculos de capacidades de carga foram feitos através de planilhas eletrônicas no Excel e podem ser encontradas em quadros no Apêndice A. Neles são possíveis observar os tipos de solos encontrados em cada ensaio, os índices de resistência à penetração e as particularidades de cada método, como os coeficientes utilizados em suas fórmulas. De modo a facilitar o entendimento, os resultados dos cálculos a uma profundidade de 9 metros foram resumidos no Apêndice C.

No Quadro 1, por exemplo, é apresentado o cálculo da estimativa de capacidade de carga para o método de Aoki e Velloso (1975) utilizando as informações obtidas no SPT 01. Através das Equações 2, 3 e 4, calcularam-se as resistências lateral (r_l), de ponta (r_p) e total (R), respectivamente, para cada metro de profundidade, para isso foi necessário a aplicação de alguns fatores (α e k , F_1 e F_2), encontrados nas Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

Quadro 1 - Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 01.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 01										
Solo	N _{SPT}	α (%)	K (kPa)	F ₁	F ₂	P ₁	ΣP_1	P _p	R (kN)	R (tf)
Areia	3	2,1	715,89	2,2	2,4	24,21	24,21	214,81	239,01	24,37
Areia	5	2,1	715,89	2,2	2,4	40,34	64,55	515,54	580,08	59,15
Areia	12	2,1	715,89	2,2	2,4	96,82	161,37	601,46	762,83	77,79
Areia	14	2,1	715,89	2,2	2,4	112,96	274,32	730,34	1004,67	102,45
Areia	17	2,1	715,89	2,2	2,4	137,16	411,49	558,50	969,98	98,91
Areia	13	2,1	715,89	2,2	2,4	104,89	516,38	429,61	945,99	96,46
Areia	10	2,1	715,89	2,2	2,4	48,41	564,79	343,69	908,48	92,64
Argila Arenosa	10	3,8	294,20	2,2	2,4	24,00	588,79	141,24	730,03	74,44
Argila Arenosa	8	3,8	294,20	2,2	2,4	48,00	636,78	70,62	707,41	72,13
Argila Arenosa	4	3,8	294,20	2,2	2,4	24,00	660,78	300,14	960,93	97,99
Argila Arenosa	17	3,8	294,20	2,2	2,4	51,00	711,78	1059,32	1771,11	180,60
Areia	17	2,1	715,89	2,2	2,4	68,58	780,37	2577,68	3358,05	342,42
Areia	60	2,1	715,89	2,2	2,4	145,23	925,60	2577,68	3503,28	357,23

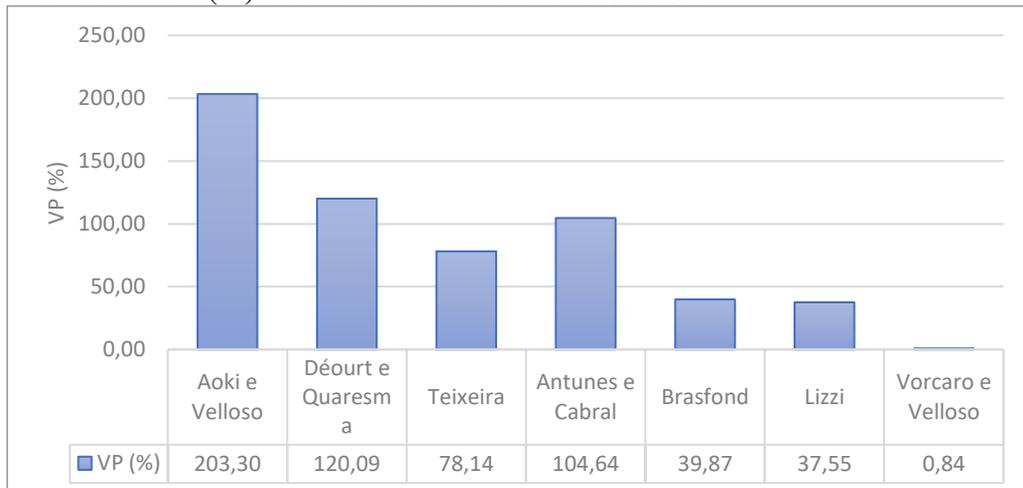
Fonte: Autora (2019)

Observando o Quadro 1 é possível chegar à conclusão que o valor da capacidade de carga encontrado nesse ensaio para o método de Aoki e Velloso (1975) foi de 960,93 kN, ou 97,99 tf.

4.2 Análise de cada SPT isolado

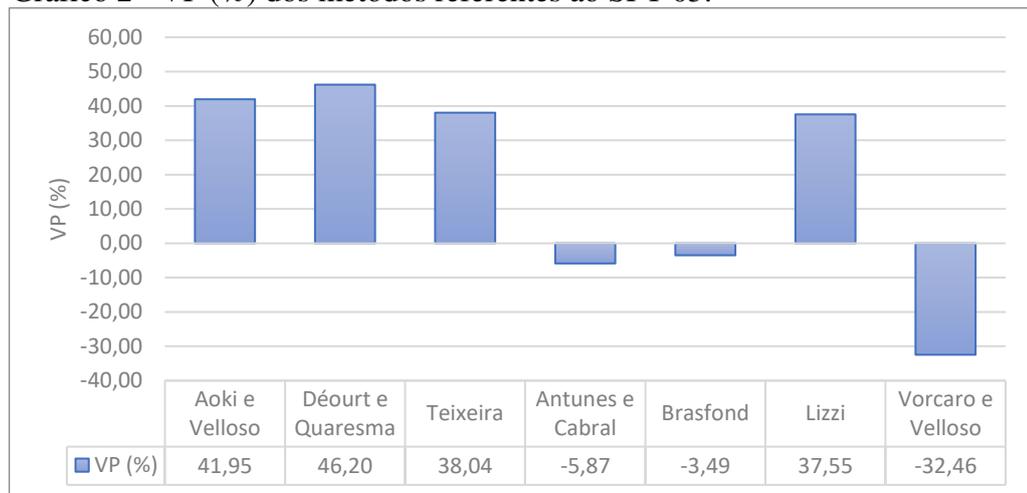
Foram realizadas análises para todos os ensaios, utilizando o parâmetro VP (%), encontrado na Equação 29, assim como foram feitos gráficos, que podem ser encontrados no Apêndice D, para a melhor visualização das diferenças encontradas. Através deles é possível observar que, em alguns ensaios a variação entre os valores é relativamente baixa, como o SPT 05 (-3,49% à 46,20%), presente no Gráfico 2, e em outros a diferença é bastante elevada, como no SPT 02 (0,84% à 203,20%), exibido no Gráfico 1. Indicando assim, uma alta variabilidade dos resultados.

Gráfico 1 - VP (%) dos métodos referentes ao SPT 02.



Fonte: Autora (2019)

Gráfico 2 - VP (%) dos métodos referentes ao SPT 05.

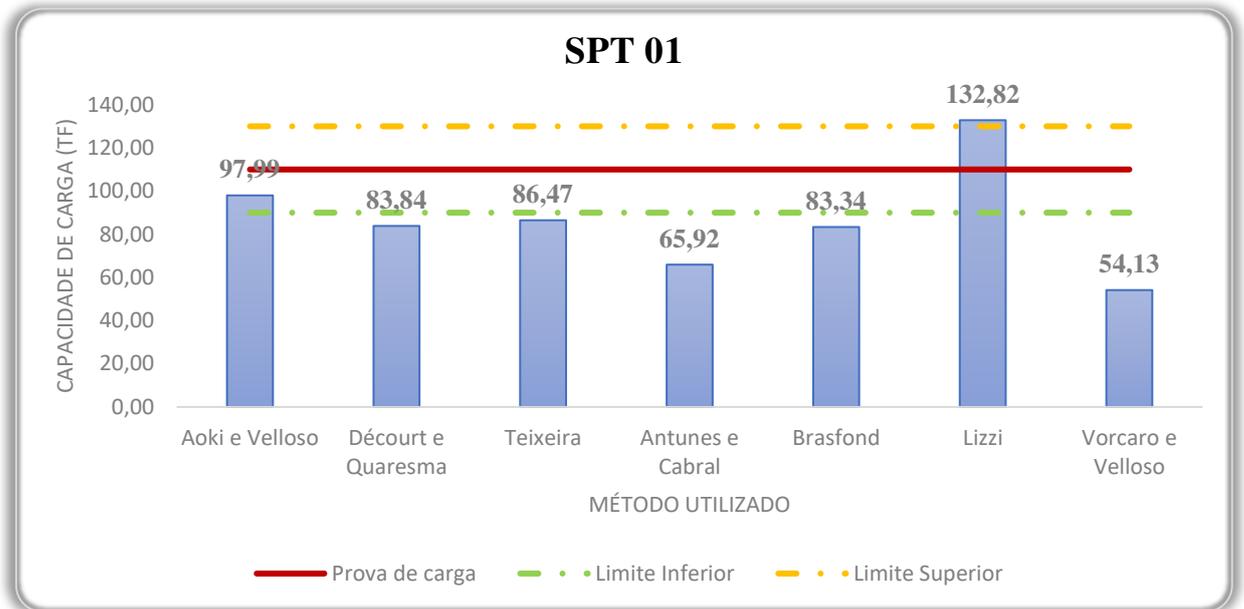


Fonte: Autora (2019)

4.3 Comparativo geral

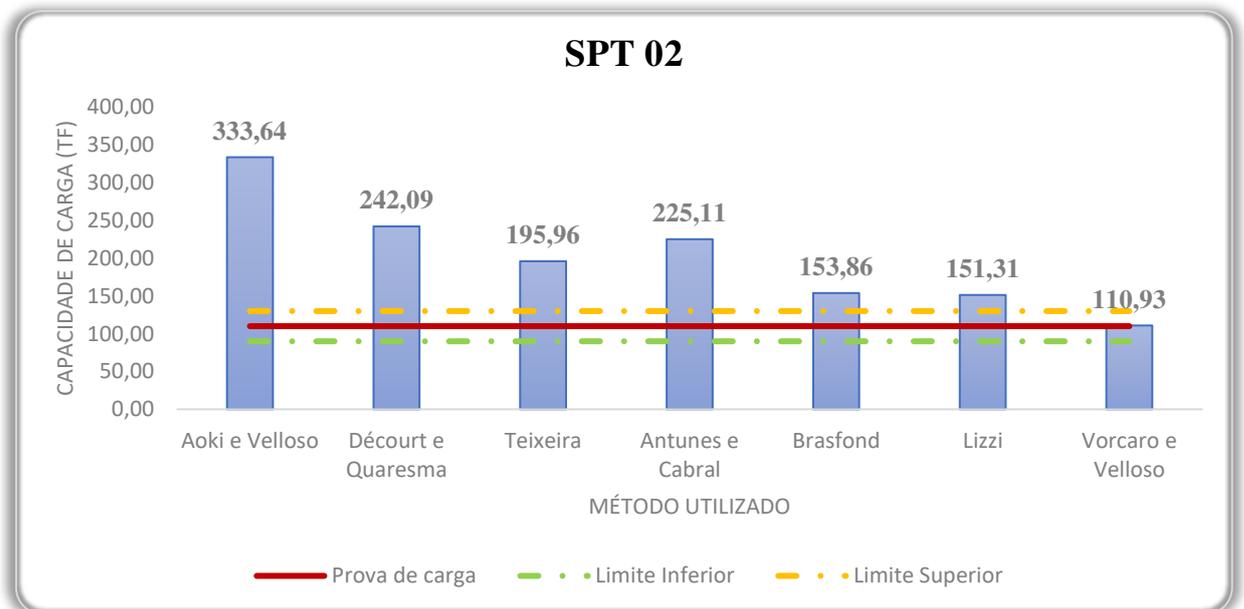
Inicialmente, através de uma análise do Gráfico 3 a Gráfico 10, foi possível observar que os métodos de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978), Teixeira (1996) e Vorcaro e Velloso (2000) apresentaram em 3 dos 8 ensaios uma variação aceitável dos valores relacionados à prova de carga estática, considerando um desvio-padrão de 20 tf para mais e para menos. Os demais métodos apresentaram uma discrepância considerável em mais de 75% dos SPT's utilizados.

Gráfico 3 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 01.



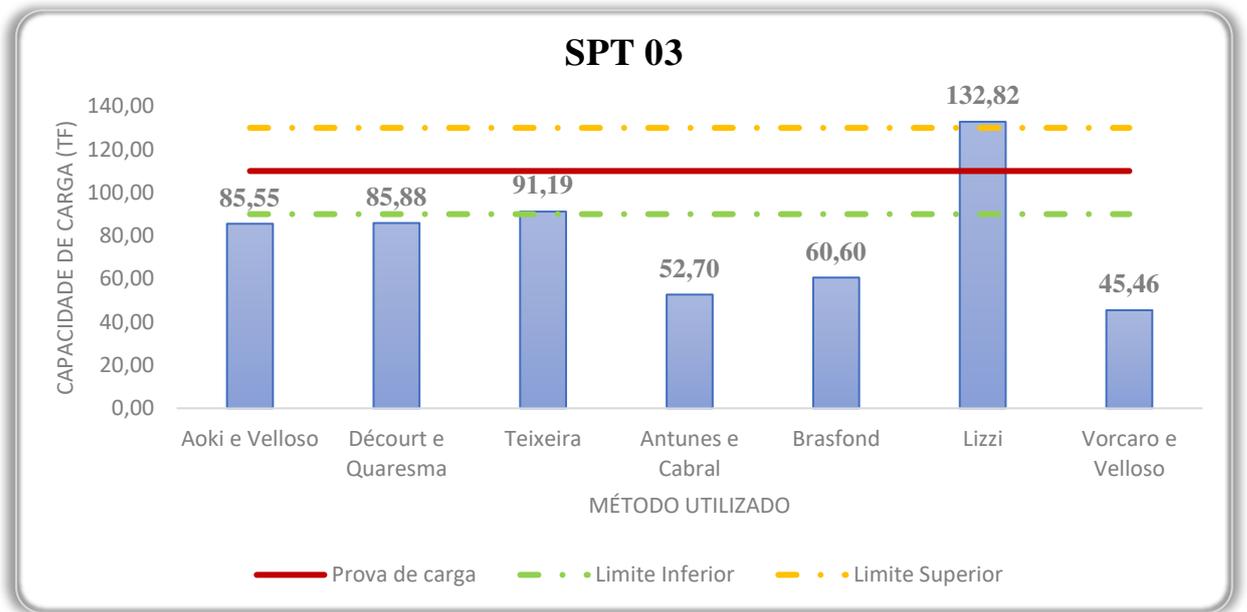
Fonte: Autora (2019)

Gráfico 4 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 02.



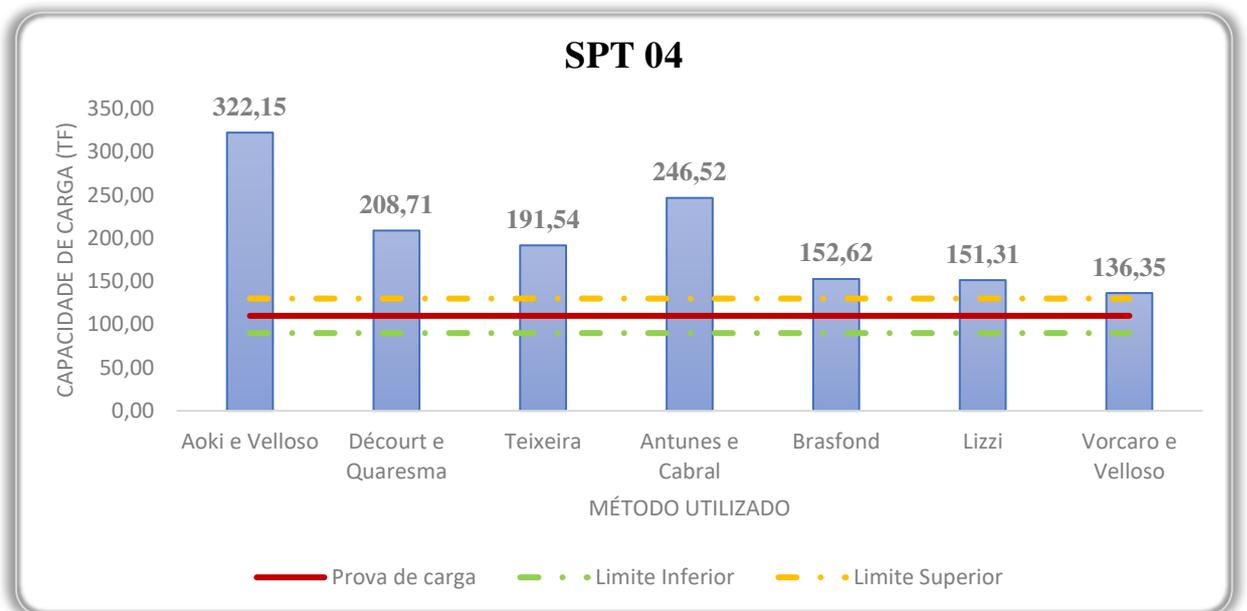
Fonte: Autora (2019)

Gráfico 5 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 03.



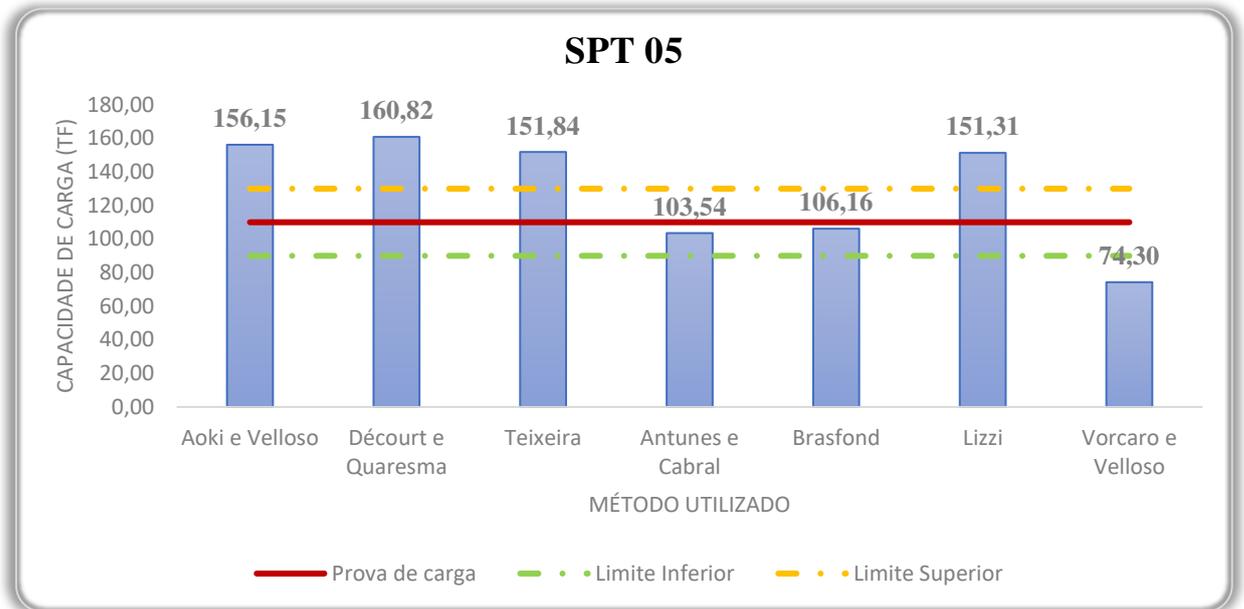
Fonte: Autora (2019)

Gráfico 6 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 04.



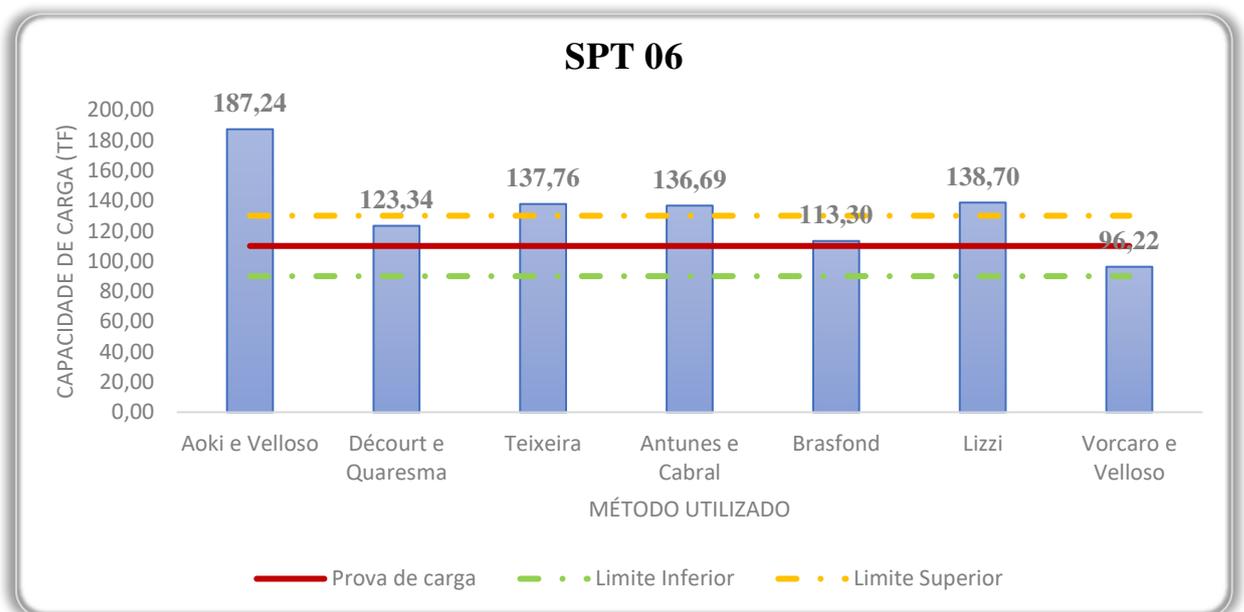
Fonte: Autora (2019)

Gráfico 7 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 05.



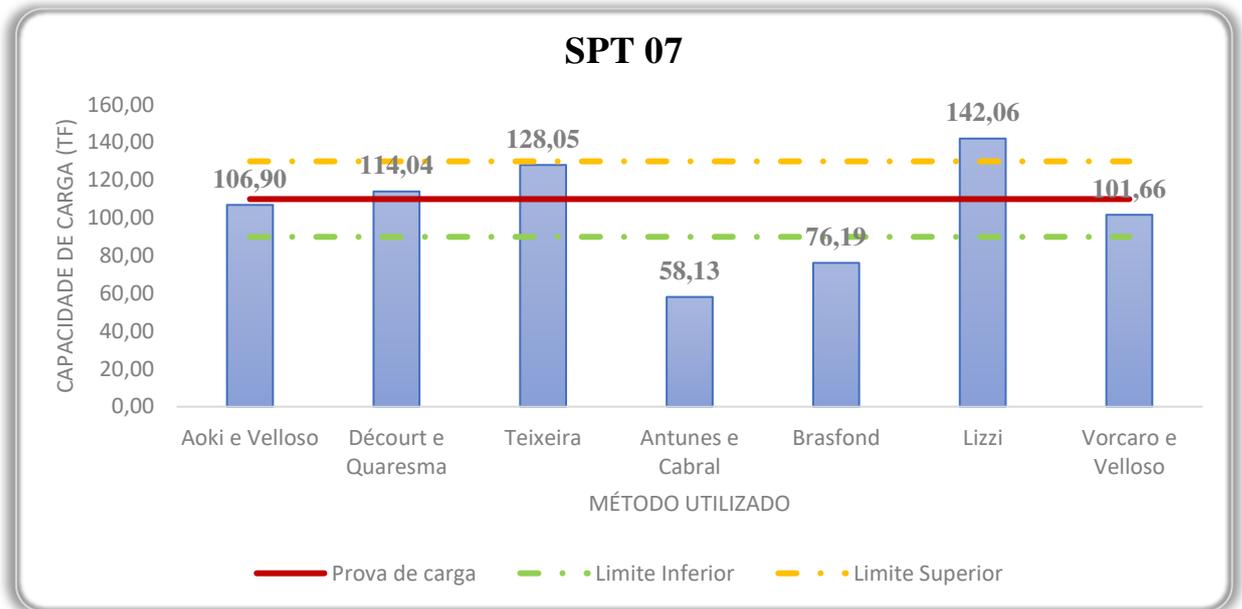
Fonte: Autora (2019)

Gráfico 8 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 06.



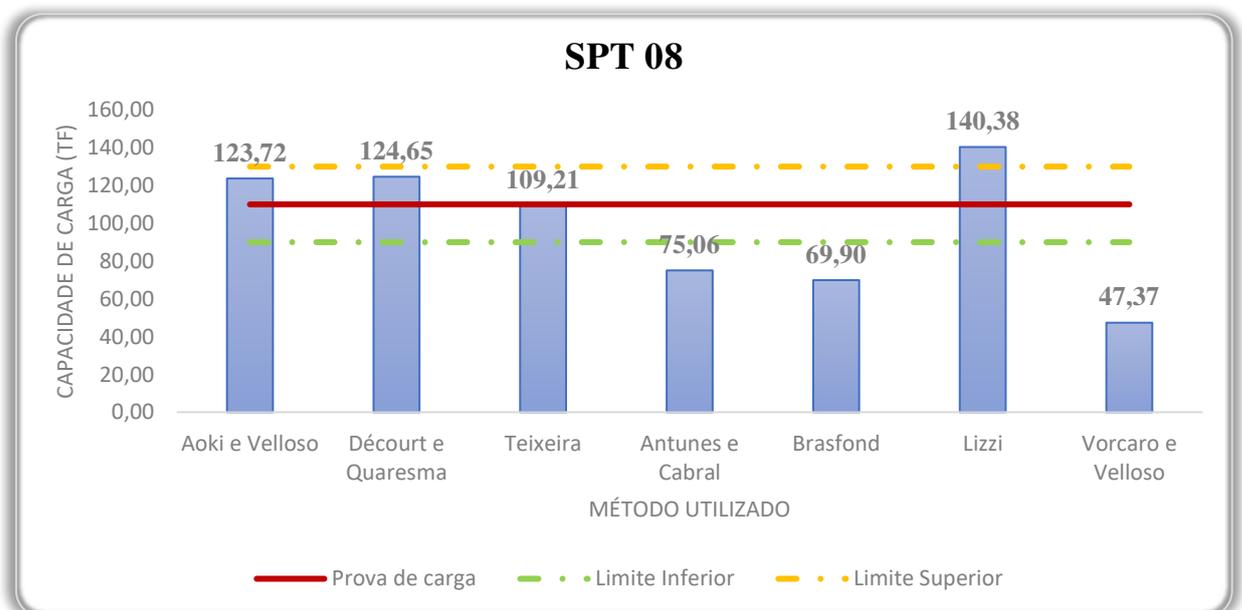
Fonte: Autora (2019)

Gráfico 9 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 07.



Fonte: Autora (2019)

Gráfico 10 - Comparativo entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga em estacas para o SPT 08.



Fonte: Autora (2019)

Vale ressaltar ainda que nos SPT's 02 e 04 todos os valores calculados excederam o valor da prova de carga, ficando apenas Vorcaro e Velloso (2000), do SPT 02, no intervalo de ± 20 tf mencionado anteriormente, sendo este considerado o método menos conservador

nesse estudo. Por outro lado, há as formulações de Aoki e Velloso (1975) e Lizzi (1982) atingindo os maiores valores de capacidade de carga, chegando a diferenças percentuais de 203,30% e 37,55%, respectivamente.

A Tabela 21 apresenta o resultado do cálculo do Viés e REQM para cada método em questão e, através dela é possível notar pela análise do REQM que, Brasfond (1991) e Lizzi (1982), de forma geral foram aqueles que obtiveram resultados mais próximos do valor da prova de carga, Vorcaro e Velloso (2000) e Teixeira (1996) apresentaram valores próximos a esses métodos e finalmente, Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996) apresentaram as maiores divergências dos valores do ensaio de prova.

Tabela 21 - Comparativo entre métodos

Método	Viés (tf)	REQM (tf)
Aoki e Velloso	66,67	114,05
Décourt e Quaresma	32,92	62,70
Teixeira	26,50	47,16
Antunes e Cabral	10,46	72,27
Brasfond	-8,00	34,76
Lizzi	32,59	33,42
Vorcaro e Velloso	-26,70	40,98

Fonte: Autora (2019)

Além disso, segundo valores de Viés, os métodos de Brasfond (1991) e Vorcaro e Velloso (2000) subestimaram os valores de capacidade de carga, enquanto as demais metodologias superestimaram.

Porém, através da Tabela 22, onde são exibidos os valores de média e desvio-padrão para todas as formulações empregadas nesse estudo, é possível observar que no método de Aoki e Velloso (1975) ocorreu a maior discrepância entre a média e o resultado da prova de carga, além de apresentar, também, o maior desvio-padrão se comparado às outras metodologias.

Tabela 22 - Média e desvio-padrão dos métodos.

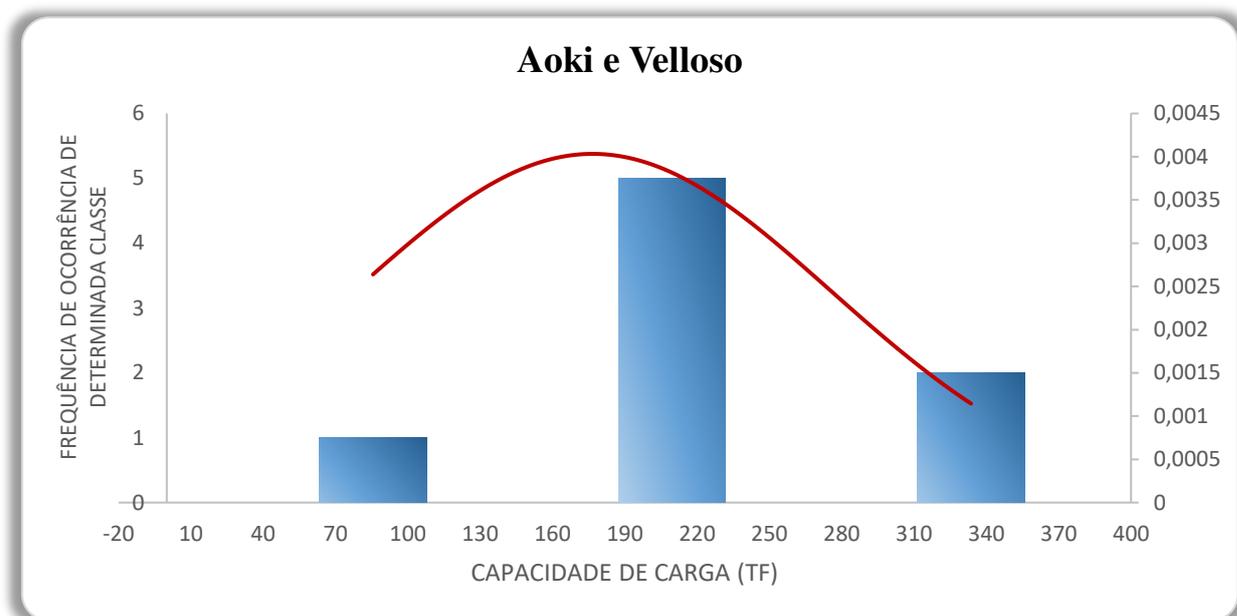
Método	Média	Desvio-padrão
Aoki e Velloso	176,67	98,92
Décourt e Quaresma	142,92	57,04
Teixeira	136,50	41,70
Antunes e Cabral	120,46	76,44
Brasfond	102,00	36,17
Lizzi	142,59	7,92
Vorcaro e Velloso	83,30	33,24

Fonte: Autora (2019)

4.4 Comparativo baseado nas distribuições de probabilidade

Baseado nos valores das capacidades de carga encontradas em cada um dos métodos utilizados foram produzidos gráficos de distribuição de probabilidades, exibidos no Apêndice E, para avaliar qual a aproximação de cada formulação relacionada à prova de carga. O Gráfico 11 representa essa distribuição para o método de Aoki e Velloso (1975).

Gráfico 11 - Distribuição normal de probabilidade para Aoki e Velloso (1975).



Fonte: Autora (2019)

Para esse método, a média encontrada foi, aproximadamente, 176,6 tf, com um desvio-padrão aproximado de 98,9 tf. Após uma análise do Gráfico 11 e, utilizando a Tabela Z (presente no Anexo B), que serve para determinar a área abaixo da curva dentro de determinado intervalo, verifica-se que, em Aoki e Velloso, determinou-se uma porcentagem de 26,73% de chance de a capacidade de carga se encontrar entre a média obtida e o valor da prova de carga. Além disso, observa-se que há a possibilidade de 13,39% de o valor calculado para a capacidade de carga ocorrer para um desvio-padrão de 20 tf para mais e para menos de 110 tf, ou seja, entre 90 e 130 tf.

A mesma análise foi realizada para os outros métodos, a Tabela 23 mostra os resultados comparativos, sendo dividida em três colunas, a primeira lista os métodos utilizados, a segunda se trata da probabilidade do valor calculado da capacidade de carga se encontrar entre

a média e o valor encontrado na prova de carga. O segundo exhibe a chance desse valor estar entre 90 e 130 tf, ou seja, considera-se um desvio-padrão de 20 tf para mais e para menos.

Tabela 23 - Análise comparativa

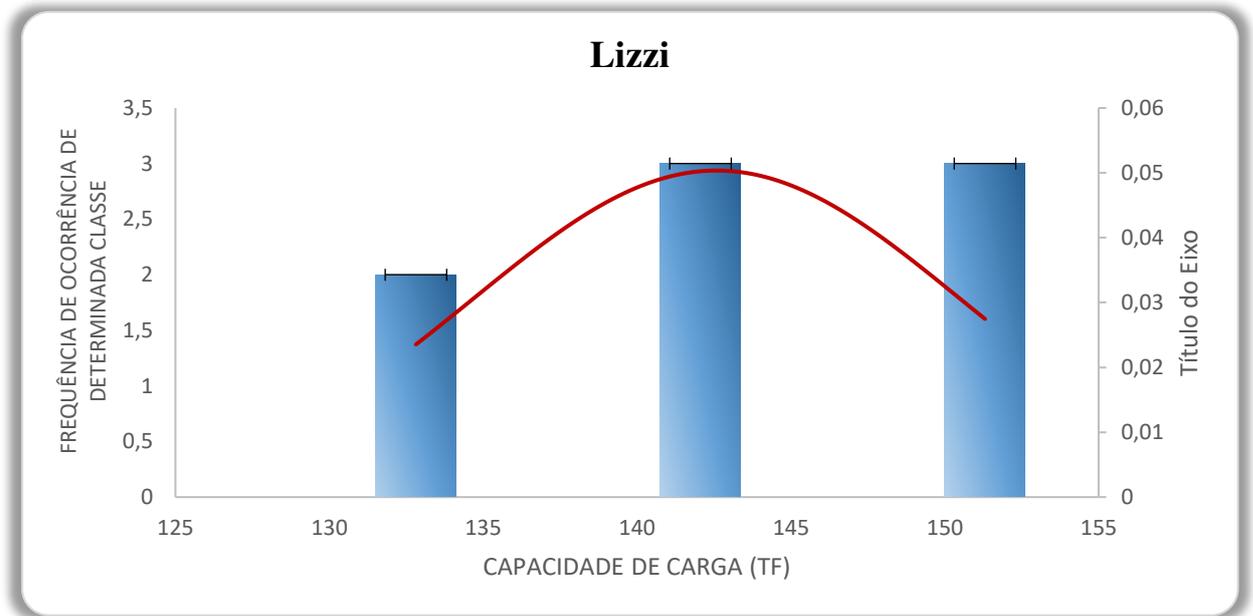
Método	Média (%)	Entre 90 e 130 (%)
Aoki e Velloso (1975)	26,73	13,39
Décourt e Quaresma (1978)	23,89	23,35
Teixeira (1996)	25,80	26,22
Antunes e Cabral (1996)	7,53	20,91
Brasfond (1991)	3,59	39,88
Vorcaro e Velloso (2000)	28,52	34,24

Fonte: Autora (2019)

Foi possível observar que, em Antunes e Cabral (1996) e Brasfond (1991), os valores da média são relativamente baixos, representando uma boa aproximação entre a média calculada dos ensaios e o valor da prova de carga. O mesmo não ocorre nos outros métodos, onde esses valores se encontram acima de 20%. Além disso, analisando a terceira coluna da Tabela 23, nota-se que Brasfond (1991) e Vorcaro e Velloso (2000) obtiveram resultados acima de 30% do valor da prova de carga, enquanto os outros três métodos obtiveram pouco mais de 20%.

O método de Lizzi (1982) não foi mencionado na Tabela 23 pois o valor de sua média apresentou-se elevado, podendo ser observado na Tabela 22, bem como o valor mínimo encontrado nos cálculos de capacidade de carga, portanto essa formulação não se encaixa nos padrões de análises estatísticas realizados anteriormente. A distribuição de probabilidade para esse método pode ser observada no Gráfico 12.

Gráfico 12 - Distribuição normal de probabilidade para Lizzi (1985).



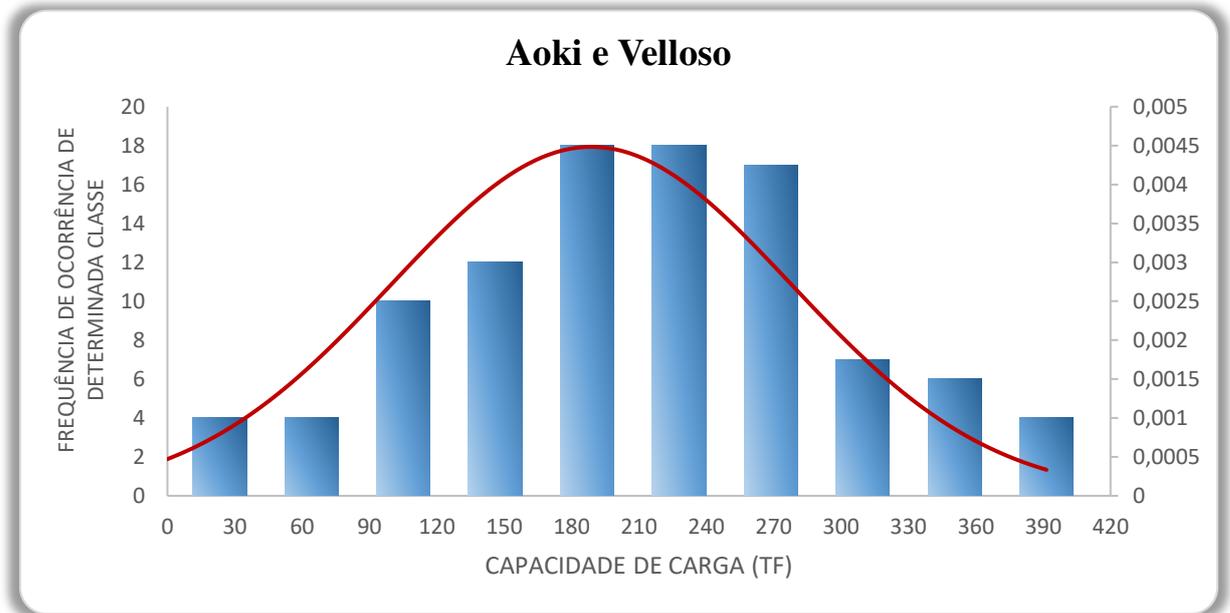
Fonte: Autora (2019)

4.5 Utilização de variáveis aleatórias

Devido à pequena quantidade de dados disponíveis para a execução de uma distribuição de probabilidade precisa, viu-se a necessidade de um método bastante utilizado na engenharia geotécnica: geração de variáveis aleatórias, utilizando como parâmetros iniciais a média e o desvio-padrão das amostras iniciais.

Sendo assim, o Gráfico 13 representa essa distribuição de probabilidade para o método de Aoki e Velloso (1975), onde observa-se, através da curva pouco acentuada, que o desvio padrão dessa amostra é relativamente alto, como ilustrado na Tabela 22. No Apêndice F encontram-se os gráficos referentes a todos os métodos de estudo.

Gráfico 13 – Distribuição de probabilidade para Aoki e Velloso (1975) utilizando variáveis aleatória



Fonte: Autora (2019)

Analisando a Tabela 24 e a Tabela Z, para esse método determinou-se uma probabilidade de, aproximadamente 30,50% de o resultado da capacidade de carga ser encontrado entre a média obtida pelos cálculos do método de Aoki e Velloso (1975) e o valor obtido na prova de carga estática. Considerando, ainda que, para um intervalo de ± 20 tf de 110 tf, há uma possibilidade de ocorrência de 8,65%.

Tabela 24 - Análise comparativa para distribuição de variáveis aleatórias.

Método	Média (%)	Entre 90 e 130 (%)
Aoki e Velloso (1975)	30,51	8,65
Décourt e Quaresma (1978)	20,19	23,92
Teixeira (1996)	28,23	25,95
Antunes e Cabral (1996)	4,38	8,86
Brasfond (1991)	1,99	40,68
Vorcaro e Velloso (2000)	27,64	34,56

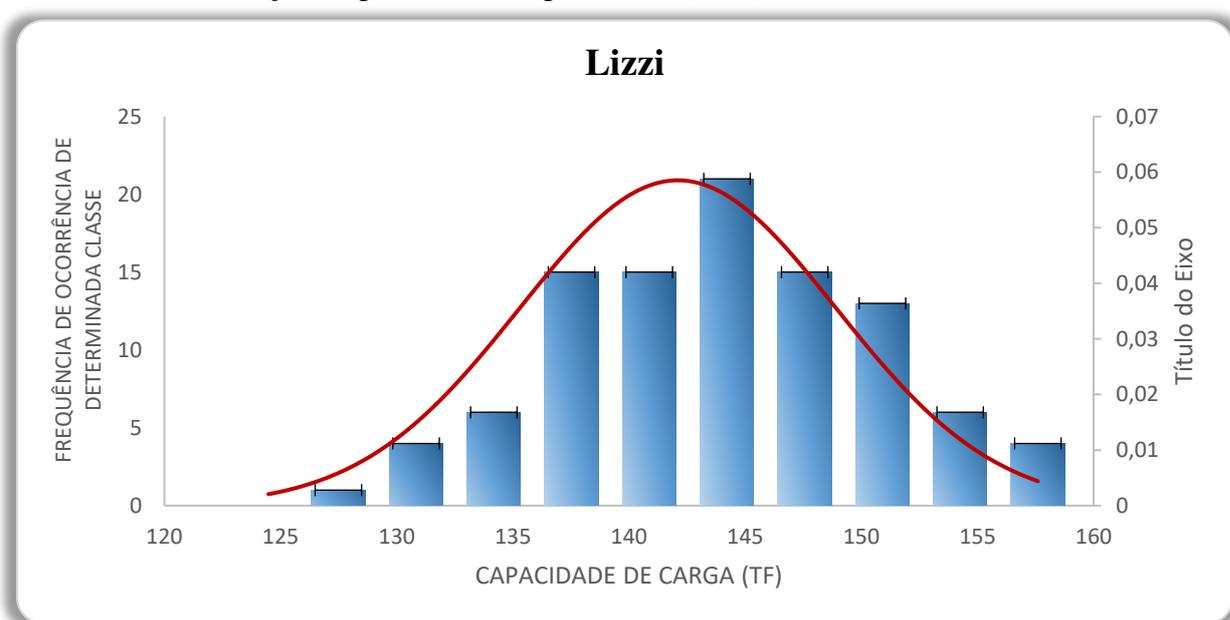
Fonte: Autora (2019)

Além disso, a mesma constatação do item 4.3 observada, ou seja, verifica-se que os métodos de Brasfond (1991) e Antunes e Cabral (1996) possuem uma melhor aproximação entre a média e o valor encontrado na prova de carga estática, 1,99% e 4,38%, respectivamente. É também possível concluir que os outros métodos exibidos apresentaram elevada diferença entre a média e 110 tf.

Por outro lado, através da observação da terceira coluna da Tabela 24, constata-se que Brasfond (1991) e Vorcaro e Velloso (2000) possuem maiores chances de obter valores entre, 90 tf e 130 tf. Os demais métodos apresentam probabilidades menores.

Da mesma forma que no item anterior, a formulação proposta do Lizzi (1982) não se encontra na Tabela 24 por possuir elevadas capacidades de carga média e por todos seus valores ultrapassarem o valor da prova de carga estática. Portanto, no Gráfico 14 pode-se observar que o valor mínimo obtido é, aproximadamente, 124 tf.

Gráfico 14 - Distribuição de probabilidade para Lizzi (1982) utilizando variáveis aleatórias



Fonte: Autora (2019)

4.6 Comparação entre as duas distribuições

A distribuição de variáveis aleatórias é uma ferramenta bastante útil quando há a presença poucos dados para análise, porém é necessário observar se sua aplicação é viável, ou seja, se as informações iniciais não serão deturpadas. Nesse cenário, as tabelas de Tabela 25 a Tabela 31, foram elaboradas para fazer uma comparação entre essas distribuições.

Nos métodos em geral, a média e o desvio-padrão apresentaram baixa distorção, como pode ser observado por exemplo na Tabela 30, onde os resultados basicamente coincidiram. Porém, os valores máximo e mínimo em todas as formulações apresentaram elevadas discrepâncias, alguns sendo, inclusive, negativos, como na Tabela 25, Tabela 26 e

Tabela 28, nos métodos de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996).

Tabela 25 - Comparação entre distribuições para o método de Aoki e Velloso (1975).

Parâmetro	Amostra inicial	Variáveis aleatórias
Média	176,67	180,21
Desvio-Padrão	98,92	110,87
Mínimo	85,55	-49,65
Máximo	333,64	525,00

Fonte: Autora (2019)

Tabela 26 - Comparação entre distribuições para o método de Décourt e Quaresma (1978)

Parâmetro	Amostra inicial	Variáveis aleatórias
Média	142,92	140,61
Desvio-Padrão	57,04	57,35
Mínimo	83,84	-9,86
Máximo	242,094	291,07

Fonte: Autora (2019)

Tabela 27 - Comparação entre distribuições para o método de Teixeira (1996).

Parâmetro	Amostra inicial	Variáveis aleatórias
Média	136,50	134,72
Desvio-Padrão	41,70	40,75
Mínimo	86,47	40,88
Máximo	195,96	249,41

Fonte: Autora (2019)

Tabela 28 - Comparação entre distribuições para o método de Antunes e Cabral (1996).

Parâmetro	Amostra inicial	Variáveis aleatórias
Média	120,46	118,98
Desvio-Padrão	76,44	72,76
Mínimo	52,70	-66,24
Máximo	246,52	270,53

Fonte: Autora (2019)

Tabela 29 - Comparação entre distribuições para o método de Brasfond (1991).

Parâmetro	Amostra inicial	Variáveis aleatórias
Média	102,00	107,96
Desvio-Padrão	36,17	37,22
Mínimo	60,60	4,17
Máximo	153,86	196,37

Fonte: Autora (2019)

Tabela 30 - Comparação entre distribuições para o método de Lizzi (1982).

Parâmetro	Amostra inicial	Variáveis aleatórias
Média	142,59	142,21
Desvio-Padrão	7,92	6,82
Mínimo	132,82	124,14
Máximo	151,31	157,60

Fonte: Autora (2019)

Tabela 31 - Comparação entre distribuições para o método de Vorcaro e Velloso (2000).

Parâmetro	Amostra inicial	Variáveis aleatórias
Média	83,30	84,19
Desvio-Padrão	33,24	33,57
Mínimo	45,46	11,08
Máximo	136,35	170,02

Fonte: Autora (2019)

Além disso, através de comparações entre a Tabela 23 e a Tabela 24 percebe-se que as áreas abaixo das curvas demonstram pequena diferença, tanto no cálculo entre a média e o valor da PCE, como nos valores entre 90 e 130 tf. Portanto, conclui-se que é possível sim haver uma análise eficiente através da geração de variáveis aleatórias.

5 CONCLUSÃO

A princípio foram consultados diversos livros técnicos e artigos científicos em busca de metodologias de previsão de capacidade de carga mais adequadas para esse estudo, sendo escolhidas, assim, as formulações de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978), Teixeira (1996), Antunes e Cabral (1996), Brasfond (1991), Lizzi (1982) e Vorcaro e Velloso (2000).

Os cálculos para esses métodos foram realizados utilizando o resultado de 8 (oito) ensaios *Standard Penetration Test* (SPT), observando, assim que Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978), Teixeira (1996) e Vorcaro e Velloso (2000) exibiram a maior quantidade (em 3 ensaios) de valores dentro do intervalo de ± 20 tf do valor da prova de carga, informação essa reforçada nos gráficos referentes ao VP (%).

Apesar disso, Vorcaro e Velloso (2000) se mostrou bastante conservador, visto que 75% de seus resultados se encontraram bem abaixo do valor da PCE, sendo seu valor mínimo de, apenas, 45,46 tf. Lizzi (1982), por outro lado, apresentou-se como a formulação de menor segurança, obtendo valores elevados em todos os ensaios.

Observando, agora, a média das capacidades de carga encontradas nas formulações para cada SPT, nota-se que Brasfond (1991) e Antunes e Cabral (1996) apresentaram maior aproximação do valor da prova de carga, porém este último, acompanhado de Aoki e Velloso (1975) demonstraram as maiores variâncias em seus resultados, uma vez que seus desvios-padrão dispuseram de altos valores. As demais formulações, no entanto, apresentaram maior uniformidade.

Além disso, a partir cálculos de capacidade de carga foram realizadas análises estatísticas para a avaliação desses métodos, como a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), onde verificou-se que Aoki e Velloso (1975) e Antunes e Cabral apresentaram as maiores divergências dos valores do ensaio de prova de carga, e o Viés, constatando que Brasfond (1991) e Vorcaro e Velloso (2000) subestimaram os valores de capacidade de carga.

Considerando agora, as distribuições de probabilidade para as amostras iniciais, ou seja, os resultados encontrados nos cálculos de cada método, verifica-se uma boa aproximação entre o valor da PCE e a média das capacidades de carga nos métodos de Antunes e Cabral (1996) e Brasfond (1991). Ademais, Brasfond (1991) e Vorcaro e Velloso (2000) apresentaram as maiores probabilidades, dentre os métodos analisados, de suas previsões se encontrarem em um intervalo de ± 20 tf do valor da prova de carga.

Nesse caso, a formulação proposta por Lizzi (1982) foi descartada, uma vez que sua média se mostrou bastante elevada (aproximadamente 142,59 tf), não entrando, portanto, no intervalo analisado.

Para uma maior abrangência da curva de distribuição de probabilidade, foi utilizado um método de grande relevância na engenharia de fundações, a geração de variáveis aleatórias. Através dela foi possível a elaboração de gráficos contendo uma maior base de dados para análise dos resultados, sendo assim, foi possível fazer comparações entre esses gráficos e aqueles obtidos na análise das amostras iniciais.

Observou-se então, que parâmetros como a média e o desvio-padrão apresentaram baixas distorções, alcançando diferença máxima no método de Brasfond (1991), sendo de, aproximadamente, 5 tf para a média. No entanto, observou-se grandes discrepâncias entre os máximos e mínimos gerados, sendo atingido, inclusive, valores negativos. Por outro lado, pela análise de alguns intervalos, verificaram-se similaridades entre as áreas abaixo das curvas, ou seja, na probabilidade de o valor calculado encontrar-se dentro desse intervalo. Portanto, é possível afirmar que o processo de análise através da geração de variáveis aleatórias demonstra eficiência apesar de demandar atenção com os valores máximo e mínimo.

O método de Lizzi (1982) superestima a capacidade de carga e apresenta o pior desempenho dentre as metodologias citadas, obtendo uma média de capacidade de carga bastante elevada e, conseqüentemente, baixa probabilidade de atingir o valor encontrado na prova de carga estática. Fato esse comprovado na observação dos gráficos referentes ao VP (%), onde se nota que em todos os ensaios Lizzi (1982) obteve resultados acima de 110 tf, sendo esta, a única formulação a qual excede este valor em todos os ensaios.

Portanto, considerando todos os cálculos e análises feitos nesse trabalho, considera-se Brasfond (1991) como o método mais indicado, já que alcança bons resultados na maior parte das análises e se mostra eficaz na previsão de estimativa de capacidade de carga de uma estaca tipo raiz. Além deste, a metodologia de Vorcaro e Velloso (2000) se destacou por obter resultados bem próximos ao da PCE em alguns ensaios SPT, por apresentar baixo REQM e apresentar uma boa probabilidade (aproximadamente 34%) de alcançar estimativas dentro de um intervalo de ± 20 tf.

Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978), em geral encontraram resultados bastante elevados, assim como Lizzi (1982) mencionado anteriormente, não atendendo, portanto, aos requisitos de segurança.

Vale ressaltar que a variabilidade do solo no terreno em que foram feitos os ensaios encontra-se bem evidente quando se observam os cálculos de capacidade de carga, observando

por exemplo o SPT 02 e o SPT 03 notam-se excessivas discrepâncias entre ambos, onde o primeiro exhibe valores elevados e o segundo bem abaixo do esperado para todos os métodos.

É válido ressaltar que em cada método são realizadas considerações por seus respectivos autores, de modo que seja possível abranger uma variabilidade maior de solos. Além disso, essas formulações são, em sua maioria baseadas em ensaios SPT, apresentando, portanto, incertezas em suas previsões devido à dispersão dos resultados. Dessa forma, as distribuições de probabilidade permitem analisar os resultados de maneira mais aproximada da realidade, visto que, não se analisam valores únicos, mas sim uma distribuição dos mesmos.

Logo, nesse trabalho foi possível observar que análises probabilísticas fornecem métodos eficientes de análises dos resultados de capacidade de carga em estacas, tornando possível fazer estimativas mais precisas do valor da PCE.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercícios de fundações**.14.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 201p., il.
- ANTUNES, W.R.; CABRAL, D.A. (1996). *Capacidade de carga de estacas hélice contínua*, 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, SEFE III, ABEF/ABMS, São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036 - Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro, 1983.
- 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 6122 - Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9607 – Programa de carga estática em estruturas de concreto: Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2019.
- BARROS, Nestor Benedito Fracasse de. **Previsão de recalque e análise de confiabilidade de fundações em estacas hélice contínua**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- BEUREN, I. M.; RAUPP, F. M. **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade. Teoria e prática**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- BRASFOND. Catálogo técnico sobre estacas raiz. Guarulhos, 1991.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; TSUHA, C. DE H. C.; GIACHETI, H. L. **Fundações: Ensaio estáticos e dinâmicos**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- DÉCOURT, L., ALBIERO, J. H. e CINTRA, J. C. A., (1998) **Análise de Projeto de Fundações Profundas. Fundações: teoria e prática**. Hachich, W., Falconi, F. F., Saes, J. L., Frota, R. G. Q., Carvalho, C. S., Niyama, S., 2. ed., Editora PINI Ltda, São Paulo, SP.
- DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. **Capacidade de Carga de estacas a partir de Valores de SPT**. 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia de Fundações, Rio de Janeiro, anais, v. 1, 1978.
- JOPPERT JR, IVAN. **Fundações e contenções de edifícios – qualidade total na gestão do projeto e execução**. 1.ed. São Paulo: PINI, 2007. 221p. il.
- LIMA, M. J. **Prospecção geotécnica do subsolo**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1979.

MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de Estruturas: Conceitos e métodos básicos**. 2ª ed. Rio de Janeiro – RJ: Elsevier, 2010. 524 p.

MONTEIRO, F. F. **Desenvolvimento de uma proposta para o controle executivo de estacas do tipo raiz**. 128p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

OLIVEIRA, C. R. DE; MORENO JUNIOR, A. L. Considerações sobre prova de carga em estruturas de concreto. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 1, p. 29–36, 2007.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento**. 4ª ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2008.

RICHARDSON, R. J. et al. 3 ed. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo - 2ª Edição**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

TEIXEIRA, A. H. (1996). *Projeto e execução de fundações*, Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, SEFE III, v. 1, São Paulo.

VELLOSO, D; LOPES, F. **Concepções de obras de fundações. In: Fundações Teoria e Prática**. Ed. Pini, 1ª. Ed., 1998

VELLOSO, D. D. A.; LOPES, F. D. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

VORCARO, M. C. **Estimativa da Carga Última Compressiva em Estacas a partir do SPT por Regressão Linear Múltipla**, Tese de Doutorado, COPPE – UFRJ, 2000.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; YE, K. *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. 9ª ed. New York: Pearson, 2011.

APÊNDICE A - CÁLCULO DAS CAPACIDADES DE CARGA PARA CADA MÉTODO E SPT UTILIZADOS.

Quadro A 1. Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 01.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 01										
Solo	N_{SPT}	α (%)	K (kPa)	F₁	F₂	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	3	2,1	715,89	2,2	2,4	24,21	24,21	214,81	239,01	24,37
Areia	5	2,1	715,89	2,2	2,4	40,34	64,55	515,54	580,08	59,15
Areia	12	2,1	715,89	2,2	2,4	96,82	161,37	601,46	762,83	77,79
Areia	14	2,1	715,89	2,2	2,4	112,9	274,32	730,34	1004,67	102,45
Areia	17	2,1	715,89	2,2	2,4	137,1	411,49	558,50	969,98	98,91
Areia	13	2,1	715,89	2,2	2,4	104,8	516,38	429,61	945,99	96,46
Areia	10	2,1	715,89	2,2	2,4	48,41	564,79	343,69	908,48	92,64
Argila Arenosa	10	3,8	294,20	2,2	2,4	24,00	588,79	141,24	730,03	74,44
Argila Arenosa	8	3,8	294,20	2,2	2,4	48,00	636,78	70,62	707,41	72,13
Argila Arenosa	4	3,8	294,20	2,2	2,4	24,00	660,78	300,14	960,93	97,99
Argila Arenosa	17	3,8	294,20	2,2	2,4	51,00	711,78	1059,32	1771,11	180,60
Areia	17	2,1	715,89	2,2	2,4	68,58	780,37	2577,68	3358,05	342,42
Areia	60	2,1	715,89	2,2	2,4	145,2	925,60	2577,68	3503,28	357,23

Quadro A 2. Planilha de cálculo do método de Décourt e Quaresma (1978) para o SPT 01.

DÉCOURT E QUARESMA (1978) - SPT 01										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	C (kPa)	α	β	P₁ (kN)	P_p (kN)	R (kN)	R (tf)
Areia	3	3,0	4,0	400	0,5	1,5	38,64	105,62	144,26	14,71
Areia	5	4,0	6,7	400	0,5	1,5	90,16	176,03	266,20	27,14
Areia	12	6,7	10,3	400	0,5	1,5	186,77	272,85	459,62	46,87
Areia	14	8,5	14,3	400	0,5	1,5	296,25	378,47	674,73	68,80
Areia	17	10,2	14,7	400	0,5	1,5	425,06	387,27	812,33	82,83
Areia	13	10,7	13,3	400	0,5	1,5	528,10	352,07	880,17	89,75
Areia	10	10,6	11,0	400	0,5	1,5	576,86	290,46	867,32	88,44
Argila Arenosa	10	10,5	9,3	120	0,6	1,5	608,61	88,72	697,33	71,11
Argila Arenosa	8	10,2	7,3	120	0,6	1,5	681,24	69,71	750,95	76,57
Argila Arenosa	4	9,6	9,7	120	0,6	1,5	730,33	91,89	822,22	83,84
Argila Arenosa	17	10,3	12,7	120	0,6	1,5	812,06	120,41	932,47	95,08
Areia	17	10,8	31,3	400	0,5	1,5	890,90	827,36	1718,26	175,21
Areia	60	14,6	45,7	400	0,5	1,5	1168,51	1205,83	2374,34	242,11

Quadro A 3. Planilha de cálculo do método de Teixeira (1996) para o SPT 01.

TEIXEIRA (1996) - SPT 01									
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α	β (kPa)	P₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	3	3,0	4,0	260	6	23,18	137,31	160,49	16,37
Areia	5	4,0	6,7	260	6	61,83	228,84	290,67	29,64
Areia	12	6,7	8,5	260	6	154,57	291,78	446,34	45,51
Areia	14	8,5	12,0	260	6	262,76	411,92	674,68	68,80
Areia	17	10,2	14,0	260	6	394,14	480,57	874,72	89,20
Areia	13	10,7	13,5	260	6	494,61	463,41	958,02	97,69
Areia	10	10,6	12,5	260	6	539,22	429,08	968,30	98,74
Argila Arenosa	10	10,5	10,3	140	6	568,03	189,46	757,49	77,24
Argila Arenosa	8	10,2	8,0	140	6	632,00	147,87	779,87	79,52
Argila Arenosa	4	9,6	9,8	140	6	667,73	180,21	847,94	86,47
Argila Arenosa	17	10,3	11,5	140	6	754,21	212,56	966,77	98,58
Areia	17	10,8	24,5	260	6	837,23	841,00	1678,24	171,13
Areia	60	14,6	38,5	260	6	1163,41	1321,57	2484,98	253,40

Quadro A 4. Planilha de cálculo do método de Antunes e Cabral (1996) para o SPT 01.

ANTUNES E CABRAL (1996) - SPT 01										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	β₁ (%)	β₂	P₁	ΣP₁	P_p	Q_u (kN)	Q_u (tf)
Areia	3	3,00	5	4,5	220,65	17,39	17,39	145,66	163,05	16,63
Areia	5	4,00	12	4,5	220,65	23,18	40,57	349,58	390,15	39,78
Areia	12	6,67	14	4,5	220,65	38,64	79,22	407,84	487,05	49,67
Areia	14	8,50	17	4,5	220,65	49,27	128,48	495,23	623,72	63,60
Areia	17	10,20	13	4,5	220,65	59,12	187,60	378,71	566,31	57,75
Areia	13	10,67	10	4,5	220,65	61,83	249,43	291,31	540,75	55,14
Areia	10	10,57	10	4,5	220,65	36,76	286,20	291,31	577,51	58,89
Argila Arenosa	10	10,50	8	2,75	122,58	14,88	301,07	129,47	430,55	43,90
Argila Arenosa	8	10,22	4	2,75	122,58	36,21	337,28	64,74	402,02	40,99
Argila Arenosa	4	9,60	17	2,75	122,58	34,00	371,29	275,13	646,42	65,92
Argila Arenosa	17	10,27	17	2,75	122,58	18,19	389,48	275,13	664,61	67,77
Areia	17	10,83	60	4,5	220,65	31,40	420,88	1747,88	2168,76	221,15
Areia	60	14,62	60	4,5	220,65	25,41	446,29	1747,88	2194,17	223,74

Quadro A 5. Planilha de cálculo do método de Brasfond (1991) para o SPT 01.

BRASFOND (1991) - SPT 01										
Solo	N _{SPT}	N _L	N _p	α (kPa)	β (kPa)	P _i	ΣP_i	P _p	R (kN)	R (tf)
Areia	3	3,0	4,0	270	5	19,32	19,32	142,59	161,91	16,51
Areia	5	4,0	6,7	270	5	25,76	45,08	237,65	282,73	28,83
Areia	12	6,7	10,3	270	5	42,94	88,02	368,35	456,37	46,54
Areia	14	8,5	14,3	270	5	54,74	142,76	510,94	653,70	66,66
Areia	17	10,2	14,7	270	5	65,69	208,45	522,82	731,27	74,57
Areia	13	10,7	13,3	270	5	68,70	277,15	475,29	752,44	76,73
Areia	10	10,6	11,0	270	5	40,85	318,00	392,12	710,11	72,41
Argila Arenosa	10	10,5	9,3	120	5	27,05	345,04	332,70	677,75	69,11
Argila Arenosa	8	10,2	7,3	120	5	65,83	410,88	261,41	672,29	68,55
Argila Arenosa	4	9,6	9,7	120	5	61,83	472,71	344,59	817,29	83,34
Argila Arenosa	17	10,3	12,7	120	5	33,08	505,78	451,53	957,31	97,62
Areia	17	10,8	31,3	270	5	34,88	540,67	1116,94	1657,60	169,03
Areia	60	14,6	38,5	270	5	28,24	568,91	1372,40	1941,31	197,96

Quadro A 6. Planilha de cálculo do método de Lizzi (1982) para o SPT 01.

LIZZI (1982) - SPT 01							
Solo	N _{SPT}	K	I	P _i	ΣP_i	Q _{ult} (kN)	Q _{ult} (tf)
Areia	3	200	0,64	128	128	164,87	16,81
Areia	5	200	0,64	128	256	329,74	33,62
Areia	12	200	0,64	128	384	494,61	50,44
Areia	14	200	0,64	128	512	659,48	67,25
Areia	17	200	0,64	128	640	824,35	84,06
Areia	13	200	0,64	128	768	989,22	100,87
Areia	10	200	0,64	76,8	844,8	1088,15	110,96
Argila Arenosa	10	150	0,64	38,4	883,2	1137,61	116,00
Argila Arenosa	8	150	0,64	96	979,2	1261,26	128,61
Argila Arenosa	4	50	0,64	32	1011,2	1302,48	132,82
Argila Arenosa	17	200	0,64	64	1075,2	1384,91	141,22
Areia	17	200	0,64	64	1139,2	1467,35	149,63
Areia	60	200	0,64	38,4	1177,6	1516,81	154,67

Quadro A 7. Planilha de cálculo do método de Vercaro e Velloso (2000) para o SPT 01.

VORCARO E VELLOSO (2000) - SPT 01									
Solo	N_{SPT}	N_p	N_L	ΔL	XP	XF	ΣXF	Q_{est} (kN)	Q_{est} (tf)
Areia	3	5	3,0	1	0,66	3,86	3,86	15,40	1,57
Areia	5	12	4,0	1	1,58	5,15	9,02	92,31	9,41
Areia	12	14	6,7	1	1,85	8,59	17,60	177,31	18,08
Areia	14	17	8,5	1	2,24	10,95	28,55	286,10	29,17
Areia	17	13	10,2	1	1,72	13,14	41,69	311,82	31,80
Areia	13	10	10,7	1	1,32	13,74	55,43	319,94	32,62
Areia	10	10	10,6	0,6	1,32	8,17	63,60	350,76	35,77
Argila Arenosa	10	8	10,5	0,4	1,06	5,41	69,01	318,28	32,46
Argila Arenosa	8	4	10,2	1	0,53	13,17	82,18	265,62	27,09
Argila Arenosa	4	17	9,6	1	2,24	12,37	94,54	530,85	54,13
Argila Arenosa	17	17	10,3	0,5	2,24	6,62	101,16	553,51	56,44
Areia	17	60	10,8	0,5	7,92	6,98	108,13	1315,98	134,19
Areia	60	60	14,6	0,3	7,92	5,65	113,78	1352,70	137,94

Quadro A 8. Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 02.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 02										
Solo	N_{SPT}	α (%)	K (kPa)	F₁	F₂	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia argilosa	3	2,9	558,98	2,2	2,4	26,10	26,10	100,64	126,74	12,92
Areia argilosa	3	2,9	558,98	2,2	2,4	26,10	52,20	335,45	387,65	39,53
Areia argilosa	10	2,9	558,98	2,2	2,4	87,00	139,20	436,09	575,29	58,66
Areia argilosa	13	2,9	558,98	2,2	2,4	113,10	252,30	570,27	822,57	83,88
Areia argilosa	17	2,9	558,98	2,2	2,4	147,90	400,20	670,90	1071,10	109,22
Areia argilosa	20	2,9	558,98	2,2	2,4	104,40	504,60	670,90	1175,50	119,87
Areia argilosiltosa	20	2,8	529,56	2,2	2,4	63,66	568,26	476,70	1044,95	106,56
Areia argilosiltosa	15	2,8	529,56	2,2	2,4	119,37	687,63	190,68	878,30	89,56
Areia argilosiltosa	6	2,8	529,56	2,2	2,4	28,65	716,27	190,68	906,95	92,48
Areia argilosa	6	2,9	558,98	2,2	2,4	20,88	737,15	2012,71	2749,87	280,41
Areia argilosa	60	2,9	558,98	2,2	2,4	522,00	1259,15	2012,71	3271,86	333,64
Areia argilosa	60	2,9	558,98	2,2	2,4	62,64	1321,79	2012,71	3334,50	340,02

Quadro A 9. Planilha de cálculo do método de Décourt e Quaresma (1978) para o SPT 02.

DÉCOURT E QUARESMA (1978) - SPT 02										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	C (kPa)	α	β	P₁ (kN)	P_p (kN)	R (kN)	R (tf)
Areia argilosa	3	3	3	400	0,6	1,5	38,64	95,06	133,70	13,63
Areia argilosa	3	3	5,333	400	0,6	1,5	77,28	168,99	246,28	25,11
Areia argilosa	10	5,333	8,666	400	0,6	1,5	161,01	274,61	435,62	44,42
Areia argilosa	13	7,25	13,33	400	0,6	1,5	264,05	422,48	686,53	70,01
Areia argilosa	17	9,2	16,66	400	0,6	1,5	392,86	528,10	920,96	93,91
Areia argilosa	20	11	19	400	0,6	1,5	504,92	602,04	1106,9	112,8
Areia argilosiltosa	20	12,28	18,33	400	0,6	1,5	590,66	580,91	1171,5	119,4
Areia argilosiltosa	15	12,62	13,66	400	0,6	1,5	704,40	433,04	1137,4	115,9
Areia argilosiltosa	6	11,88	9	400	0,6	1,5	728,75	285,17	1013,9	103,3
Areia argilosa	6	11,3	24	400	0,6	1,5	736,77	760,47	1497,2	152,6
Areia argilosa	60	15	42	400	0,6	1,5	1043,3	1330,8	2374,1	242,0
Areia argilosa	60	15	60	400	0,6	1,5	1057,2	1901,1	2958,40	301,67

Quadro A 10. Planilha de cálculo do método de Teixeira (1996) para o SPT 02.

TEIXEIRA (1996) - SPT 02									
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α	β (kPa)	P₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia argilosa	3	3,0	3,0	190	6	23,18	75,25	98,44	10,04
Areia argilosa	3	3,0	5,3	190	6	46,37	133,79	180,16	18,37
Areia argilosa	10	5,3	7,3	190	6	123,65	181,87	305,52	31,15
Areia argilosa	13	7,3	10,8	190	6	224,12	269,66	493,78	50,35
Areia argilosa	17	9,2	15,0	190	6	355,50	376,27	731,78	74,62
Areia argilosa	20	11,0	17,5	190	6	476,06	438,98	915,05	93,31
Areia argilosiltosa	20	12,3	18,0	190	6	569,69	451,53	1021,21	104,13
Areia argilosiltosa	15	12,6	15,3	190	6	682,99	382,54	1065,53	108,65
Areia argilosiltosa	6	11,9	11,8	190	6	698,30	294,75	993,04	101,26
Areia argilosa	6	11,3	21,8	190	6	698,64	545,60	1244,24	126,88
Areia argilosa	60	15,7	33,0	190	6	1093,91	827,80	1921,71	195,96
Areia argilosa	60	19,4	46,5	190	6	1368,53	1166,4	2534,98	258,49

Quadro A 11. Planilha de cálculo do método de Antunes e Cabral (1996) para o SPT 02.

ANTUNES E CABRAL (1996) - SPT 02										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	β₁ (%)	β₂	P₁	ΣP₁	P_p	Q_u (kN)	Q_u (tf)
Areia argilosa	3	3,0	3	4,5	220,65	17,39	17,39	87,39	104,78	10,68
Areia argilosa	3	3,0	10	4,5	220,65	17,39	34,78	291,31	326,09	33,25
Areia argilosa	10	5,3	13	4,5	220,65	30,91	65,69	378,71	444,40	45,32
Areia argilosa	13	7,3	17	4,5	220,65	42,02	107,71	495,23	602,95	61,48
Areia argilosa	17	9,2	20	4,5	220,65	53,33	161,04	582,63	743,67	75,83
Areia argilosa	20	11,0	20	4,5	220,65	38,26	199,29	582,63	781,92	79,73
Areia argilosiltosa	20	12,3	15	4,5	220,65	28,48	227,78	436,97	664,75	67,79
Areia argilosiltosa	15	12,6	6	4,5	220,65	73,18	300,96	174,79	475,74	48,51
Areia argilosiltosa	6	11,9	6	4,5	220,65	41,35	342,30	174,79	517,09	52,73
Areia argilosa	6	11,3	60	4,5	220,65	26,20	368,50	1747,88	2116,38	215,81
Areia argilosa	60	15,7	60	4,5	220,65	91,16	459,66	1747,88	2207,54	225,11
Areia argilosa	60	19,4	60	4,5	220,65	13,51	473,17	1747,88	2221,05	226,48

Quadro A 12. Planilha de cálculo do método de Brasfond (1991) para o SPT 02.

BRASFOND (1991) - SPT 02										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α (kPa)	β (kPa)	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia argilosa	3	3,0	3,0	180	5	19,32	19,32	71,29	90,61	9,24
Areia argilosa	3	3,0	5,3	180	5	19,32	38,64	126,74	165,39	16,86
Areia argilosa	10	5,3	8,7	180	5	34,35	72,99	205,96	278,95	28,44
Areia argilosa	13	7,3	13,3	180	5	46,69	119,68	316,86	436,54	44,51
Areia argilosa	17	9,2	16,7	180	5	59,25	178,93	396,08	575,01	58,63
Areia argilosa	20	11,0	19,0	180	5	42,51	221,44	451,53	672,96	68,62
Areia argilosiltosa	20	12,3	18,3	180	5	31,65	253,09	435,68	688,77	70,23
Areia argilosiltosa	15	12,6	13,7	180	5	81,31	334,40	324,78	659,18	67,22
Areia argilosiltosa	6	11,9	9,0	180	5	45,94	380,34	213,88	594,22	60,59
Areia argilosa	6	11,3	24,0	180	5	29,11	409,45	570,35	979,80	99,91
Areia argilosa	60	15,7	42,0	180	5	101,29	510,73	998,11	1508,85	153,86
Areia argilosa	60	19,4	60,0	180	5	15,01	525,74	1425,87	1951,61	199,01

Quadro A 13. Planilha de cálculo do método de Lizzi (1982) para o SPT 02.

LIZZI (1982) - SPT 02							
Solo	N_{SPT}	K	I	P₁	ΣP₁	Q_{ult} (kN)	Q_{ult} (tf)
Areia argilosa	3	200	0,64	128	128	164,871	16,81206
Areia argilosa	3	200	0,64	128	256	329,742	33,62411
Areia argilosa	10	200	0,64	128	384	494,612	50,43617
Areia argilosa	13	200	0,64	128	512	659,483	67,24822
Areia argilosa	17	200	0,64	128	640	824,354	84,06028
Areia argilosa	20	200	0,64	76,8	716,8	923,276	94,14751
Areia argilosiltosa	20	200	0,64	51,2	768	989,225	100,8723
Areia argilosiltosa	15	200	0,64	128	896	1154,1	117,6844
Areia argilosiltosa	6	200	0,64	76,8	972,8	1253,02	127,7716
Areia argilosa	6	200	0,64	51,2	1024	1318,97	134,4964
Areia argilosa	60	200	0,64	128	1152	1483,84	151,3085
Areia argilosa	60	200	0,64	15,36	1167,36	1503,62	153,3259

Quadro A 14. Planilha de cálculo do método de Vorcara e Velloso (2000) para o SPT 02.

VORCARO E VELLOSO (2000) - SPT 02									
Solo	N_{SPT}	N_p	N_L	ΔL	XP	XF	ΣXF	Q_{est} (kN)	Q_{est} (tf)
Areia argilosa	3	3	3	1	0,40	3,86	3,86	8,83	0,90
Areia argilosa	3	10	3	1	1,32	3,86	7,73	66,69	6,80
Areia argilosa	10	13	5,333	1	1,72	6,87	14,60	137,23	13,99
Areia argilosa	13	17	7,25	1	2,24	9,34	23,94	233,59	23,82
Areia argilosa	17	20	9,2	1	2,64	11,85	35,79	337,27	34,39
Areia argilosa	20	20	11	0,6	2,64	8,50	44,29	388,24	39,59
Areia argilosiltosa	20	15	12,29	0,4	1,98	6,33	50,62	364,35	37,15
Areia argilosiltosa	15	6	12,63	1	0,79	16,26	66,88	267,71	27,30
Areia argilosiltosa	6	6	11,89	0,6	0,79	9,19	76,07	292,59	29,84
Areia argilosa	6	60	11,3	0,4	7,92	5,82	81,89	960,87	97,98
Areia argilosa	60	60	15,73	1	7,92	20,26	102,15	1087,81	110,93
Areia argilosa	60	60	19,42	0,12	7,92	3,00	105,15	1105,46	112,72

Quadro A 15. Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 03.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 03										
Solo	N_{SPT}	α (%)	K (kPa)	F₁	F₂	P_i	ΣP_i	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	4	2,1	715,89	2,2	2,4	32,27	32,27	214,81	247,08	25,20
Areia	5	2,1	715,89	2,2	2,4	40,34	72,62	257,77	330,38	33,69
Areia	6	2,1	715,89	2,2	2,4	48,41	121,03	472,58	593,60	60,53
Areia	11	2,1	715,89	2,2	2,4	88,75	209,78	730,34	940,12	95,87
Areia	17	2,1	715,89	2,2	2,4	137,16	346,94	558,50	905,44	92,33
Areia	13	2,1	715,89	2,2	2,4	62,93	409,87	558,50	968,37	98,75
Argila arenosa	13	3,8	294,20	2,2	2,4	31,20	441,07	264,83	705,90	71,98
Argila arenosa	15	3,8	294,20	2,2	2,4	90,00	531,07	211,86	742,94	75,76
Argila arenosa	12	3,8	294,20	2,2	2,4	72,00	603,07	70,62	673,69	68,70
Argila arenosa	4	3,8	294,20	2,2	2,4	24,00	627,07	211,86	838,94	85,55
Argila arenosa	12	3,8	294,20	2,2	2,4	43,20	670,27	211,86	882,14	89,95
Areia argilosa	12	2,9	558,9791	2,2	2,4	41,76	712,03	1543,08	2255,11	229,96
Areia argilosa	46	2,9	558,9791	2,2	2,4	400,20	1112,23	1543,08	2655,31	270,76
Areia argilosa	46	2,9	558,9791	2,2	2,4	256,13	1368,35	1543,08	2911,43	296,88

Quadro A 16. Planilha de cálculo do método de Décourt e Quaresma (1978) para o SPT 03.

DÉCOURT E QUARESMA (1978) - SPT 03										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	C (kPa)	α	β	P_i (kN)	P_p (kN)	R (kN)	R (tf)
Areia	4	4	4,50	400	0,5	1,5	45,08	118,82	163,90	16,71
Areia	5	4,5	5,00	400	0,5	1,5	96,60	132,03	228,63	23,31
Areia	6	5	7,33	400	0,5	1,5	154,57	193,64	348,20	35,51
Areia	11	6,5	11,33	400	0,5	1,5	244,73	299,26	543,99	55,47
Areia	17	8,6	13,67	400	0,5	1,5	373,54	360,87	734,40	74,89
Areia	13	9,33333	14,33	400	0,5	1,5	476,58	378,47	855,05	87,19
Areia	13	9,85714	13,67	400	0,5	1,5	546,50	360,87	907,37	92,53
Argila arenosa	15	10,5	13,33	120	0,6	1,5	608,61	126,74	735,35	74,98
Argila arenosa	12	10,6667	10,33	120	0,6	1,5	704,14	98,23	802,36	81,82
Argila arenosa	4	10	9,33	120	0,6	1,5	753,51	88,72	842,23	85,88
Argila arenosa	12	10,1818	9,33	120	0,6	1,5	848,94	88,72	937,67	95,61
Argila arenosa	12	10,3333	23,33	120	0,6	1,5	910,22	221,80	1132,03	115,43
Areia argilosa	46	13,0769	34,67	400	0,6	1,5	1138,94	1098,45	2237,39	228,15
Areia argilosa	46	15	50,67	400	0,6	1,5	1391,10	1605,43	2996,53	305,56
Areia argilosa	60	15	55,33	400	0,6	1,5	1465,29	1753,30	3218,59	328,20

Quadro A 17. Planilha de cálculo do método de Teixeira (1996) para o SPT 03.

TEIXEIRA (1996) - SPT 03									
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α	β (kPa)	P₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	4	4,0	4,5	260	6	30,91	154,47	185,38	18,90
Areia	5	4,5	5,0	260	6	69,55	171,63	241,19	24,59
Areia	6	5,0	6,5	260	6	115,92	223,12	339,05	34,57
Areia	11	6,5	9,8	260	6	200,94	334,68	535,62	54,62
Areia	17	8,6	11,8	260	6	332,32	403,34	735,66	75,02
Areia	13	9,3	13,5	260	6	432,79	463,41	896,20	91,39
Areia	13	9,9	14,5	260	6	502,78	497,74	1000,52	102,02
Argila arenosa	15	10,5	13,3	140	6	568,03	244,91	812,94	82,90
Argila arenosa	12	10,7	11,0	140	6	659,48	203,32	862,80	87,98
Argila arenosa	4	10,0	10,8	140	6	695,55	198,70	894,25	91,19
Argila arenosa	12	10,2	10,0	140	6	786,88	184,84	971,72	99,09
Argila arenosa	12	10,3	18,5	140	6	846,51	341,95	1188,45	121,19
Areia argilosa	46	13,1	29,0	190	6	1111,69	727,46	1839,15	187,54
Areia argilosa	46	15,4	41,0	190	6	1430,84	1028,48	2459,32	250,78
Areia argilosa	60	18,4	53,0	190	6	1797,42	1329,50	3126,92	318,86

Quadro A 18. Planilha de cálculo do método de Antunes e Cabral (1996) para o SPT 03.

ANTUNES E CABRAL (1996) - SPT 03										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	β₁ (%)	β₂	P₁	ΣP₁	P_p	Q_u (kN)	Q_u (tf)
Areia	4	4,0	5	4,5	220,65	23,18	23,18	145,66	168,84	17,22
Areia	5	4,5	6	4,5	220,65	26,08	49,27	174,79	224,06	22,85
Areia	6	5,0	11	4,5	220,65	28,98	78,25	320,44	398,69	40,66
Areia	11	6,5	17	4,5	220,65	37,68	115,92	495,23	611,16	62,32
Areia	17	8,6	13	4,5	220,65	49,85	165,77	378,71	544,48	55,52
Areia	13	9,3	13	4,5	220,65	32,46	198,23	378,71	576,94	58,83
Argila arenosa	13	9,9	15	2,75	122,58	13,97	212,20	242,76	454,96	46,39
Argila arenosa	15	10,5	12	2,75	122,58	37,19	249,39	194,21	443,60	45,23
Argila arenosa	12	10,7	4	2,75	122,58	37,78	287,17	64,74	351,91	35,88
Argila arenosa	4	10,0	12	2,75	122,58	35,42	322,59	194,21	516,80	52,70
Argila arenosa	12	10,2	12	2,75	122,58	21,64	344,23	194,21	538,44	54,91
Areia argilosa	12	10,3	46	4,5	220,65	23,96	368,19	1340,04	1708,23	174,19
Areia argilosa	46	13,1	46	4,5	220,65	75,80	443,99	1340,04	1784,03	181,92
Areia argilosa	46	15,4	46	4,5	220,65	57,23	501,22	1340,04	1841,26	187,76

Quadro A 19. Planilha de cálculo do método de Brasfond (1991) para o SPT 03.

BRASFOND (1991) - SPT 03										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α (kPa)	β (kPa)	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	4	4,0	4,5	270	5	25,76	25,76	160,41	186,17	18,98
Areia	5	4,5	5,0	270	5	28,98	54,74	178,23	232,98	23,76
Areia	6	5,0	7,3	270	5	32,20	86,94	261,41	348,35	35,52
Areia	11	6,5	11,3	270	5	41,86	128,81	404,00	532,80	54,33
Areia	17	8,6	13,7	270	5	55,39	184,19	487,17	671,37	68,46
Areia	13	9,3	14,3	270	5	36,07	220,26	510,94	731,20	74,56
Argila arenosa	13	9,9	13,7	120	5	25,39	245,65	216,52	462,17	47,13
Argila arenosa	15	10,5	13,3	120	5	67,62	313,27	211,24	524,51	53,49
Argila arenosa	12	10,7	10,3	120	5	68,70	381,97	163,71	545,68	55,64
Argila arenosa	4	10,0	9,3	120	5	64,40	446,37	147,87	594,24	60,60
Argila arenosa	12	10,2	9,3	120	5	39,34	485,72	147,87	633,58	64,61
Areia argilosa	12	10,3	23,3	180	5	26,62	512,34	554,51	1066,84	108,79
Areia argilosa	46	13,1	34,7	180	5	84,22	596,55	823,84	1420,39	144,84
Areia argilosa	46	15,4	46,0	180	5	63,59	660,15	1093,17	1753,32	178,79

Quadro A 20. Planilha de cálculo do método de Lizzi (1982) para o SPT 03.

LIZZI (1982) - SPT 03							
Solo	N_{SPT}	K	I	P₁	ΣP₁	Q_{ult} (kN)	Q_{ult} (tf)
Areia	4	200	0,64	128	128	164,87	16,81206
Areia	5	200	0,64	128	256	329,74	33,62411
Areia	6	200	0,64	128	384	494,61	50,43617
Areia	11	200	0,64	128	512	659,48	67,24822
Areia	17	200	0,64	128	640	824,35	84,06028
Areia	13	200	0,64	76,8	716,8	923,28	94,14751
Argila arenosa	13	150	0,64	38,4	755,2	972,74	99,19113
Argila arenosa	15	150	0,64	96	851,2	1096,4	111,8002
Argila arenosa	12	150	0,64	96	947,2	1220	124,4092
Argila arenosa	4	100	0,64	64	1011,2	1302,5	132,8152
Argila arenosa	12	150	0,64	57,6	1068,8	1376,7	140,3807
Areia argilosa	12	200	0,64	51,2	1120	1442,6	147,1055
Areia argilosa	46	200	0,64	128	1248	1607,5	163,9175
Areia argilosa	46	200	0,64	81,92	1329,9	1713	174,6773

Quadro A 21. Planilha de cálculo do método de Vorcaro e Velloso (2000) para o SPT 03.

VORCARO E VELLOSO (2000) - SPT 03									
Solo	N_{SPT}	N_p	N_L	ΔL	XP	XF	ΣXF	Q_{est} (kN)	Q_{est} (tf)
Areia	4	5	4	1	0,66	5,15	5,15	22,57	2,30
Areia	5	6	4,5	1	0,79	5,80	10,95	61,11	6,23
Areia	6	11	5	1	1,45	6,44	17,39	147,67	15,06
Areia	11	17	6,5	1	2,24	8,37	25,76	266,44	27,17
Areia	17	13	8,6	1	1,72	11,08	36,84	286,58	29,22
Areia	13	13	9,333	0,6	1,72	7,21	44,05	323,64	33,00
Argila arenosa	13	15	9,857	0,4	1,98	5,08	49,13	330,89	33,74
Argila arenosa	15	12	10,5	1	1,58	13,52	62,65	354,18	36,12
Argila arenosa	12	4	10,67	1	0,53	13,74	76,39	252,40	25,74
Argila arenosa	4	12	10	1	1,58	12,88	89,27	445,84	45,46
Argila arenosa	12	12	10,18	0,6	1,58	7,87	97,14	470,40	47,97
Areia argilosa	12	46	10,33	0,4	6,07	5,32	102,47	967,10	98,62
Areia argilosa	46	46	13,08	1	6,07	16,84	119,31	1053,52	107,43
Areia argilosa	46	46	15,43	0,64	6,07	12,72	132,03	1114,63	113,66

Quadro A 22. Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 04.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 04										
Solo	N_{SPT}	α (%)	K (kPa)	F₁	F₂	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	15	2,1	715,8855	2,2	2,4	121,03	121,03	171,85	292,87	29,86
Areia	4	2,1	715,8855	2,2	2,4	32,27	153,30	214,81	368,11	37,54
Areia	5	2,1	715,8855	2,2	2,4	40,34	193,64	429,61	623,25	63,55
Areia	10	2,1	715,8855	2,2	2,4	80,68	274,32	902,19	1176,51	119,97
Areia	21	2,1	715,8855	2,2	2,4	169,44	443,76	1202,92	1646,68	167,91
Areia	28	2,1	715,8855	2,2	2,4	135,55	579,31	1202,92	1782,23	181,74
Areia argilosa	28	2,9	558,9791	2,2	2,4	97,44	676,75	637,36	1314,11	134,00
Areia argilosa	19	2,9	558,9791	2,2	2,4	99,18	775,93	637,36	1413,29	144,11
Areia argilosa	19	2,9	558,9791	2,2	2,4	66,12	842,05	301,91	1143,95	116,65
Areia argilosa	9	2,9	558,9791	2,2	2,4	78,30	920,35	872,18	1792,52	182,79
Areia argilosa	26	2,9	558,9791	2,2	2,4	226,20	1146,54	2012,71	3159,26	322,15
Areia argilosa	60	2,9	558,9791	2,2	2,4	522,00	1668,54	2012,71	3681,25	375,38
Areia argilosa	60	2,9	558,9791	2,2	2,4	522,00	2190,54	2012,71	4203,25	428,61
Areia argilosa	60	2,9	558,9791	2,2	2,4	41,76	2232,30	2012,71	4245,01	432,87

Quadro A 23. Planilha de cálculo do método de Décourt e Quaresma (1978) para o SPT 04.

DÉCOURT E QUARESMA (1978) - SPT 04										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	C (kPa)	α	β	P_i (kN)	P_p (kN)	R (kN)	R (tf)
Areia	15	15	9,5	400	0,5	1,5	115,92	250,85	366,77	37,40
Areia	4	9,5	8,0	400	0,5	1,5	161,01	211,24	372,25	37,96
Areia	5	8	6,3	400	0,5	1,5	212,53	167,23	379,76	38,72
Areia	10	8,5	12,0	400	0,5	1,5	296,25	316,86	613,11	62,52
Areia	21	11	19,7	400	0,5	1,5	450,82	519,30	970,12	98,92
Areia	28	13,8	25,7	400	0,5	1,5	650,47	677,73	1328,2	135,44
Areia argilosa	28	15	25,0	400	0,6	1,5	765,10	792,15	1557,2	158,80
Areia argilosa	19	15	22,0	400	0,6	1,5	811,47	697,09	1508,5	153,83
Areia argilosa	19	15	15,7	400	0,6	1,5	881,03	496,42	1377,4	140,46
Areia argilosa	9	15	18,0	400	0,6	1,5	927,40	570,35	1497,7	152,73
Areia argilosa	26	15	31,7	400	0,6	1,5	1043,32	1003,39	2046,7	208,71
Areia argilosa	60	15	48,7	400	0,6	1,5	1159,25	1542,06	2701,3	275,46
Areia argilosa	60	15	60,0	400	0,6	1,5	1275,17	1901,17	3176,3	323,89
Areia argilosa	60	15	60,0	400	0,6	1,5	1284,45	1901,17	3185,6	324,84

Quadro A 24. Planilha de cálculo do método de Teixeira (1996) para o SPT 04.

TEIXEIRA (1996) - SPT 04									
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α	β (kPa)	P_i	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	15	15,0	9,5	260	6	115,92	326,10	442,03	45,07
Areia	4	9,5	8,0	260	6	146,84	274,61	421,45	42,98
Areia	5	8,0	8,5	260	6	185,48	291,78	477,26	48,67
Areia	10	8,5	10,0	260	6	262,76	343,27	606,03	61,80
Areia	21	11,0	16,0	260	6	425,06	549,23	974,28	99,35
Areia	28	13,8	21,8	260	6	641,45	746,60	1388,05	141,54
Areia argilosa	28	15,9	24,0	190	6	808,82	602,04	1410,86	143,87
Areia argilosa	19	16,3	23,5	190	6	879,10	589,49	1468,59	149,75
Areia argilosa	19	16,6	18,8	190	6	972,39	470,34	1442,73	147,12
Areia argilosa	9	15,8	18,3	190	6	976,86	457,80	1434,66	146,29
Areia argilosa	26	16,7	28,5	190	6	1163,46	714,92	1878,38	191,54
Areia argilosa	60	20,3	38,8	190	6	1571,42	972,04	2543,46	259,36
Areia argilosa	60	23,4	51,5	190	6	1987,96	1291,87	3279,83	334,45
Areia argilosa	60	26,0	60,0	190	6	2226,37	1505,09	3731,46	380,50

Quadro A 25. Planilha de cálculo do método de Antunes e Cabral (1996) para o SPT 04.

ANTUNES E CABRAL (1996) - SPT 04										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	β₁ (%)	β₂	P₁	ΣP₁	P_p	Q_u (kN)	Q_u (tf)
Areia	15	15,0	4	4,5	220,65	86,94	86,94	116,53	203,47	20,75
Areia	4	9,5	5	4,5	220,65	55,06	142,01	145,66	287,66	29,33
Areia	5	8,0	10	4,5	220,65	46,37	188,38	291,31	479,69	48,91
Areia	10	8,5	21	4,5	220,65	49,27	237,65	611,76	849,40	86,61
Areia	21	11,0	28	4,5	220,65	63,76	301,40	815,68	1117,08	113,91
Areia	28	13,8	28	4,5	220,65	48,11	349,51	815,68	1165,19	118,82
Areia argilosa	28	15,9	19	4,5	220,65	36,76	386,28	553,50	939,77	95,83
Areia argilosa	19	16,3	19	4,5	220,65	56,51	442,79	553,50	996,29	101,59
Areia argilosa	19	16,6	9	4,5	220,65	38,38	481,18	262,18	743,36	75,80
Areia argilosa	9	15,8	26	4,5	220,65	91,58	572,76	757,42	1330,17	135,64
Areia argilosa	26	16,7	60	4,5	220,65	96,96	669,71	1747,88	2417,59	246,52
Areia argilosa	60	20,3	60	4,5	220,65	117,86	787,57	1747,88	2535,45	258,54
Areia argilosa	60	23,4	60	4,5	220,65	135,54	923,11	1747,88	2670,99	272,36
Areia argilosa	60	26,0	60	4,5	220,65	12,06	935,17	1747,88	2683,05	273,59

Quadro A 26. Planilha de cálculo do método de Brasfond (1991) para o SPT 04.

BRASFOND (1991) - SPT 04										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α (kPa)	β (kPa)	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	15	15,0	9,5	270	5	96,60	96,60	338,65	435,25	44,38
Areia	4	9,5	8,0	270	5	61,18	157,79	285,17	442,96	45,17
Areia	5	8,0	6,3	270	5	51,52	209,31	225,76	435,07	44,36
Areia	10	8,5	12,0	270	5	54,74	264,05	427,76	691,81	70,54
Areia	21	11,0	19,7	270	5	70,84	334,89	701,06	1035,95	105,64
Areia	28	13,8	25,7	270	5	53,45	388,35	914,94	1303,28	132,90
Areia argilosa	28	15,9	25,0	180	5	40,85	429,20	594,11	1023,31	104,35
Areia argilosa	19	16,3	22,0	180	5	62,79	491,99	522,82	1014,81	103,48
Areia argilosa	19	16,6	15,7	180	5	42,65	534,64	372,31	906,95	92,48
Areia argilosa	9	15,8	18,0	180	5	101,76	636,40	427,76	1064,16	108,51
Areia argilosa	26	16,7	31,7	180	5	107,73	744,12	752,54	1496,67	152,62
Areia argilosa	60	20,3	48,7	180	5	130,95	875,08	1156,54	2031,62	207,17
Areia argilosa	60	23,4	60,0	180	5	150,60	1025,68	1425,87	2451,55	249,99
Areia argilosa	60	26,0	60,0	180	5	13,40	1039,07	1425,87	2464,95	251,35

Quadro A 27. Planilha de cálculo do método de Lizzi (1982) para o SPT 04.

LIZZI (1982) - SPT 04							
Solo	N_{SPT}	K	I	P₁	ΣP₁	Q_{ult} (kN)	Q_{ult} (tf)
Areia	15	200	0,64	128	128	164,87	16,81
Areia	4	200	0,64	128	256	329,74	33,62
Areia	5	200	0,64	128	384	494,61	50,44
Areia	10	200	0,64	128	512	659,48	67,25
Areia	21	200	0,64	128	640	824,35	84,06
Areia	28	200	0,64	76,8	716,8	923,28	94,15
Areia argilosa	28	200	0,64	51,2	768	989,22	100,87
Areia argilosa	19	200	0,64	76,8	844,8	1088,15	110,96
Areia argilosa	19	200	0,64	51,2	896	1154,10	117,68
Areia argilosa	9	200	0,64	128	1024	1318,97	134,50
Areia argilosa	26	200	0,64	128	1152	1483,84	151,31
Areia argilosa	60	200	0,64	128	1280	1648,71	168,12
Areia argilosa	60	200	0,64	128	1408	1813,58	184,93
Areia argilosa	60	200	0,64	10,24	1418,2	1826,77	186,28

Quadro A 28. Planilha de cálculo do método de Vorcaro e Velloso (2000) para o SPT 04.

VORCARO E VELLOSO (2000) - SPT 04									
Solo	N_{SPT}	N_p	N_L	ΔL	XP	XF	ΣXF	Q_{est} (kN)	Q_{est} (tf)
Areia	15	4	15,0	1	0,53	19,32	19,32	72,63	7,41
Areia	4	5	9,5	1	0,66	12,24	31,56	131,64	13,42
Areia	5	10	8,0	1	1,32	10,30	41,86	263,90	26,91
Areia	10	21	8,5	1	2,77	10,95	52,81	488,22	49,78
Areia	21	28	11,0	1	3,70	14,17	66,98	666,71	67,98
Areia	28	28	13,8	0,6	3,70	10,69	77,67	728,03	74,24
Areia argilosa	28	19	15,9	0,4	2,51	8,17	85,84	574,63	58,60
Areia argilosa	19	19	16,3	0,6	2,51	12,56	98,40	624,40	63,67
Areia argilosa	19	9	16,6	0,4	1,19	8,53	106,93	453,73	46,27
Areia argilosa	9	26	15,8	1	3,43	20,35	127,28	843,11	85,97
Areia argilosa	26	60	16,7	1	7,92	21,55	148,82	1337,11	136,35
Areia argilosa	60	60	20,3	1	7,92	26,19	175,02	1458,76	148,75
Areia argilosa	60	60	23,4	1	7,92	30,12	205,14	1587,07	161,84
Areia argilosa	60	60	26,0	0,08	7,92	2,68	207,81	1597,97	162,95

Quadro A 29. Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 05.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 05										
Solo	N _{SPT}	α (%)	K (kPa)	F ₁	F ₂	P ₁	ΣP_1	P _p	R (kN)	R (tf)
Areia	8	2,1	715,8855	2,2	2,4	64,55	64,55	257,77	322,32	32,87
Areia	6	2,1	715,8855	2,2	2,4	48,41	112,96	429,61	542,57	55,33
Areia	10	2,1	715,8855	2,2	2,4	80,68	193,64	601,46	795,10	81,08
Areia	14	2,1	715,8855	2,2	2,4	67,77	261,41	601,46	862,87	87,99
Argila arenosa	14	3,8	294,1995	2,2	2,4	33,60	295,01	247,18	542,19	55,29
Argila arenosa	14	3,8	294,1995	2,2	2,4	84,00	379,01	317,80	696,81	71,05
Argila arenosa	18	3,8	294,1995	2,2	2,4	108,00	487,01	370,76	857,78	87,47
Argila arenosa	21	3,8	294,1995	2,2	2,4	75,60	562,61	370,76	933,38	95,18
Argila arenosa	21	3,8	294,1995	2,2	2,4	50,40	613,01	370,76	983,78	100,32
Argila arenosa	21	3,8	294,1995	2,2	2,4	75,60	688,61	247,18	935,79	95,42
Areia argilosa	14	2,9	558,9791	2,2	2,4	48,72	737,33	603,81	1341,15	136,76
Areia argilosa	18	2,9	558,9791	2,2	2,4	156,60	893,93	637,36	1531,29	156,15
Areia argilosa	19	2,9	558,9791	2,2	2,4	165,30	1059,23	2012,71	3071,94	313,25
Areia argilosa	60	2,9	558,9791	2,2	2,4	522,00	1581,23	2012,71	3593,94	366,48
Areia argilosa	60	2,9	558,9791	2,2	2,4	522,00	2103,22	2012,71	4115,93	419,71
Areia argilosa	60	2,9	558,9791	2,2	2,4	287,10	2390,32	2012,71	4403,03	448,98

Quadro A 30. Planilha de cálculo do método de Décourt e Quaresma (1978) para o SPT 05.

DÉCOURT E QUARESMA (1978) - SPT 05										
Solo	N _{SPT}	N _L	N _p	C (kPa)	α	β	P ₁ (kN)	P _p (kN)	R (kN)	R (tf)
Areia	8	8	7,0	400	0,5	1,5	70,84	184,84	255,68	26,07
Areia	6	7	8,0	400	0,5	1,5	128,81	211,24	340,05	34,67
Areia	10	8	10,0	400	0,5	1,5	212,53	264,05	476,58	48,60
Areia	14	9,5	12,7	400	0,5	1,5	322,01	334,46	656,48	66,94
Argila arenosa	14	10,4	14,0	120	0,6	1,5	396,98	133,08	530,06	54,05
Argila arenosa	14	11,0	15,3	120	0,6	1,5	450,82	145,76	596,57	60,83
Argila arenosa	18	12	17,7	120	0,6	1,5	579,62	167,94	747,56	76,23
Argila arenosa	21	13,125	20,0	120	0,6	1,5	726,94	190,12	917,06	93,51
Argila arenosa	21	14	21,0	120	0,6	1,5	832,08	199,62	1031,70	105,20
Argila arenosa	21	14,7	18,7	120	0,6	1,5	911,94	177,44	1089,38	111,09
Areia argilosa	14	14,636	17,7	400	0,6	1,5	976,81	559,79	1536,60	156,69
Areia argilosa	18	14,917	17,0	400	0,6	1,5	1038,49	538,66	1577,16	160,82
Areia argilosa	19	15,231	32,3	400	0,6	1,5	1174,11	1024,52	2198,63	224,20
Areia argilosa	60	18,429	46,3	400	0,6	1,5	1518,06	1468,12	2986,19	304,50
Areia argilosa	60	21,2	60,0	400	0,6	1,5	1870,25	1901,17	3771,42	384,58
Areia argilosa	60	23,625	60,0	400	0,6	1,5	2229,14	1901,17	4130,30	421,17
Areia argilosa	60	25,765	60,0	400	0,6	1,5	2510,17	1901,17	4411,34	449,83

Quadro A 31. Planilha de cálculo do método de Teixeira (1996) para o SPT 05.

TEIXEIRA (1996) - SPT 05									
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α	β (kPa)	P₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	8	8,0	7,0	260	6	61,83	240,29	302,11	30,81
Areia	6	7,0	8,0	260	6	108,20	274,61	382,81	39,04
Areia	10	8,0	9,5	260	6	185,48	326,10	511,58	52,17
Areia	14	9,5	11,0	260	6	293,68	377,59	671,27	68,45
Argila arenosa	14	10,4	13,0	140	6	369,72	240,29	610,01	62,20
Argila arenosa	14	11,0	15,0	140	6	425,06	277,25	702,31	71,62
Argila arenosa	18	12,0	16,8	140	6	556,44	309,60	866,04	88,31
Argila arenosa	21	13,1	18,5	140	6	710,04	341,95	1051,99	107,27
Argila arenosa	21	14,0	20,3	140	6	822,29	374,29	1196,59	122,02
Argila arenosa	21	14,7	19,3	140	6	908,85	355,81	1264,66	128,96
Areia argilosa	14	14,6	18,5	190	6	972,78	464,07	1436,85	146,52
Areia argilosa	18	14,9	18,0	190	6	1037,53	451,53	1489,05	151,84
Areia argilosa	19	15,2	27,8	190	6	1177,08	696,10	1873,19	191,01
Areia argilosa	60	18,4	39,3	190	6	1566,64	984,58	2551,22	260,15
Areia argilosa	60	21,2	49,8	190	6	1966,08	1247,97	3214,05	327,74
Areia argilosa	60	23,6	60,0	190	6	2373,56	1505,09	3878,65	395,51
Areia argilosa	60	25,8	60,0	190	6	2698,05	1505,09	4203,14	428,60

Quadro A 32. Planilha de cálculo do método de Antunes e Cabral (1996) para o SPT 05.

ANTUNES E CABRAL (1996) - SPT 05										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	β₁ (%)	β₂	P₁	ΣP₁	P_p	Q_u (kN)	Q_u (tf)
Areia	8	8,0	6	4,5	220,65	46,37	46,37	174,79	221,16	22,55
Areia	6	7,0	10	4,5	220,65	40,57	86,94	291,31	378,26	38,57
Areia	10	8,0	14	4,5	220,65	46,37	133,31	407,84	541,15	55,18
Areia	14	9,5	14	4,5	220,65	33,04	166,35	407,84	574,19	58,55
Argila arenosa	14	10,4	14	2,75	122,58	14,74	181,09	226,58	407,66	41,57
Argila arenosa	14	11,0	18	2,75	122,58	38,96	220,05	291,31	511,36	52,14
Argila arenosa	18	12,0	21	2,75	122,58	42,51	262,56	339,87	602,42	61,43
Argila arenosa	21	13,1	21	2,75	122,58	27,89	290,45	339,87	630,32	64,27
Argila arenosa	21	14,0	21	2,75	122,58	19,84	310,29	339,87	650,15	66,30
Argila arenosa	21	14,7	14	2,75	122,58	31,24	341,53	226,58	568,11	57,93
Areia argilosa	14	14,6	18	4,5	220,65	33,93	375,46	524,36	899,83	91,76
Areia argilosa	18	14,9	19	4,5	220,65	86,46	461,92	553,50	1015,42	103,54
Areia argilosa	19	15,2	60	4,5	220,65	88,28	550,20	1747,88	2298,09	234,34
Areia argilosa	60	18,4	60	4,5	220,65	106,82	657,02	1747,88	2404,90	245,23
Areia argilosa	60	21,2	60	4,5	220,65	122,88	779,90	1747,88	2527,78	257,76
Areia argilosa	60	23,6	60	4,5	220,65	75,31	855,22	1747,88	2603,10	265,44

Quadro A 33. Planilha de cálculo do método de Brasfond (1991) para o SPT 05.

BRASFOND (1991) - SPT 05										
Solo	N _{SPT}	N _L	N _p	α (kPa)	β (kPa)	P _i	ΣP_i	P _p	R (kN)	R (tf)
Areia	8	8,0	7,0	270	5	51,52	51,52	249,53	301,05	30,70
Areia	6	7,0	8,0	270	5	45,08	96,60	285,17	381,78	38,93
Areia	10	8,0	10,0	270	5	51,52	148,13	356,47	504,59	51,45
Areia	14	9,5	12,7	270	5	36,71	184,84	451,53	636,36	64,89
Argila arenosa	14	10,4	14,0	120	5	26,79	211,63	221,80	433,43	44,20
Argila arenosa	14	11,0	15,3	120	5	70,84	282,47	242,93	525,40	53,58
Argila arenosa	18	12,0	17,7	120	5	77,28	359,75	279,89	639,65	65,23
Argila arenosa	21	13,1	20,0	120	5	50,72	410,47	316,86	727,33	74,17
Argila arenosa	21	14,0	21,0	120	5	36,07	446,54	332,70	779,24	79,46
Argila arenosa	21	14,7	18,7	120	5	56,80	503,34	295,74	799,08	81,48
Areia argilosa	14	14,6	17,7	180	5	37,70	541,04	419,84	960,88	97,98
Areia argilosa	18	14,9	17,0	180	5	96,07	637,11	404,00	1041,11	106,16
Areia argilosa	19	15,2	32,3	180	5	98,09	735,20	768,39	1503,59	153,32
Areia argilosa	60	18,4	46,3	180	5	118,68	853,89	1101,09	1954,98	199,35
Areia argilosa	60	21,2	60,0	180	5	136,53	990,42	1425,87	2416,29	246,39
Areia argilosa	60	23,6	60,0	180	5	83,68	1074,10	1425,87	2499,98	254,93

Quadro A 34. Planilha de cálculo do método de Lizzi (1982) para o SPT 05.

LIZZI (1982) - SPT 05							
Solo	N _{SPT}	K	I	P _i	ΣP_i	Q _{ult} (kN)	Q _{ult} (tf)
Areia	8	200	0,64	128	128	164,87	16,81
Areia	6	200	0,64	128	256	329,74	33,62
Areia	10	200	0,64	128	384	494,61	50,44
Areia	14	200	0,64	76,8	460,8	593,53	60,52
Argila arenosa	14	200	0,64	51,2	512	659,48	67,25
Argila arenosa	14	200	0,64	128	640	824,35	84,06
Argila arenosa	18	200	0,64	128	768	989,22	100,87
Argila arenosa	21	200	0,64	76,8	844,8	1088,15	110,96
Argila arenosa	21	200	0,64	51,2	896	1154,10	117,68
Argila arenosa	21	200	0,64	76,8	972,8	1253,02	127,77
Areia argilosa	14	200	0,64	51,2	1024	1318,97	134,50
Areia argilosa	18	200	0,64	128	1152	1483,84	151,31
Areia argilosa	19	200	0,64	128	1280	1648,71	168,12
Areia argilosa	60	200	0,64	128	1408	1813,58	184,93
Areia argilosa	60	200	0,64	128	1536	1978,45	201,74
Areia argilosa	60	200	0,64	70,4	1606,4	2069,13	210,99

Quadro A 35. Planilha de cálculo do método de Vorcaro e Velloso (2000) para o SPT 05.

VORCARO E VELLOSO (2000) - SPT 05									
Solo	N_{SPT}	N_p	N_L	ΔL	XP	XF	ΣXF	Q_{est} (kN)	Q_{est} (tf)
Areia	8	6	8,0	1	0,79	10,30	10,30	57,68	5,88
Areia	6	10	7,0	1	1,32	9,02	19,32	149,48	15,24
Areia	10	14	8,0	1	1,85	10,30	29,63	258,58	26,37
Areia	14	14	9,5	0,6	1,85	7,34	36,97	301,31	30,72
Argila arenosa	14	14	10,4	0,4	1,85	5,36	42,33	290,36	29,61
Argila arenosa	14	18	11,0	1	2,38	14,17	56,49	391,62	39,93
Argila arenosa	18	21	12,0	1	2,77	15,46	71,95	486,60	49,62
Argila arenosa	21	21	13,1	0,6	2,77	10,14	82,09	528,37	53,88
Argila arenosa	21	21	14,0	0,4	2,77	7,21	89,31	556,59	56,76
Argila arenosa	21	14	14,7	0,6	1,85	11,36	100,67	511,41	52,15
Areia argilosa	14	18	14,6	0,4	2,38	7,54	108,21	644,18	65,69
Areia argilosa	18	19	14,9	1	2,51	19,21	127,42	728,61	74,30
Areia argilosa	19	60	15,2	1	7,92	19,62	147,04	1328,42	135,46
Areia argilosa	60	60	18,4	1	7,92	23,74	170,78	1439,78	146,82
Areia argilosa	60	60	21,2	1	7,92	27,31	198,08	1558,00	158,87
Areia argilosa	60	60	23,6	0,55	7,92	16,74	214,82	1626,13	165,82

Quadro A 36. Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 06.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 06										
Solo	N_{SPT}	α (%)	K (kPa)	F₁	F₂	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	5	2,1	715,8855	2,2	2,4	40,34	40,34	300,73	341,07	34,78
Areia	7	2,1	715,8855	2,2	2,4	56,48	96,82	730,34	827,16	84,35
Areia	17	2,1	715,8855	2,2	2,4	137,16	233,98	515,54	749,52	76,43
Areia	12	2,1	715,8855	2,2	2,4	58,09	292,07	515,54	807,61	82,35
Argila arenosa	12	3,8	294,1995	2,2	2,4	28,80	320,87	229,52	550,39	56,12
Argila arenosa	13	3,8	294,1995	2,2	2,4	78,00	398,87	247,18	646,05	65,88
Argila arenosa	14	3,8	294,1995	2,2	2,4	84,00	482,87	88,28	571,15	58,24
Argila arenosa	5	3,8	294,1995	2,2	2,4	18,00	500,87	88,28	589,15	60,08
Argila arenosa	5	3,8	294,1995	2,2	2,4	12,00	512,87	388,42	901,29	91,91
Argila arenosa	22	3,8	294,1995	2,2	2,4	132,00	644,87	388,42	1033,29	105,37
Argila arenosa	22	3,8	294,1995	2,2	2,4	132,00	776,87	1059,32	1836,19	187,24
Argila arenosa	60	3,8	294,1995	2,2	2,4	360,00	1136,87	1059,32	2196,19	223,95
Argila arenosa	60	3,8	294,1995	2,2	2,4	360,00	1496,87	1059,32	2556,19	260,66
Argila arenosa	60	3,8	294,1995	2,2	2,4	64,80	1561,67	1059,32	2620,99	267,26

Quadro A 37. Planilha de cálculo do método de Décourt e Quaresma (1978) para o SPT 06.

DÉCOURT E QUARESMA (1978) - SPT 06										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	C (kPa)	α	β	P₁ (kN)	P_p (kN)	R (kN)	R (tf)
Areia	5	5,0	6,0	400	0,5	1,5	51,52	158,43	209,95	21,41
Areia	7	6,0	9,7	400	0,5	1,5	115,92	255,25	371,17	37,85
Areia	17	9,7	12,0	400	0,5	1,5	244,73	316,86	561,59	57,27
Areia	12	10,3	13,7	400	0,5	1,5	341,33	360,87	702,20	71,60
Argila arenosa	12	10,6	12,3	120	0,6	1,5	402,90	117,24	520,14	53,04
Argila arenosa	13	11,0	13,0	120	0,6	1,5	450,82	123,58	574,39	58,57
Argila arenosa	14	11,4	10,7	120	0,6	1,5	557,54	101,40	658,94	67,19
Argila arenosa	5	10,6	8,0	120	0,6	1,5	614,24	76,05	690,29	70,39
Argila arenosa	5	10,0	10,7	120	0,6	1,5	636,30	101,40	737,69	75,22
Argila arenosa	22	11,2	16,3	120	0,6	1,5	731,61	155,26	886,88	90,44
Argila arenosa	22	12,2	34,7	120	0,6	1,5	879,97	329,54	1209,51	123,34
Argila arenosa	60	16,2	47,3	120	0,6	1,5	1234,38	449,94	1684,33	171,75
Argila arenosa	60	19,5	60,0	120	0,6	1,5	1596,69	570,35	2167,04	220,98
Argila arenosa	60	22,4	60,0	120	0,6	1,5	1965,20	570,35	2535,55	258,55
Argila arenosa	60	24,9	60,0	120	0,6	1,5	2191,16	570,35	2761,51	281,59

Quadro A 38. Planilha de cálculo do método de Teixeira (1996) para o SPT 06.

TEIXEIRA (1996) - SPT 06									
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α	β (kPa)	P₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	5	5,0	6,0	260	6	38,64	205,96	244,60	24,94
Areia	7	6,0	9,7	260	6	92,74	331,82	424,56	43,29
Areia	17	9,7	10,3	260	6	224,12	351,85	575,97	58,73
Areia	12	10,3	12,0	260	6	316,86	411,92	728,78	74,31
Argila arenosa	12	10,6	13,5	140	6	376,83	249,53	626,36	63,87
Argila arenosa	13	11,0	12,8	140	6	425,06	235,67	660,72	67,37
Argila arenosa	14	11,4	11,0	140	6	529,94	203,32	733,26	74,77
Argila arenosa	5	10,6	9,3	140	6	574,79	170,97	745,77	76,05
Argila arenosa	5	10,0	11,5	140	6	587,35	212,56	799,91	81,57
Argila arenosa	22	11,2	13,5	140	6	692,46	249,53	941,99	96,06
Argila arenosa	22	12,2	27,3	140	6	847,30	503,68	1350,98	137,76
Argila arenosa	60	16,2	41,0	140	6	1249,41	757,83	2007,24	204,68
Argila arenosa	60	19,5	50,5	140	6	1660,99	933,42	2594,41	264,56
Argila arenosa	60	22,4	60,0	140	6	2080,02	1109,01	3189,04	325,19
Argila arenosa	60	24,9	60,0	140	6	2347,00	1109,01	3456,01	352,41

Quadro A 39. Planilha de cálculo do método de Antunes e Cabral (1996) para o SPT 06.

ANTUNES E CABRAL (1996) - SPT 06										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	β₁ (%)	β₂	P₁	ΣP₁	P_p	Q_u (kN)	Q_u (tf)
Areia	5	5,0	7	4,5	220,65	28,98	28,98	203,92	232,90	23,75
Areia	7	6,0	17	4,5	220,65	34,78	63,76	495,23	558,99	57,00
Areia	17	9,7	12	4,5	220,65	56,03	119,79	349,58	469,37	47,86
Areia	12	10,3	12	4,5	220,65	35,65	155,44	349,58	505,01	51,50
Argila arenosa	12	10,6	13	2,75	122,58	15,02	170,45	210,39	380,85	38,84
Argila arenosa	13	11,0	14	2,75	122,58	38,96	209,42	226,58	436,00	44,46
Argila arenosa	14	11,4	5	2,75	122,58	40,48	249,90	80,92	330,82	33,73
Argila arenosa	5	10,6	5	2,75	122,58	22,58	272,48	80,92	353,40	36,04
Argila arenosa	5	10,0	22	2,75	122,58	14,17	286,65	356,05	642,70	65,54
Argila arenosa	22	11,2	22	2,75	122,58	39,67	326,32	356,05	682,37	69,58
Argila arenosa	22	12,2	60	2,75	122,58	43,15	369,47	971,05	1340,52	136,69
Argila arenosa	60	16,2	60	2,75	122,58	57,26	426,74	971,05	1397,78	142,53
Argila arenosa	60	19,5	60	2,75	122,58	69,21	495,94	971,05	1466,99	149,59
Argila arenosa	60	22,4	60	2,75	122,58	14,30	510,24	971,05	1481,29	151,05

Quadro A 40. Planilha de cálculo do método de Brasfond (1991) para o SPT 06.

BRASFOND (1991) - SPT 06										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α (kPa)	β (kPa)	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	5	5,0	6,0	270	5	32,20	32,20	213,88	246,08	25,09
Areia	7	6,0	9,7	270	5	38,64	70,84	344,59	415,43	42,36
Areia	17	9,7	12,0	270	5	62,26	133,10	427,76	560,86	57,19
Areia	12	10,3	13,7	270	5	39,61	172,71	487,17	659,88	67,29
Argila arenosa	12	10,6	12,3	120	5	27,31	200,01	195,40	395,41	40,32
Argila arenosa	13	11,0	13,0	120	5	70,84	270,86	205,96	476,82	48,62
Argila arenosa	14	11,4	10,7	120	5	73,60	344,46	168,99	513,45	52,36
Argila arenosa	5	10,6	8,0	120	5	41,06	385,52	126,74	512,26	52,24
Argila arenosa	5	10,0	10,7	120	5	25,76	411,28	168,99	580,27	59,17
Argila arenosa	22	11,2	16,3	120	5	72,13	483,41	258,77	742,18	75,68
Argila arenosa	22	12,2	34,7	120	5	78,45	561,86	549,23	1111,09	113,30
Argila arenosa	60	16,2	47,3	120	5	104,12	665,98	749,90	1415,88	144,38
Argila arenosa	60	19,5	60,0	120	5	125,83	791,81	950,58	1742,40	177,67
Argila arenosa	60	22,4	60,0	120	5	26,00	817,81	950,58	1768,40	180,33

Quadro A 41. Planilha de cálculo do método de Lizzi (1982) para o SPT 06.

LIZZI (1982) - SPT 06							
Solo	N_{SPT}	K	I	P₁	ΣP₁	Q_{ult} (kN)	Q_{ult} (tf)
Areia	5	200	0,64	128	128	164,87	16,81
Areia	7	200	0,64	128	256	329,74	33,62
Areia	17	200	0,64	128	384	494,61	50,44
Areia	12	200	0,64	76,8	460,8	593,53	60,52
Argila arenosa	12	200	0,64	51,2	512	659,48	67,25
Argila arenosa	13	200	0,64	128	640	824,35	84,06
Argila arenosa	14	200	0,64	128	768	989,22	100,87
Argila arenosa	5	50	0,64	19,2	787,2	1013,96	103,39
Argila arenosa	5	50	0,64	12,8	800	1030,44	105,08
Argila arenosa	22	200	0,64	128	928	1195,31	121,89
Argila arenosa	22	200	0,64	128	1056	1360,18	138,70
Argila arenosa	60	200	0,64	128	1184	1525,05	155,51
Argila arenosa	60	200	0,64	128	1312	1689,93	172,32
Argila arenosa	60	200	0,64	23,04	1335	1719,60	175,35

Quadro A 42. Planilha de cálculo do método de Vorcaro e Velloso (2000) para o SPT 06.

VORCARO E VELLOSO (2000) - SPT 06									
Solo	N_{SPT}	N_p	N_L	ΔL	XP	XF	ΣXF	Q_{est} (kN)	Q_{est} (tf)
Areia	5	7	5,0	1	0,92	6,44	6,44	41,68	4,25
Areia	7	17	6,0	1	2,24	7,73	14,17	172,77	17,62
Areia	17	12	9,7	1	1,58	12,45	26,62	216,12	22,04
Areia	12	12	10,3	0,6	1,58	7,92	34,54	260,12	26,52
Argila arenosa	12	13	10,6	0,4	1,72	5,46	40,00	270,37	27,57
Argila arenosa	13	14	11,0	1	1,85	14,17	54,17	343,06	34,98
Argila arenosa	14	5	11,4	1	0,66	14,72	68,89	259,17	26,43
Argila arenosa	5	5	10,6	0,6	0,66	8,21	77,10	280,27	28,58
Argila arenosa	5	22	10,0	0,4	2,90	5,15	82,26	538,75	54,94
Argila arenosa	22	22	11,2	1	2,90	14,43	96,68	594,91	60,66
Argila arenosa	22	60	12,2	1	7,92	15,69	112,37	943,58	96,22
Argila arenosa	60	60	16,2	1	7,92	20,82	133,20	1038,52	105,90
Argila arenosa	60	60	19,5	1	7,92	25,17	158,36	1143,46	116,60
Argila arenosa	60	60	22,4	0,18	7,92	5,20	163,56	1164,03	118,70

Quadro A 43. Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 07.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 07										
Solo	N_{SPT}	α (%)	K (kPa)	F₁	F₂	P₁	ΣP_1	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	5	2,1	715,8855	2,2	2,4	40,34	40,34	257,77	298,11	30,40
Areia	6	2,1	715,8855	2,2	2,4	48,41	88,75	429,61	518,37	52,86
Areia	10	2,1	715,8855	2,2	2,4	80,68	169,44	644,42	813,86	82,99
Areia	15	2,1	715,8855	2,2	2,4	121,03	290,46	988,11	1278,57	130,38
Areia	23	2,1	715,8855	2,2	2,4	185,57	476,03	902,19	1378,22	140,54
Areia	21	2,1	715,8855	2,2	2,4	169,44	645,47	902,19	1547,66	157,82
Areia	21	2,1	715,8855	2,2	2,4	101,66	747,13	902,19	1649,32	168,18
Argila arenosa	21	3,8	294,1995	2,2	2,4	50,40	797,53	300,14	1097,67	111,93
Argila arenosa	17	3,8	294,1995	2,2	2,4	102,00	899,53	123,59	1023,12	104,33
Argila arenosa	7	3,8	294,1995	2,2	2,4	25,20	924,73	123,59	1048,32	106,90
Areia argilosa	7	3,8	294,1995	2,2	2,4	16,80	941,53	1059,32	2000,85	204,03
Areia argilosa	60	3,8	294,1995	2,2	2,4	36,00	977,53	1059,32	2036,85	207,70

Quadro A 44. Planilha de cálculo do método de Décourt e Quaresma (1978) para o SPT 07.

DÉCOURT E QUARESMA (1978) - SPT 07										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	C (kPa)	α	β	P₁ (kN)	P_p (kN)	R (kN)	R (tf)
Areia	5	5,0	5,5	400	0,5	1,5	51,52	145,23	196,75	20,06
Areia	6	5,5	7,0	400	0,5	1,5	109,48	184,84	294,32	30,01
Areia	10	7,0	10,3	400	0,5	1,5	193,21	272,85	466,06	47,52
Areia	15	9,0	16,0	400	0,5	1,5	309,13	422,48	731,61	74,60
Areia	23	11,8	19,7	400	0,5	1,5	476,58	519,30	995,88	101,55
Areia	21	13,3	21,7	400	0,5	1,5	631,15	572,11	1203,26	122,70
Areia	21	14,4	21,0	400	0,5	1,5	785,71	554,51	1340,22	136,66
Argila arenosa	21	15,3	19,7	120	0,6	1,5	893,26	186,95	1080,21	110,15
Argila arenosa	17	15,4	15,0	120	0,6	1,5	950,30	142,59	1092,88	111,44
Argila arenosa	7	14,6	10,3	120	0,6	1,5	1020,14	98,23	1118,36	114,04
Areia argilosa	7	13,9	24,7	120	0,6	1,5	1045,43	234,48	1279,91	130,51
Areia argilosa	60	17,8	42,3	120	0,6	1,5	1336,35	402,41	1738,77	177,30
Areia argilosa	60	21,0	60,0	120	0,6	1,5	1561,12	570,35	2131,47	217,35

Quadro A 45. Planilha de cálculo do método de Teixeira (1996) para o SPT 07.

TEIXEIRA (1996) - SPT 07									
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α	β (kPa)	P₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	5	5,0	5,5	260	6	38,64	188,80	227,44	23,19
Areia	6	5,5	7,0	260	6	85,01	240,29	325,30	33,17
Areia	10	7,0	9,0	260	6	162,29	308,94	471,23	48,05
Areia	15	9,0	13,5	260	6	278,22	463,41	741,63	75,62
Areia	23	11,8	17,3	260	6	455,97	592,13	1048,10	106,88
Areia	21	13,3	20,0	260	6	618,27	686,53	1304,80	133,05
Areia	21	14,4	21,5	260	6	780,56	738,02	1518,58	154,85
Argila arenosa	21	15,3	20,0	140	6	895,71	369,67	1265,38	129,03
Argila arenosa	17	15,4	16,5	140	6	954,88	304,98	1259,86	128,47
Argila arenosa	7	14,6	13,0	140	6	1015,5	240,29	1255,79	128,05
Areia argilosa	7	13,9	22,8	140	6	1031,9	420,50	1452,44	148,11
Areia argilosa	60	17,8	33,5	140	6	1371,7	619,20	1990,98	203,02
Areia argilosa	60	21,0	42,3	140	6	1639,1	782,47	2421,65	246,94

Quadro A 46. Planilha de cálculo do método de Antunes e Cabral (1996) para o SPT 07.

ANTUNES E CABRAL (1996) - SPT 07										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	β₁ (%)	β₂	P₁	ΣP₁	P_p	Q_u (kN)	Q_u (tf)
Areia	5	5,0	6	4,5	220,65	28,98	28,98	174,79	203,77	20,78
Areia	6	5,5	10	4,5	220,65	31,88	60,86	291,31	352,17	35,91
Areia	10	7,0	15	4,5	220,65	40,57	101,43	436,97	538,40	54,90
Areia	15	9,0	23	4,5	220,65	52,17	153,60	670,02	823,62	83,99
Areia	23	11,8	21	4,5	220,65	68,40	222,00	611,76	833,75	85,02
Areia	21	13,3	21	4,5	220,65	77,28	299,28	611,76	911,04	92,90
Areia	21	14,4	21	4,5	220,65	50,18	349,46	611,76	961,22	98,02
Argila arenosa	21	15,3	17	2,75	122,58	21,61	371,07	275,13	646,19	65,89
Argila arenosa	17	15,4	7	2,75	122,58	54,71	425,77	113,29	539,06	54,97
Argila arenosa	7	14,6	7	2,75	122,58	31,03	456,80	113,29	570,09	58,13
Areia argilosa	7	13,9	60	2,75	122,58	19,71	476,51	971,05	1447,55	147,61
Areia argilosa	60	17,8	60	2,75	122,58	6,29	482,80	971,05	1453,84	148,25

Quadro A 47. Planilha de cálculo do método de Brasfond (1991) para o SPT 07.

BRASFOND (1991) - SPT 07										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α (kPa)	β (kPa)	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	5	5,0	5,5	270	5	32,20	32,20	196,06	228,26	23,28
Areia	6	5,5	7,0	270	5	35,42	67,62	249,53	317,15	32,34
Areia	10	7,0	10,3	270	5	45,08	112,70	368,35	481,06	49,05
Areia	15	9,0	16,0	270	5	57,96	170,67	570,35	741,02	75,56
Areia	23	11,8	19,7	270	5	76,00	246,66	701,06	947,72	96,64
Areia	21	13,3	21,7	270	5	85,87	332,53	772,35	1104,88	112,67
Areia	21	14,4	21,0	270	5	55,75	388,29	748,58	1136,87	115,93
Argila arenosa	21	15,3	19,7	120	5	39,29	427,57	311,58	739,15	75,37
Argila arenosa	17	15,4	15,0	120	5	99,47	527,04	237,65	764,68	77,98
Argila arenosa	7	14,6	10,3	120	5	56,42	583,46	163,71	747,17	76,19
Areia argilosa	7	13,9	24,7	120	5	35,83	619,29	390,80	1010,08	103,00
Areia argilosa	60	17,8	42,3	120	5	11,43	630,72	670,69	1301,41	132,71

Quadro A 48. Planilha de cálculo do método de Lizzi (1982) para o SPT 07.

LIZZI (1982) - SPT 07							
Solo	N_{SPT}	K	I	P₁	ΣP₁	Q_{ult} (kN)	Q_{ult} (tf)
Areia	5	200	0,64	128	128	164,87	16,81
Areia	6	200	0,64	128	256	329,74	33,62
Areia	10	200	0,64	128	384	494,61	50,44
Areia	15	200	0,64	128	512	659,48	67,25
Areia	23	200	0,64	128	640	824,35	84,06
Areia	21	200	0,64	128	768	989,22	100,87
Areia	21	200	0,64	76,8	844,8	1088,15	110,96
Argila arenosa	21	200	0,64	51,2	896	1154,10	117,68
Argila arenosa	17	200	0,64	128	1024	1318,97	134,50
Argila arenosa	7	150	0,64	57,6	1081,6	1393,16	142,06
Areia argilosa	7	150	0,64	38,4	1120	1442,62	147,11
Areia argilosa	60	200	0,64	12,8	1132,8	1459,11	148,79

Quadro A 49. Planilha de cálculo do método de Vorcaro e Velloso (2000) para o SPT 07.

VORCARO E VELLOSO (2000) - SPT 07									
Solo	N_{SPT}	N_p	N_L	ΔL	XP	XF	ΣXF	Q_{est} (kN)	Q_{est} (tf)
Areia	5	6	5,0	1	0,79	6,44	6,44	35,72	3,64
Areia	6	10	5,5	1	1,32	7,08	13,52	112,39	11,46
Areia	10	15	7,0	1	1,98	9,02	22,54	223,03	22,74
Areia	15	23	9,0	1	3,04	11,59	34,13	390,04	39,77
Areia	23	21	11,8	1	2,77	15,20	49,33	467,69	47,69
Areia	21	21	13,3	1	2,77	17,17	66,51	563,41	57,45
Areia	21	21	14,4	0,6	2,77	11,15	77,66	619,24	63,14
Argila arenosa	21	17	15,3	0,4	2,24	7,86	85,51	498,67	50,85
Argila arenosa	17	7	15,4	1	0,92	19,89	105,41	398,41	40,63
Argila arenosa	7	7	14,6	0,6	0,92	11,28	116,69	425,47	43,39
Areia argilosa	7	60	13,9	0,4	7,92	7,17	123,86	996,97	101,66
Areia argilosa	60	60	17,8	0,1	7,92	2,29	126,14	1007,29	102,71

Quadro A 50. Planilha de cálculo do método de Aoki e Velloso (1975) para o SPT 08.

AOKI E VELLOSO (1975) - SPT 08										
Solo	N_{SPT}	α (%)	K (kPa)	F₁	F₂	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	2	2,1	715,8855	2,2	2,4	16,14	16,14	42,96	59,10	6,03
Areia	1	2,1	715,8855	2,2	2,4	8,07	24,21	300,73	324,93	33,13
Areia	7	2,1	715,8855	2,2	2,4	56,48	80,68	515,54	596,22	60,80
Areia	12	2,1	715,8855	2,2	2,4	96,82	177,50	687,38	864,89	88,19
Areia	16	2,1	715,8855	2,2	2,4	129,09	306,60	988,11	1294,71	132,02
Areia	23	2,1	715,8855	2,2	2,4	185,57	492,17	472,58	964,75	98,38
Areia	11	2,1	715,8855	2,2	2,4	53,25	545,42	472,58	1018,00	103,81
Argila arenosa	11	3,8	294,1995	2,2	2,4	26,40	571,82	176,55	748,37	76,31
Argila arenosa	10	3,8	294,1995	2,2	2,4	60,00	631,82	264,83	896,65	91,43
Areia argilosa	15	2,9	558,9791	2,2	2,4	78,30	710,12	503,18	1213,30	123,72
Areia argilosa	15	2,9	558,9791	2,2	2,4	52,20	762,32	2012,71	2775,03	282,97
Areia argilosa	60	2,9	558,9791	2,2	2,4	522,00	1284,32	2012,71	3297,03	336,20
Areia argilosa	60	2,9	558,9791	2,2	2,4	78,30	1362,62	2012,71	3375,33	344,19

Quadro A 51. Planilha de cálculo do método de Décourt e Quaresma (1978) para o SPT 08.

DÉCOURT E QUARESMA (1978) - SPT 08										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	C (kPa)	α	β	P₁ (kN)	P_p (kN)	R (kN)	R (tf)
Areia	2	2,0	1,5	400	0,5	1,5	32,20	39,61	71,81	7,32
Areia	1	1,5	3,3	400	0,5	1,5	57,96	88,02	145,98	14,89
Areia	7	3,3	6,7	400	0,5	1,5	122,37	176,03	298,40	30,43
Areia	12	5,5	11,7	400	0,5	1,5	218,97	308,06	527,03	53,74
Areia	16	7,6	17,0	400	0,5	1,5	341,33	448,89	790,22	80,58
Areia	23	10,2	16,7	400	0,5	1,5	508,78	440,08	948,87	96,76
Areia	11	10,3	15,0	400	0,5	1,5	598,94	396,08	995,02	101,46
Argila arenosa	11	10,4	10,7	120	0,6	1,5	654,65	101,40	756,05	77,10
Argila arenosa	10	10,3	12,0	120	0,6	1,5	686,96	114,07	801,03	81,68
Areia argilosa	15	10,8	13,3	400	0,6	1,5	799,88	422,48	1222,36	124,65
Areia argilosa	15	11,2	30,0	400	0,6	1,5	876,81	950,58	1827,40	186,34
Areia argilosa	60	15,3	45,0	400	0,6	1,5	1175,35	1425,87	2601,22	265,25
Areia argilosa	60	18,7	60,0	400	0,6	1,5	1536,75	1901,17	3437,91	350,57
Areia argilosa	60	21,6	60,0	400	0,6	1,5	1769,58	1901,17	3670,74	374,31

Quadro A 52. Planilha de cálculo do método de Teixeira (1996) para o SPT 08.

TEIXEIRA (1996) - SPT 08									
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α	β (kPa)	P₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	2	2,0	1,5	260	6	15,46	51,49	66,95	6,83
Areia	1	1,5	3,3	260	6	23,18	114,42	137,61	14,03
Areia	7	3,3	5,5	260	6	77,28	188,80	266,08	27,13
Areia	12	5,5	9,0	260	6	170,02	308,94	478,96	48,84
Areia	16	7,6	14,5	260	6	293,68	497,74	791,41	80,70
Areia	23	10,2	15,5	260	6	471,43	532,06	1003,49	102,33
Areia	11	10,3	15,3	260	6	556,44	523,48	1079,92	110,12
Argila arenosa	11	10,4	13,8	140	6	609,38	254,15	863,53	88,05
Argila arenosa	10	10,3	11,8	140	6	638,87	217,18	856,06	87,29
Areia argilosa	15	10,8	12,8	190	6	751,19	319,83	1071,02	109,21
Areia argilosa	15	11,2	25,0	190	6	829,60	627,12	1456,72	148,54
Areia argilosa	60	15,3	37,5	190	6	1178,57	940,68	2119,25	216,10
Areia argilosa	60	18,7	48,8	190	6	1589,06	1222,89	2811,95	286,74
Areia argilosa	60	21,6	60,0	190	6	1864,98	1505,09	3370,07	343,65

Quadro A 53. Planilha de cálculo do método de Antunes e Cabral (1996) para o SPT 08.

ANTUNES E CABRAL (1996) - SPT 08										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	β₁ (%)	β₂	P₁	ΣP₁	P_p	Q_u (kN)	Q_u (tf)
Areia	2	2,0	1	4,5	220,65	11,59	11,59	29,13	40,72	4,15
Areia	1	1,5	7	4,5	220,65	8,69	20,29	203,92	224,21	22,86
Areia	7	3,3	12	4,5	220,65	19,32	39,61	349,58	389,18	39,69
Areia	12	5,5	16	4,5	220,65	31,88	71,49	466,10	537,59	54,82
Areia	16	7,6	23	4,5	220,65	44,05	115,54	670,02	785,56	80,10
Areia	23	10,2	11	4,5	220,65	58,93	174,47	320,44	494,91	50,47
Areia	11	10,3	11	4,5	220,65	35,77	210,24	320,44	530,68	54,11
Argila arenosa	11	10,4	10	2,75	122,58	14,70	224,94	161,84	386,78	39,44
Argila arenosa	10	10,3	15	2,75	122,58	36,60	261,54	242,76	504,30	51,42
Areia argilosa	15	10,8	15	4,5	220,65	37,56	299,10	436,97	736,07	75,06
Areia argilosa	15	11,2	60	4,5	220,65	25,92	325,02	1747,8	2072,91	211,38
Areia argilosa	60	15,3	60	4,5	220,65	88,39	413,42	1747,8	2161,30	220,39
Areia argilosa	60	18,7	60	4,5	220,65	16,25	429,67	1747,8	2177,55	222,05

Quadro A 54. Planilha de cálculo do método de Brasfond (1991) para o SPT 08.

BRASFOND (1991) - SPT 08										
Solo	N_{SPT}	N_L	N_p	α (kPa)	β (kPa)	P₁	ΣP₁	P_p	R (kN)	R (tf)
Areia	2	2,0	1,5	270	5	12,88	12,88	53,47	66,35	6,77
Areia	1	1,5	3,3	270	5	9,66	22,54	118,82	141,36	14,42
Areia	7	3,3	6,7	270	5	21,47	44,01	237,65	281,65	28,72
Areia	12	5,5	11,7	270	5	35,42	79,43	415,88	495,31	50,51
Areia	16	7,6	17,0	270	5	48,95	128,38	606,00	734,37	74,88
Areia	23	10,2	16,7	270	5	65,48	193,85	594,11	787,97	80,35
Areia	11	10,3	15,0	270	5	39,75	233,60	534,70	768,30	78,34
Argila arenosa	11	10,4	10,7	120	5	26,73	260,32	168,99	429,32	43,78
Argila arenosa	10	10,3	12,0	120	5	66,55	326,87	190,12	516,99	52,72
Areia argilosa	15	10,8	13,3	180	5	41,73	368,61	316,86	685,47	69,90
Areia argilosa	15	11,2	30,0	180	5	28,81	397,41	712,94	1110,35	113,22
Areia argilosa	60	15,3	45,0	180	5	98,21	495,63	1069,41	1565,03	159,59
Areia argilosa	60	18,7	60,0	180	5	18,06	513,68	1425,87	1939,56	197,78

Quadro A 55. Planilha de cálculo do método de Lizzi (1982) para o SPT 08.

LIZZI (1982) - SPT 08							
Solo	N_{SPT}	K	I	P₁	ΣP₁	Q_{ult} (kN)	Q_{ult} (tf)
Areia	2	200	0,64	128	128	164,87	16,81
Areia	1	200	0,64	128	256	329,74	33,62
Areia	7	200	0,64	128	384	494,61	50,44
Areia	12	200	0,64	128	512	659,48	67,25
Areia	16	200	0,64	128	640	824,35	84,06
Areia	23	200	0,64	128	768	989,22	100,87
Areia	11	200	0,64	76,8	844,8	1088,15	110,96
Argila arenosa	11	200	0,64	51,2	896	1154,10	117,68
Argila arenosa	10	150	0,64	96	992	1277,75	130,29
Areia argilosa	15	200	0,64	76,8	1068,8	1376,67	140,38
Areia argilosa	15	200	0,64	51,2	1120	1442,62	147,11
Areia argilosa	60	200	0,64	128	1248	1607,49	163,92
Areia argilosa	60	200	0,64	19,2	1267,2	1632,22	166,44

Quadro A 56. Planilha de cálculo do método de Vorcaro e Velloso (2000) para o SPT 08.

VORCARO E VELLOSO (2000) - SPT 08									
Solo	N_{SPT}	N_p	N_L	ΔL	XP	XF	ΣXF	Q_{est} (kN)	Q_{est} (tf)
Areia	2	1	2,0	1	0,13	2,58	2,58	Raiz de número negativo	Raiz de número negativo
Areia	1	7	1,5	1	0,92	1,93	4,51	28,15	2,87
Areia	7	12	3,3	1	1,58	4,29	8,80	90,41	9,22
Areia	12	16	5,5	1	2,11	7,08	15,89	180,39	18,39
Areia	16	23	7,6	1	3,04	9,79	25,68	322,99	32,94
Areia	23	11	10,2	1	1,45	13,10	38,77	266,30	27,15
Areia	11	11	10,3	0,6	1,45	7,95	46,72	302,79	30,88
Argila arenosa	11	10	10,4	0,4	1,32	5,35	52,06	289,23	29,49
Argila arenosa	10	15	10,3	1	1,98	13,31	65,37	399,52	40,74
Areia argilosa	15	15	10,8	0,6	1,98	8,35	73,72	464,57	47,37
Areia argilosa	15	60	11,2	0,4	7,92	5,76	79,48	944,76	96,34
Areia argilosa	60	60	15,3	1	7,92	19,64	99,13	1069,77	109,09
Areia argilosa	60	60	18,7	0,15	7,92	3,61	102,74	1091,30	111,28

APÊNDICE B - PERFIS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

Figura B 1. Perfil geológico-geotécnico entre SPT 01 e SPT 02.

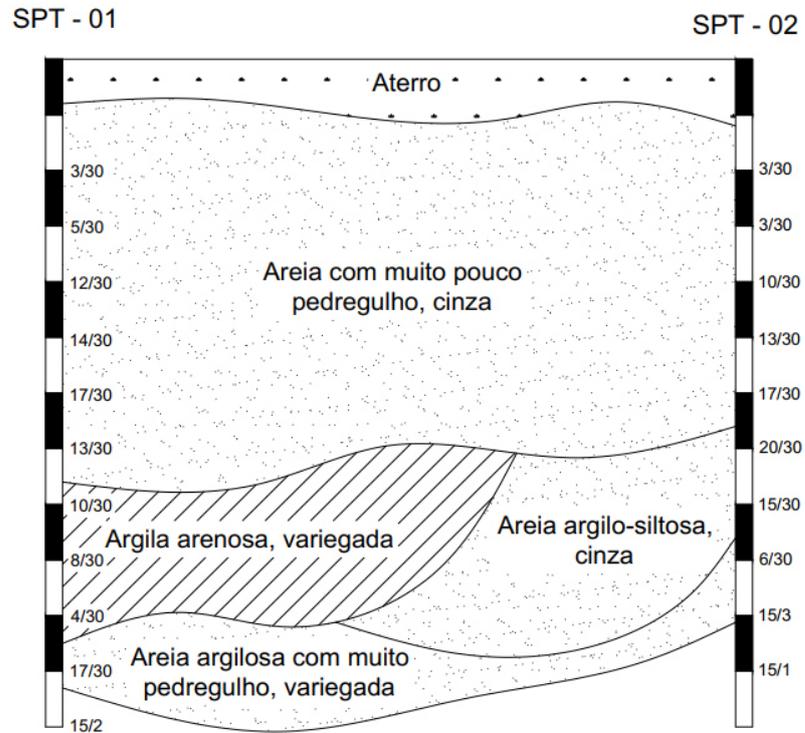


Figura B 2. Perfil geológico-geotécnico entre SPT 03 e SPT 04.

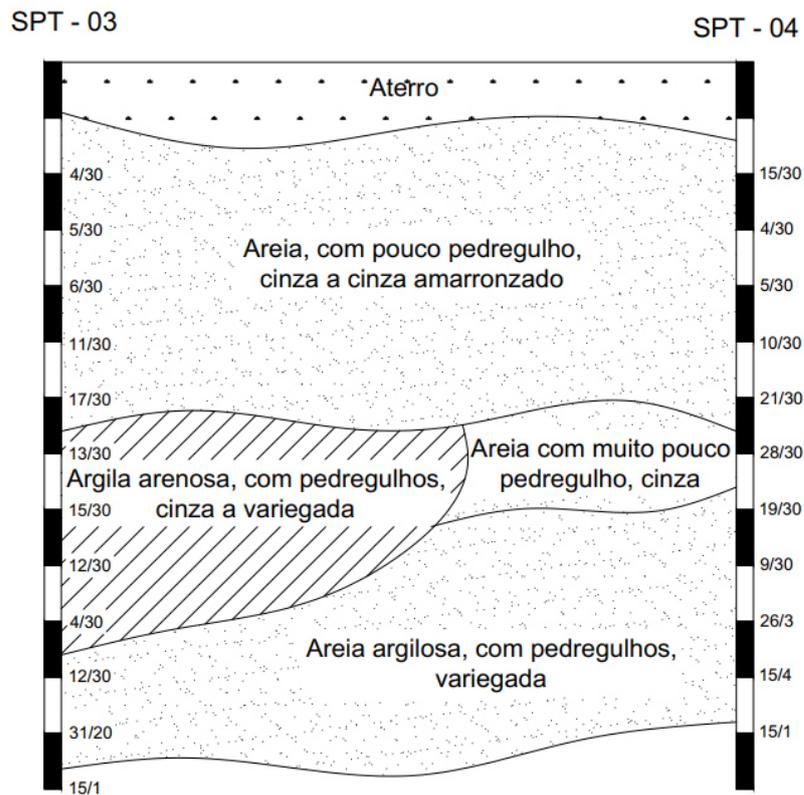


Figura B 3. Perfil geológico-geotécnico entre SPT 05 e SPT 06.

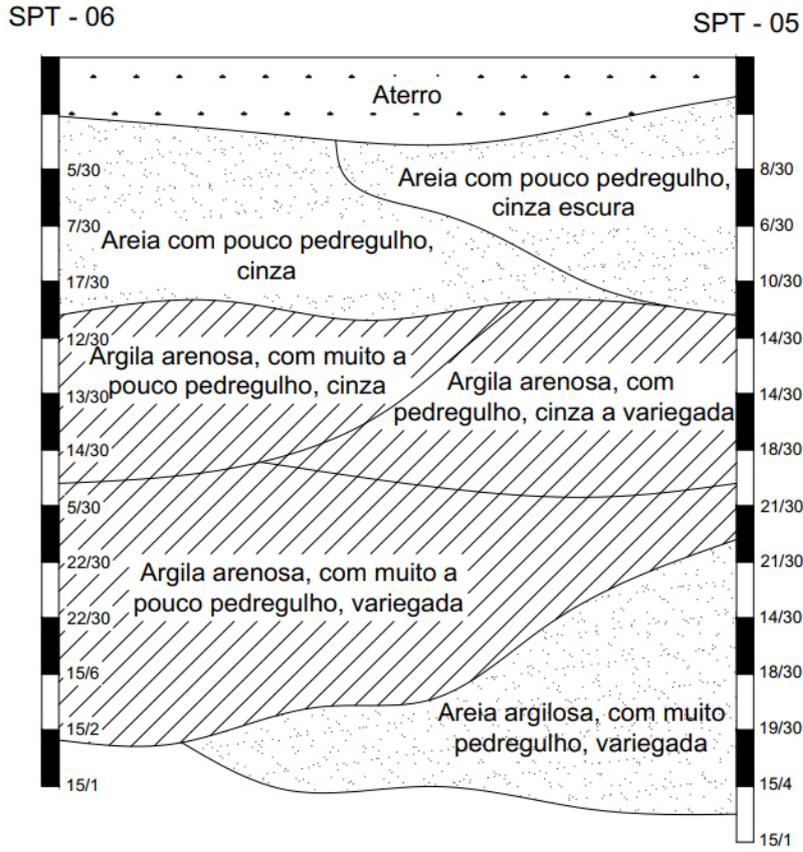
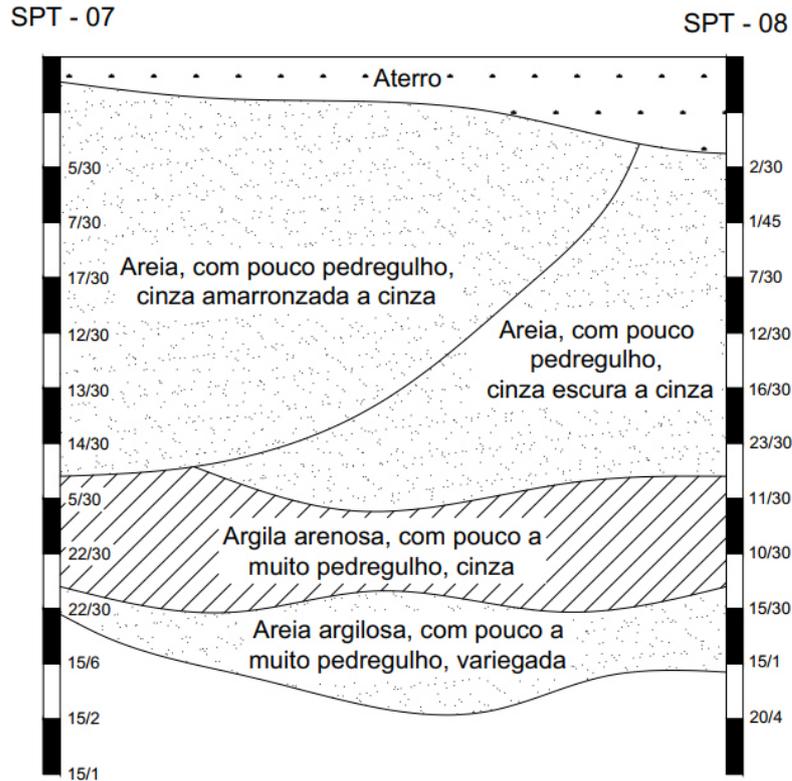


Figura B 4. Perfil geológico-geotécnico entre SPT 07 e SPT 08.



APÊNDICE C - TABELAS COM OS RESULTADOS DA CAPACIDADE DE CARGA DE CADA MÉTODO

Tabela C 1. Resultado das estimativas de capacidade de carga para o SPT 01.

SPT 01		
Método	Resultado	Unidade
Aoki e Velloso	97,99	Tf
Décourt e Quaresma	83,84	Tf
Teixeira	86,47	Tf
Antunes e Cabral	65,92	Tf
Brasfond	83,34	Tf
Lizzi	132,82	Tf
Vorcaro e Velloso	54,13	Tf

Tabela C 2. Resultado das estimativas de capacidade de carga para o SPT 02.

SPT 02		
Método	Resultado	Unidade
Aoki e Velloso	333,64	Tf
Décourt e Quaresma	242,09	Tf
Teixeira	227,06	Tf
Antunes e Cabral	225,11	Tf
Brasfond	153,86	Tf
Lizzi	151,31	Tf
Vorcaro e Velloso	110,93	Tf

Tabela C 3. Resultado das estimativas de capacidade de carga para o SPT 03.

SPT 03		
Método	Resultado	Unidade
Aoki e Velloso	116,51	Tf
Décourt e Quaresma	101,97	Tf
Teixeira	108,55	Tf
Antunes e Cabral	76,61	Tf
Brasfond	60,60	Tf
Lizzi	132,82	Tf
Vorcaro e Velloso	45,46	Tf

Tabela C 4. Resultado das estimativas de capacidade de carga para o SPT 04.

SPT 04		
Método	Resultado	Unidade
Aoki e Velloso	322,15	Tf
Décourt e Quaresma	208,71	Tf
Teixeira	191,54	Tf
Antunes e Cabral	246,52	Tf
Brasfond	152,62	Tf
Lizzi	151,31	Tf
Vorcaro e Velloso	136,35	Tf

Tabela C 5. Resultado das estimativas de capacidade de carga para o SPT 05.

SPT 05		
Método	Resultado	Unidade
Aoki e Velloso	156,15	Tf
Décourt e Quaresma	160,82	Tf
Teixeira	151,84	Tf
Antunes e Cabral	103,54	Tf
Brasfond	106,16	Tf
Lizzi	151,31	Tf
Vorcaro e Velloso	74,30	Tf

Tabela C 6. Resultado das estimativas de capacidade de carga para o SPT 06.

SPT 06		
Método	Resultado	Unidade
Aoki e Velloso	187,24	Tf
Décourt e Quaresma	123,34	Tf
Teixeira	137,76	Tf
Antunes e Cabral	136,69	Tf
Brasfond	141,30	Tf
Lizzi	138,70	Tf
Vorcaro e Velloso	96,22	Tf

Tabela C 7. Resultado das estimativas de capacidade de carga para o SPT 07.

SPT 07		
Método	Resultado	Unidade
Aoki e Velloso	106,90	Tf
Décourt e Quaresma	114,04	Tf
Teixeira	128,05	Tf
Antunes e Cabral	58,13	Tf
Brasfond	84,54	Tf
Lizzi	142,06	Tf
Vorcaro e Velloso	101,66	Tf

Tabela C 8. Resultado das estimativas de capacidade de carga para o SPT 08.

SPT 08		
Método	Resultado	Unidade
Aoki e Velloso	123,72	Tf
Décourt e Quaresma	124,65	Tf
Teixeira	109,21	Tf
Antunes e Cabral	75,06	Tf
Brasfond	69,90	Tf
Lizzi	140,38	Tf
Vorcaro e Velloso	47,37	Tf

APÊNDICE D - GRÁFICOS COMPARATIVOS ENTRE OS MÉTODOS RELACIONADOS AO SPT.

Gráfico D 1. VP (%) dos métodos referentes ao SPT 01.

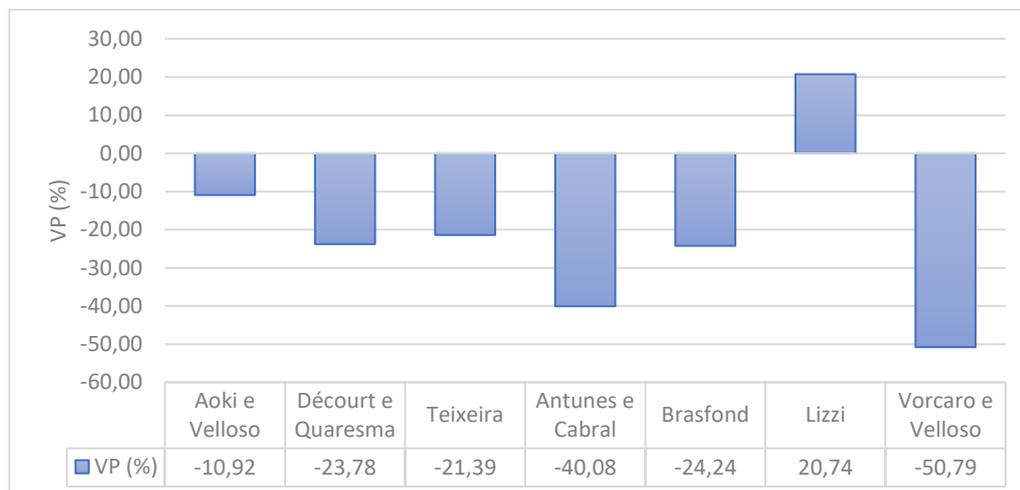


Gráfico D 2. VP (%) dos métodos referentes ao SPT 02

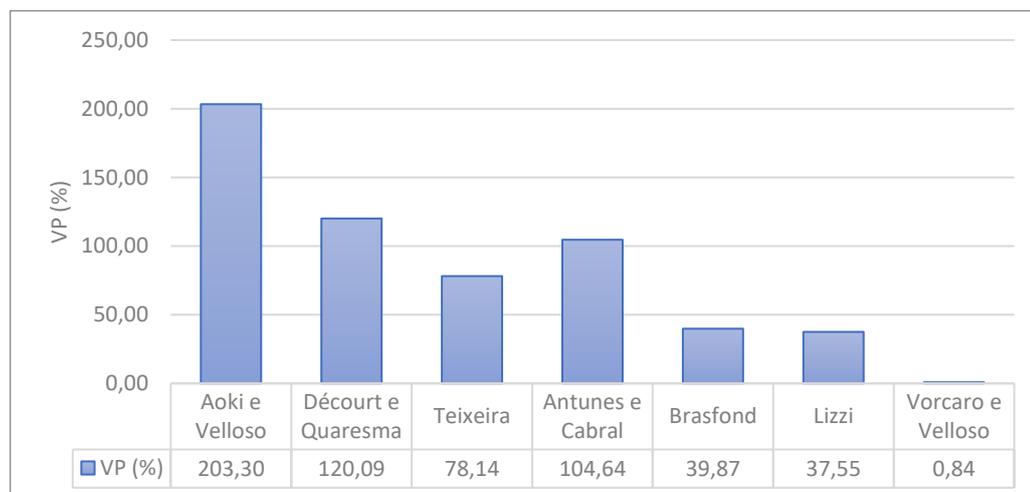


Gráfico D 3. VP (%) dos métodos referentes ao SPT 03.

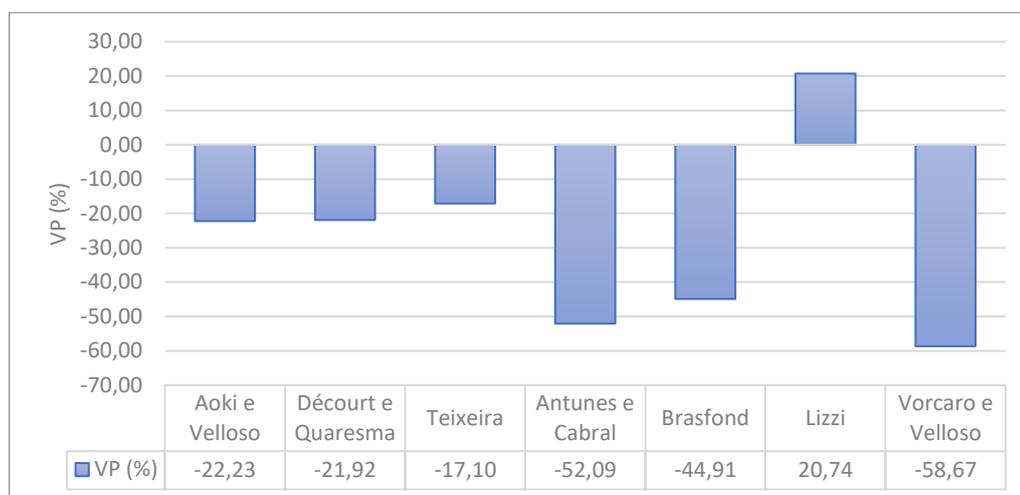


Gráfico D 4. VP (%) dos métodos referentes ao SPT 04.

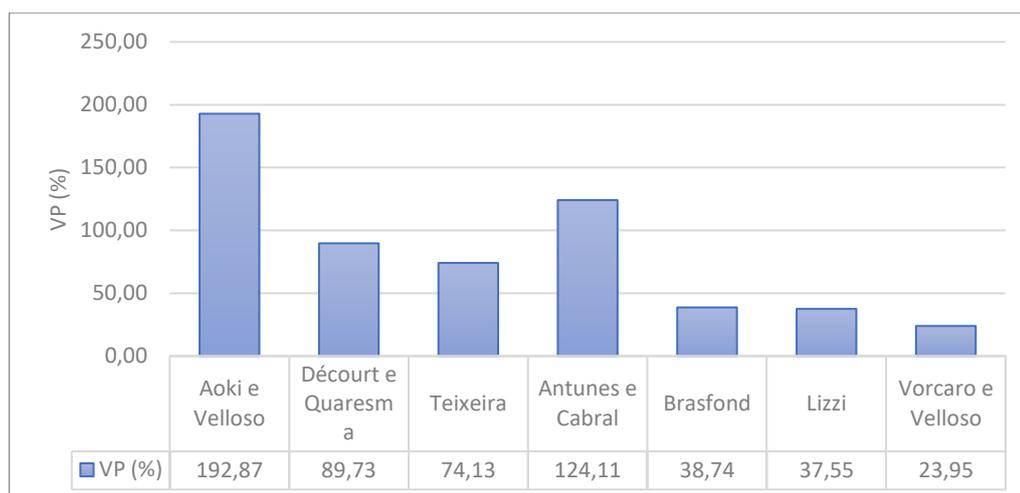


Gráfico D 5. VP (%) dos métodos referentes ao SPT 05.

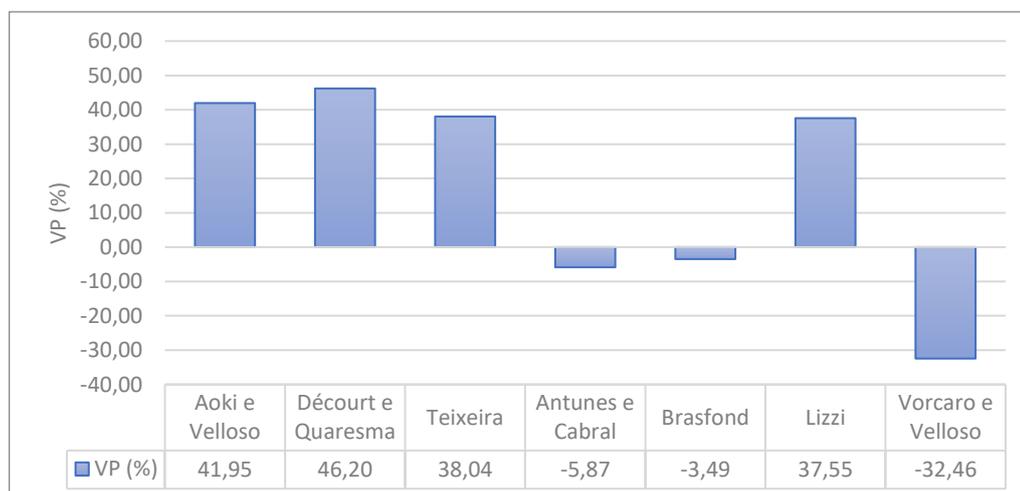


Gráfico D 6. VP (%) dos métodos referentes ao SPT 06.

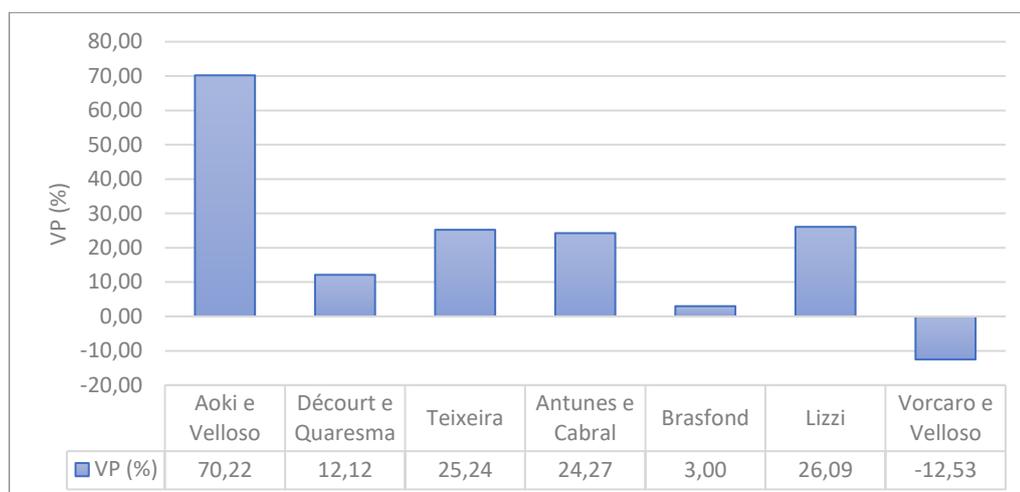


Gráfico D 7. VP (%) dos métodos referentes ao SPT 07.

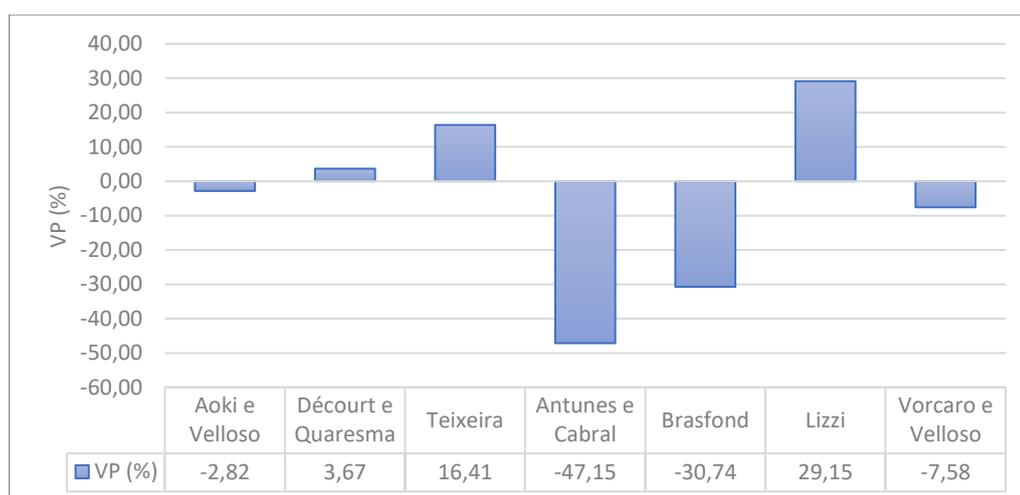
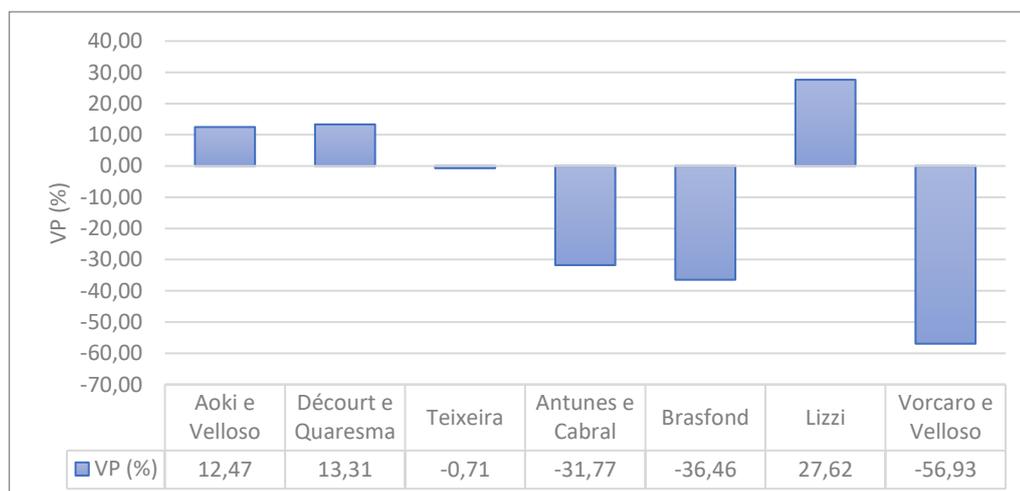


Gráfico D 8. VP (%) dos métodos referentes ao SPT 08.



APÊNDICE E - DISTRIBUIÇÃO NORMAL DE PROBABILIDADE DOS MÉTODOS UTILIZADOS

Gráfico E 1. Distribuição normal de probabilidade para Aoki e Velloso (1975).

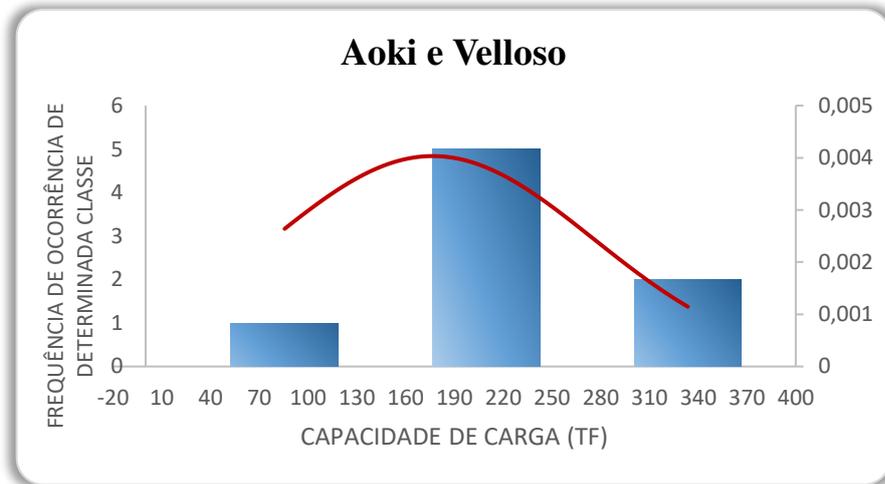


Gráfico E 2. Distribuição normal de probabilidade para Décourt e Quaresma (1978).

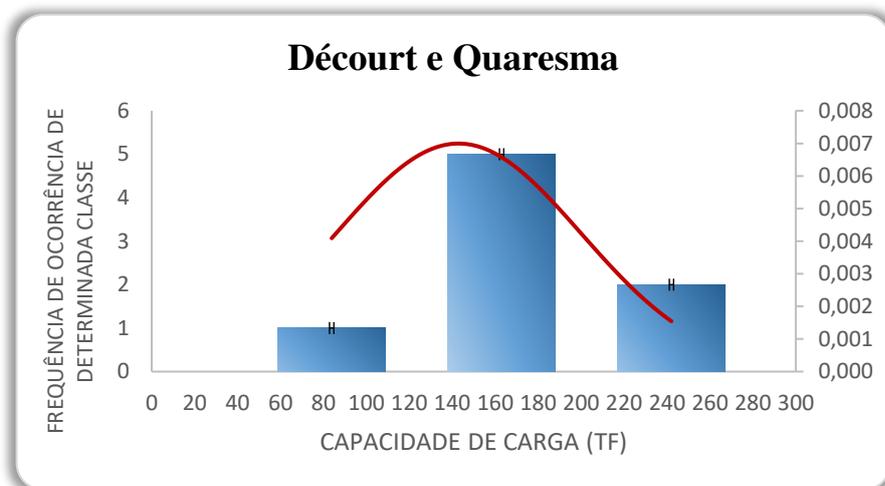


Gráfico E 3. Distribuição normal de probabilidade para Teixeira (1996).

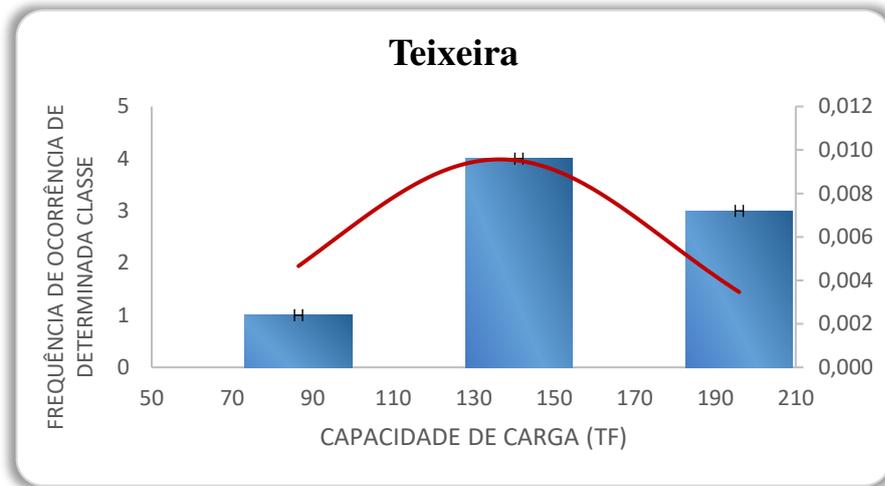


Gráfico E 4. Distribuição normal de probabilidade para Antunes e Cabral (1996).

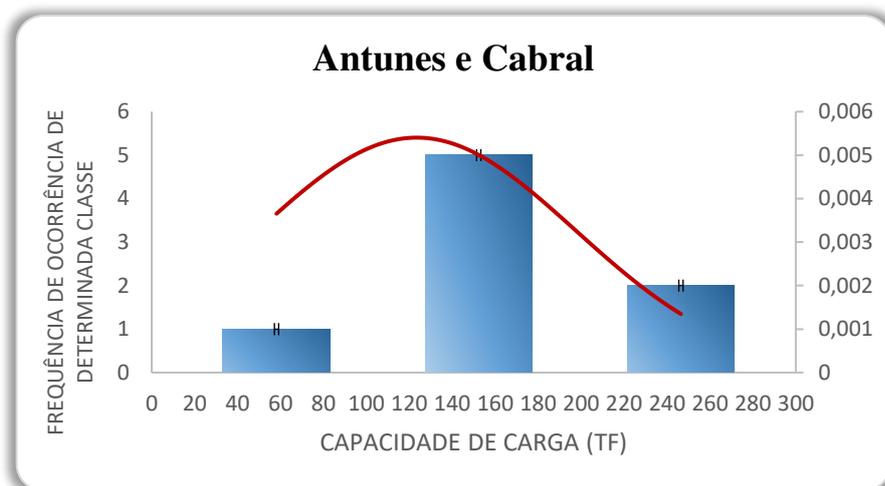


Gráfico E 5. Distribuição normal de probabilidade para Brasfond (1991).

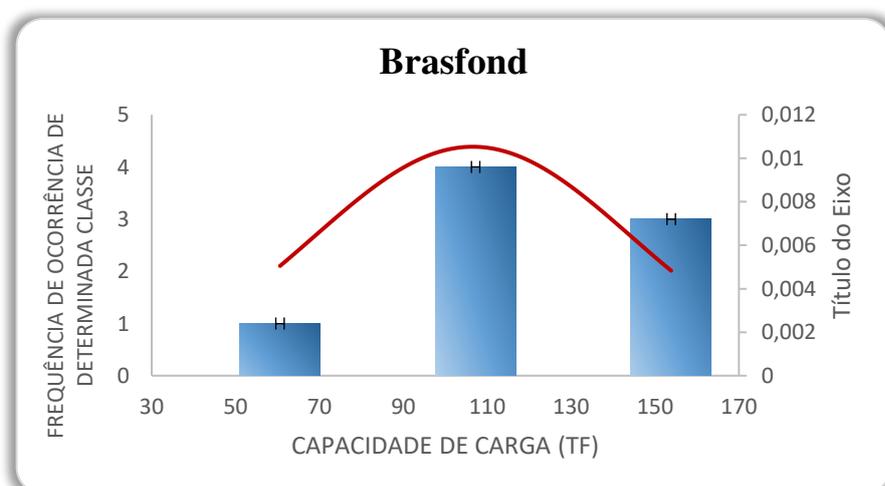


Gráfico E 6. Distribuição normal de probabilidade para Lizzi (1982).

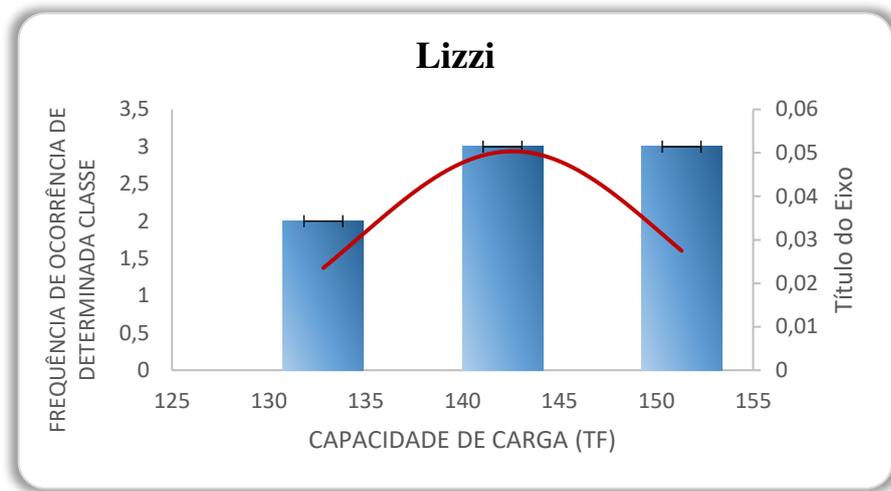
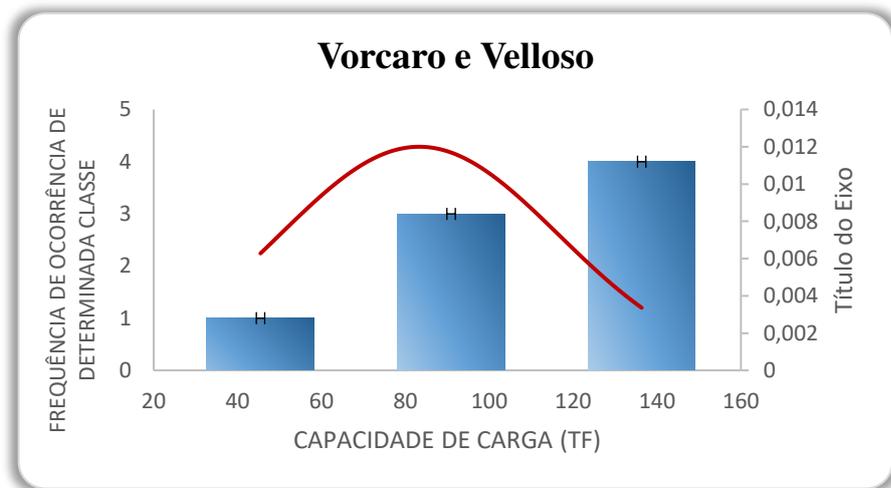


Gráfico E 7. Distribuição normal de probabilidade para Vorcaro e Velloso (2000).



APÊNDICE F - DISTRIBUIÇÃO NORMAL DE PROBABILIDADE ATRAVÉS DE GERAÇÃO DE VARIÁVEIS ALEATORIAS

Gráfico F 1. Distribuição de probabilidade para Aoki e Velloso (1975) utilizando variáveis aleatórias.

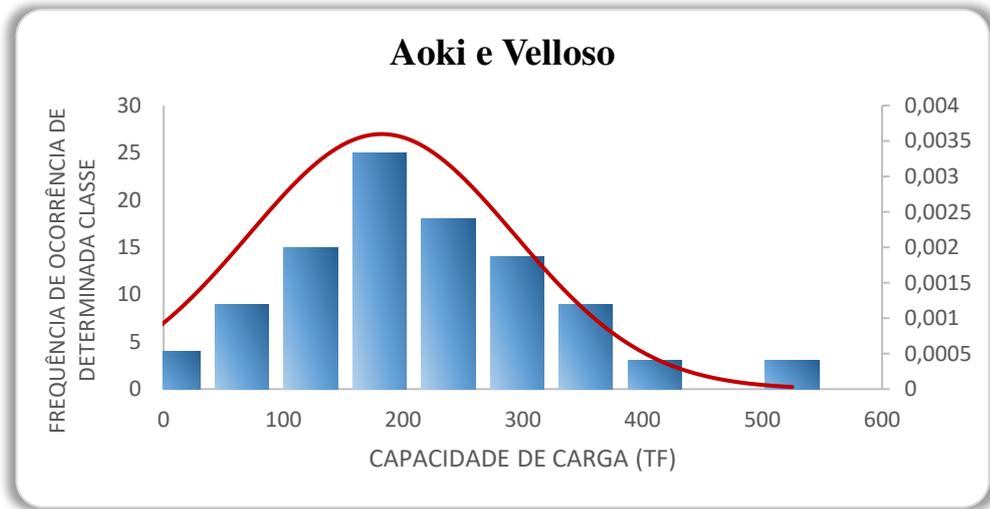


Gráfico F 2. Distribuição de probabilidade para Décourt e Quaresma (1978) utilizando variáveis aleatórias.

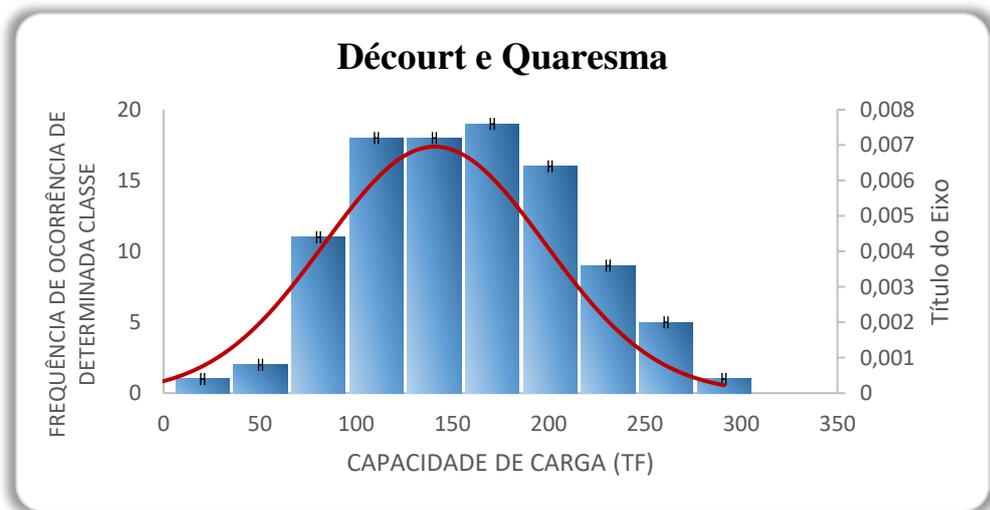


Gráfico F 3. Distribuição de probabilidade para Teixeira (1996) utilizando variáveis aleatórias.

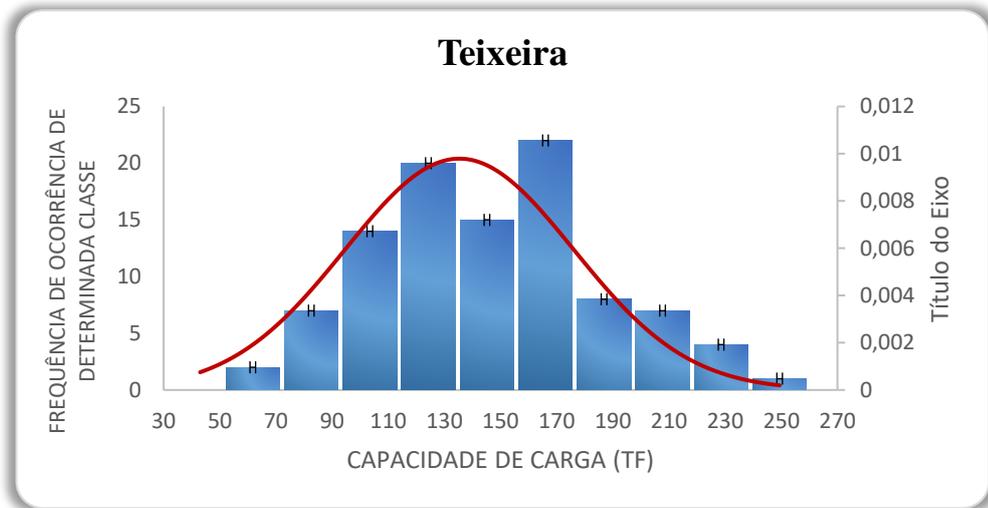


Gráfico F 4. Distribuição de probabilidade para Antunes e Cabral (1996) utilizando variáveis aleatórias.

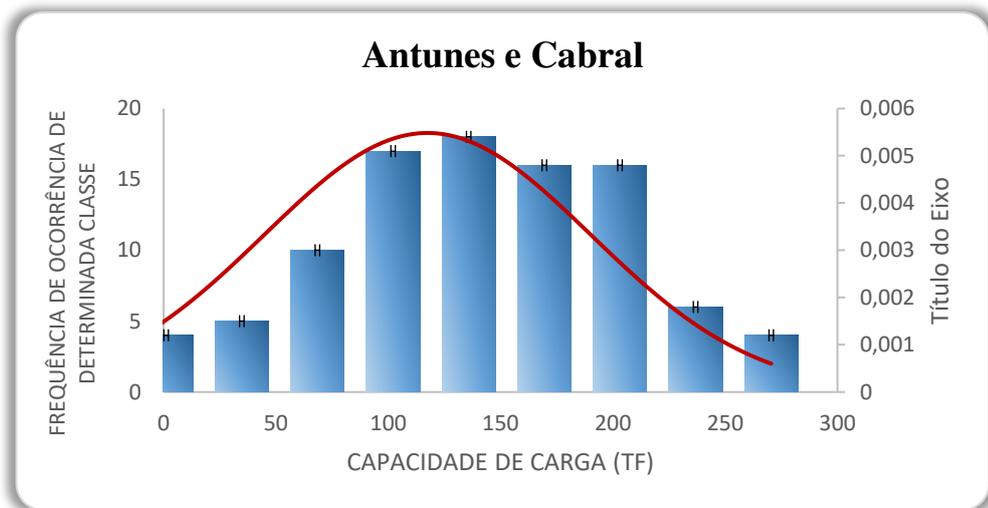


Gráfico F 5. Distribuição de probabilidade para Brasfond (1991) utilizando variáveis aleatórias.

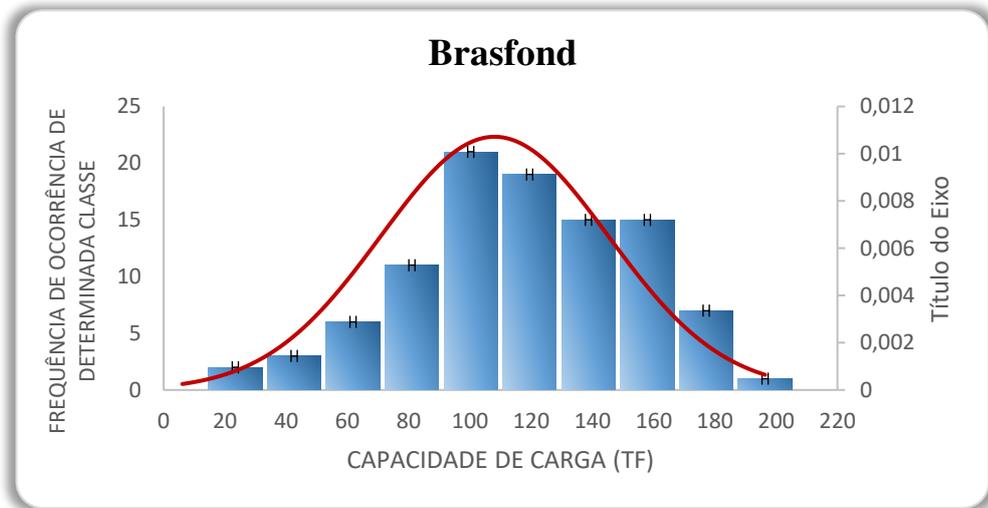


Gráfico F 6. Distribuição de probabilidade para Lizzi (1982) utilizando variáveis aleatórias.

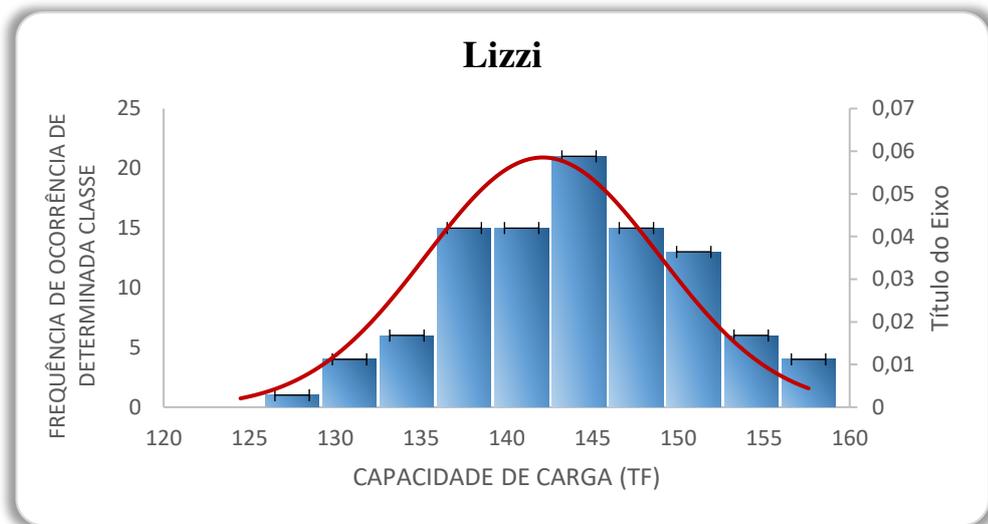
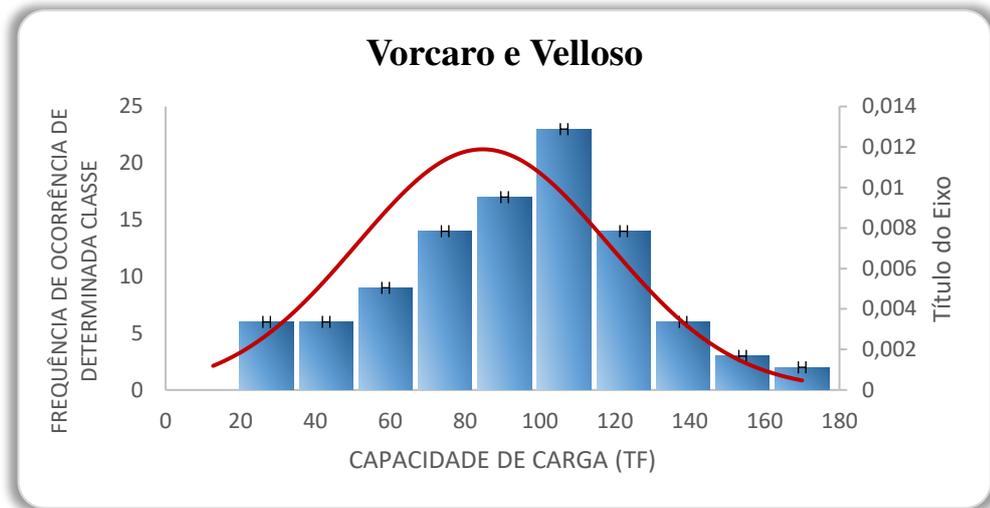
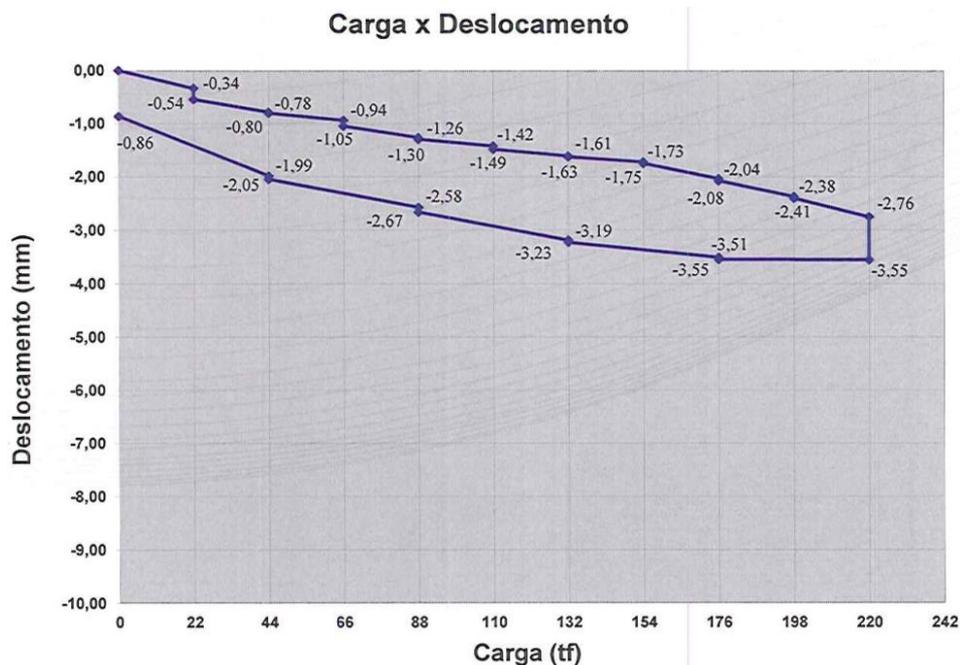


Gráfico F 7. Distribuição de probabilidade para Vorcaro e Velloso (2000) utilizando variáveis aleatórias.



ANEXO A - CURVA CARGA-DESCOLAMENTO DE ENSAIOS DE PROVA DE CARGA ESTÁTICAS

Figura A 1. Gráfico carga x deslocamento da estaca utilizada.



Quadro A 2. Deformação no carregamento

Carregamento		
Estágio	Carga (tf)	Deformação (mm)
1	22,00	-0,34
		-0,54
2	44,00	-0,78
		-0,80
3	66,00	-0,94
		-1,05
4	88,00	-1,26
		-1,30
5	110,00	-1,42
		-1,49
6	132,00	-1,61
		-1,63
7	154,00	-1,73
		-1,75
8	176,00	-2,04
		2,08
9	198,00	-2,38
		-2,41
10	220,00	-2,76
		-3,55

Quadro A 3. Deformação no descarregamento

Descarregamento		
Estágio	Carga (tf)	Deformação (mm)
1	176,00	-3,55
		-3,51
2	132,00	-3,23
		-3,19
3	88,00	-2,67
		-2,58
4	44,00	-2,05
		-1,99
5	0,00	-1,25
		-0,86

ANEXO B - TABELA Z, ÁREAS ABAIXO DA CURVA NORMAL

Tabela B 1. Áreas abaixo da curva normal (números negativos).

<i>z</i>	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

Fonte: Walpole *et al.* (2011)

Tabela B 2. Áreas abaixo da curva normal (números positivos).

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Fonte: Walpole *et al.* (2011)