



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JAMES CLEITON OLIVEIRA BATISTA

**ANÁLISE DE VARIABILIDADE DO TIPO DE SOLO NA ESTIMATIVA DA
CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS ESCAVADAS DO TIPO HÉLICE
CONTÍNUA MONITORADA**

ANGICOS - RN

2023

JAMES CLEITON OLIVEIRA BATISTA

**ANÁLISE DE VARIABILIDADE DO TIPO DE SOLO NA ESTIMATIVA DA
CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS ESCAVADAS DO TIPO HÉLICE
CONTÍNUA MONITORADA**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Gomes Dantas
de Araújo - UFERSA

ANGICOS - RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B333a Batista, James Cleiton Oliveira.
Análise de variabilidade do tipo de solo na
estimativa da capacidade de carga de estacas
escavadas do tipo hélice contínua monitorada /
James Cleiton Oliveira Batista. - 2023.
41 f. : il.

Orientador: Arthur Gomes Dantas de Araújo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Administração,
2023.

1. Sondagem SPT. 2. Análise táctil-visual. 3.
Capacidade de carga. 4. Variabilidade do solo. I.
Araújo, Arthur Gomes Dantas de, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JAMES CLEITON OLIVEIRA BATISTA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO TIPO DE SOLO NA ESTIMATIVA DA
CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS ESCAVADAS DO TIPO HÉLICE
CONTÍNUA MONITORADA**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 09 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ARTHUR GOMES DANTAS DE ARAÚJO
Data: 12/10/2023 14:24:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Arthur Gomes Dantas de Araújo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente
WENDELL ROSSINE MEDEIROS DE SOUZA
Data: 12/10/2023 19:38:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Wendell Rossine Medeiros de Souza, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Avelino Lourenço
da Silva Júnior

Assinado de forma digital por
Avelino Lourenço da Silva Júnior
Dados: 2023.10.20 13:44:40
-03'00'

Avelino Lourenço da Silva Junior, Engenheiro
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me deu forças para concluir mais essa etapa de minha vida.

A minha mãe Maria Edite Batista (*in memorian*), que foi o meu maior exemplo de ser humano e dedicação a educação.

Ao meu herói, amigo e pai José Calixto Batista (*in memorian*), sempre presente, dando confiança, força e incentivos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Arthur Gomes Dantas de Araújo, pela paciência e dedicação dada a este trabalho e todo conhecimento transmitido ao longo de todo curso.

Ao Prof. Dr. Wendell Rossine Medeiros de Souza e ao Eng. Avelino Lourenço da Silva Junior, por fazerem parte da banca examinadora para conclusão desse trabalho.

E à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por possibilitar uma formação de qualidade, com profissionais extremamente qualificados, que estão sempre prontos para compartilhar seus conhecimentos

“Não deve haver nenhuma barreira à liberdade de investigação. Não há lugar para o dogma na ciência. O cientista é livre, e deve ser livre de fazer qualquer pergunta, de duvidar de qualquer asserção, de procurar toda a evidência, de corrigir quaisquer erros.”

(Robert Oppenheimer)

RESUMO

Comumente conhecida como sondagem de simples reconhecimento, a sondagem SPT é a mais utilizada no Brasil quando se faz necessária a investigação geotécnica para realização de projetos de fundações. A análise tátil-visual realizada neste tipo de sondagem é responsável pela classificação do material. Entendendo a dificuldade de identificar o tipo do solo e que o profissional responsável pela análise está passível de erro, este trabalho tem como objetivo analisar as alterações no cálculo da capacidade de carga, gerada pela variabilidade do solo. A técnica de pesquisa utilizada foi a análise de 3 (três) pontos sondagens realizadas na cidade de Natal-RN, alterando o tipo do solo com quais o operador estar suscetível a indicar no relatório de sondagem. Através dos resultados obtidos neste estudo, pode-se constatar que, para o método de Aoki-Velloso, a variação nos resultados de capacidade de carga obteve um desvio padrão de 344,43, cinco vezes maior que o desvio padrão obtido pelo método Décourt-Quaresma.

Palavras-chave: Sondagem SPT. Análise tátil-visual. Capacidade de carga. Variabilidade do solo.

ABSTRACT (OPCIONAL)

Commonly known as simple reconnaissance survey, SPT survey is the most widely used in Brazil when geotechnical investigation is required for foundation projects. The tactile-visual analysis carried out in this type of survey is responsible for classifying the material. Given that it is difficult to identify the type of soil and that the professional responsible for the analysis is prone to error, the aim of this study is to verify the changes in the load capacity calculation generated by soil variability. This was done by analyzing 3 boreholes in the city of Natal-RN, changing the type of soil that the operator is likely to indicate in the borehole report. From the results obtained in this study, it can be seen that for the Aoki-Velloso method the variation in the bearing capacity results obtained a standard deviation of 417.23, five times greater than the standard deviation obtained by the Décourt-Quaresma method.

Keywords: SPT poll. Tactile-Visual Analysis. Load Capacity. Soil Variability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Amostrador Raymond-Terzaghi.....	18
Figura 2 - Local da realização da sondagem.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Estimativa da capacidade de carga - Aoki-Velloso	32
Gráfico 2 - Estimativa da capacidade de carga - Décourt-Quaresma	34
Gráfico 3 - Comparação dos resultados	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estado de compacidade e consistência.	20
Tabela 2 - Tipos de estacas	21
Tabela 3 - Coeficiente K e razão de atrito α	24
Tabela 4 – Fatores de correção F1 e F2	24
Tabela 5 – Coeficiente característico do solo C	25
Tabela 6 – Valores do fator α em função do tipo de estaca e do tipo de solo	26
Tabela 7 – Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo de solo	26
Tabela 8 – Perfil de sondagem com curva N_{spt} x profundidade	29
Tabela 9 - Hipóteses do tipo de material.	30
Tabela 10 - Estimativa da capacidade de carga, Aoki-Velloso – 1ª hipótese	31
Tabela 11 - Estimativa da capacidade de carga, Aoki-Velloso – 2ª hipótese	31
Tabela 12 - Estimativa da capacidade de carga, Aoki-Velloso – 3ª hipótese	31
Tabela 13 - Estimativa da capacidade de carga, Aoki-Velloso – 4ª hipótese	32
Tabela 14 - NP médio proposto por Décourt-Quaresma	33
Tabela 15 - Estimativa da capacidade de carga, Décourt-Quaresma – 1ª hipótese	33
Tabela 16 - Estimativa da capacidade de carga, Décourt-Quaresma – 2ª hipótese	33
Tabela 17 - Estimativa da capacidade de carga, Décourt-Quaresma – 3ª hipótese	34
Tabela 18 - Estimativa da capacidade de carga, Décourt-Quaresma – 4ª hipótese	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A_p – Área da seção transversal da estaca

C – Coeficiente característico do solo

cm – Centímetros

CPT – *Cone Penetration Test*

F_1 – Fator de correção da resistência de ponta

F_2 – Fator de correção da resistência lateral

f_s – Atrito lateral unitário da luva

K – Coeficiente que depende do tipo de solo

kg – Quilogramas

kN – Quilonewton

kPa – Quilopascal

m – Metros

m^2 - Metro quadrado

min – Minutos

mm – Milímetros

NBR – Norma Técnica Brasileira

N_L – Índice de resistência a penetração ao longo do fuste

N_p – Índice de resistência a penetração da ponta

N_{SPT} – Índice de resistência a penetração

q_c – Resistência de ponta do cone

R – Capacidade de carga

R_L – Resistência lateral da estaca

r_L – Coeficiente de atrito lateral

R_p – Resistência de ponta da estaca

r_p – Coeficiente de resistência de ponta

SPT – *Standard Penetration Test*

U – Perímetro do fuste da estaca

α – Razão de atrito

α – Coeficiente de cálculo de capacidade de carga lateral

β – Coeficiente de cálculo de capacidade de carga da ponta

Δ_L – Segmentos de altura da estaca

Σ – Somatória

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Investigação Geotécnica	17
2.2 Ensaio SPT	17
2.2.1 Equipamentos	18
2.2.2 Procedimento	18
2.2.3 Critério de paralisação	19
2.2.4 Análise Táctil-Visual	19
2.2.5 Resultados da sondagem SPT.....	21
2.3 Fundações profundas	21
2.4 Capacidade de carga de estacas.....	22
2.4.1 Aoki-Velloso (1975).....	24
2.4.2 Décourt-Quaresma (1978)	26
3. METODOLOGIA.....	29
3.1 Local de sondagem.....	29
3.2 Sondagem de simples reconhecimento com medição do <i>NSPT</i>	29
3.3 Elemento de fundação	30
3.4 Amostragem.....	30
4. RESULTADOS E ANÁLISES.....	33
4.1 Estimativa da capacidade de carga por Aoki-Velloso (1975)	33
4.2 Estimativa da capacidade de carga por Décourt-Quaresma (1978).....	35
4.3 Análise dos resultados	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A contínua expansão da urbanização tem impulsionado cada vez mais a construção de estruturas arquitetônicas mais altas e robustas, com a ideia de maximizar o espaço escasso nas regiões centrais das grandes cidades (BERGAMIM, 2023). No entanto, a tendência da verticalização traz consigo um desafio para os engenheiros e geotécnicos, pois é no solo onde todas as cargas solicitantes dessas obras serão dissipadas. E este precisa ser capaz de suportar tanto as cargas verticais quanto as horizontais impostas por essas notáveis estruturas, sofrendo a menor deformabilidade possível para que não interfira nas obras construídas (PINTO, 2006).

Nesse sentido, uma vez que é imprescindível saber se o solo é capaz de suportar tais cargas, faz-se necessário um estudo de investigação para caracterizar toda a camada que servirá de suporte. Portanto, como o subsolo comumente apresenta bastante heterogeneidade, é de fundamental importância ter conhecimento do perfil geológico-geotécnico do local da obra (CINTRA, 2010).

Um dos métodos de sondagem mais comum no Brasil é o *Standard Penetration Test* (SPT), ou popularmente conhecido como Sondagem de simples Reconhecimento, com medição de SPT, o qual permite determinar a variação do tipo de solo, a posição do nível do lençol freático e o índice de resistência à penetração (N_{SPT}) do perfil estudado. Apesar de sofrer diversas críticas, o referido método ainda é o mais empregado no reconhecimento do subsolo devido a sua simplicidade e ao baixo custo (SCHNAID, 2012). Desse modo, vários métodos foram desenvolvidos através da correlação de resultados de investigações do subsolo e de formulações empíricas (CINTRA, 2010).

Um dos resultados obtidos pela sondagem SPT é a classificação do solo ao longo do perfil estudado. Essa classificação é realizada pelo método tátil-visual, em laboratório, por um profissional habilitado, o qual deve ter bastante experiência para classificar corretamente o material. Porém, pode ocorrer, para solos intermediários, a classificação do solo com uma denominação parcialmente ou até completamente equivocada.

Nesse contexto, este trabalho tem como finalidade avaliar a variação dos resultados de capacidade de carga, por modelos semi-empíricos, através da variação da classificação tátil-visual realizadas nas sondagens SPT.

Portanto, é de suma importância analisar o nível de interferência que uma análise tátil-visual equivocada pode apresentar na estimativa da capacidade de carga de uma estaca.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo geral analisar a capacidade de carga de estacas escavadas com trado mecânico obtidas pela possível variabilidade de classificação tátil-visual que o profissional está sujeito a cometer.

Tem-se como objetivos específicos:

- Calcular a capacidade de carga pelo perfil de sondagem da obra pelos métodos Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma;
- Refazer os cálculos de capacidade de carga para possíveis variações de resultados de classificação do solo pelo método tátil-visual;
- Comparar os resultados obtidos com a prova de carga estática executada na obra.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Como procedimento metodológico, utiliza-se a revisão da literatura e revisão bibliográfica com a finalidade de subsidiar teórico-metodologicamente e conceitualmente a consecução do estudo.

2.1 Investigação Geotécnica

Em frente à necessidade de se conhecer o solo da região onde se pretende assentar uma fundação de uma obra, a investigação geotécnica deve ser a primeira etapa de qualquer projeto, pois é no solo onde todas as cargas advindas das estruturas irão ser dissipadas (MILITITSKY, 2015). Por isso, há diversos tipos de investigação do subsolo, desde as mais simples até as que fazem uso de alta tecnologia (SCHNAID, 2012).

As mais simples ainda são as mais utilizadas, como é o caso da sondagem SPT, que se trata de um método de baixo custo e de equipamentos simples e que fornece diversas informações, sendo o método de investigação mais utilizado no Brasil e no mundo (SCHNAID, 2012).

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), o custo das investigações geotécnica no Brasil, varia em torno de 0,2 a 0,5 por cento (%). Um gasto que não influencia praticamente nada no orçamento global de obra e que irá prevenir inúmeros transtornos posteriormente, como os gastos com recuperação de estruturas e superdimensionamento de elementos estruturais de fundação.

As investigações geotécnicas podem fornecer características geológicas, geotécnicas e geomorfológicas. Dessa forma, cabe ao engenheiro ou geólogo determinar a abrangência da investigação e apurar os resultados fornecidos pela investigação (SCHNAID, 2012).

2.2 Ensaio SPT

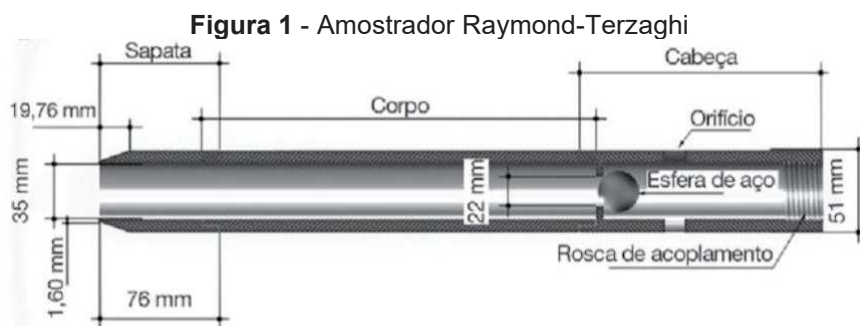
A sondagem de simples reconhecimento com medição SPT é normatizada pela NBR 6484/2020, sendo a metodologia de investigação geotécnica mais empregada no mundo.

A sondagem descreve equipamentos e procedimentos para realização do

ensaio, seja de forma manual ou mecânica.

2.2.1 Equipamentos

Os principais equipamentos para realização da sondagem de SPT de forma manual são os seguintes: torre com roldana e corda, tubos de revestimento, hastes de perfuração e cravação, trado-concha, trado helicoidal, trépano, amostrador padrão (forma e dimensões indicadas na Figura 1), cabeça de bater, martelo padronizado de massa total de 65 quilogramas (kg) e ferramentas gerais necessárias para a operação, como baldinho para esgotar o furo, medidor de nível de água, trena, recipientes para amostras, bomba d'água centrífuga motorizada, caixa d'água ou tambor com divisória interna para decantação.



Fonte: Schnaid e Odebrecht (2012)

2.2.2 Procedimento

O ensaio consiste na perfuração intercalada com a cravação de um amostrador padronizado, nomeado de Raymond-Terzaghi. A perfuração pode ser realizada através de um trado concha ou trado helicoidal até que atinja o lençol freático ou menos de 50 milímetros (mm) de perfuração no intervalo de 10 minutos (min). Ao atingir 1 metro (m) de profundidade, começa o processo de cravação do amostrador, com golpes de martelo também normatizado, até atingir 45 centímetros (cm) de profundidade. Esse trecho de 45 cm será dividido em 3 etapas de 15 cm, em que serão anotadas as quantidades de golpes para cada segmento de 15 cm. Após atingir a marca de 45 cm descarta-se o número de golpes da primeira etapa e somasse o valor das duas últimas, os 30 cm finais, obtendo assim o N_{SPT} . Ao termino da cravação, o amostrador é retirado do furo para coleta do material em seu interior.

O procedimento será repetido a cada metro escavado até que seja atendido a solicitação de paralisação do furo a pedido do contratante/preposto ou

por critérios estabelecidos na norma 6484/2020.

2.2.3 Critério de paralisação

Os critérios paralisação do ensaio são de responsabilidade do contratante e devem atender às especificações do projeto.

Em casos que o contratante não defina critérios de paralisação, a NBR 6484 recomenda que a sondagem avance até que alguns dos critérios sejam atendidos, sendo eles:

- a) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 10 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 25 golpes;
- b) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 8 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 30 golpes;
- c) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 6 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 35 golpes;
- d) quando a cravação do amostrador for interrompida por não haver avanço na cravação após cinco golpes sucessivos do martelo, o amostrador deve ser retirado e em seguida deve-se iniciar a perfuração por circulação de água;
- e) o procedimento de perfuração deve ter duração de 30 min, anotando-se os avanços da peça de lavagem/trépano a cada 10 min;
- f) a sondagem deve se dar por encerrada quando, na perfuração por circulação de água, forem obtidos avanços inferiores a 50 mm em cada período de 10 min. Quando a ocorrência deste caso, constar no relatório a designação de impenetrável ao trépano/ peça de lavagem.

2.2.4 Análise Tátil-Visual

A classificação do material no ensaio SPT é através da análise tátil visual. Nela, o profissional qualificado deve examinar o material coletado pelo amostrador, organizando-os pela ordem de profundidades para que ao final da classificação possa

ser traçado o perfil da composição do subsolo.

Por se tratar de uma fase preliminar de estudo, em que não se dispõem ou não é viável economicamente os ensaios laboratoriais, a classificação do tipo e estado do solo deve ser estimada através da visualização e do manuseio do material (PINTO, 2006).

A NBR 6484/2020 recomenda que a classificação do material seja realizada por no mínimo quatro características: granulometria, cor, plasticidade e origem.

A cor pode ser facilmente identificada através da análise visual e deve ser utilizada a designação branca, cinza, preto, marrom, amarelo, vermelho, azul, roxo e verde, podendo ser acompanhado da nomenclatura escura ou clara. Em casos que apresente mais de duas cores, no lugar da definição da cor, deve vir o termo "variegado".

Já para as outras características, o responsável pela análise tem que, através de sua experiência, desenvolver certas habilidades e métodos para que consigam realizar esta classificação.

A distinção entre as areias e os solos mais finos é relativamente fácil; já para distinção entre uma argila, um silte ou uma composição mista desses materiais é mais difícil, principalmente para profissionais inexperientes (MASSAD, 2016).

A partir da análise visual, o operador consegue avaliar a predominância do tamanho dos grãos, como pedregulhos e areias com partículas superiores a um décimo de milímetro. Entretanto, alguns grãos mesmo que visível a olho nu, podem estar envoltos de partículas mais finas, podendo ser confundido com agregações de partículas argilossiltosas. Para solução deste problema, o material pode ser umedecido para que torrões de argila se desmanchem, permitindo assim que os grãos de areia mais finos possam ser sentidos através do tato (PINTO,2006).

Alguns testes práticos podem auxiliar na distinção entre solos argilosos ou siltosos. Dentre eles, está o teste de resistência a seco, que consiste em umedecer o material e formar uma esfera, secá-la ao sol ou estufa e realizar o processo de esmagamento entre os dedos. Para distinguir, basta analisar a força empregada no esmagamento e a forma do rompimento da esfera. A argila necessita de maior força para quebrar a esfera e seus resíduos geram pedaços bem distintos, enquanto o silte tem menor resistência e a esfera se pulveriza com o rompimento (PINTO,2006).

2.2.5 Resultados da sondagem SPT

As principais informações deste ensaio é o índice de resistência à penetração (N_{SPT}), a verificação do nível de água, a compactidade e consistência dos solos, que é obtida através de uma correlação com N_{SPT} , e a classificação do tipo de solo pela análise tátil visual.

O índice de resistência à penetração N_{SPT} é a soma dos golpes dos 30 cm finais da cravação do amostrador. Outras informações podem ser obtidas através de correlações com esse índice, como é o caso compactidade e da consistência (Tabela 1).

Tabela 1 - Estado de compactidade e consistência.

Solo	Índice de resistência a penetração (N_{SPT})	Designação ^a
Areia e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	20 a 30	Muito rija (o)
	> 30	Dura (o)
^a As expressões empregadas para a designação da compactidade das areias (fofa, compacta etc.) são referências à deformabilidade e à resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não podem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na mecânica dos solos.		

Fonte: ABNT NBR 6484:2020

2.3 Fundações profundas

A NBR 6122/2022 define fundações profundas como aquelas que transmitem

a carga para o solo pela base, pelo fuste ou de forma mista, através da base e fuste e sua base é assentada a uma profundidade 8 vezes maior que sua menor dimensão em planta ou a pelo menos 3 m de profundidade. Exemplos de fundações profundas são as estacas, tubulões e caixões.

Ainda de acordo com a norma, estacas são aquelas em que sua execução é inteiramente realizada por equipamentos e ferramentas, sem que haja em nenhum momento trabalho manual em profundidade.

O processo executivo das estacas também permite a classificação de acordo com o efeito causado no solo. Podendo ser: estacas de deslocamento, aquelas que são cravadas no solo por percussão, vibração ou prensagem, ou estacas de substituição, que são todas as estacas em que há a retirada do material para colocação da estaca. E dentro de cada grupo, existem diferentes tipos de estacas, que podem ser de diferentes materiais e diferentes geometrias de seções. Abaixo na Tabela 2, são apresentados alguns dos tipos de estacas mais comuns.

Tabela 2 - Tipos de estacas

Tipo de execução	Estacas
De deslocamento	Madeira
	Pré-moldadas de concreto
	Perfis de aço
	Franki
De substituição	Strauss
	Hélice contínua
	Raiz

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

2.4 Capacidade de carga de estacas

A capacidade de carga pode ser descrita como o valor da força correspondente à máxima resistência que o sistema pode oferecer (CINTRA, 2010).

A capacidade de carga é do sistema estaca-solo, mas há casos particulares que a resistência do sistema é superior à resistência à compressão da estaca. Para esses casos, a capacidade de carga será resistência da estaca (CINTRA, 2010).

Diferente das fundações superficiais, as fundações profundas levam em

consideração o atrito lateral do fuste da estaca em contato com o solo e a resistência da ponta da estaca em contato com o solo. Assim, a capacidade de carga é igual a soma da resistência proveniente do atrito lateral e da ponta (Equação 1).

$$R = R_L + R_p \quad (1)$$

- $R \rightarrow$ Capacidade de carga
- $R_L \rightarrow$ Resistência de atrito lateral
- $R_p \rightarrow$ Resistência de ponta

As Equações 2 e 3 apresentam as expressões referentes a resistência por atrito lateral e ponta, respectivamente:

$$R_p = r_p \cdot A_p \quad (2)$$

- $R_p \rightarrow$ Resistência de ponta
- $r_p \rightarrow$ Coeficiente de resistência de ponta
- $A_p \rightarrow$ Área da seção transversal da estaca

$$R_L = U \cdot \sum(r_L \cdot \Delta_L) \quad (3)$$

- $R_L \rightarrow$ Resistência por atrito lateral
- $U \rightarrow$ Perímetro do fuste da estaca
- $r_L \rightarrow$ Coeficiente de atrito
- $\Delta_L \rightarrow$ Segmentos de altura da estaca

A Equação 4 apresenta a expressão final da capacidade de carga do sistema solo-estaca.

$$R = U \cdot \sum(r_L \cdot \Delta_L) + r_p \cdot A_p \quad (4)$$

Porém, as incógnitas r_L e r_p são variáveis geotécnicas e alguns estudiosos tentaram formular modelos teóricos. Devido a esses métodos apresentarem

resultados dispersos, se dá preferência aos semi-empíricos, como os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978).

2.4.1 Aoki-Velloso (1975)

Para resolver o problema das incógnitas r_L e r_P , inicialmente correlacionaram com resultados de ensaios de penetração estática (CPT), porém tal ensaio não é tão comum no Brasil como o SPT. Assim eles fizeram uma outra correlação, desta vez com o N_{SPT} .

Assim, o parâmetro r_P foi correlacionado com o N_{SPT} de acordo com as Equações 5 e 6:

$$r_P = \frac{q_c}{F_1} \quad (5)$$

Em que:

$$q_c = K \cdot N_{SPT} \quad (6)$$

- $r_P \rightarrow$ Coeficiente de resistência de ponta
- $q_c \rightarrow$ Resistencia de ponta do cone
- $F_1 \rightarrow$ Fator de correção
- $K \rightarrow$ Coeficiente que depende do tipo de solo
- $N_{SPT} \rightarrow$ Índice de resistência a penetração

Já o parâmetro r_L é correlacionado de acordo com as Equações 7 e 8:

$$r_L = \frac{f_s}{F_2} \quad (7)$$

$$f_s = \alpha \cdot K \cdot N_{SPT} \quad (8)$$

- $r_L \rightarrow$ Coeficiente de atrito
- $f_s \rightarrow$ Atrito lateral unitário da luva
- $F_2 \rightarrow$ Fator de correção
- $K \rightarrow$ Coeficiente que depende do tipo de solo
- $\alpha \rightarrow$ Razão de atrito

- $N_{SPT} \rightarrow$ Índice de resistência à penetração

Os parâmetros K e α (Tabela 3) são valores propostos pelos autores através de experimentos e pela própria literatura. Já para os valores de F_1 e F_2 (Tabela 4) foram ajustados com 63 provas de cargas realizados em vários estados do Brasil (CINTRA, 2010).

Tabela 3 - Coeficiente K e razão de atrito α

Solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia siltoargilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilossiltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila siltoarenosa	0,23	3,0

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Tabela 4 – Fatores de correção F_1 e F_2

Tipo de estaca	F_1	F_2
Franki	2,50	$2F_1$
Metálica	1,75	$2F_1$
Pré-moldada	$1+D/0,80$	$2F_1$
Escavada	3,0	$2F_1$
Raiz, Hélice contínua e Ômega	2,0	$2F_1$

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

A Equação 9 apresenta a formulação final do método de Aoki-Velloso (1975).

$$R = U \cdot \Sigma \left(\frac{\alpha \cdot K \cdot N_L}{F_2} \cdot \Delta_L \right) + \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p \quad (9)$$

Em que N_p é o índice de resistência a penetração de ponta na base da estaca, N_L é o índice de resistência a penetração média da camada e Δ_L é a espessura da camada.

2.4.2 Décourt-Quaresma (1978)

O método proposto aqui, também utiliza os resultados obtidos pelo ensaio de SPT para obter um resultado na estimativa da capacidade de carga.

Diferentemente do método anterior, Décourt e Quaresma inicialmente propuseram que o parâmetro r_L não dependesse do tipo de solo, de modo que apenas no cálculo do parâmetro r_p utilizava-se um coeficiente, obtido pelos autores através de provas de cargas.

Assim, na equação para o cálculo do atrito lateral do fuste, os autores dispensaram qualquer tipo de correlação ao tipo de material que compõe a camada, fazendo uso apenas do N_{SPT} médio da camada de solo (N_L).

Abaixo está a Equação 10, utilizada para o cálculo do parâmetro r_L :

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

Para a equação do parâmetro r_p , os autores determinaram como sendo o produto entre N_p e coeficiente característico do solo (C). O N_p sendo obtido pela média entre os índices de resistência à penetração da base da estaca, o imediatamente antes e o imediatamente após. E o coeficiente característico do solo sendo um parâmetro que foi desenvolvido pelos autores através de 41 teste de prova de carga, formando a Tabela 5 (CINTRA, 2010).

Tabela 5 – Coeficiente característico do solo C

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

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Logo a Equação 11 representa o cálculo para obtenção do parâmetro r_p :

$$r_p = C \cdot N_p \quad (11)$$

Posteriormente, Décourt (1996) adicionou os parâmetros α e β para sua equação. Os fatores são uma correlação entre os tipos de estacas e os tipos de solos. Para as estacas pré-moldadas, estacas metálicas e tipo Franki, as quais foram utilizadas para o desenvolvimento dessa metodologia, os valores dos parâmetros α e β são iguais a 1, para os demais tipos de estacas ele disponibilizou as Tabelas 6 e 7 com valores para os parâmetros α e β respectivamente.

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

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavadas 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: Cintra e Aoki (2010)

Tabela 7 – Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo de solo

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavadas 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: Cintra e Aoki (2010)

A Equação 12 elucida a forma final para método de Decourt-Quaresma para a estimativa da capacidade de carga:

$$R = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) U \cdot L \quad (12)$$

45 cm divididos em 3 segmentos de 15 cm. O processo de cravação do amostrador se dar através da liberação do martelo a uma altura de 75 cm sobre a cabeça de bate acoplada na haste de perfuração.

Após a cravação do amostrador, o material no interior do amostrador foi coletado para análise tátil visual, em que foi caracterizado o material pela granulometria, plasticidade, cor e origem.

Não identificado a presença de lençol freático durante o processo de sondagem.

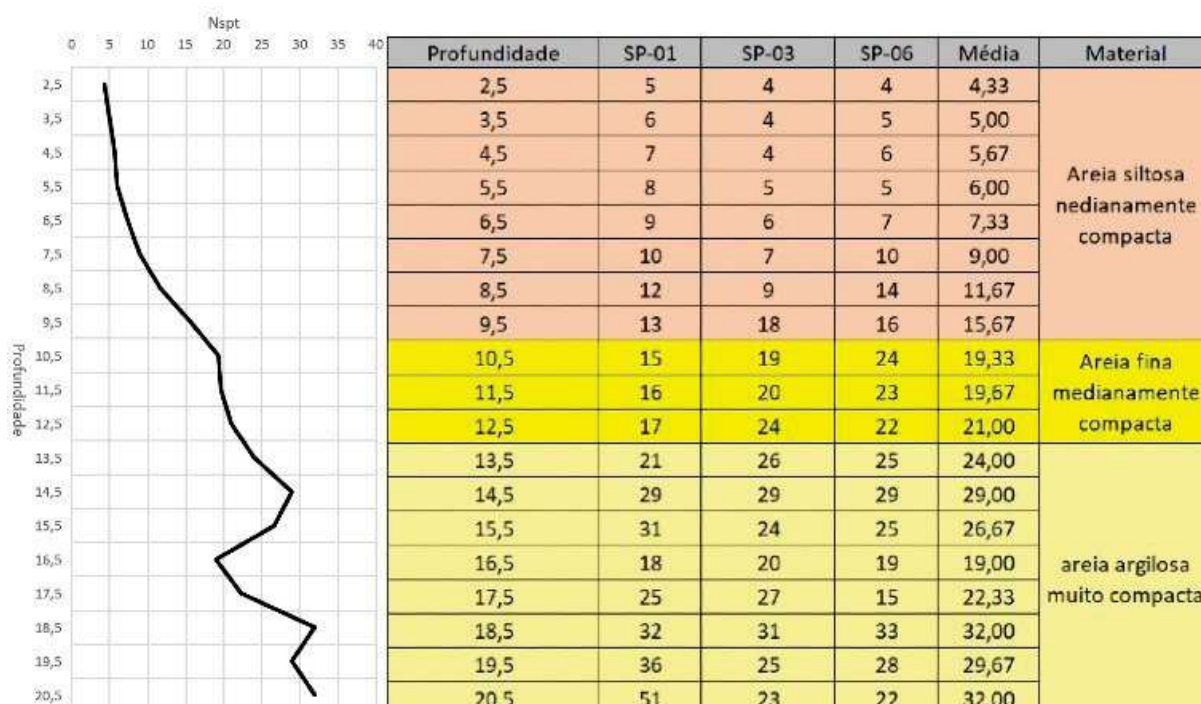
Os equipamentos usados na perfuração são compostos por: tubos de aço com diâmetro nominal interno de 25 mm e uma massa teórica de 3,23kg/m; amostrador padrão de tipo Raymond-Terzaghi, corpo bipartido, com diâmetro externo de 50,8 mm e interno de 34,9 mm; e o martelo usado na cravação, que consiste em uma peça de forma prismática com massa igual a 65 kg e possui um coxim de madeira na parte inferior.

3.3 Elemento de fundação

O tipo de fundação escolhida para realização do estudo foi estacas de hélice contínua monitorada, com dimensões de 50 cm de diâmetro e comprimento de 17 m.

3.4 Amostragem

Fez-se uso de 3 pontos de sondagens, para se obter um perfil médio e calcular a capacidade de carga deste perfil. A Tabela 8 apresenta o perfil médio da sondagem.

Tabela 8 – Perfil de sondagem com curva Nspt x profundidade

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a indicação do perfil médio da sondagem SPT, foi decidido por quatro hipóteses semelhantes quanto à classificação tátil visual, no qual o operador poderá estar suscetível a indicar na classificação. Na primeira hipótese, o material foi utilizado de acordo com o descrito na sondagem fornecida, enquanto na segunda hipótese, foi realizada uma modificação na primeira camada no material secundário. Já na terceira hipótese optou-se por uma alteração na terceira camada, fazendo uma mudança entre o material predominante e o material secundário. Na quarta e última hipótese, as alterações feita nas hipóteses 2 e 3 foram realizadas em conjunto.

Vale salientar que nem as espessuras das camadas nem o N_{SPT} sofreram modificações. A Tabela 9 apresenta o resumo das hipóteses de mudança da classificação tátil visual.

Tabela 9 - Hipóteses do tipo de material.

	Camada 1	Camada 2	Camada 3
Hipótese 1	Areia siltosa	Areia fina	Areia argilosa
Hipótese 2	Areia siltoargilosa	Areia fina	Areia argilosa
Hipótese 3	Areia siltosa	Areia fina	Argila arenosa
Hipótese 4	Areia siltoargilosa	Areia fina	Argila arenosa

Fonte: Autoria própria (2023)

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo, serão analisados os dados coletados e os resultados obtidos.

4.1 Estimativa da capacidade de carga por Aoki-Velloso (1975)

Para efetuar o cálculo seguindo a metodologia de Aoki-Velloso (1975), é necessário verificar as Tabelas 4 e 5 em que encontraremos valores para K , α , F_1 e F_2 .

Com o perfil do solo classificado e os valores dos parâmetros necessários definidos, os cálculos podem ser realizados.

Utilizando as Equações 7 e 8 para o cálculo do atrito lateral e as Equações 5 e 6 para resistência de ponta.

Por se trata de estacas de hélice contínua, onde não se pode garantir a situação do local em que a ponta da estaca será apoiada, decidiu-se por desconsiderar a resistência de ponta.

Nas Tabelas 10, 11, 12 e 13 os dados foram organizados e a estimativa de carga foi calculada.

Tabela 10 - Estimativa da capacidade de carga, Aoki-Velloso – 1ª hipótese

1 a H i p ó t e s e	Atrito lateral				Estimativa da capacidade de carga $R=R_L$
	Camadas	1ª	2ª	3ª	
	L (m)	7	3	7	
	U (m)	1,57	1,57	1,57	
	F_2	4	4	4	
	K (kPa)	800	1000	600	
	N_L	8,08	20,00	26,10	
	α	0,020	0,014	0,030	
	R_L (kN)	355,52	329,87	1291,19	
	$\sum R_L$ (kN)	1976,59			1976,59

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 11 - Estimativa da capacidade de carga, Aoki-Velloso – 2ª hipótese

2ª Hipótese	Atrito lateral				Estimativa da capacidade de carga $R=R_L$
	Camadas	1ª	2ª	3ª	
	L (m)	7	3	7	
	U (m)	1,57	1,57	1,57	
	F_2	4	4	4	
	K (kPa)	700	1000	600	
	N_L	8,08	20,00	26,10	
	α	0,020	0,014	0,030	
	R_L (kN)	373,30	329,87	1291,19	
	ΣR_L (kN)	1994,36			1994,36

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 12 - Estimativa da capacidade de carga, Aoki-Velloso – 3ª hipótese

3ª Hipótese	Atrito lateral				Estimativa da capacidade de carga $R=R_L$
	Camadas	1ª	2ª	3ª	
	L (m)	7	3	7	
	U (m)	1,57	1,57	1,57	
	F_2	4	4	4	
	K (kPa)	800	1000	350	
	N_L	8,08	20,00	26,10	
	α	0,020	0,014	0,030	
	R_L (kN)	355,52	329,87	602,56	
	ΣR_L (kN)	1287,95			1287,95

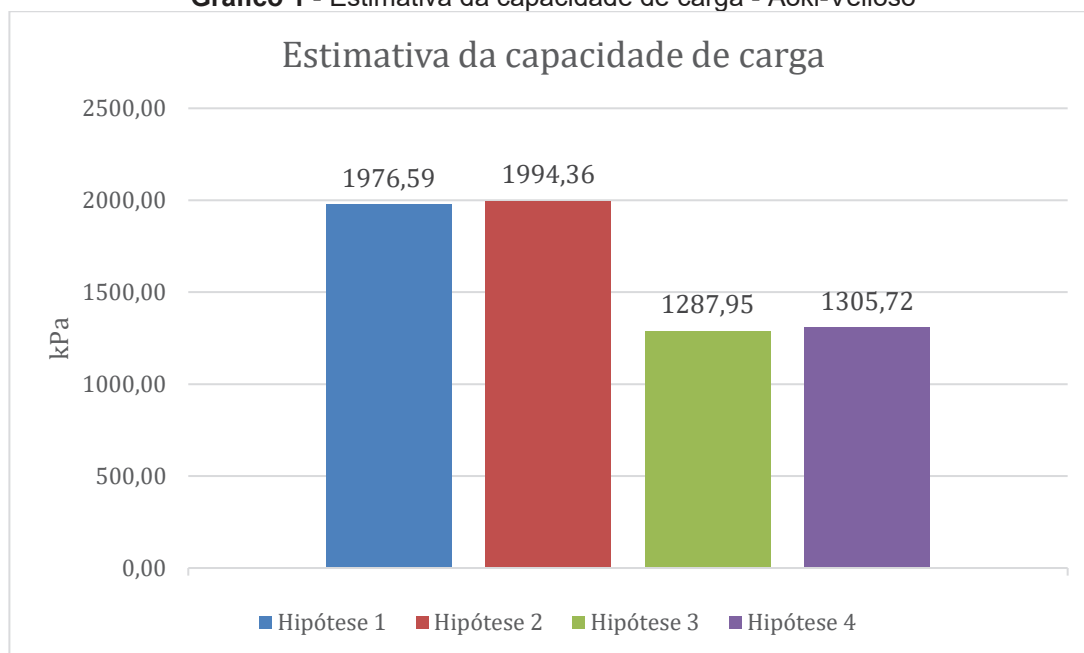
Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 13 - Estimativa da capacidade de carga, Aoki-Velloso – 4ª hipótese

4ª Hipótese	Atrito lateral				Estimativa da capacidade de carga $R=R_L$
	Camadas	1ª	2ª	3ª	
	L (m)	7	3	7	
	U (m)	1,57	1,57	1,57	
	F_2	4	4	4	
	K (kPa)	700	1000	350	
	N_L	8,08	20,00	26,10	
	α	0,020	0,014	0,030	
	R_L (kN)	373,30	329,87	602,56	
	ΣR_L (kN)	1305,72			1305,72

Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico 1, são apresentados os resultados de capacidade de carga pelo método de Aoki Velloso obtidos pelas quatro hipóteses.

Gráfico 1 - Estimativa da capacidade de carga - Aoki-Velloso

Fonte: Autoria própria (2023)

4.2 Estimativa da capacidade de carga por Décourt-Quaresma (1978)

Para o método proposto por Décourt e Quaresma, utilizaremos as Equações 10, 11 e 12, bem como as Tabelas 6, 7 e 8.

Na metodologia de Decourt-Quaresma, o N_p é a média do N em que a ponta da estaca está apoiada, o imediatamente anterior e o imediatamente após. A Tabela 14 demonstra os valores de N dos 3 pontos e o N médio obtido através deles.

Tabela 14 - N_p médio proposto por Décourt-Quaresma

N anterior	32,00
N	29,67
N posterior	32,00
N médio	31,22

Fonte: Autoria própria (2023)

Assim como na metodologia anterior, a parcela da resistência de ponta foi desconsiderada.

As Tabelas 15, 16, 17 e 18 demonstram os cálculos realizados para obter os resultados para estimativa da capacidade de carga pelo método de Décourt-Quaresma.

Tabela 15 - Estimativa da capacidade de carga, Décourt-Quaresma – 1ª hipótese

1ª Hipótese	Atrito lateral				Estimativa da capacidade de carga $R=R_L$
	Camadas	1ª	2ª	3ª	
	L (m)	7	3	7	
	U (m)	1,57	1,57	1,57	
	N_L	8,08	20,00	26,10	
	β	1,00	1,00	1,00	
	R_L (kN)	406,23	361,28	1066,40	
	$\sum R_L$ (kN)	1833,90			1833,90

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 16 - Estimativa da capacidade de carga, Décourt-Quaresma – 2ª hipótese

2ª Hipótese	Atrito lateral				Estimativa da capacidade de carga $R=R_L$
	Camadas	1ª	2ª	3ª	
	L (m)	7	3	7	
	U (m)	1,57	1,57	1,57	
	N_L	8,08	20,00	26,10	
	β	1,00	1,00	1,00	
	R_L (kN)	406,23	361,28	1066,40	
	$\sum R_L$ (kN)	1833,90			1833,90

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 17 - Estimativa da capacidade de carga, Décourt-Quaresma – 3ª hipótese

3ª Hipótese	Atrito lateral				Estimativa da capacidade de carga $R=R_L$
	Camadas	1ª	2ª	3ª	
	L (m)	7	3	7	
	U (m)	1,57	1,57	1,57	
	N_L	8,08	20,00	26,10	
	β	1,00	1,00	1,00	
	R_L (kN)	406,23	361,28	1066,40	
	$\sum R_L$ (kN)	1833,90			1833,90

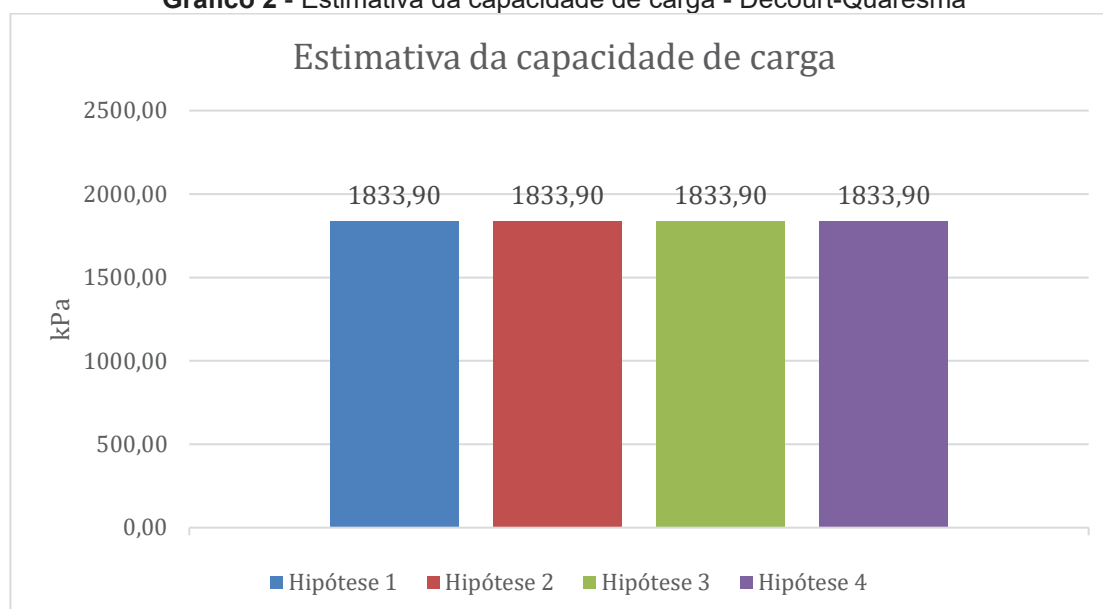
Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 18 - Estimativa da capacidade de carga, Décourt-Quaresma – 4ª hipótese

Tabela 10 – Estimativa da capacidade de carga, Decourt Quadrésima – 4 tipos					
4ª Hipótese	Atrito lateral				Estimativa da capacidade de carga R=R _L
	Camadas	1ª	2ª	3ª	
	L (m)	7	3	7	
	U (m)	1,57	1,57	1,57	
	N _L	8,08	20,00	26,10	
	β	1,00	1,00	1,00	
	R _L (kN)	406,23	361,28	1066,40	
	ΣR _L (kN)	1833,90			1833,90

Fonte: Autoria própria (2023)

Diante disso, o Gráfico 2 foi gerado para melhor visualização dos resultados para as hipóteses levantadas.

Gráfico 2 - Estimativa da capacidade de carga - Décourt-Quaresma

Fonte: Autoria própria (2023)

4.3 Análise dos resultados

O maior resultado obtido, 1994,36 kN, foi através do método de Aoki e Velloso, e o menor valor, 1287,95 kN, também foi através desse método, o que nos mostra que há uma dispersão nos resultados. Já para o método proposto por Décourt e Quaresma, foi obtido o mesmo valor para as quatro hipóteses, 1833,90 kN, ou seja, não há variabilidade nos resultados da estimativa da capacidade de carga pelo segundo método. Isso pode ser justificado pela formulação dos cálculos do atrito lateral, que não leva em consideração a variação do tipo de solo no cálculo.

Para quantificar a variabilidade, as Tabelas 19 e 20 apresentam o desvio padrão para os métodos de Aoki Velloso e Décourt Quaresma, respectivamente.

Tabela 19 - Desvio padrão Aoki Velloso

Hipóteses	1	2	3	4
R	1976,59	1994,36	1287,95	1305,72
$R_{\text{médio}}$	1641,15			
$R - R_{\text{médio}}$	335,43	353,21	-353,21	-335,43
$(R - R_{\text{médio}})^2$	112513,60	124754,93	124754,93	112513,60
Variância	118634,27			
Desvio Padrão	344,43			

Fonte: Autoria Própria (2023)

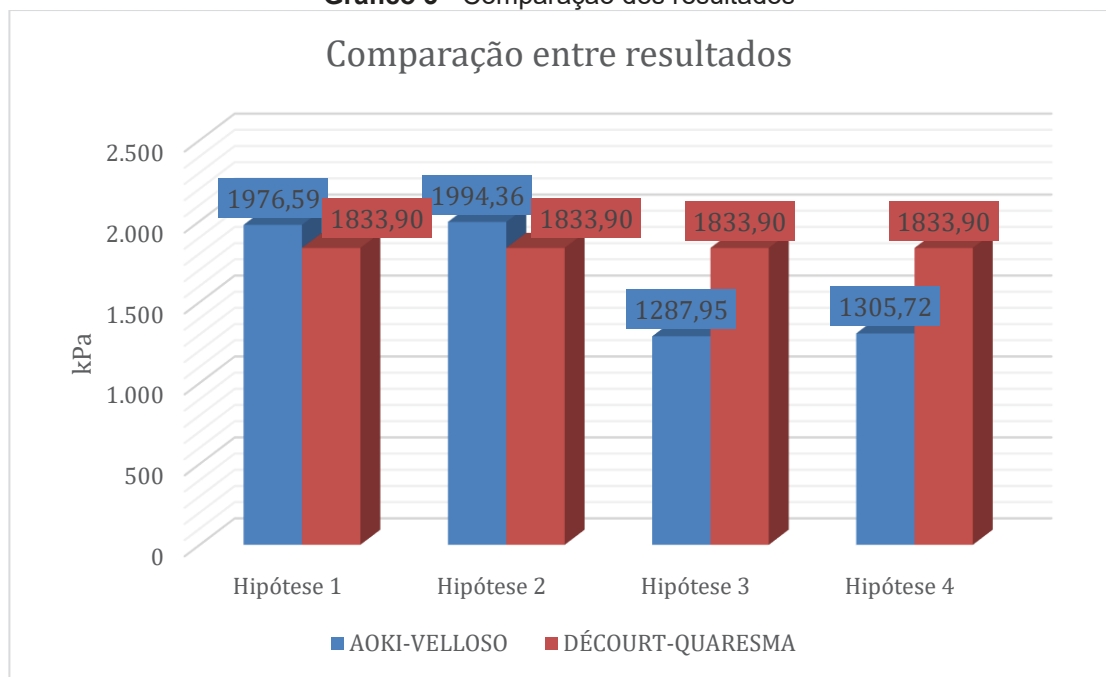
Tabela 20 – Desvio padrão Décourt Quaresma

Hipóteses	1	2	3	4
R	1833,90	1833,90	1833,90	1833,90
$R_{\text{médio}}$	1833,90			
$R - R_{\text{médio}}$	0	0	0	0
$(R - R_{\text{médio}})^2$	0	0	0	0
Variância	0			
Desvio Padrão	0			

Fonte: Autoria Própria (2023)

O desvio padrão obtido pelo método Aoki-Velloso foi igual a 344,43, e por Décourt-Quaresma o resultado do desvio padrão foi de 0.

O Gráfico 3 faz uma simples comparação entre os resultados das capacidades de cargas obtidos pelos dois métodos analisados.

Gráfico 3 - Comparação dos resultados

Fonte: Autoria própria (2023)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após realizados os cálculos e analisados os resultados, podemos identificar algumas características singulares de cada método estudado.

Começando pelos coeficientes utilizados nas equações propostas pelos autores. Enquanto o K e α (Aoki e Velloso) são utilizados em relação ao tipo do solo predominante e secundário, F_1 e F_2 são em consideração ao tipo de estaca. O coeficiente C (Décourt e Quaresma) leva em consideração apenas o tipo do solo predominante e é utilizado apenas no cálculo da resistência de ponta. Posteriormente, α e β foram adicionados a equação proposta por Décourt-Quaresma, e estes levam em consideração o tipo de estacas utilizadas e o tipo do solo. Porém, para este estudo α e β não causaram nenhuma interferência, tendo em vista o tipo de estaca escolhida, pois para estacas do tipo hélice contínua o coeficiente β é igual a 1 e α é igual a 0,3 para qualquer tipo de material. Ou seja, para cálculo de atrito lateral em estacas de tipo hélice contínua não importando o tipo de material, apenas o N_{SPT} .

Entende-se, então, que para Décourt e Quaresma (1978) o tipo do material não interfere tanto na estimativa da capacidade de carga, já para Aoki e Velloso (1975) a composição do solo interfere significativamente, tanto que o desvio padrão (344,43) se aproxima de um quinto da capacidade de carga média (1641,15 kN).

Assim sendo, através deste estudo, podemos afirmar que para o método proposto por Décourt e Quaresma não há variabilidade na estimativa da capacidade de carga para estacas de hélice contínuas por variação do material. Além disso, apesar da metodologia de Aoki e Velloso apresentar os maiores valores para capacidade de carga, também apresentou os menores resultados, mostrando que sua variabilidade por mudança de material é bastante considerável.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BERGAMIM, Giba. **Entenda por que tantos prédios subiram nos últimos anos nos bairros de Vila Mariana, Pinheiros e Vila Prudente na cidade de São Paulo**. TV Globo, São Paulo, 14 mai. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/05/14/entenda-por-que-tantos-predios-subiram-nos-ultimos-anos-nos-bairros-de-vila-mariana-pinheiros-e-vila-prudente-na-cidade-de-sp.ghtml>. Acesso em: 10 Jul. 2023.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas: Projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, Nelson; TSUHA, Cristina de H. C.; GIACHETI, Heraldo Luiz. **Fundações: Ensaos estáticos e dinâmicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais**. Volume 1. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

MASSAD, Faíçal. **Mecânica dos solos experimental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. 2ª Ed. rev. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaos de campo e suas aplicações a engenharia de fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Resende. **Fundações: Critério de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.