UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

ALISSON KRETZER KREMER

FELIPE AMORIM

ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO TÉCNICO NO USO DOS MODELOS DE CÁLCULOS AOKI-VELLOSO E DÉCOURT-QUARESMA PARA FUNDAÇÕES PROFUNDAS APLICADOS A UM CASO REAL

Palhoça

2020

ALISSON KRETZER KREMER

FELIPE AMORIM

ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO TÉCNICO NO USO DOS MODELOS DE CÁLCULOS AOKI-VELLOSO E DÉCOURT-QUARESMA PARA FUNDAÇÕES PROFUNDAS APLICADOS A UM CASO REAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Eng. Civil Marcelo Cechinel, Esp.

Palhoça

2020

ALISSON KRETZER KREMER

FELIPE AMORIM

ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO TÉCNICO NO USO DOS MODELOS DE CÁLCULOS AOKI-VELLOSO E DÉCOURT-QUARESMA PARA FUNDAÇÕES PROFUNDAS APLICADOS A UM CASO REAL

Este trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 16 de julho de 2020.

Professor e orientador Marcelo Cechinel, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Joelcio Luiz Stocco, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Eng. Civil André Luiz Fernandes, Esp.
FK Engenharia

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares, professores, amigos e colegas que sempre estiveram ao nosso lado em todos as situações nos apoiando, a fim de realizar mais esta etapa importante em nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer inicialmente aos nossos familiares, especialmente pais, mães e namoradas, por todo apoio e suporte para realizarmos este curso e este trabalho de suma importância em nossa vidas.

Agradecemos também, a todos os professores da graduação, que transmitiram e compartilharam conosco e com os demais, seus conhecimentos e experiências na profissão. Mas em especial ao nosso professor e orientador Marcelo Cechinel.

Por fim, agradecemos a todos os colegas, que compartilharam horas de sala de aula conosco, dividiram materiais, conhecimento nos ajudando muito nessa longa caminhada de 5 anos.

“O conhecimento é a fonte mais democrática de poder”. (Alvin Toffler, 1980).

RESUMO

As fundações, etapa muitas vezes negligenciada de uma edificação, é a verdadeira base de sustentação das edificações garantindo sua integridade e prevenindo uma série de manifestações patológicas. Cabe ao profissional de engenharia solicitar ao seu cliente informações fidedignas da resistência do solo, comprovação esta que é feita pela execução de uma sondagem, bem como primar pela sua correta execução. Neste ponto ressalta-se a importância da execução de um projeto de fundações. São disponibilizados vários métodos para o dimensionamento de fundações profundas, métodos estes consagrados e extremamente confiáveis. A pesquisa que segue trata-se de um estudo de caso acerca da dois destes supracitados métodos. O método de Aoki-Velloso e o de Décourt-Quaresma. Para tanto optou-se por fazer esta análise com base em uma obra executada no município de São José, cuja fundação foi executada utilizando estacas pré-fabricadas de concreto protendido, porém, sem o devido projeto de fundações. Através da aplicação dos dois métodos, considerando a planta de cargas da referida obra, obteve-se resultados que comprovam a importância deste projeto no ponto de vista não somente técnico, como também econômico. A economia que seria obtida caso tal etapa não houvesse sido negligenciada remonta aproximadamente 165,52%, o que pagaria o custo do projeto e ainda geraria uma considerável economia no custo final da obra.

Palavras-chave : Fundações ; Aoki-Velloso ; Décourt-Quaresma ; Estaca Pré-moldada de concreto.

ABSTRACT

The foundations, many times a part neglected of a building, it´s the real base of support for buildings, ensuring your integrity and preventig a series of pathological manifestations. It´s up to the professional of civil engineering request to your client informations about the soil resistance, proven by test and excel inexecution. For this point stand out the importance of a foundation project. There are many methods avaiable for deep foundations, those methods are established and exremely reliable. The research it´s about one case study for two of those methods. The methods of Aoki-Velloso and Décourt-Quaresma. It´s been opted to do this analyze in a building executed in the city of São José, whose the foundation executed was with concrete drive pile, however without the foundation project. Through application of 2 methods, using the loads, it´s obtained results that supports the importance of this project for points if view techinical and economic.The saving that will be obtained if this part wouldn´t have been neglect, was about 165,52%, wich could payed the cost of project and saved a lot of money by the end of the building.

Palavras-chave : Foundations ; Aoki-Velloso ; Décourt-Quaresma ; Concrete drive pile

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Faixas Formato dos grãos de areia.....19
Figura 2 – Resultado do ensaio triaxial em areias.....19
Figura 3 – Legenda Tabela SUSC 21
Figura 4 – Sistema de Classificação H.B.R.....21
Figura 5 – Bloco de Fundação 23
Figura 6 - Sapta.....24
Figura 7 – Radier.....25
Figura 8 – Força resistente de uma estaca 27
Figura 9 – Estacas Mistas 28
Figura 10 –Estacas Metálicas Perfil I Cravadas 29
Figura 11 – Fases de execução estaca tipo Franki 31
Figura 12 – Sequência executiva hélice contínua 32
Figura 13 – Equipamento SPT 34
Figura 14 – Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga.....37
Figura 15 – Localização Município de São José 46
Figura 16 – Localização Rua Padre Raulino Reitz 47
Figura 17 - Terreno em aclíve 48
Figura 18 – Terreno em aclíve 49
Figura 19 – Laudo sondagem à percussão 50
Figura 20 – Modelo 3d Eberick.....51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Estacas Necessárias para Aoki-Velloso 69
Gráfico 2 - Estacas Necessárias para Aoki-Velloso Corrigido.....70
Gráfico 3 - Estacas Necessárias para Décourt-Quaresma.....70
Gráfico 4 - Estacas utilizadas para o método Aoki-Velloso 75
Gráfico 5 - Resumo do Consumo Aoki-Velloso 75
Gráfico 6 - Estacas utilizadas para o método Aoki-Velloso Corrigido.....79
Gráfico 7 - Resumo do Consumo Aoki-Velloso 80
Gráfico 8 - Estacas utilizadas para o método Décourt-Quaresma.....84
Gráfico 9 - Resumo do Consumo Décourt-Quaresma.....84
Gráfico 10 - Resumo do Consumo Estudo de Caso.....85
Gráfico 11 – Composição de Custo Aoki-Velloso.....86
Gráfico 12 – Composição de Custo Aoki-Velloso Corrigido 86
Gráfico 13 – Composição de Custo Décourt-Quaresma 87
Gráfico 14 – Composição de Custo Obra.....87
Gráfico 15 – Comparativo de custos métodos e obra 88
Gráfico 16 – Comparativo metros de estaca 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Faixas de classificações granulométricas 17
Tabela 2- Faixas de classificações granulométricas 18
Tabela 3- Sistema Unificado de Classificação dos Solos (adaptado) 20
Tabela 4 – Estados de compacidade e consistência.....35
Tabela 5 – Valores usuais de V em função do diâmetro do tubo Franki 38
Tabela 6 – Fatores de correção de F_1 e F_2 39
Tabela 7 – Fatores de correção de F_1 e F_2 atualizados.....39
Tabela 8 – Coeficiente K e razão de atrito α 41
Tabela 9 – Coeficiente característico do solo K 42
Tabela 10 – Valores do fator α em função do tipo de estaca e do tipo de solo.....43
Tabela 11 – Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo do solo.....43
Tabela 12 – Valores dos coeficiente k e α 44
Tabela 13 – Valores máximos de q_s.....44
Tabela 14 – Tipo de solo e Nspt obtidos por sondagem 53
Tabela 15 – Cálculo de α, Np e NL para o método Aoki-Velloso.....54
Tabela 16 – Aoki-Velloso 16x16cm 55
Tabela 17 - Aoki-Velloso 18x18cm.....55
Tabela 18 - Aoki-Velloso 20x20cm.....56
Tabela 19 - Aoki-Velloso 23x23cm.....56
Tabela 20 - Aoki-Velloso Corrigido 16x16cm 57
Tabela 21 - Aoki-Velloso Corrigido 18x18cm 58
Tabela 22 - Aoki-Velloso Corrigido 20x20cm 58
Tabela 23 - Aoki-Velloso Corrigido 23x23cm 59
Tabela 24 – Cálculo de α, β, Np e NL para o método Décout-Quaresma.....60
Tabela 25 – Décourt-Quaresma 16x16cm 61
Tabela 26 – Décourt-Quaresma 18x18cm 61
Tabela 27 – Décourt-Quaresma 20x20cm 62
Tabela 28 – Décourt-Quaresma 23x23cm 62
Tabela 29 – Cargas pilares 63
Tabela 30 - Cota de Assentamento da Estacas no Método Aoki-Velloso 64
Tabela 31 - Cota de Assentamento das Estacas no Método Aoki-Velloso Corrigido 66
Tabela 32 - Cota de Assentamento das Estacas no Método Décourt-Quaresma 67

Tabela 33 – Custos por metro de cada estaca - dimensão lateral 71
Tabela 34 – Custo de Execução por dimensão de Estaca– Aoki-Velloso 71
Tabela 35 – Aoki-Velloso custos discriminados 73
Tabela 36 – Custo de Execução por Dimensão – Aoki-Velloso Corrigido 76
Tabela 37 – Aoki-Velloso Corrigido 77
Tabela 38 – Custo de Execução por Dimensão – Décourt-Quaresma 80
Tabela 39 – Décourt-Quaresma 82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 OBJETIVOS 15
1.1.1 Geral 15
1.1.2 Específicos 15
1.1.3 Problemática 15
1.1.4 Justificativa 15
1.1.5 Estrutura do Trabalho 16
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO 17
2.1 SOLOS 17
2.1.1 Argilas 18
2.1.2 Areias 18
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS 20
2.2.1 Sistema Unificado de Classificação 20
2.2.2 HBR 21
2.3 FUNDAÇÕES 22
2.3.1 Tipos de Fundações 22
2.4 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS 33
2.4.1 Sondagem à percussão SPT 34
2.5 MODELOS DE CÁLCULO 35
2.6 MÉTODO AOKI-VELLOSO 36
2.7 MÉTODO DÉCOURT-QUARESMA 41
2.8 MÉTODO DE BUSTAMANTE E GIANESELLY 43
3 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO 45
3.1 CARACTERÍSTICAS DA OBRA 45
3.2 LAUDO DE SONDAGEM 49
3.3 PLANTA DE CARGAS 51
4 METODOLOGIA 52
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS 53
5.1 DADOS GERAIS 53
5.2 AOKI-VELLOSO 53
5.2.1 Aoki-Velloso Corrigido 57

5.3 DÉCOURT-QUARESMA 59
5.4 ESTUDO DE CASO 63
5.4.1 Determinação das estacas 64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 90
REFERÊNCIAS 91
ANEXOS 93
ANEXO A – PLANTA DE CARGAS 94
ANEXO B – TABELA DE CARGAS 95

1 INTRODUÇÃO

Segundo Pinto (1988) “todo projeto de fundações contempla as cargas aplicadas pela obra e a resposta do solo a estas solicitações”, sendo então as fundações a base da cada obra, as quais devem suportar e transmitir as cargas para o solo. O correto dimensionamento das fundações, baseado em laudos de sondagens, é de suma importância para garantir a segurança, vida útil e economia da obra em questão.

Milititsky (2015) afirma que apesar dos custos usuais de fundações estarem entre 3% e 6% (casos correntes) a ocorrência de patologia e a necessidade de reforço da fundação implicam em gastos que podem chegar a valores maiores que o inicial do projeto, além de outros problemas como: processos litigiosos para identificar as causas e os responsáveis, necessidade de evacuação dos prédios, interdição de estruturas, entre outras complicações profissionais.

Milititsky (2015) ainda aponta que uma investigação deficiente do subsolo é a causa mais frequente de patologias de fundações, na medida em que o solo é o meio onde as cargas se dissiparão, a correta identificação e caracterização do seu comportamento são essenciais à solução e antecipação de qualquer problema.

A engenharia de fundações tem como um dos maiores desafios a previsão de capacidade de carga de estacas, contudo utilizando laudos de investigações geotécnicas corretas e apuradas para os dimensionamentos esse desafio é minimizado. Este trabalho propõe-se dimensionar as fundações de um galpão, tendo como base laudos de sondagens SPT, utilizando os métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma e comparar os resultados obtidos para determinar o método mais seguro e o mais arrojado dentre os dois para o estudo de caso apresentado.

1.1 OBJETIVOS

Desta forma, o trabalho que segue tem por meta atingir alguns objetivos, os quais estão elencados abaixo.

1.1.1 Geral

Fazer uma análise comparativa entre os métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma em uma fundação de obra real.

1.1.2 Específicos

- Analisar as cargas de fundação geradas através do software Eberick;
- Elaborar, através do emprego do software excel, o método de cálculo de Aoki-Velloso;
- Elaborar, através do emprego do software excel, o método de cálculo o método de Décourt-Quaresma;
- Fazer comparativo dos resultados e custos dos métodos citados com o realmente executado “in loco”.

1.1.3 Problemática

Calcular a fundação profunda de obra a ser construída, com base em laudos de sondagens do terreno, através de métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, apresentando comparativos técnico dos resultados obtidos.

1.1.4 Justificativa

Devido ao fato de os métodos abordados serem os mais utilizados para este tipo de cálculo, procurou-se saber qual dos dois se apresenta mais econômico, para a obra em questão.

A infraestrutura de uma edificação é uma etapa extremamente relevante no dimensionamento estrutural da mesma, seja ela residencial, comercial ou industrial.

A fundação caracteriza-se como a base de sustentação de todo e qualquer edificação a ser executada.

Desta forma, buscar o primor de um projeto de fundação que atende a obra do ponto de vista técnico levando em consideração o fator econômico é algo esperado pelo engenheiro calculista.

Neste ponto o trabalho que segue se encarregará de efetuar o dimensionamento da fundação de uma obra real a ser executada em São José/SC através dos dois métodos mais utilizados para tal; o método de Aoki-Velloso e o método de Décourt-Quaresma, além da correção feita por Aoki mais tarde para seu método. Apresentando os resultados obtidos e respondendo a seguinte pergunta: Dos métodos mais utilizados para dimensionamento de fundações profundas com base em sondagem SPT, qual o mais econômico, Aoki-Velloso, Aoki-Velloso corrigido ou Décourt-Quaresma?

1.1.5 Estrutura do Trabalho

De forma a facilitar a compreensão, este trabalho está estruturado em sete capítulos, onde no primeiro capítulo são apresentados a introdução, os objetivos, gerais e específicos, que cerceiam o mesmo, o problema a ser resolvido e os motivos que justificam esta pesquisa.

No capítulo dois são apresentados os referenciais bibliográficos necessários ao entendimento prático deste trabalho de forma a balizar o leitor acerca de conceitos e metodologias sem as quais a compreensão dos resultados não seria satisfatória.

O capítulo três trata-se da caracterização do estudo de caso, onde é apresentada as características da obra, o laudo de sondagem e as plantas de carga.

No que se refere ao capítulo quatro, neste se apresenta a definição da metodologia de pesquisa adotada pelos acadêmicos para este trabalho que segue.

Já no capítulo cinco, denominado desenvolvimento, são apresentados os resultados obtidos através da elaboração das planilhas de cálculo, bem como a comparação dos resultados com a configuração de fundação adotada na obra.

Finalmente, no capítulo seis, são apresentadas as considerações finais acerca dos resultados obtidos, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 SOLOS

Todos os solos se originam da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre. A decomposição é decorrente de agentes físicos e químicos

Conforme Caputo (1988, p. 1), o estudo dos solos acompanha o desenvolvimento da civilização e das grandes construções:

> A necessidade do homem trabalhar com os solos, encontra sua origem nos tempos mais remotos, podendo-se mesmo afirmar ser tão antiga quanto a civilização. Recordem-se, entre outros, os problemas de fundações e de obras de terra que terão surgido quando das grandes construções representadas pelas pirâmides do Egito, os templos da Babilônia, a Grande Muralha da China, os aquedutos e as estradas do Império Romano.

Para Pinto (2006) a primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas que os compõem e denominações específicas são empregadas para as diversas faixas de tamanho de grãos, seus limites, entretanto variam conforme cada sistema de classificação. Caputo (1988) afirma que apesar das classificações dos solos estarem limitadas, cada uma aos seus métodos, ainda assim elas constituem um meio prático para identificação dos solos em estudo, na Tabela 1 pode-se observar a classificação granulométrica segundo a ABNT NBR 6502:95.

Tabela 1– Faixas de classificações granulométricas

Descrição	Diâmetro das Particulas (mm)	Tipo de Análise
Bloco de Rocha	>1000	Peneiramento
Matacão	200 – 1000	
Pedra de mão	60 – 200	
Pedregulho	2 – 60	
Areia Grossa	0,6 – 2	
Areia Média	0,2 – 0,6	Sedimentação
Areia Fina	0,06 – 0,2	
Silte	0,002 – 0,06	
Argila	<0,002	

Fonte: ABNT NBR 6502/95

Porém o solo é composto por porções distintas dessas faixas granulométricas e por isso foram desenvolvidos métodos para melhor classifica-los. Caputo (1988)

destaca dois sistemas de classificação, os quais ele aponta como os principais, o Sistema Unificado de Classificação (Unified Classification System - U.S.C.), e a classificação do H.R.B. (Highway Research Board), originária da classificação do Public Roads Administration.

2.1.1 Argilas

Segundo a ABNT NBR 6502 (1995) argila é um solo que apresenta coesão e plasticidade de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm. Para Pinto (1988) as argilas, diferente das areias, possuem baixa permeabilidade, sendo por isso de suma importância o conhecimento de sua resistência, tanto para carregamento como solo drenado como em solo não drenado. A resistência de uma argila é fruto da estrutura da argila e das tensões sofridas pelo solo, tanto atuais como as passadas. A resistência da argila está correlacionada com sua consistência, como observado na Tabela 2.

Tabela 2- Faixas de classificações granulométricas

Consistência	**Resistência [kPa]**
Muito mole	<25
Mole	25 a 50
Media	50 a 100
Rija	100 a 200
Muito rija	200 a 400
Dura	>400

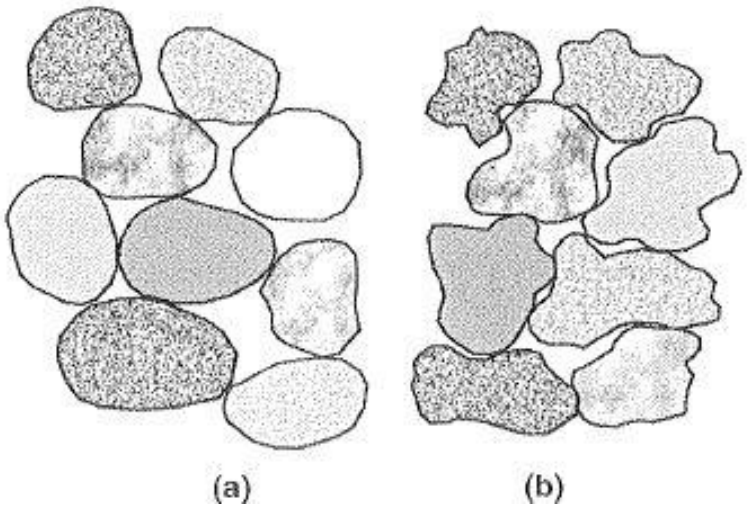
Fonte: Pinto (2006

2.1.2 Areias

A ABNT NBR 6502 (1995) descreve areia sendo um solo com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm, não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas. Para Pinto (1988, p. 51) os formatos dos grãos da areia são fundamentais para seu comportamento mecânico. (figura 1)

> “As areias se distinguem, também, pelo formato dos grãos. [...] O formato dos grãos de areia tem muita importância no seu comportamento mecânico, pois determina como eles se encaixam e se entrosam, e, em contrapartida, como eles deslizam entre si, quando solicitados por forças externas”

Figura 1– Faixas Formato dos grãos de areia

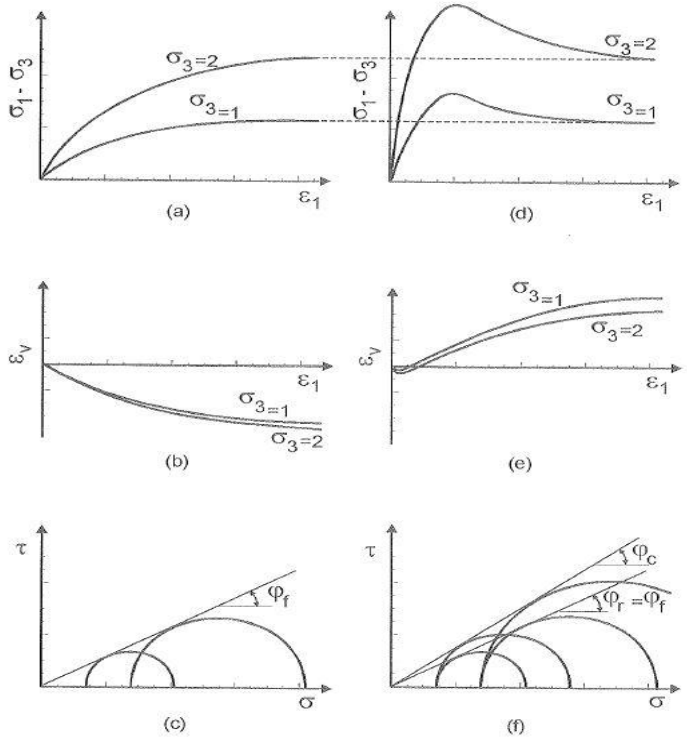


Entrosamento de areias:
(a) de grãos arredondados;
(b) de grãos angulares

Fonte: Curso Básico de Mecânica dos Solos p.271

Outra característica importante a avaliar-se é grau de compacidade que segundo Caputo (1998) é o estado natural de um solo não coesivo (areia, pedregulho), podendo esse ser fofo, medianamente compactado ou compactado. Na figura 2, pode-se observar os diferentes resultados do ensaio triaxial em areia fofas e areias compactas.

Figura 2 – Resultado do ensaio triaxial em areias



Resultados típicos de ensaios de compressão triaxial em areias:
(a) (b) (c) areias fofas;
(d) (e) (f) areias compactas

Fonte: curso básico de mecânica do dos solos p.264

De acordo com a ABNT NBR 6502 (1995) o estado do solo arenoso que apresenta o maior índice de vazios é no estado fofo, já no estado compacto os solos arenosos apresentam o menor índice de vazios. Analisando os gráficos apresentados na Figura 02, Pinto (2006) pontua que “as areias fofas apresentam elevados índices de vazios antes de serem carregadas, pois há contração. De outra parte, as areias compactas apresentam, inicialmente, baixos índices de vazios, mas eles aumentam com o carregamento, já que há dilatação”.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

2.2.1 Sistema Unificado de Classificação

Caputo (1988 p.184) pontua que nesse sistema, oriundo do Airfield Classification System (A.C.) e idealizado por A. Casagrande, em linhas gerais o solo é separado em 3 grandes grupos, solos grosso, solos finos e turfas, como apresentado na tabela 3 e com legenda dos símbolos na figura 3:

Tabela 3- Sistema Unificado de Classificação dos Solos (adaptado)

Classificação Geral	Tipos Principais	Símbolos
SOLOS GROSSOS (menos que 50% passando na #200)	Pedregulhos ou Solos pedregulhosos	GW, GC, GP e GM
	Areias ou Solos arenosos	SW, SC, SP e SM
SOLOS FINOS (mais que 50% passando na #200)	Siltosos ou Argilosos	Solos de baixa compressibilidade ML, CL e OL
		Solos de alta compressibilidade MH, CH e OH
SOLOS ALTAMENTE ORGÂNICOS	Turfas	Pt

Fonte: Caputo (1988, p.185)

Figura 3 – Legenda Tabela SUSC

Letra - ID	Material		Observação
G	Gravel	Pedregulho	Tipo Principal do Solo
S	Sand	Areia	
M	Mo	Silte	
C	Clay	Argila	
O	Organic	Solo Orgânico	
W	Well graded	Bem Graduado	Característica complementar do solo
P	Poor Graded	Mal Graduado	
H	High	Alta Compressibilidade	
L	Low	Baixa Compressibilidade	
Pt	Peat	Turfa	-

Fonte: Caputo (1988, p.185)

2.2.2 HBR

O Sistema de Classificação H. R. B, originário da classificação do Public Roads Administration, “classifica os solos em grupos e subgrupos, em função da granulometria e da plasticidade” (CAPUTO 1988 p 185).

Figura 4 – Sistema de Classificação H.B.R.

Classificação Geral	Solos Granulares (P_{200} < 35%)							Solos Silto-Argilosos (P_{200} > 35%)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5; A-7-6
P_{10} P_{40} P_{200}	<50 <30 <15	— <50 <25	— >50 <10	— — <35	— — <35	— — <35	— — <35	— — >35	— — >35	— — >35	— — >35
LL IP	— <6	— <6	— NP	<40 <10	>40 <10	<40 >10	>40 >10	<40 <10	>40 <10	<40 >10	>40 >10
Índice de Grupo(IG)	0	0	0	0	0	<4	<4	<8	<12	<16	<20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Classificação como subleito	Excelente a Bom					Regular a mau					

Fonte: Caputo (1988, p.186)

2.3 FUNDAÇÕES

Para o cálculo das fundações, segundo Velloso e Lopes (2010), o projetista estrutural fará o cálculo das cargas, considerando os apoios indeslocáveis, assim gerando as cargas que serão passadas ao projetista de fundação, para que o mesmo projete a fundação. O problema é que quando o solo recebe essa carga, o mesmo se desloca, gerando os recalques, isto causa um problema na teoria dos apoios indeslocáveis (iteração solo-estrutura).

Conforme Velloso e Lopes (2010, p. 1), são necessários alguns conhecimentos sobre mecânica dos solos para engenheiros de fundações:

> Em relação a mecânica dos solos, o engenheiro de fundações deve possuir sólidos conhecimentos nos seguintes tópicos: (i) origem e formação dos solos, (ii) caracterização e classificação dos solos (parâmetros físicos, granulometria, limites de Atterberg, etc), (iii) investigações geotécnicas, (iv) percolação nos solos e controle da água subterrânes, (v) resistência ao cisalhamento, capacidade de carga e empuxos, (vi) compressibilidade e adensamento e (vii) distribuições de pressões e cálculo de deformações e recalques.

Para o cálculo estrutural, esse mesmo projetista de fundações, necessita ter o conhecimento em dois aspectos; o primeiro para poder dimensionar e executar os elementos de fundações necessárias e o segundo, para avaliar o comportamento da estrutura devido aos deslocamentos das fundações. (VELLOSO; LOPES, 2010).

Em nosso país, de acordo com Velloso e Lopes (2010), apesar da norma recomendar a importância do acompanhamento da obra, não há o controle devido as fundações, provas de cargas raramente são realizadas e ainda há aqueles que afirmam que isto atrasa a obra. Além disto, no Brasil, ficamos restritos, para o conhecimento do solo, a sondagens à percussão (SPT), que geram um simples reconhecimento do terreno.

2.3.1 Tipos de Fundações

2.3.1.1 FUNDAÇÕES RASAS

Fundação rasa, também conhecida como fundação superficial ou direta. É definida no item 3.1 da ABNT NBR 6122 (2019), como “elemento de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e

a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação".

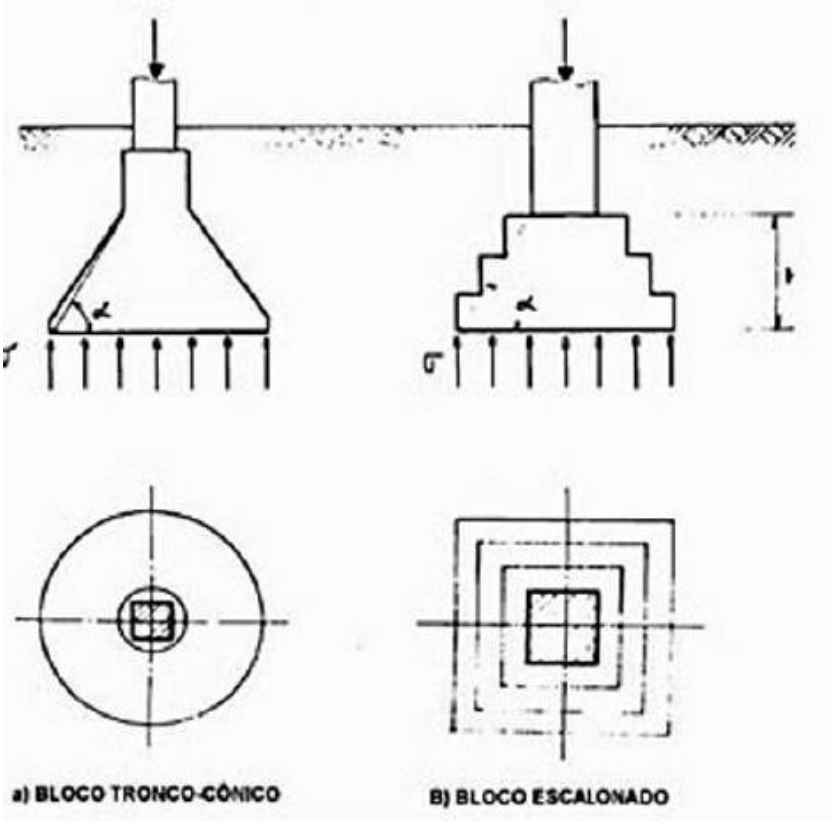
Teixeira e Godoy (1998) afirmam que as fundações que se apoiarem ao solo a uma profundidade pequena, são consideradas diretas. Citando o exemplo até de que um prédio com 2 subsolos, caso apoiada até 7m abaixo do nível da rua, é considerada superficial.

"Do ponto de vista estrutural as fundações diretas dividem-se em blocos, sapatas e radier." (TEIXEIRA; GODOY, 1998, p. 227).

2.3.1.1.1 Bloco

Segundo a definição da ABNT NBR 6122 (2019) bloco é um "elemento de fundação de concreto ou outros materiais tais como alvenaria ou pedras, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo material, sem necessidade de armadura. Teixeira e Godoy (1998) pontuam que um bloco normalmente assume forma de um bloco escalonado, ou pedestal, ou um tronco de cone, como mostra a figura 5.

Figura 5 – Bloco de Fundação



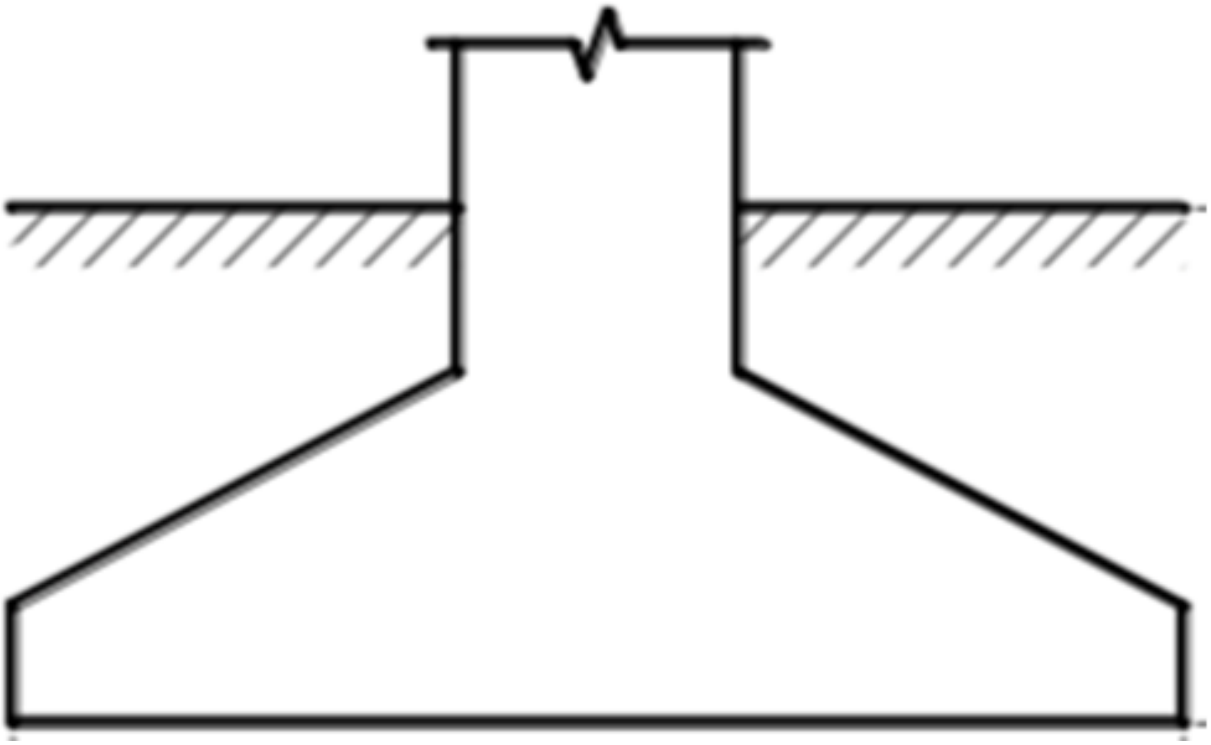
Fonte: Velloso (2019, p. 227).

2.3.1.1.2 Sapatas

“São elementos de apoio de concreto armado, de menor altura que os blocos, que resistem principalmente por flexão.” (TEIXEIRA; GODOY, 1998, p. 227).

De acordo com Bastos (2019), a sapata é o elemento de fundação rasa mais utilizado, pois há uma grande variabilidade em sua forma, existindo diversos tipos, como isolada, de divisa, corrida, etc. O elemento estrutural transmite as cargas verticais e demais ações para o solo através da área de contato base-solo, conforme figura 6.

Figura 6 - Sapta



Fonte: Bastos (2019, p. 2).

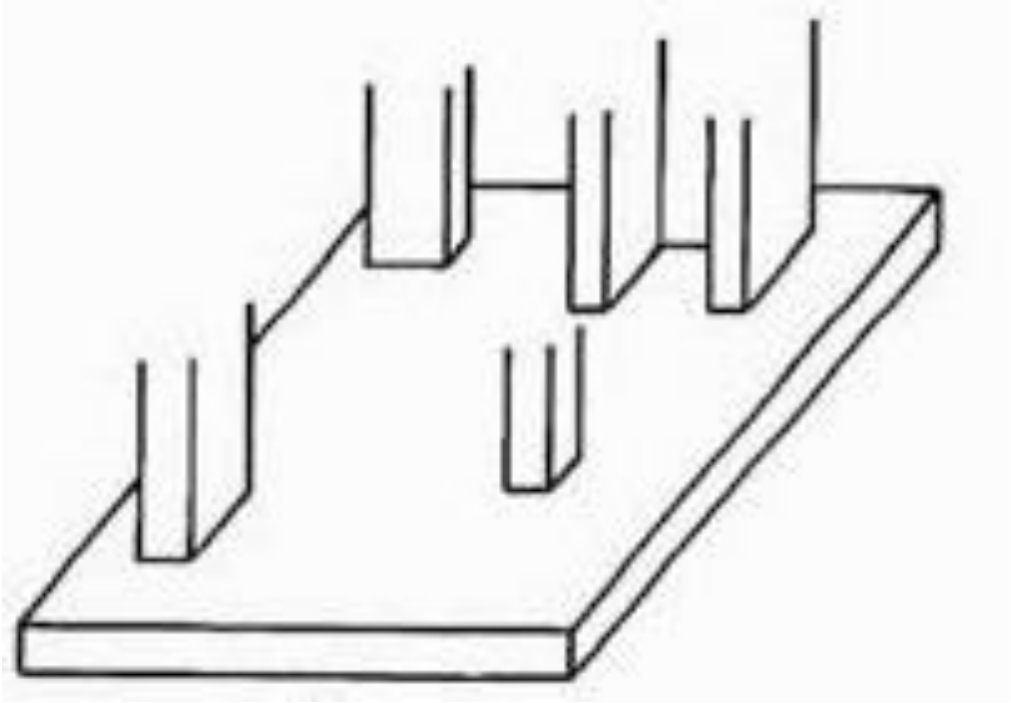
2.3.1.1.3 Radier

De acordo com a ABNT NBR 6122 (2019) radier é definido como “elemento de fundação rasa dotado de rigidez para receber e distribuir mais do que 70% das cargas da estrutura”.

“Envolvendo grandes volumes de concreto armado, o radier é uma solução relativamente onerosa e de difícil execução em terrenos urbanos confinados, ocorrendo por isso com pouca frequência. ” (TEIXEIRA; GODOY, 1998, p. 228).

Na figura 7, a seguir, é apresentado um exemplo de radier.

Figura 7 – Radier



Fonte: Velloso (2019, p. 227).

2.3.1.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

É definida pela ABNT NBR 6122 (2019) como “ elemento de fundação que transmite carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta e no mínimo 3m. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões.”

De acordo com Gonçalves (2008), quando se deseja atravessar materiais de baixa capacidade de varga, atingindo uma camada mais profunda adequada, é recomendada a utilização de estacas.

2.3.1.2.1 Tubulões

A ABNT NBR 6122 (2019), define tubulão como um elemento de fundação profunda direta pois neste tipo de fundação as cargas são resistidas preponderantemente pela ponta, e em pelo menos na sua etapa final da escavação do terreno, faz-se necessário o trabalho manual em profundidade para executar o alargamento de base ou pelo menos para a limpeza da escavação.

2.3.1.2.2 Estacas

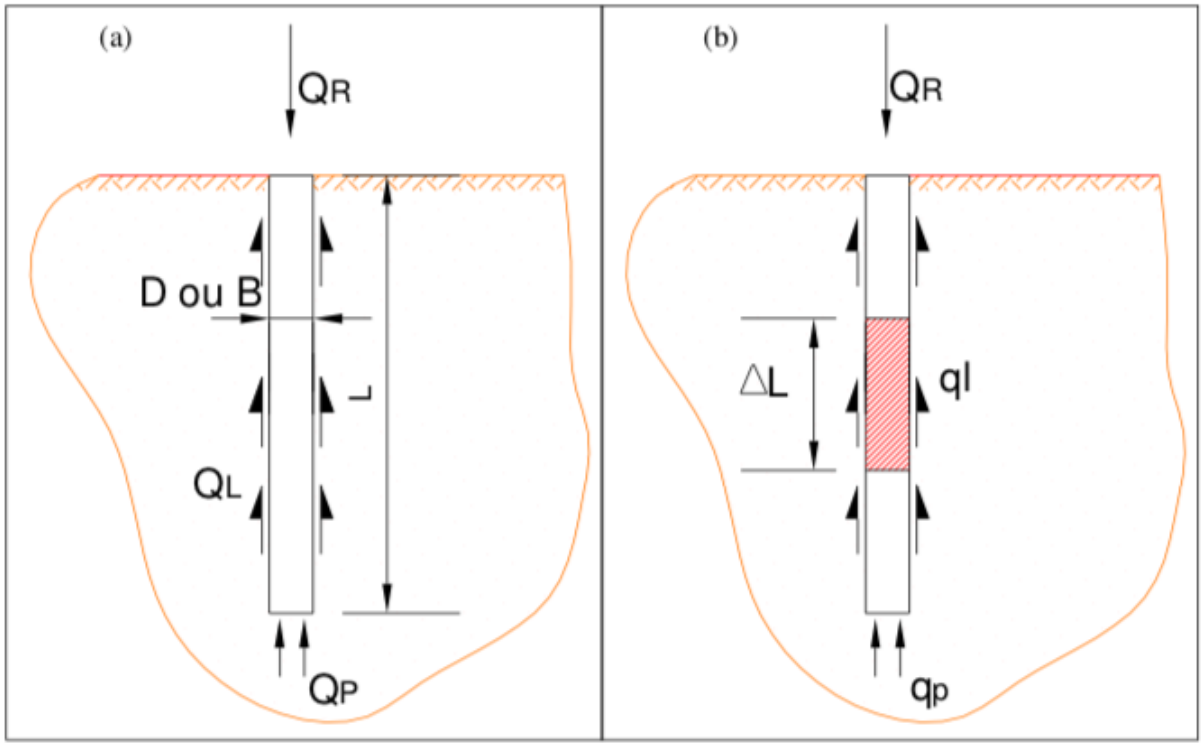
“Uma estaca sem o solo ao seu redor, não é uma fundação. Por isso denominamos elementos de fundação por estaca o sistema formado pela estaca (elemento estrutural) e o maciço que a envolve (elemento geotécnico). (CINTRA; AOKI, 2010, p. 6).

As estacas podem ser escavadas ou deslocadas. As que não envolvem retirada de solo, sendo apenas introduzidas, são deslocadas, como por exemplo; pré-moldadas de concreto armado, estacas metálicas, estacas de madeira, estacas tipo franki, etc. Já as executadas “in situ”, havendo remoção de material por meio de perfuração do terreno são consideradas escavada, exemplo; “Strauss”, barretes, estacões, hélices contínuas, etc. (DÉCOURT; ALBIERO; CINTRA, 1998).

Décourt, Albiero e Cintra (1998), concluem que o carregamento vertical de uma estaca será resistido por duas forças; a resistência ao cisalhamento, em seu fuste (Q_L) e as tensões normais em sua ponta (Q_p). Sendo a capacidade de carga (Q_R) a soma dos dois, como apresentado na figura 8.

$$Q_R = Q_L + Q_P$$

Figura 8 – Força resistente de uma estaca



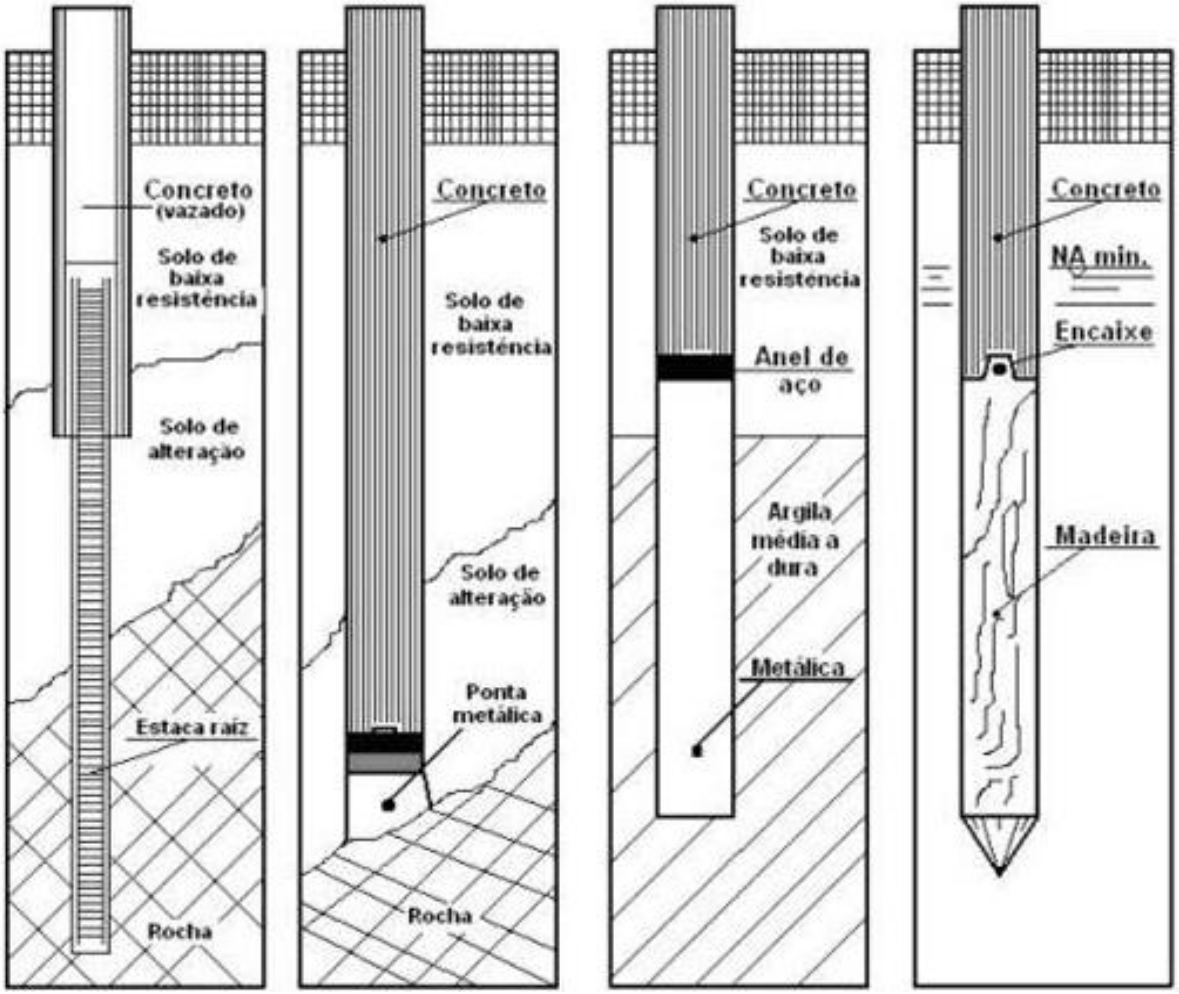
Fonte: Gonçalves (2008, p. 8)
a) Parcelas Totais
b) Parcelas Unitárias

2.3.1.2.2.1Estacas Pré-Moldadas

"As estacas pré-moldadas caracterizam-se por serem cravadas no terreno por percussão, prensagem ou vibração e por fazerem parte do grupo denominado *"estacas de deslocamento*." (ALONSO, 1998, P.373).

De acordo com Alonso (1998), as estacas pré-moldadas podem ser de apenas um elemento estrutural (aço, madeira, concreto armado ou protendido) ou por dois elementos, sendo assim chamadas de mistas. A figura 9, apresenta alguns exemplos destas estacas.

Figura 9 – Estacas Mistas



Fonte: Alonso (1998, p. 373)

2.3.1.2.2.2Estacas Metálicas

Estacas metálicas são constituídas de aço laminado ou soldado, em sua forma tem perfis de seção I e H, chapas dobradas e seção circular (tubos), quadrada e retangular; podendo ter a utilização de trilhos removidos de linhas férreas. (ALONSO, 1998).

“Os tipos de aços mais utilizados seguem os padrões ASTM A36 (tensão de escoamento 250 MPa) e A572 Grau 50 (tensão de escoamento 345 MPa).” (VELLOSO; LOPES, 2010, p. 192).

Alonso (1998) concluiu que apesar das estacas metálicas terem um custo mais elevado que em comparação com outras estacas cravadas, podem ser financeiramente viáveis em determinadas situações, pois atendem qualquer fase da obra, permitem uma cravação fácil (pouca vibração), trabalhando bem à flexão, além

de não haver problemas de transporte e emendas ou cortes e não gerar levantamento de estacas vizinhas.

Figura 10 –Estacas Metálicas Perfil I Cravadas

Fonte: <https://www.escolaengenharia.com.br/fundacoes-profundas/>

2.3.1.2.2.3Estacas Pré-Moldadas de Concreto

“De todos os materiais da construção civil, o concreto é um dos que melhor se presta à confecção de estacas em particular das pré-moldadas pelo controle de qualidade que se pode exercer tanto na confecção quanto na cravação. ” (ALONSO, 1998, p.380).

De acordo com Alonso (1998), as seções transversais das estacas mais utilizadas são circular, quadrada, hexagonal e octogonal. Tendo uma seção limitante em 30 x 30 cm (quadradas) e 40cm de diâmetro (circulares).

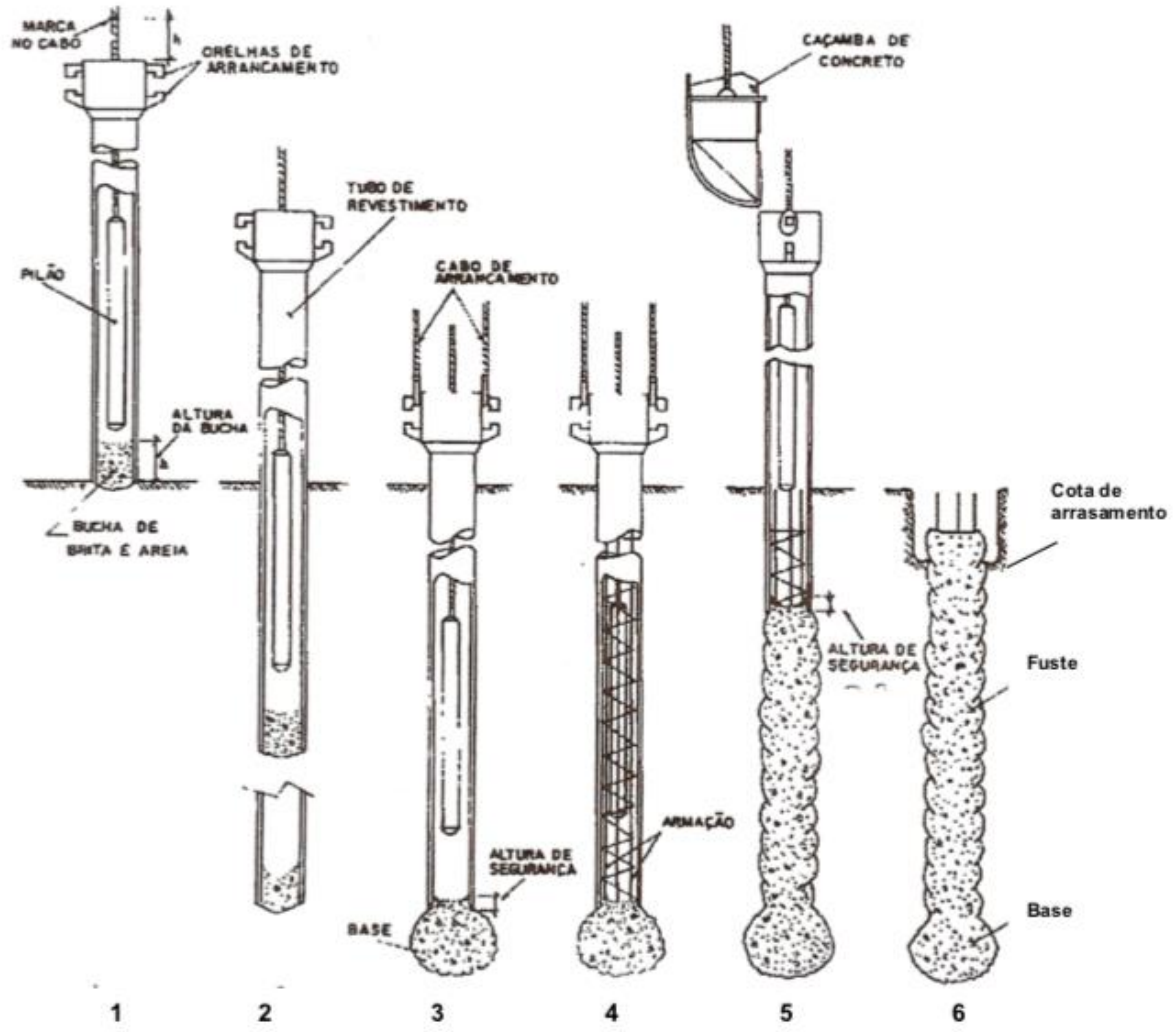
2.3.1.2.2.4Estacas Tipo Franki

"A estaca tipo Franki, como é chamada entre nós, é uma estaca de concreto armado moldada no solo, que usa um tubo de revestimento cravado dinamicamente com ponta fechada por meio de bucha e recuperado ao ser concretada à estaca. ” (MAIA, 1998, p.329).

De acordo com Velloso e Lopes (2010), este tipo de estaca, foi desenvolvida na década de 1910, pelo engenheiro belga Edgarg Frankignoul. Este tipo de estaca teve um enorme sucesso devido sua qualidade e seu custo vantajoso, pois podem ser utilizados comprimentos menores devido a sua base alargada, além de sua concretagem ser no comprimento necessário (praticamente não ultrapassando a cota de arrasamento).

Maia (1998) destaca o método executivo da estaca, onde é iniciado pelo posicionamento do tubo de revestimento e formação da bucha. Executada esta etapa, é lançada a quantidade de areia e brita no seu interior, sendo compactada pelos golpes do pilão e expandindo lateralmente. Então o tubo é cravado no terreno, tendo sua profundidade definida pela “nega”. Após a cravação, é necessário expulsar a bucha e alargar a base; utilizando concreto quase seco (slump 0). Com isto pode ser feita a concretagem do fuste e remoção do tubo, simultaneamente. Processo exemplificado na figura 11.

Figura 11 – Fases de execução estaca tipo Franki



Fonte: Maia (1998, p. 330)

2.3.1.2.2.5Estacas Tipo Hélice Contínua

Conforme Antunes e Tarozzo (1998, p. 345):

> A estaca hélice contínua é uma estaca de concreto moldada “in loco” executada por meio de trado contínuo e injeção de concreto, sob pressão controlada, através da haste central do trado simultaneamente a sua retirada do terreno.

De acordo com Antunes e Tarozzo (1998), as fases da execução são: perfuração, concretagem simultânea à extração da hélice e colocação da armação, conforme figura 12.

Figura 12 – Sequência executiva hélice contínua

Fonte: Antunes e Tarozzo (1998, p.345)

“Os equipamentos mais comuns, permitem executar estacas com diâmetros de 30cm a 100cm e comprimentos de 15m até 30m.” (VELLOSO; LOPES, 2010, p. 227).

Antunes e Tarozzo (1998) afirmam que a profundidade de perfuração é determinada por projeto; nesta fase, no momento em que se começa a perfuração, a mesma não deve ser interrompida, para que não haja alívio significativo no terreno, assim possibilitando a execução em solos coesivos e arenosos, com ou sem lençol freático. A concretagem tem seu início logo após o término da perfuração, sendo o concreto bombeado pelo tubo central, preenchendo a cavidade enquanto é extraída a hélice, até sua superfície de trabalho. Logo em seguida da concretagem, é colocada a armação, em forma de gaiola, por gravidade ou com auxílio de um pilão de baixa carga ou vibrador.

Antunes e Tarozzo (1998) apresentam as vantagens e desvantagens do uso deste método de função profunda. Dentre as principais vantagens, encontram-se a elevada produtividade, adaptabilidade dos tipos de terrenos (exceto na presença de matacões), não produz distúrbios ou vibrações. Já para as principais desvantagens temos; áreas de trabalho do equipamento devem ser planas, exige uma grande demanda de concreto (central próxima), alto custo de mobilização do equipamento e limitação em seu comprimento.

2.3.1.2.2.6 Estacas Tipo Raiz

A ABNT NBR 6122 (2019) define estacas raiz como; estaca armada e preenchida com argamassa de cimento e areia. Moldada in loco executada através de perfuração rotativa ou rotopercussiva, revestida integralmente, no trecho em solo, por um conjunto de tubos metálicos.

Velloso e Lopes (2010), consideram que estes tipos de estaca possuem suas características, que a fazem poder ser utilizada em casos as quais outros tipos não são possíveis. Como exemplos: não produzem vibrações; possível de execução por obstáculos como rochas e concreto; equipamento de pequeno porte; executadas na vertical ou qualquer inclinação.

Para a execução da estaca raiz, Alonso (1998, p.62), cita as quatro fases fundamentais consecutivas:

- Perfuração auxiliada por circulação de água
- Instalação de armadura
- Preenchimento com argamassa
- Remoção do revestimento e aplicação de golpes de ar comprimido

2.4 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Quaresma et al. (1998), asseguram a necessidade de se ter um reconhecimento adequado do solo para a elaboração do projeto de fundações; identificando e classificando as diversas camadas a serem analisadas, além de suas propriedades de engenharia. Para essa identificação e classificação, são executados ensaios “in situ”; já as propriedades de engenharia, podem ser feitas através de ensaios laboratoriais ou ensaios de campo. Na prática, os ensaios “in situ”, predominam quase que totalmente.

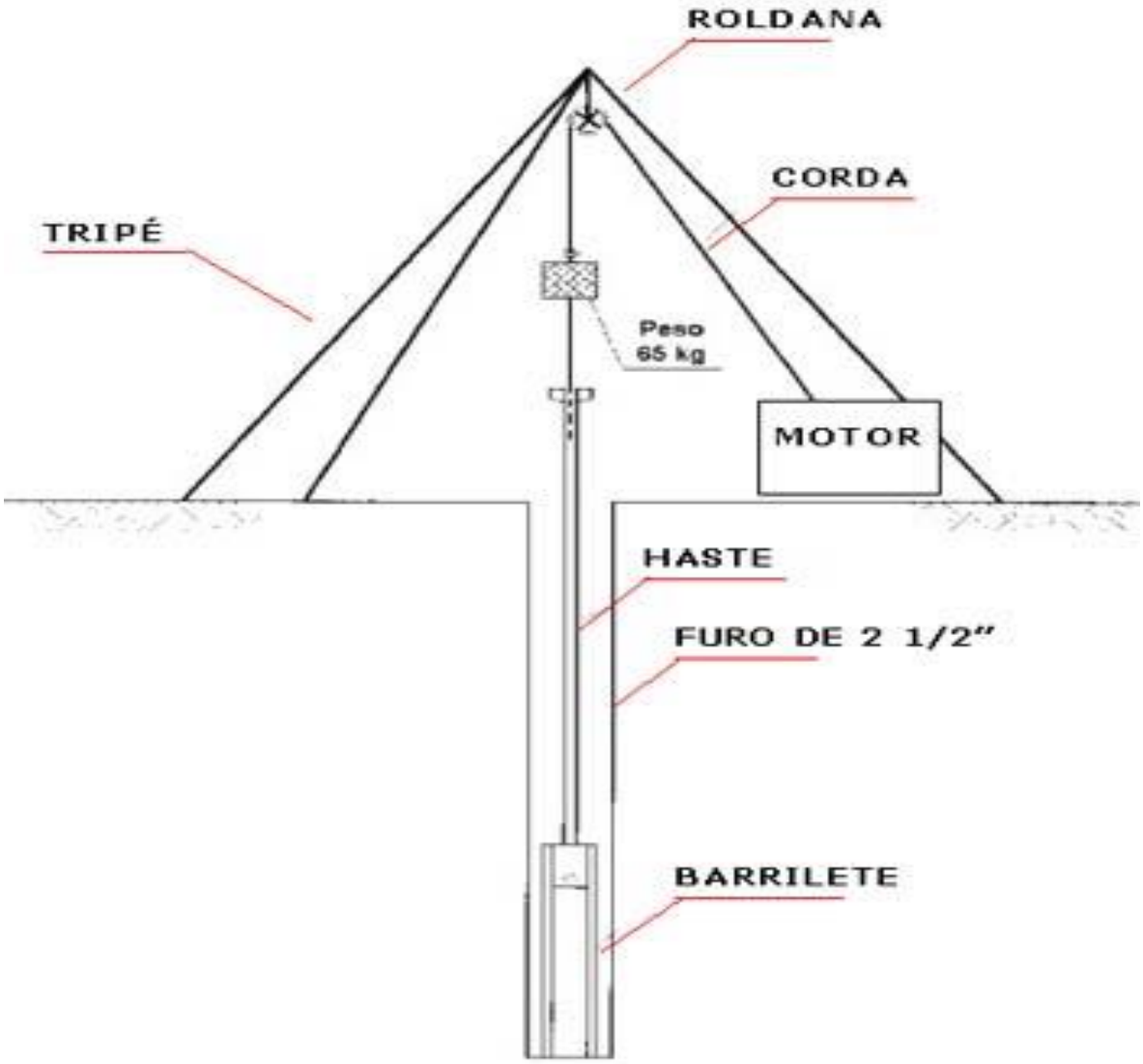
Quaresma et al. (1998), garantem que o SPT é disparado o mais utilizado na maioria dos países no mundo. Entretanto, há uma tendência em substituí-lo pelo SPT-T, o qual é mais completo e tem praticamente o mesmo custo. Os ensaios CPT e CPT-U, são utilizados em locais que demandam uma análise mais completa do terreno. Os outros ensaios foram citados mais para grau de informação, não apresentando tanta utilização, apesar de alguns terem um bom potencial a serem desenvolvidos.

2.4.1 Sondagem à percussão SPT

Quaresma et al. (1998), afirmam que os parâmetros a serem obtidos ao realizar a sondagem SPT, são: tipo do solo atravessado; resistência (N) à cravação do amostrador padrão; posição do nível/níveis d'água (caso encontrados).

O ensaio, normatizado pela ABNT NBR 6484 (2001), consiste na cravação do amostrador padrão por meio de golpes através de uma queda livre de 75cm do martelo de peso 65kg (figura 13). É anotado o número de golpes com o qual se crava 45cm do amostrados, em 3 conjuntos de golpes, a cada 15cm (despreza-se os primeiros 15cm). Com isto, a soma dos golpes necessários para a cravação dos últimos 30cm, será o valor de N.

Figura 13 – Equipamento SPT



Fonte: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=126>

De acordo com ABNT NBR 6484 (2001), a paralisação da sondagem deve seguir os seguintes critérios:

- Quando em 3 m sucessivos se obtiver 30 golpes para penetração de 15 cm iniciais do amostrador padrão;
- Quando em 4 m sucessivos se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador padrão;
- Quando em 5 metros sucessivos se obtiver 50 golpes para penetração dos 45 cm do amostrador padrão;

A tabela 4, a qual apresentada a seguir, fornecida pela ABNT NBR 6484 (2001), mostra os estados de compacidade e consistência a partir do tipo de solo e índice de resistência à penetração (N).

Tabela 4 – Estados de compacidade e consistência

Solo	**Índice de resistência à penetração (N)**	**Designação [1)]**
Areias 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)
	> 19	Dura(o)

[1)] As expressões empregadas para a classificação da compacidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compacidade relativa das areias ou para a situação perante ao índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

Fonte: ABNT NBR 6484 (2001).

2.5 MODELOS DE CÁLCULO

Como modelos de cálculo, existem inúmeras fórmulas teóricas, no entanto essas apresentam uma dificuldade de ajuste no modelo físico e matemático para a questão da ruptura nas fundações profundas. (CINTRA; AOKI, 2010).

Cintra e Aoki (2010), asseguram que o modelo teórico de ruptura estabelecido por Terzaghi em 1943; considerando a sapata pouco embutida, a uma profundida menor que sua largura, causando na ruptura o levantamento de uma parte de solo,

gerando o tombamento da sapata; funciona bem em fundações rasas, entretanto nas fundações profundas este modelo torna-se inaplicável.

Conforme Cintra e Aoki (2010, p. 22):

> Uma vez que as fórmulas teóricas geralmente não são confiáveis na previsão da capacidade de carga de fundações por estacas, muitos autores têm proposto métodos baseados em correlações empíricas com resultados de ensaios *in situ* e ajustados com provas de carga.

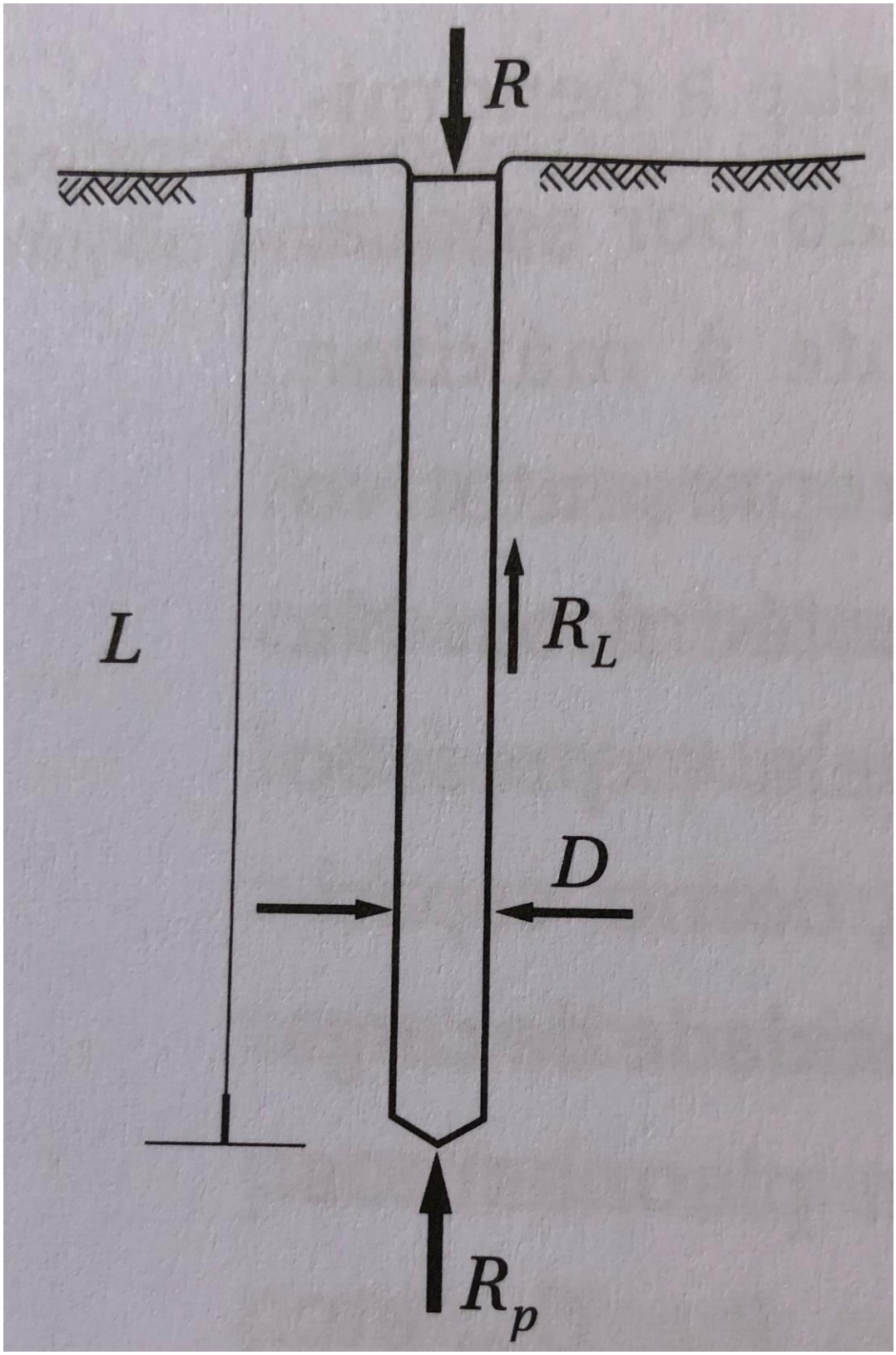
De acordo com Velloso e Lopes (2010), os métodos semi-empíricos utilizam correlação com os ensaios CPT ou SPT. Utilizando o CPT, temos alguns exemplos como: método de De Beer (1971-1972); método de Bustamante e Gianeselly (1982); método de Holeyman (1997). Já os métodos utilizantes do SPT, mais comuns em nosso país, devido a esta ser a investigação geotécnica mais difundida e utiliza, podemos citar alguns exemplos como: método de Meyerhof (1956); método Aoki-Velloso (1975); método Décourt-Quaresma (1978); método de Teixeira (1996).

2.6 MÉTODO AOKI-VELLOSO

Conforme Décourt (1998) o método de Aoki e Velloso, foi apresentado no V Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, realizado no ano de 1975 na cidade de Buenos Aires.

A partir da figura 14, Cintra e Aoki (2010) exemplificam o modelo de cálculo do método.

Figura 14 – Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga



Fonte: Cintra e Aoki (2010, p.12).

A partir do equilíbrio das forças obtém-se:

$R = R_L + R_P$

Onde:

R_L = Resistência Lateral

R_P = Resistência de Ponta

Continuando a dedução;

$R_P = r_P A_P$

Onde:

r_P = Resistência de ponta em unidades de tensão

A_P = Área da seção transversal da ponta ou base da estaca

Para o cálculo de A_P Cintra e Aoki (2010, p. 12), exemplificam:

> No caso de estacas pré-moldadas de concreto com seção vazada, geralmente podemos considerá-la como estaca maciça, na definição da área de cálculo, por causa do embuchamento que ocorre na cravação. Para perfis metálicos (tipos I, H, etc.) e trilhos, dependendo do grau de aderência do solo-estaca, a área de cálculo pode variar desde a área real do perfil até a área correspondente ao retângulo envolvente; e, para estacas Franki, a área da ponta (A_P) é calculada a partir do volume da base alargada (V), admitida esférica:
>
> $$A_P = \pi \left[\frac{3V}{4\pi}\right]^{2/3}$$

Tabela 5 – Valores usuais de V em função do diâmetro do tubo Franki

Diâmetro do tubo (cm)	Volume da base V (m^3)
ø 35	0,18
ø 40	0,27
ø 45	0,36
ø 53	0,45
ø 60	0,60

Fonte: Aoki e Velloso (1975), apud Cintra e Aoki (2010, p. 13).

Para o atrito R_L, tem-se a seguinte fórmula:

$R_L = U \sum (r_L \Delta_L)$

Onde:

U = Perímetro do fuste → U = πD (seção transversal circular) ou U = 4D (seção transversal quadrada)

Entretanto, Cintra e Aoki (2010), ainda destacam que para o perímetro de estacas pré-moldadas de concreto com sua seção vazada, é considerado o perímetro externo. Já para as em perfis metálicos (I, H, etc.) e trilhos, é utilizado o perímetro das faces em contato com o solo.

Adicionando as parcelas descritas acima, chega-se a fórmula:

$R = U \sum (r_L \Delta_L) + r_P A_P$

Onde:

U, Δ_L e A_P → Variáveis geométricas

r_L e r_P → Incógnitas geotécnicas

Cintra e Aoki (2010), descrevem, que estas incógnitas citadas acima, para obtenção de valores inicias, são correlacionadas com ensaios do tipo CPT, onde q_C = resistência de ponta de cone e f_S = atrito lateral unitário na luva;

$$r_P = \frac{q_C}{F_1}$$

$$r_L = \frac{f_S}{F_2}$$

Os valores de F_1 e F_2, os quais são foram tabelados na época e depois atualizados, como apresentados nas tabelas 6 e 7. São fatores de correlação, levando em conta o efeito escala (diferença de comportamento entre estaca e cone do CPT). (CINTRA; AOKI, 2010).

Tabela 6 – Fatores de correção de F_1 e F_2

Tipo de estaca	**F_1**	**F_2**
Franki	2,50	5,0
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada	1,75	3,5
Escavada	3,0	6,0

Fonte: Aoki e Velloso (1975) apud (Cintra; Aoki, 2010, p. 25).

Tabela 7 – Fatores de correção de F_1 e F_2 atualizados

Tipo de Estaca	**F_1**	**F_2**
Franki	2,5	2 F_1
Metálica	1,75	2 F_1
Pré-Moldada	1 + D/0,80	2 F_1
Escavada	3,0	2 F_1
Raiz, Hélice contínua e Ômega	2,0	2 F_1

Fonte: Aoki e Velloso (1975), apud Cintra e Aoki (2010, p. 26).

“Todavia, como no Brasil o CPT não é tão empregado quanto o SPT, o valor de resistência de ponta (q_C), pode ser substituído por uma correlação com o índice de resistência à penetração (N_{SPT}): $q_C = K\ N_{SPT}$” (CINTRA; AOKI, 2010, p. 23).

Cintra e Aoki (2010), ainda citam que o valor do K, depende do tipo de solo. Além da possibilidade do atrito lateral ser utilizado em função do N_{SPT}, com a razão de atrito (α):

$$\alpha = \frac{f_S}{q_C}$$

Logo:

$$f_S = \alpha\ q_C = \alpha\ K\ N_{SPT}$$

A partir destas fórmulas, as expressões r_P e r_L, reescrevem-se:

$$r_P = \frac{K N_P}{F_1}$$

$$r_L = \frac{\alpha\ K\ N_L}{F_2}$$

Sendo:

N_P = Índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca

N_L = Índice de resistência à penetração médio na camada solo de espessura Δ_L

Desse modo, pode-se obter a capacidade de carga (R), a partir da da seguinte fórmula semiempírica:

$$R = \frac{K\ N_P}{F_1}\ A_P + \frac{U}{F_2} \sum_{1}^{n} (\alpha\ K\ N_L\ \Delta_L)$$

Os valores de k e α foram tabelados por Aoki e Velloso (1975), conforme a tabela 8 a seguir:

Tabela 8 – Coeficiente K e razão de atrito α

Solo	**K (MP_a)**	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 argilosiltosa	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	0,33	3,0

Fonte: Aoki e Velloso (1975), apud Cintra e Aoki (2010, p. 25).

2.7 MÉTODO DÉCOURT-QUARESMA

“Luciano Décourt e Arthur R. Quaresma, apresentaram um método para determinar a capacidade de cargas de estacas a partir do ensaio SPT (Décourt e Quaresma, 1978)”. (VELLOSO; LOPES, 2012, p. 266).

O método inicialmente previsto para estacas deslocadas, sofreu algumas extensões, a fim de se adequar a outros tipos de estacas e também ou ensaio SPT-T (conceito N-equivalente; Neq). (DÉCOURT, 1998).

O valor de Neq, é obtido através da seguinte equação:

$$Neq = \frac{T\ (kgf.m)}{1{,}2}$$

Cintra e Aoki (2010), exemplificam que as parcelas (R_L e R_P) da capacidade de carga (R), são expressas pelas seguintes equações, já exemplificadas na seção 3.1:

$$R_L = r_L\, U_L$$

$$R_P = r_P\, A_P$$

Para o método de Décourt-Quaresma, Cintra e Aoki (2010), explicam que o valor de r_L (atrito lateral), é obtido com a média do índice resistência à penetração do SPT, em todo o fuste (N_L), a partir de uma tabela apresentada pelos autores. Em 1982, esses valores tabelados são transformados por Décourt na seguinte equação:

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

Sendo o limite superior de N_L = 50 em estacas de deslocamento e escavadas com lama betonita. Para as estacas Strauss e tubulões a céu aberto $N_L \leq 15$.

Ja para o r_P (capacidade dee carga junto à ponta), Cintra e Aoki apresentam a fórmula e seus coeficientes;

$$r_P = C\ N_P$$

em que:

N_P – Valor médio do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca, obtido a partir de três valores: o correspondente ao nível da ponta ou base, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior;

C – Coeficiente característico do solo, ajustado por 41 provas de carga realizadas em estacas pré-moldadas de concreto; conforme será apresentado na tabela 9, a seguir. Na forma inicial (1978), Décourt e Quaresma apresentam esse valor com K.

Tabela 9 – Coeficiente característico do solo K

Tipo de solo	**K (kN/m²)**	**K (tf/m²)**
Argila	120	12
Silte argiloso (solo residual)	200	20
Silte arenoso (solo residual)	250	25
Areia	400	40

Fonte: Décourt e Quaresma (1978).

“Nas provas de carga que não atingiram a ruptura, os autores utilizaram como critério de ruptura a carga correspondente ao recalque de 10% do diâmetro da estaca.” (CINTRA; AOKI, 2010, p. 27).

Cintra e Aoki, citam que em 1996, Décourt introduz fatores α (tabela 10) e β (tabela 11) em sua equação (resistência de ponta e lateral), para seu método poder ser aplicado a vários tipos de estacas, assim chegamos a equação:

$$R = \alpha\ C\ N_P\ A_P + \beta\ 10\left(\frac{N_L}{3} + 1\right)\ U\ L$$

Conforme Décourt (1998, p. 275):

> Os coeficientes α e β são coeficientes de majoração ou de minoração respectivamente para a reação de ponta (r_P) e para o atrito lateral unitário (r_L) que permitem estender os cálculos efetuados para a estaca padrão para outros tipos de estaca.

Tabela 10 – 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*	0,85*	1,0*
Areias	0,5	0,5	0,3*	0,85*	1,0*

Fonte: Décourt (1996), apud apud Cintra e Aoki (2010, p. 28).
* valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Tabela 11 – Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo do 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*

Fonte: Décourt (1996), apud Cintra e Aoki (2010, p. 28).
* valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

"O método original (α=β=1) permanece para estacas pré-moldadas, metálicas e do tipo franki." (CINTRA; AOKI, 2010, p. 28).

2.8 MÉTODO DE BUSTAMANTE E GIANESELLY

Segundo Décourt (1998), o método de Bustamante e Gianeselly, pode ser calculado com base em 2 ensaios; CPT e pressiômetro de Menard.

Para a metodologia utilizando o ensaio de CPT, Décourt (1998), exemplifica a seguinte fórmula.

$$Q_u = q_c\, k\, A_P + q_s\, A_S$$

Onde:

q_C → resistência média do CPT entre profundidades de 1,5 diâmetros acima e 1,5 diâmetros abaixo do nível da ponta da estaca.

k → parâmetro dependente do tipo de solo e do tipo da estaca

q_s → atrito unitário médio ao longo do fuste dado por q_c/α

Os valores de k e α e valores máximos do atrito lateral unitário q_s, foram tabelados pelos autores e serão apresentados na abaixo, divididos em 2 tabelas (12 e 13) para uma melhor apresentação. (DÉCOURT, 1998).

Tabela 12 – Valores dos coeficiente k e α

Natureza do solo	q_c (10^5 Pa)	k EC	k EE	α EE Conc	α EE Aço	α EC Conc	α EC Aço
Argila mole e vasa	< 10	0.4	0.5	20	30	20	30
Argila media	10 a 50	0.35	0.45	40	80	40	80
Argila rija e silte compaacto	> 50	0.45	0.55	60	120	60	120
Silte e areia fofos	≤ 50	0.4	0.5	60	150	60	120
Areia e pedregulho medianamente compactos	50 a 120	0.4	0.5	100	300	100	200
Areia e pedregulho compactos a muito compactos	> 120	0.3	0.4	150	200	150	200
Cré (calcário) mole	≤ 50	0.2	0.3	100	120	100	120
Cré alterado e fragmentado	> 50	0.2	0.4	60	80	60	80

Fonte: Bustamante e Gianeselly (1981), apud Décourt (1998, p. 277).

Legenda:

E Estaca escavada
ER Estaca escavada com fuste revestido
Conc. Concreto

Tabela 13 – Valores máximos de q_s

Natureza do solo	q_s máx Conc	q_s máx Aço	q_s máx I/BP	q_s máx I/AP
Argila mole e vasa	0.4	0.4	0.5	-
Argila media	0.4	0.4	0.8	≥ 1.2
Argila rija e silte compaacto	0.4	0.4	1.2	≥ 1.5
Silte e areia fofos	0.4	0.4	0.8	-
Areia e pedregulho medianamente compactos	0.8	0.8	1.2	≥ 1.5
Areia e pedregulho compactos a muito compactos	1.2	1.2	1.5	≥ 2.0
Cré (calcário) mole	0.4	0.4	0.3	-
Cré alterado e fragmentado	1.2	1.2	1.5	≥ 2.0

Fonte: Bustamante e Gianeselly (1981), apud Décourt (1998, p. 277).

Legenda:

Conc. Concreto
I/BP Estaca injetada com baixa pressão
I/AP Estaca injetada com alta pressão

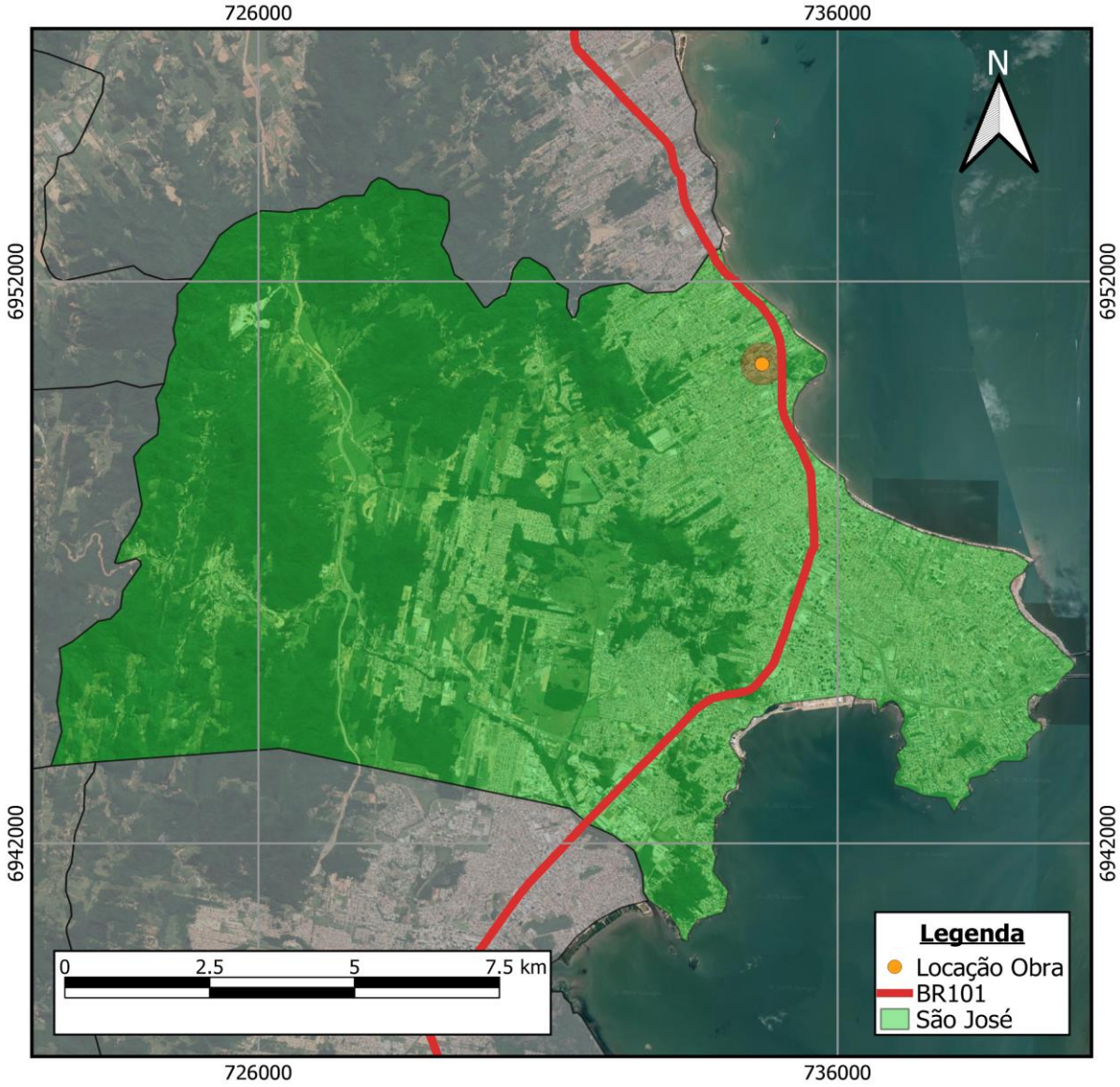
3 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Os métodos de cálculo de Aoki-Velloso (original e corrigido) e Décourt-Quaresma, foram elaborados através do software excel, e assim alimentados com os dados constantes no laudo de sondagem, apresentado na figura 19, gerando o dimensionamento dos referidos métodos. Em uma etapa final, estes foram comparados ao resultado obtido na fundação executada, sem o devido projeto de fundações, de onde foram retirados os parâmetros de comparação técnicos e financeiros

3.1 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

A obra a qual será estudada, é a construção de dois galpões comerciais, com área de 270 m^2 (cada), localizado na Rua Padre Raulino Reitz s/n (figura 16), no bairro Serraria, pertencente ao Município de São José (figura 15), no Estado de Santa Catarina, situado na República Federativa do Brasil

Figura 15 – Localização Município de São José



Fonte: Dos autores.

Figura 16 – Localização Rua Padre Raulino Reitz

Fonte: Dos autores.

Devido ao terreno ser em aclive, com a presença de uma residência nos fundos, como observa-se nas figuras 17 e 18, houve um estudo levando em consideração a sondagem SPT, para decidir se a fundação a ser feita seria rasa (com muro de arrimo) ou profunda; concluindo-se que para o caso específico, uma fundação profunda seria o ideal.

Figura 17 - Terreno em aclíve

Fonte: Dos autores.

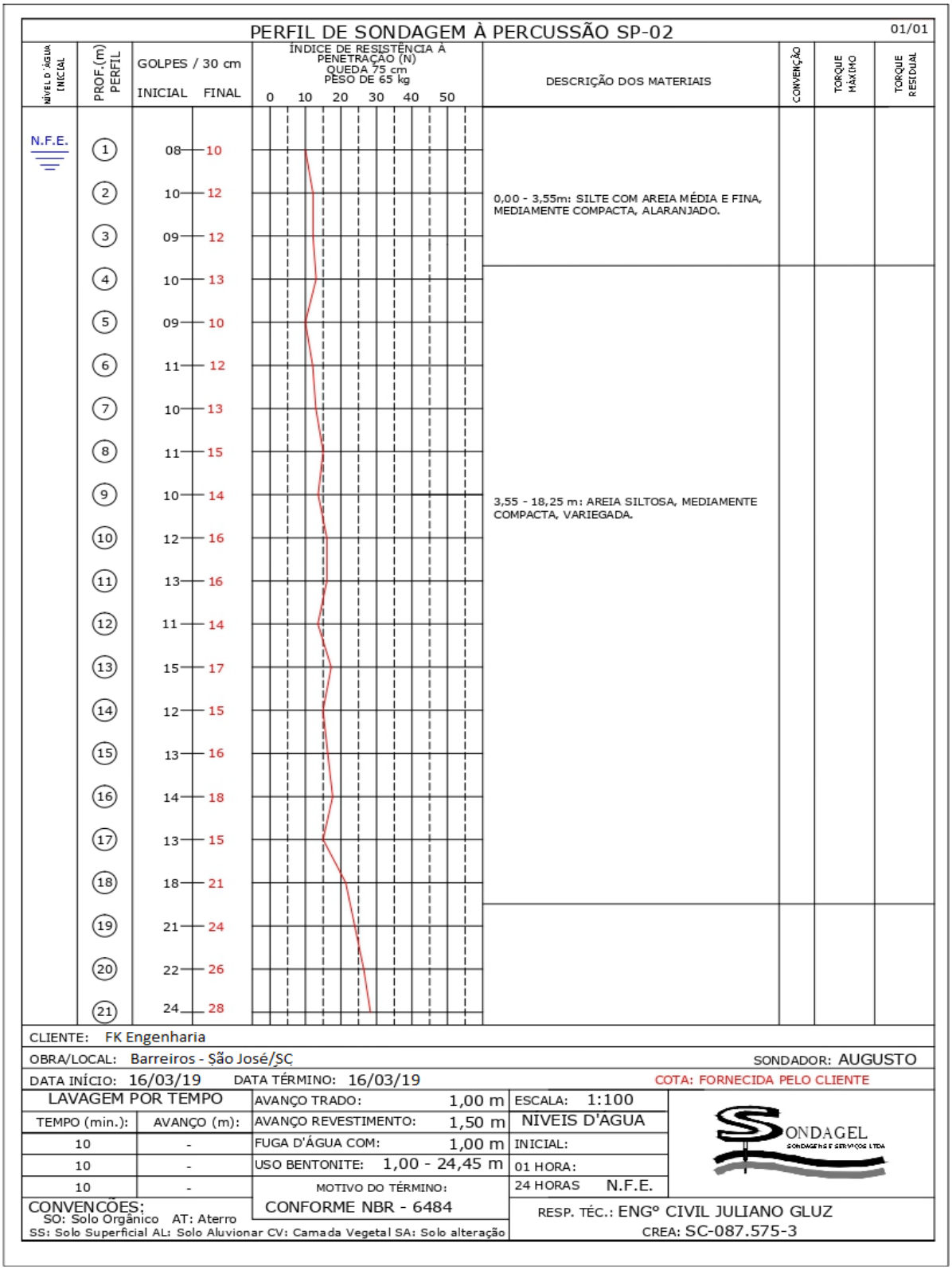
Figura 18 – Terreno em aclíve

Fonte: Dos autores.

3.2 LAUDO DE SONDAGEM

Conforme laudo apresentado na Figura 19, o local da obra apresenta nível do lençol freático elevado; solo com dois horizontes distinto, o primeiro composto por silte com areia média e fina – mediamente compactada e o segundo perfil sendo de areia siltosa, medianamente compactada; nSPT 28, alcançado na cota 21.

Figura 19 – Laudo sondagem à percussão



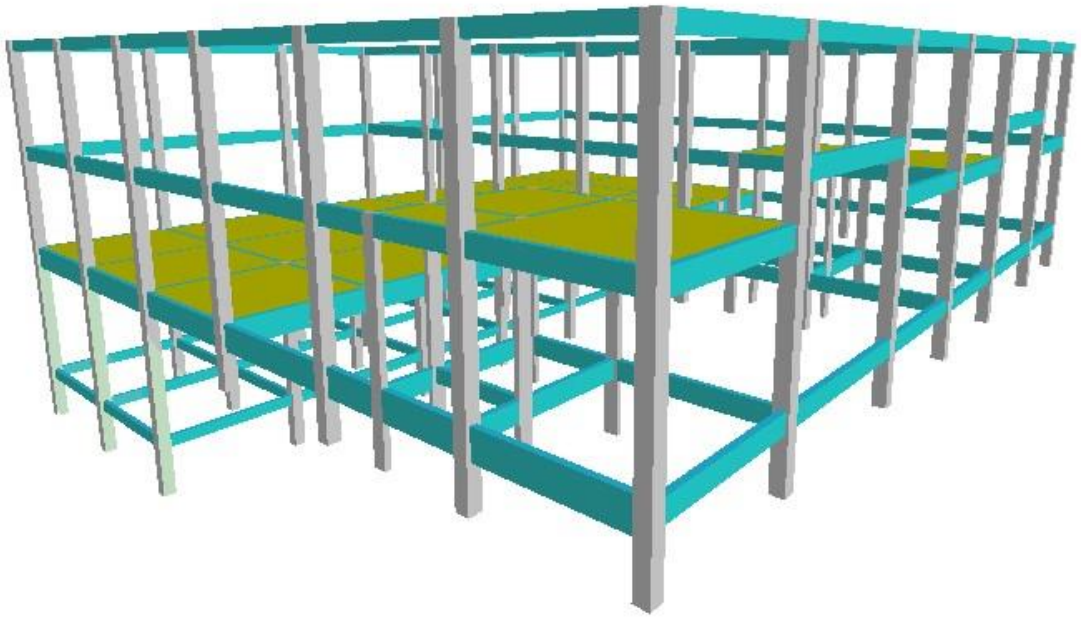
Fonte: Sondagel (sondagens e serviços Ltda.).

3.3 PLANTA DE CARGAS

Cintra e Aoki (2010), afirmam que um dos parâmetros para a escolha do tipo de estaca, são os valores das cargas dos pilares. De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), esses valores em um projeto, são calculados pelo projetista, a partir das cargas de utilização, peso próprio e acidental da edificação.

A planta de cargas para a obra a ser estudada, será apresentada nos anexos A e B, para melhor compreensão das cargas distribuídas a figura 20 apresenta um modelo 3d da obra em questão.

Figura 20 – Modelo 3d Eberick



Fonte: Dos autores.

4 METODOLOGIA

Este trabalho baseou-se em uma consistente revisão bibliográfica dos temas relativos às sondagens geotécnicas para reconhecimento e caracterização dos solos, dimensionamento e materiais envolvidos na execução das fundações bem como suas particularidades. Segundo Gil (2002) uma pesquisa bibliográfica deve ser desenvolvida baseada em materiais já elaborados, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

Além disso apresentar-se-á um estudo de caso, que para Gil (2002) trata-se da descrição da situação do contexto em que está sendo feita determinada análise, para que permita o seu amplo e detalhado conhecimento, no caso o dimensionamento das fundações de um galpão através dos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma.

A abordagem foi de caráter quantitativa, pois os resultados obtidos no dimensionamento do estudo serão analisados de modo a classificar qual métodos apresenta maior vantagem executiva no contexto de mercado atual para o estudo de caso em questão.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 DADOS GERAIS

Para o cálculo dos métodos, foram consideradas estacas pré-moldadas quadradas das seguintes dimensões: 16x16cm, 18x18cm, 20x20cm e 23x23cm.

De acordo com a sondagem do terreno (figura 19), obteve-se a tabela 14 com a profundidade, o tipo do solo e seu N_{SPT}, para o início da aplicação dos métodos a serem desenvolvidos neste trabalho.

Tabela 14 – Tipo de solo e Nspt obtidos por sondagem

Profundidade	Tipo de Solo	
1	Silte com areia media	10
2	Silte com areia media	12
3	Silte com areia media	12
4	Silte com areia media	13
5	Areia Siltosa	10
6	Areia Siltosa	12
7	Areia Siltosa	13
8	Areia Siltosa	15
9	Areia Siltosa	14
10	Areia Siltosa	16
11	Areia Siltosa	16
12	Areia Siltosa	14
13	Areia Siltosa	17
14	Areia Siltosa	15
15	Areia Siltosa	16
16	Areia Siltosa	18
17	Areia Siltosa	15
18	Areia Siltosa	21

Fonte: Dos autores.

5.2 AOKI-VELLOSO

Conforme descrito anteriormente no método AOKI-VELLOSO, de acordo com a Tabela 8, obtém-se o valor de K de 550 Kpa para Silte com Areia Média e 800 Kpa para Areia Siltosa, ainda nessa tabela obtemos um α de 0,022 e 0,020 respectivamente.

Através dos valores do N_{SPT}, chegaram-se aos valores de N_P e N_L, obtendo assim a tabela 15.

Tabela 15 – Cálculo de α, Np e NL para o método Aoki-Velloso

Profundidade	Tipo de Solo	N SPT	K (Kpa)	α	Np	NL
1	Silte com areia media	10	550	0,022	10	10,00
2	Silte com areia media	12	550	0,022	12	11,00
3	Silte com areia media	12	550	0,022	12	11,33
4	Silte com areia media	13	550	0,022	13	11,75
5	Areia Siltosa	10	800	0,020	10	10,00
6	Areia Siltosa	12	800	0,02	12	11,00
7	Areia Siltosa	13	800	0,020	13	11,67
8	Areia Siltosa	15	800	0,02	15	12,50
9	Areia Siltosa	14	800	0,020	14	12,80
10	Areia Siltosa	16	800	0,02	16	13,33
11	Areia Siltosa	16	800	0,020	16	13,71
12	Areia Siltosa	14	800	0,02	14	13,75
13	Areia Siltosa	17	800	0,020	17	14,11
14	Areia Siltosa	15	800	0,02	15	14,20
15	Areia Siltosa	16	800	0,020	16	14,36
16	Areia Siltosa	18	800	0,02	18	14,67
17	Areia Siltosa	15	800	0,020	15	14,69
18	Areia Siltosa	21	800	0,02	21	15,14

Fonte: Dos autores.

De acordo com a metodologia de Aoki-Velloso, foram encontrados os valores de F_1, F_2, R_P, R_L, $\sum R_L$, R_{rup} e carga admissível (ABNT NBR 6122:2010), como apresentado nas tabelas 16, 17, 18 e 19, conforme as dimensões adotadas.

Tabela 16 – Aoki-Velloso 16x16cm

	F1	F2	Rp	RL	∑RL	R (rup)	Carga Admissível
0,16	1,750	3,500	80,46	22,13	22,13	102,58	51,29
	1,750	3,500	96,55	24,34	46,46	143,01	71,51
	1,750	3,500	96,55	25,08	71,54	168,09	84,04
	1,750	3,500	104,59	26,00	97,54	202,13	101,07
	1,750	3,500	117,03	29,26	126,79	243,82	121,91
	1,750	3,500	140,43	32,18	158,98	299,41	149,71
	1,750	3,500	152,14	34,13	193,11	345,25	172,62
	1,750	3,500	175,54	36,57	229,68	405,23	202,61
	1,750	3,500	163,84	37,45	267,13	430,97	215,49
	1,750	3,500	187,25	39,01	306,14	493,39	246,69
	1,750	3,500	187,25	40,12	346,27	533,51	266,76
	1,750	3,500	163,84	40,23	386,49	550,33	275,17
	1,750	3,500	198,95	41,29	427,78	626,73	313,36
	1,750	3,500	175,54	41,55	469,32	644,87	322,43
	1,750	3,500	187,25	42,02	511,35	698,59	349,30
	1,750	3,500	210,65	42,91	554,26	764,91	382,45
	1,750	3,500	175,54	42,99	597,24	772,79	386,39
	1,750	3,500	245,76	44,30	641,55	887,31	443,65

Fonte: Dos autores.

Tabela 17 - Aoki-Velloso 18x18cm

	F1	F2	Rp	RL	∑RL	R (rup)	Carga Admissível
0,18	1,750	3,500	101,83	24,89	24,89	126,72	63,36
	1,750	3,500	122,19	27,38	52,27	174,47	87,23
	1,750	3,500	122,19	28,21	80,48	202,68	101,34
	1,750	3,500	132,38	29,25	109,73	242,11	121,05
	1,750	3,500	148,11	32,91	142,64	290,76	145,38
	1,750	3,500	177,74	36,21	178,85	356,59	178,29
	1,750	3,500	192,55	38,40	217,25	409,80	204,90
	1,750	3,500	222,17	41,14	258,39	480,56	240,28
	1,750	3,500	207,36	42,13	300,52	507,88	253,94
	1,750	3,500	236,98	43,89	344,41	581,39	290,70
	1,750	3,500	236,98	45,14	389,55	626,53	313,27
	1,750	3,500	207,36	45,26	434,81	642,17	321,08
	1,750	3,500	251,79	46,45	481,25	733,05	366,52
	1,750	3,500	222,17	46,74	527,99	750,16	375,08
	1,750	3,500	236,98	47,28	575,27	812,25	406,12
	1,750	3,500	266,61	48,27	623,54	890,15	445,07
	1,750	3,500	222,17	48,36	671,90	894,07	447,04
	1,750	3,500	311,04	49,84	721,74	1032,78	516,39

Fonte: Dos autores.

Tabela 18 - Aoki-Velloso 20x20cm

	F1	F2	Rp	RL	∑RL	R (rup)	Carga Admissível
0,2	1,750	3,500	125,71	27,66	27,66	153,37	76,69
	1,750	3,500	150,86	30,42	58,08	208,94	104,47
	1,750	3,500	150,86	31,34	89,42	240,28	120,14
	1,750	3,500	163,43	32,50	121,92	285,35	142,68
	1,750	3,500	182,86	36,57	158,49	341,35	170,68
	1,750	3,500	219,43	40,23	198,72	418,15	209,08
	1,750	3,500	237,71	42,67	241,39	479,10	239,55
	1,750	3,500	274,29	45,71	287,10	561,39	280,69
	1,750	3,500	256,00	46,81	333,91	589,91	294,96
	1,750	3,500	292,57	48,76	382,68	675,25	337,62
	1,750	3,500	292,57	50,16	432,83	725,40	362,70
	1,750	3,500	256,00	50,29	483,12	739,12	369,56
	1,750	3,500	310,86	51,61	534,72	845,58	422,79
	1,750	3,500	274,29	51,93	586,65	860,94	430,47
	1,750	3,500	292,57	52,53	639,18	931,76	465,88
	1,750	3,500	329,14	53,64	692,82	1021,97	510,98
	1,750	3,500	274,29	53,73	746,55	1020,84	510,42
	1,750	3,500	384,00	55,38	801,93	1185,93	592,97

Fonte: Dos autores.

Tabela 19 - Aoki-Velloso 23x23cm

	F1	F2	Rp	RL	∑RL	R (rup)	Carga Admissível
0,23	1,750	3,500	166,26	31,81	31,81	198,06	99,03
	1,750	3,500	199,51	34,99	66,79	266,30	133,15
	1,750	3,500	199,51	36,05	102,84	302,35	151,17
	1,750	3,500	216,13	37,37	140,21	356,34	178,17
	1,750	3,500	241,83	42,06	182,27	424,10	212,05
	1,750	3,500	290,19	46,26	228,53	518,72	259,36
	1,750	3,500	314,38	49,07	277,60	591,97	295,99
	1,750	3,500	362,74	52,57	330,17	692,91	346,46
	1,750	3,500	338,56	53,83	384,00	722,56	361,28
	1,750	3,500	386,93	56,08	440,08	827,00	413,50
	1,750	3,500	386,93	57,68	497,76	884,68	442,34
	1,750	3,500	338,56	57,83	555,58	894,14	447,07
	1,750	3,500	411,11	59,35	614,93	1026,04	513,02
	1,750	3,500	362,74	59,72	674,65	1037,40	518,70
	1,750	3,500	386,93	60,41	735,06	1121,99	560,99
	1,750	3,500	435,29	61,68	796,75	1232,04	616,02
	1,750	3,500	362,74	61,79	858,54	1221,28	610,64
	1,750	3,500	507,84	63,69	922,22	1430,06	715,03

Fonte: Dos autores.

5.2.1 Aoki-Velloso Corrigido

Conforme Cintra e Aoki (2010), em 1985, Aoki constata que os valores de F_1 e F_2, para estacas de pré-moldadas, eram conservadores demais. Aoki propôs novos valores para F1 e F2 já apresentados na descrição do método, na tabela 7.

Utilizando os valores de F_1 e F_2 atualizados obteve-se os novos valores para R_P, R_L, $\sum R_L$, R_{rup} e carga admissível (ABNT NBR 6122:2010). As Tabela 20, Tabela 21, Tabela 22 e a Tabela 23 apresentam os valores atualizados.

Tabela 20 - Aoki-Velloso Corrigido 16x16cm

	F1	F2	Rp	RL	∑RL	R (rup)	Carga Admissível
0,16	1,200	2,400	117,33	32,27	32,27	149,60	74,80
	1,200	2,400	140,80	35,49	67,76	208,56	104,28
	1,200	2,400	140,80	36,57	104,33	245,13	122,56
	1,200	2,400	152,53	37,91	142,24	294,78	147,39
	1,200	2,400	170,67	42,67	184,91	355,58	177,79
	1,200	2,400	204,80	46,93	231,84	436,64	218,32
	1,200	2,400	221,87	49,78	281,62	503,49	251,74
	1,200	2,400	256,00	53,33	334,95	590,95	295,48
	1,200	2,400	238,93	54,61	389,57	628,50	314,25
	1,200	2,400	273,07	56,89	446,46	719,52	359,76
	1,200	2,400	273,07	58,51	504,97	778,04	389,02
	1,200	2,400	238,93	58,67	563,64	802,57	401,28
	1,200	2,400	290,13	60,21	623,84	913,98	456,99
	1,200	2,400	256,00	60,59	684,43	940,43	470,22
	1,200	2,400	273,07	61,28	745,72	1018,78	509,39
	1,200	2,400	307,20	62,58	808,29	1115,49	557,75
	1,200	2,400	256,00	62,69	870,98	1126,98	563,49
	1,200	2,400	358,40	64,61	935,59	1293,99	646,99

Fonte: Dos autores.

Tabela 21 - Aoki-Velloso Corrigido 18x18cm

	F1	F2	Rp	RL	∑RL	R (rup)	Carga Admissível
0,18	1,225	2,450	145,47	35,56	35,56	181,03	90,51
	1,225	2,450	174,56	39,12	74,67	249,24	124,62
	1,225	2,450	174,56	40,30	114,97	289,54	144,77
	1,225	2,450	189,11	41,78	156,76	345,87	172,93
	1,225	2,450	211,59	47,02	203,78	415,37	207,68
	1,225	2,450	253,91	51,72	255,50	509,41	254,70
	1,225	2,450	275,07	54,86	310,36	585,43	292,71
	1,225	2,450	317,39	58,78	369,13	686,52	343,26
	1,225	2,450	296,23	60,19	429,32	725,55	362,77
	1,225	2,450	338,55	62,69	492,01	830,56	415,28
	1,225	2,450	338,55	64,49	556,50	895,04	447,52
	1,225	2,450	296,23	64,65	621,15	917,38	458,69
	1,225	2,450	359,71	66,35	687,50	1047,21	523,60
	1,225	2,450	317,39	66,77	754,27	1071,66	535,83
	1,225	2,450	338,55	67,54	821,81	1160,36	580,18
	1,225	2,450	380,87	68,96	890,77	1271,64	635,82
	1,225	2,450	317,39	69,08	959,86	1277,24	638,62
	1,225	2,450	444,34	71,20	1031,06	1475,40	737,70

Fonte: Dos autores.

Tabela 22 - Aoki-Velloso Corrigido 20x20cm

	F1	F2	Rp	RL	∑RL	R (rup)	Carga Admissível
0,2	1,250	2,500	176,00	38,72	38,72	214,72	107,36
	1,250	2,500	211,20	42,59	81,31	292,51	146,26
	1,250	2,500	211,20	43,88	125,19	336,39	168,20
	1,250	2,500	228,80	45,50	170,69	399,49	199,75
	1,250	2,500	256,00	51,20	221,89	477,89	238,95
	1,250	2,500	307,20	56,32	278,21	585,41	292,71
	1,250	2,500	332,80	59,73	337,94	670,74	335,37
	1,250	2,500	384,00	64,00	401,94	785,94	392,97
	1,250	2,500	358,40	65,54	467,48	825,88	412,94
	1,250	2,500	409,60	68,27	535,75	945,35	472,67
	1,250	2,500	409,60	70,22	605,96	1015,56	507,78
	1,250	2,500	358,40	70,40	676,36	1034,76	517,38
	1,250	2,500	435,20	72,25	748,61	1183,81	591,91
	1,250	2,500	384,00	72,70	821,32	1205,32	602,66
	1,250	2,500	409,60	73,54	894,86	1304,46	652,23
	1,250	2,500	460,80	75,09	969,95	1430,75	715,38
	1,250	2,500	384,00	75,22	1045,18	1429,18	714,59
	1,250	2,500	537,60	77,53	1122,71	1660,31	830,15

Fonte: Dos autores.

Tabela 23 - Aoki-Velloso Corrigido 23x23cm

	F1	F2	Rp	RL	∑RL	R (rup)	Carga Admissível
0,23	1,288	2,575	225,98	43,23	43,23	269,21	134,61
	1,288	2,575	271,18	47,55	90,79	361,96	180,98
	1,288	2,575	271,18	49,00	139,78	410,96	205,48
	1,288	2,575	293,77	50,80	190,58	484,35	242,18
	1,288	2,575	328,70	57,17	247,74	576,44	288,22
	1,288	2,575	394,44	62,88	310,62	705,06	352,53
	1,288	2,575	427,31	66,69	377,32	804,62	402,31
	1,288	2,575	493,05	71,46	448,77	941,82	470,91
	1,288	2,575	460,18	73,17	521,94	982,12	491,06
	1,288	2,575	525,92	76,22	598,16	1124,08	562,04
	1,288	2,575	525,92	78,40	676,56	1202,48	601,24
	1,288	2,575	460,18	78,60	755,16	1215,34	607,67
	1,288	2,575	558,79	80,67	835,83	1394,62	697,31
	1,288	2,575	493,05	81,17	917,00	1410,05	705,03
	1,288	2,575	525,92	82,11	999,11	1525,03	762,52
	1,288	2,575	591,66	83,84	1082,96	1674,61	837,31
	1,288	2,575	493,05	83,99	1166,94	1659,99	830,00
	1,288	2,575	690,27	86,56	1253,51	1943,78	971,89

Fonte: Dos autores.

5.3 DÉCOURT-QUARESMA

Conforme já descrito no método de Décourt-Quaresma, de acordo com a tabela 9 os valores de C para Silte com Areia Média e Areia Siltosa são, respectivamente, 250 Kpa e 400 Kpa. Como mencionado na descrição do método, para estacas pré-moldadas os valores de α e β permanecem originais (α=β=1).

Aplicando a metodologia descrita por Décourt-Quaresma, através dos valores do N_{SPT}, chega-se aos valores de N_P e N_L, apresentados na tabela 24, a seguir.

Tabela 24 – Cálculo de α, β, Np e NL para o método Décout-Quaresma

Profundidade	Tipo de Solo	N SPT	C (kPa)	α	β	NP	NL
1	Silte com areia media	10	250	1	1	11,00	10,00
2	Silte com areia media	12	250	1	1	11,33	11,00
3	Silte com areia media	12	250	1	1	12,33	11,33
4	Silte com areia media	13	250	1	1	11,67	11,75
5	Areia Siltosa	10	400	1	1	11,67	11,40
6	Areia Siltosa	12	400	1	1	11,67	11,50
7	Areia Siltosa	13	400	1	1	13,33	11,71
8	Areia Siltosa	15	400	1	1	14,00	12,13
9	Areia Siltosa	14	400	1	1	15,00	12,33
10	Areia Siltosa	16	400	1	1	15,33	12,70
11	Areia Siltosa	16	400	1	1	15,33	13,00
12	Areia Siltosa	14	400	1	1	15,67	13,08
13	Areia Siltosa	17	400	1	1	15,33	13,38
14	Areia Siltosa	15	400	1	1	16,00	13,50
15	Areia Siltosa	16	400	1	1	16,33	13,67
16	Areia Siltosa	18	400	1	1	16,33	13,94
17	Areia Siltosa	15	400	1	1	18,00	14,00
18	Areia Siltosa	21	400	1	1	18,00	14,39

Fonte: Dos autores.

Segue-se aplicando o método de Décourt-Quaresma descrito no item 2.3. Assim é obtido os valores para de R_P, R_L, R_{rup} e cargas admissíveis (método e ABNT NBR 6122:2010). Os valores são apresentados nas tabelas 25, 26, 27 e 28, de acordo com as dimensões da estaca analisada.

Tabela 25 – Décourt-Quaresma 16x16cm

	Rp	RL	R (rup)	Carga admissível	Carga admissível (NBR)
0,16	70,40	27,73	98,13	38,93	49,07
	72,53	59,73	132,27	64,08	66,13
	78,93	91,73	170,67	90,30	85,33
	74,67	125,87	200,53	115,49	100,27
	119,47	153,60	273,07	148,02	136,53
	119,47	185,60	305,07	172,64	152,53
	136,53	219,73	356,27	203,16	178,13
	143,36	258,13	401,49	234,40	200,75
	153,60	294,40	448,00	264,86	224,00
	157,01	334,93	491,95	296,89	245,97
	157,01	375,47	532,48	328,07	266,24
	160,43	411,73	572,16	356,82	286,08
	157,01	454,40	611,41	388,79	305,71
	163,84	492,80	656,64	420,04	328,32
	167,25	533,33	700,59	452,07	350,29
	167,25	578,13	745,39	486,53	372,69
	184,32	616,53	800,85	520,34	400,43
	184,32	667,73	852,05	559,72	426,03

Fonte: Dos autores.

Tabela 26 – Décourt-Quaresma 18x18cm

	Rp	RL	R (rup)	Carga admissível	Carga admissível (NBR)
0,18	89,10	31,20	89,10	46,28	44,55
	91,80	67,20	91,80	74,64	45,90
	99,90	103,20	203,10	104,36	101,55
	94,50	141,60	236,10	132,55	118,05
	151,20	172,80	324,00	170,72	162,00
	151,20	208,80	360,00	198,42	180,00
	172,80	247,20	420,00	233,35	210,00
	181,44	290,40	471,84	268,74	235,92
	194,40	331,20	525,60	303,37	262,80
	198,72	376,80	575,52	339,53	287,76
	198,72	422,40	621,12	374,60	310,56
	203,04	463,20	666,24	407,07	333,12
	198,72	511,20	709,92	442,91	354,96
	207,36	554,40	761,76	478,30	380,88
	211,68	600,00	811,68	514,46	405,84
	211,68	650,40	862,08	553,23	431,04
	233,28	693,60	926,88	591,86	463,44
	233,28	751,20	984,48	636,17	492,24

Fonte: Dos autores.

Tabela 27 – Décourt-Quaresma 20x20cm

	Rp	RL	R (rup)	Carga admissível	Carga admissível (NBR)
0,2	110,00	34,67	110,00	54,17	55,00
	113,33	74,67	113,33	85,77	56,67
	123,33	114,67	238,00	119,04	119,00
	116,67	157,33	274,00	150,19	137,00
	186,67	192,00	378,67	194,36	189,33
	186,67	232,00	418,67	225,13	209,33
	213,33	274,67	488,00	264,62	244,00
	224,00	322,67	546,67	304,21	273,33
	240,00	368,00	608,00	343,08	304,00
	245,33	418,67	664,00	383,38	332,00
	245,33	469,33	714,67	422,36	357,33
	250,67	514,67	765,33	458,56	382,67
	245,33	568,00	813,33	498,26	406,67
	256,00	616,00	872,00	537,85	436,00
	261,33	666,67	928,00	578,15	464,00
	261,33	722,67	984,00	621,23	492,00
	288,00	770,67	1058,67	664,82	529,33
	288,00	834,67	1122,67	714,05	561,33

Fonte: Dos autores.

Tabela 28 – Décourt-Quaresma 23x23cm

	Rp	RL	R (rup)	Carga admissível	Carga admissível (NBR)
0,23	145,48	39,87	145,48	67,04	72,74
	149,88	85,87	149,88	103,52	74,94
	163,11	131,87	294,98	142,21	147,49
	154,29	180,93	335,23	177,75	167,61
	246,87	220,80	467,67	231,56	233,83
	246,87	266,80	513,67	266,95	256,83
	282,13	315,87	598,00	313,51	299,00
	296,24	371,07	667,31	359,50	333,65
	317,40	423,20	740,60	404,89	370,30
	324,45	481,47	805,92	451,47	402,96
	324,45	539,73	864,19	496,29	432,09
	331,51	591,87	923,37	538,16	461,69
	324,45	653,20	977,65	583,57	488,83
	338,56	708,40	1046,96	629,56	523,48
	345,61	766,67	1112,28	676,15	556,14
	345,61	831,07	1176,68	725,69	588,34
	380,88	886,27	1267,15	776,96	633,57
	380,88	959,87	1340,75	833,58	670,37

Fonte: Dos autores.

5.4 ESTUDO DE CASO

Os valores das cargas de solicitação de cada pilar, contidos no Anexo B, são apresentados na tabela 29.

É notável que devido à natureza da obra as cargas de solicitações não são muito elevadas. As solicitações variam entre os valores de 26,47 kN (pilar 17) e 274,56 kN (pilar 36). Percebe-se ainda que dos 47 pilares, 36 tem solicitação inferior a 200 kN.

Tabela 29 – Cargas pilares

Pilar	Tf	kN
P1	8,6	84,33676
P2	9,9	97,08534
P3	12,8	125,52448
P4	11,8	115,71788
P5	9,7	95,12402
P6	12,7	124,54382
P7	9,7	95,12402
P8	9	88,2594
P9	5,5	53,9363
P10	6,7	65,70422
P11	8,3	81,39478
P12	5,5	53,9363
P13	5,8	56,87828
P14	9,7	95,12402
P15	3	29,4198
P16	4,6	45,11036
P17	2,7	26,47782
P18	2,7	26,47782
P19	4,5	44,1297
P20	4,2	41,18772
P21	9,3	91,20138
P22	6,1	59,82026
P23	8,3	81,39478
P24	9	88,2594
P25	6,9	67,66554
P26	9,1	89,24006
P27	15,4	151,02164
P28	12,5	122,5825
P29	13,1	128,46646
P30	16,8	164,75088
P31	13	127,4858

Continua

Continuação

Pilar	Tf	kN
P32	12,6	123,56316
P33	15,6	152,98296
P34	20,5	201,0353
P35	27,1	265,75886
P36	28,2	276,54612
P37	26,8	262,81688
P38	27,8	272,62348
P39	27,5	269,6815
P40	21,2	207,89992
P41	14,7	144,15702
P42	22,6	221,62916
P43	22,8	223,59048
P44	20,1	197,11266
P45	22,4	219,66784
P46	22,9	224,57114
P47	15	147,099

Fonte: Dos autores.

5.4.1 Determinação das estacas

A partir das cargas de solicitação dos pilares e dos valores de cargas admissíveis para cada método, foi determinada a cota de assentamento necessária para cada dimensão de estaca. As tabelas 30, 31 e 32 apresentam a cota mínima a partir dos dimensionamentos de cargas admissíveis apresentados anteriormente para cada método.

Tabela 30 - Cota de Assentamento da Estacas no Método Aoki-Velloso

Aoki-Velloso					
Pilar	kN	Profundidade mínima			
		16x16	18x18	20x20	23x23
P1	84,3368	3 m	3 m	3 m	3 m
P2	97,0853	4 m	3 m	3 m	3 m
P3	125,524	6 m	5 m	4 m	3 m
P4	115,718	5 m	4 m	3 m	3 m
P5	95,124	4 m	3 m	3 m	3 m
P6	124,544	6 m	5 m	4 m	3 m
P7	95,124	4 m	3 m	3 m	3 m
P8	88,2594	4 m	3 m	3 m	3 m

Continua

Continuação

Aoki-Velloso					
Pilar	kN	Profundidade mínima			
		16x16	18x18	20x20	23x23
P9	53,9363	3 m	3 m	3 m	3 m
P10	65,7042	3 m	3 m	3 m	3 m
P11	81,3948	3 m	3 m	3 m	3 m
P12	53,9363	3 m	3 m	3 m	3 m
P13	56,8783	3 m	3 m	3 m	3 m
P14	95,124	4 m	3 m	3 m	3 m
P15	29,4198	3 m	3 m	3 m	3 m
P16	45,1104	3 m	3 m	3 m	3 m
P17	26,4778	3 m	3 m	3 m	3 m
P18	26,4778	3 m	3 m	3 m	3 m
P19	44,1297	3 m	3 m	3 m	3 m
P20	41,1877	3 m	3 m	3 m	3 m
P21	91,2014	4 m	3 m	3 m	3 m
P22	59,8203	3 m	3 m	3 m	3 m
P23	81,3948	3 m	3 m	3 m	3 m
P24	88,2594	4 m	3 m	3 m	3 m
P25	67,6655	3 m	3 m	3 m	3 m
P26	89,2401	4 m	3 m	3 m	3 m
P27	151,022	7 m	6 m	5 m	3 m
P28	122,583	6 m	5 m	4 m	3 m
P29	128,466	6 m	5 m	4 m	3 m
P30	164,751	7 m	6 m	5 m	4 m
P31	127,486	6 m	5 m	4 m	3 m
P32	123,563	6 m	5 m	4 m	3 m
P33	152,983	7 m	6 m	5 m	4 m
P34	201,035	8 m	7 m	6 m	5 m
P35	265,759	11 m	10 m	8 m	7 m
P36	276,546	13 m	10 m	8 m	7 m
P37	262,817	11 m	10 m	8 m	7 m
P38	272,623	12 m	10 m	8 m	7 m
P39	269,682	12 m	10 m	8 m	7 m
P40	207,9	9 m	8 m	6 m	5 m
P41	144,157	6 m	5 m	5 m	3 m
P42	221,629	10 m	8 m	7 m	6 m
P43	223,59	10 m	8 m	7 m	6 m
P44	197,113	8 m	7 m	6 m	5 m
P45	219,668	10 m	8 m	7 m	6 m
P46	224,571	10 m	8 m	7 m	6 m
P47	147,099	6 m	6 m	5 m	3 m

Fonte: Dos autores.

Tabela 31 - Cota de Assentamento das Estacas no Método Aoki-Velloso Corrigido

Aoki-Velloso Corrigido					
Pilar	kN	Profundidade mínima			
		16x16	18x18	20x20	23x23
P1	84,3368	3 m	3 m	3 m	3 m
P2	97,0853	3 m	3 m	3 m	3 m
P3	125,524	4 m	3 m	3 m	3 m
P4	115,718	3 m	3 m	3 m	3 m
P5	95,124	3 m	3 m	3 m	3 m
P6	124,544	4 m	3 m	3 m	3 m
P7	95,124	3 m	3 m	3 m	3 m
P8	88,2594	3 m	3 m	3 m	3 m
P9	53,9363	3 m	3 m	3 m	3 m
P10	65,7042	3 m	3 m	3 m	3 m
P11	81,3948	3 m	3 m	3 m	3 m
P12	53,9363	3 m	3 m	3 m	3 m
P13	56,8783	3 m	3 m	3 m	3 m
P14	95,124	3 m	3 m	3 m	3 m
P15	29,4198	3 m	3 m	3 m	3 m
P16	45,1104	3 m	3 m	3 m	3 m
P17	26,4778	3 m	3 m	3 m	3 m
P18	26,4778	3 m	3 m	3 m	3 m
P19	44,1297	3 m	3 m	3 m	3 m
P20	41,1877	3 m	3 m	3 m	3 m
P21	91,2014	3 m	3 m	3 m	3 m
P22	59,8203	3 m	3 m	3 m	3 m
P23	81,3948	3 m	3 m	3 m	3 m
P24	88,2594	3 m	3 m	3 m	3 m
P25	67,6655	3 m	3 m	3 m	3 m
P26	89,2401	3 m	3 m	3 m	3 m
P27	151,022	5 m	4 m	3 m	3 m
P28	122,583	4 m	3 m	3 m	3 m
P29	128,466	4 m	3 m	3 m	3 m
P30	164,751	5 m	4 m	3 m	3 m
P31	127,486	4 m	3 m	3 m	3 m
P32	123,563	4 m	3 m	3 m	3 m
P33	152,983	5 m	4 m	3 m	3 m
P34	201,035	6 m	5 m	5 m	3 m
P35	265,759	8 m	7 m	6 m	5 m
P36	276,546	8 m	7 m	6 m	5 m
P37	262,817	8 m	7 m	6 m	5 m

Continua

Continuação

Aoki-Velloso Corrigido					
Pilar	kN	Profundidade mínima			
		16x16	18x18	20x20	23x23
P38	272,623	8 m	7 m	6 m	5 m
P39	269,682	8 m	7 m	6 m	5 m
P40	207,9	6 m	6 m	5 m	4 m
P41	144,157	4 m	3 m	3 m	3 m
P42	221,629	7 m	6 m	5 m	4 m
P43	223,59	7 m	6 m	5 m	4 m
P44	197,113	6 m	5 m	4 m	3 m
P45	219,668	7 m	6 m	5 m	4 m
P46	224,571	7 m	6 m	5 m	4 m
P47	147,099	4 m	4 m	3 m	3 m

Fonte: Dos autores.

Tabela 32 - Cota de Assentamento das Estacas no Método Décourt-Quaresma

Décourt-Quaresma					
Pilar	kN	Profundidade mínima			
		16x16	18x18	20x20	23x23
P1	84,3368	3 m	3 m	3 m	3 m
P2	97,0853	3 m	3 m	3 m	3 m
P3	125,524	4 m	3 m	3 m	3 m
P4	115,718	3 m	3 m	3 m	3 m
P5	95,124	3 m	3 m	3 m	3 m
P6	124,544	4 m	3 m	3 m	3 m
P7	95,124	3 m	3 m	3 m	3 m
P8	88,2594	3 m	3 m	3 m	3 m
P9	53,9363	3 m	3 m	3 m	3 m
P10	65,7042	3 m	3 m	3 m	3 m
P11	81,3948	3 m	3 m	3 m	3 m
P12	53,9363	3 m	3 m	3 m	3 m
P13	56,8783	3 m	3 m	3 m	3 m
P14	95,124	3 m	3 m	3 m	3 m
P15	29,4198	3 m	3 m	3 m	3 m
P16	45,1104	3 m	3 m	3 m	3 m
P17	26,4778	3 m	3 m	3 m	3 m
P18	26,4778	3 m	3 m	3 m	3 m
P19	44,1297	3 m	3 m	3 m	3 m
P20	41,1877	3 m	3 m	3 m	3 m
P21	91,2014	3 m	3 m	3 m	3 m
P22	59,8203	3 m	3 m	3 m	3 m
P23	81,3948	3 m	3 m	3 m	3 m

Continua

Continuação

Décourt-Quaresma					
Pilar	kN	Profundidade mínima			
		16x16	18x18	20x20	23x23
P24	88,2594	3 m	3 m	3 m	3 m
P25	67,6655	3 m	3 m	3 m	3 m
P26	89,2401	3 m	3 m	3 m	3 m
P27	151,022	5 m	4 m	3 m	3 m
P28	122,583	4 m	3 m	3 m	3 m
P29	128,466	4 m	3 m	3 m	3 m
P30	164,751	5 m	4 m	3 m	3 m
P31	127,486	4 m	3 m	3 m	3 m
P32	123,563	4 m	3 m	3 m	3 m
P33	152,983	5 m	4 m	3 m	3 m
P34	201,035	6 m	5 m	5 m	3 m
P35	265,759	8 m	7 m	6 m	5 m
P36	276,546	8 m	7 m	6 m	5 m
P37	262,817	8 m	7 m	6 m	5 m
P38	272,623	8 m	7 m	6 m	5 m
P39	269,682	8 m	7 m	6 m	5 m
P40	207,9	6 m	6 m	5 m	4 m
P41	144,157	4 m	3 m	3 m	3 m
P42	221,629	7 m	6 m	5 m	4 m
P43	223,59	7 m	6 m	5 m	4 m
P44	197,113	6 m	5 m	4 m	3 m
P45	219,668	7 m	6 m	5 m	4 m
P46	224,571	7 m	6 m	5 m	4 m
P47	147,099	4 m	4 m	3 m	3 m

Fonte: Dos autores.

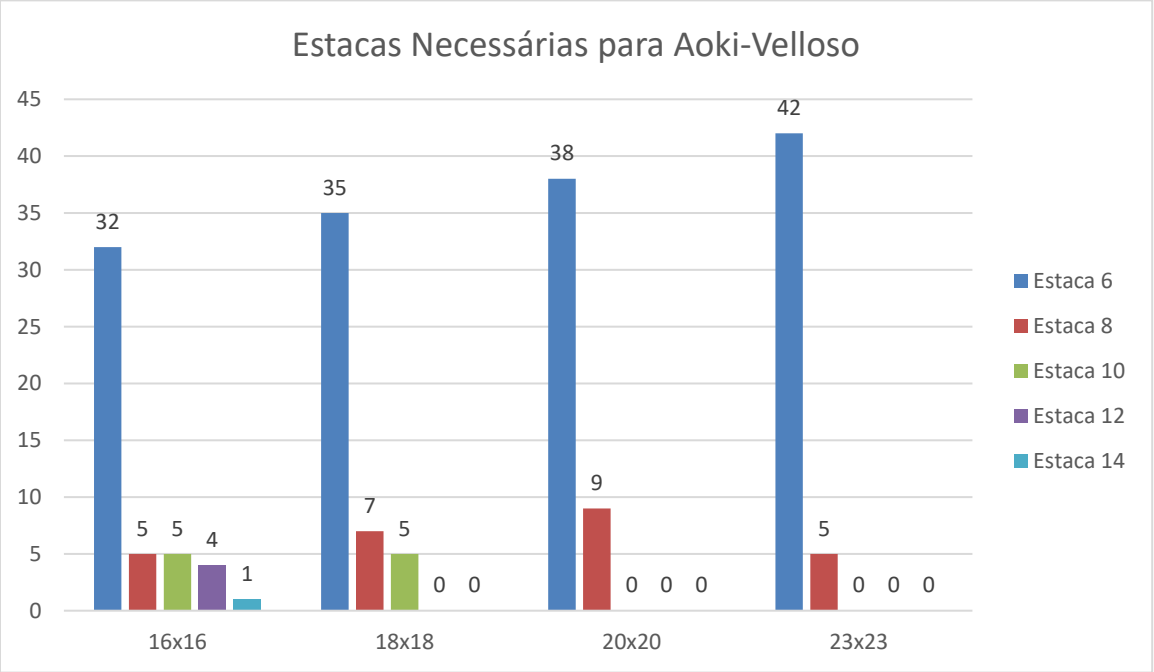
Após as profundidades mínimas estarem dimensionadas iniciou-se a análise de custo de cada método. Por se tratar da análise de custos de um caso real a profundidade mínima de assentamento foi estipulada em 6 metros, sendo essa a menor dimensão de estaca comercializada.

As estacas comercializadas na região têm dimensões de 6m, 8m, 10m e 12m. Portando para a análise de custos além da cota mínima de assentamento da fundação ser 6 metros, as cotas de assentamento foram acrescidas de 2 em 2 metros. Sendo assim para as estacas que tiveram seu dimensionamento alocado em cotas ímpares foram adotadas as cotas subsequentes.

Não fosse o limitante do dimensionamento das estacas comercializadas muitas solicitações seriam atendidas pelos na cota de assentamento mínima para fundações profundas, de 3 metros.

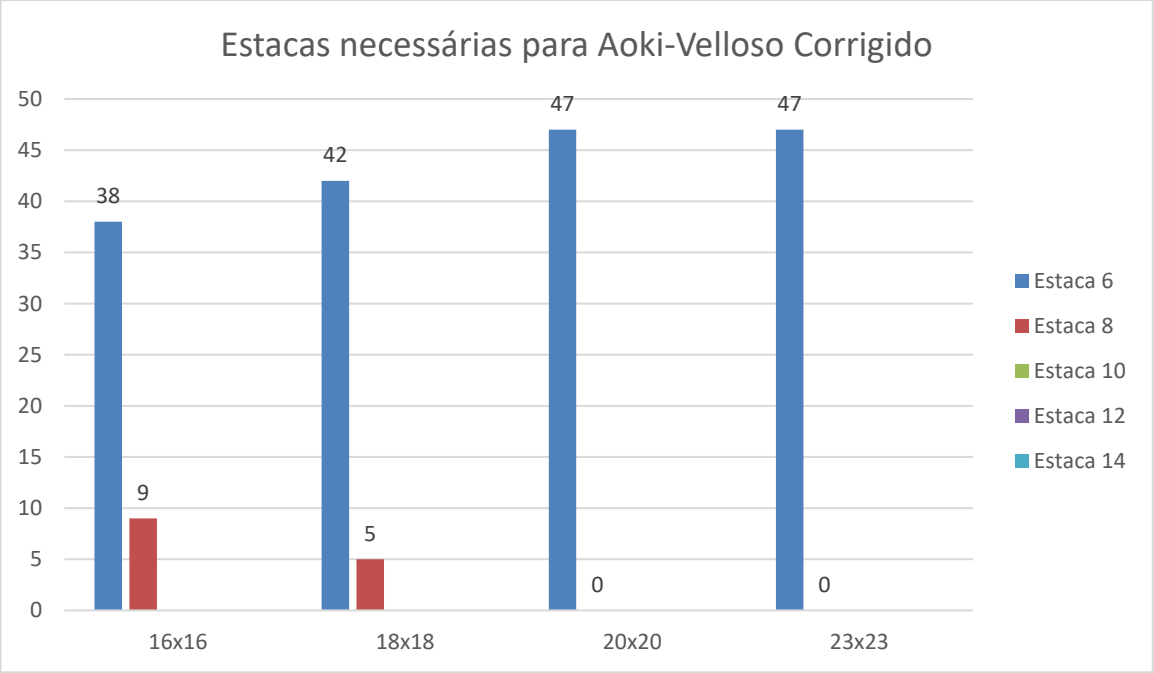
Os gráficos 1, 2 e 3 apresentam, para cada método e dimensão, a quantidade de estaca necessária em cada cota de assentamento:

Gráfico 1 – Estacas Necessárias para Aoki-Velloso



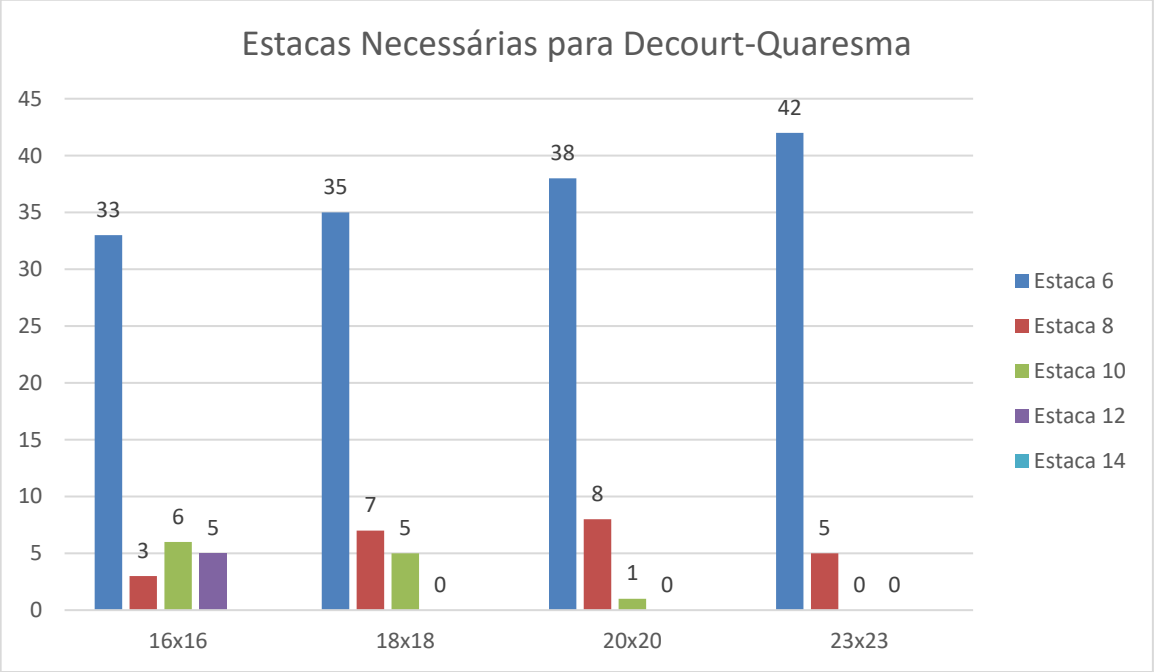
Fonte: Dos autores.

Gráfico 2 - Estacas Necessárias para Aoki-Velloso Corrigido



Fonte: Dos autores.

Gráfico 3 - Estacas Necessárias para Décourt-Quaresma



Fonte: Dos autores.

Foram adotadas, assim como na obra, somente 2 seções de estacas para cada método de dimensionamento.

A seleção das dimensões das estacas utilizadas foi feita de forma a atingir os menores valores possíveis para cada método. Os valores utilizados como base para

o orçamento foram obtidos da empresa Protensul e Estaqueamento Capital, apresentados na Tabela 33.

Estacas maiores que 12m, necessitam de emendas, aumentando o custo da obra e o tempo de execução.

Tabela 33 – Custos por metro de cada estaca - dimensão lateral

Dimensão [cm]	Preço [m]	Luva [un]	Cravação [m]
16x16	R$ 35,80	R$ 49,00	R$ 18,00
18x18	R$ 42,10	R$ 56,00	R$ 18,00
20x20	R$ 45,20	R$ 83,00	R$ 18,00
23x23	R$ 57,50	R$ 95,00	R$ 18,00

Fonte: Protensul e Estaqueamento Capital (2020).

Com base nas cargas dos pilares, nas cargas admissíveis e nos preços, foi feita a escolha das dimensões e comprimento de estacas para cada método.

5.4.1.1 Determinação para Aoki-Velloso

Com os custos para execução, por metro, e com as cotas de execução determinadas, foi calculado o custo para cada dimensão de estaca. A

Tabela 34 apresenta os custos para cada dimensão de estaca para o método Aoki-Velloso.

Tabela 34 – Custo de Execução por dimensão de Estaca– Aoki-Velloso

Aoki-Velloso				
PILAR	Estaca			
	16x16	18x18	20x20	23x23
P1	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P2	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P3	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P4	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P5	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P6	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P7	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P8	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P9	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P10	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P11	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P12	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00

Continua

Continuação

Aoki-Velloso				
PILAR	Estaca			
	16x16	18x18	20x20	23x23
P13	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P14	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P15	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P16	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P17	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P18	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P19	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P20	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P21	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P22	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P23	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P24	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P25	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P26	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P27	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P28	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P29	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P30	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P31	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P32	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P33	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P34	R$ 430,40	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P35	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P36	R$ 753,20	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P37	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P38	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P39	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P40	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P41	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P42	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 505,60	R$ 453,00
P43	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 505,60	R$ 453,00
P44	R$ 430,40	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P45	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 505,60	R$ 453,00
P46	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 505,60	R$ 453,00
P47	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00

Fonte: Dos autores.

De acordo com os resultados obtidos para o método de Aoki-Velloso, foram determinadas as dimensões de 16x16cm e 20x20cm. Nota-se que para algumas

cargas a execução de uma estaca 18x18cm haveria um custo inferior, porém por seguir o parâmetro de somente 2 dimensões de estaca, percebe-se que a estaca 20x20cm teve um custo total inferior nas estacas executadas.

Na Tabela 35 apresenta-se a dimensão adotada, cota de assentamento dimensionada, cota de assentamento adotada, valor por metro, valor da estaca, valor da cravação e o custo total da mesma, para cada pilar.

Tabela 35 – Aoki-Velloso custos discriminados

Pilar	Dimensão Selecionada [cm]	Profundidade Dimensionada [m]	Profundidade Adotada [m]	Valor por Metros (R$)	Valor Estaca [R$]	Cravação [R$]	Total da Estaca [R$]
P1	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P2	16x16	4	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P3	16x16	6	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P4	16x16	5	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P5	16x16	4	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P6	16x16	6	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P7	16x16	4	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P8	16x16	4	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P9	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P10	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P11	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P12	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P13	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P14	16x16	4	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P15	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P16	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P17	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P18	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P19	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P20	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P21	16x16	4	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P22	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P23	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P24	16x16	4	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P25	16x16	3	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P26	16x16	4	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P27	16x16	7	8	35,80	286,40	144,00	430,40
P28	16x16	6	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P29	16x16	6	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P30	20x20	5	6	45,20	271,20	108,00	379,20

Continua

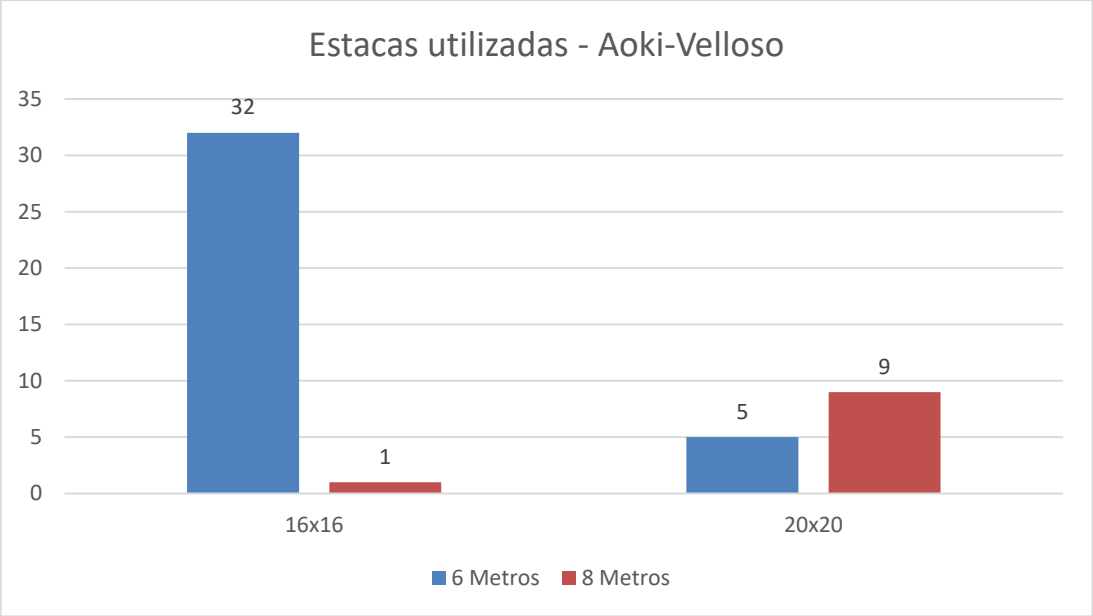
Continuação

Pilar	Dimensão Selecionada [cm]	Profundidade Dimensionada [m]	Profundidade Adotada [m]	Valor por Metros (R$)	Valor Estaca [R$]	Cravação [R$]	Total da Estaca [R$]
P31	16x16	6	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P32	16x16	6	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P33	20x20	5	6	45,20	271,20	108,00	379,20
P34	20x20	6	6	45,20	271,20	108,00	379,20
P35	20x20	8	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P36	20x20	8	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P37	20x20	8	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P38	20x20	8	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P39	20x20	8	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P40	20x20	6	6	45,20	271,20	108,00	379,20
P41	16x16	6	6	35,80	214,80	108,00	322,80
P42	20x20	7	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P43	20x20	7	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P44	20x20	6	6	45,20	271,20	108,00	379,20
P45	20x20	7	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P46	20x20	7	8	45,20	361,60	144,00	505,60
P47	16x16	6	6	35,80	214,80	108,00	322,80
					Custo Total		17206,40

Fonte: Dos autores.

O **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a quantidade final de estacas utilizadas para o dimensionamento pelo método Aoki-Velloso. Observa-se que 32 dos 47 pilares tiveram o dimensionamento de projeto com as menores dimensões de estaca comercializada.

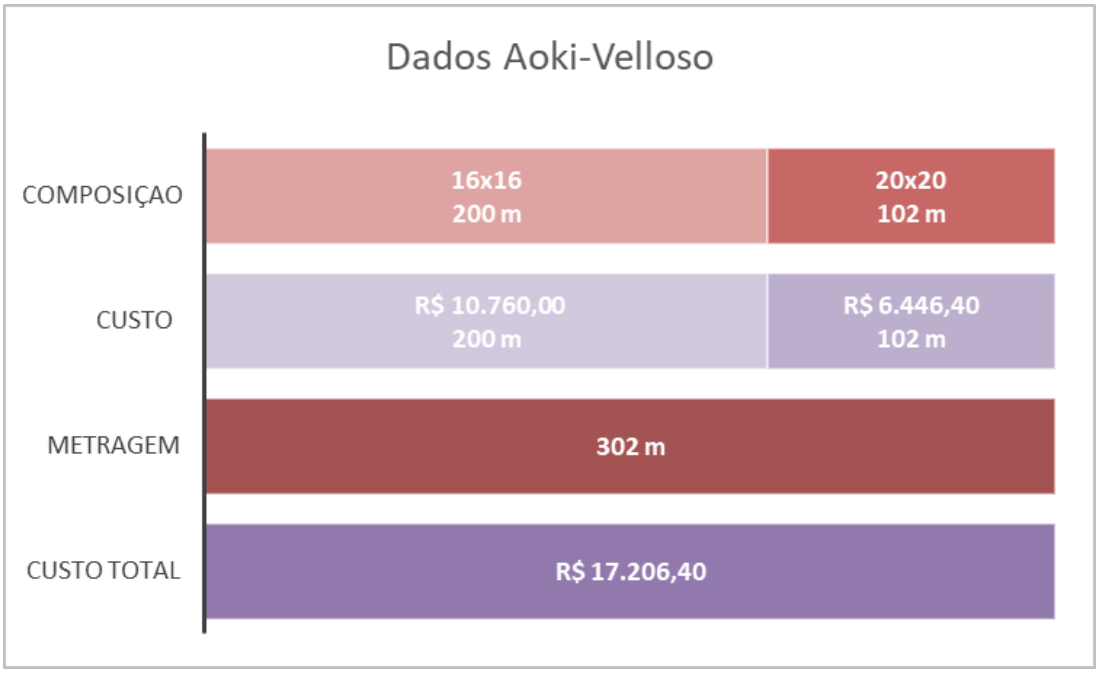
Gráfico 4 - Estacas utilizadas para o método Aoki-Velloso



Fonte: Dos autores.

As estacas de 16x16cm totalizaram 200m cravados, que custam R$10.760, já para as estacas de 20x20cm o total da metragem de estaca cravada foi de 102m, com um custo equivalente a R$6.446,40. Totalizando 302m de estacas pré-moldadas quadradas cravadas, com um custo de R$17.206,40. Como pode ser visto no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Resumo do Consumo Aoki-Velloso



Fonte: Dos autores.

5.4.1.2 Determinação para Aoki-Velloso Corrigido

O custo de execução para cada dimensão de estaca também foi calculado para o método Aoki-Velloso Corrgido, a Tabela 36 apresenta tais custos.

Tabela 36 – Custo de Execução por Dimensão – Aoki-Velloso Corrigido

Aoki-Velloso Corrigido				
PILAR	Estaca			
	16x16	18x18	20x20	23x23
P1	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P2	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P3	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P4	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P5	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P6	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P7	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P8	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P9	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P10	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P11	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P12	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P13	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P14	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P15	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P16	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P17	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P18	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P19	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P20	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P21	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P22	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P23	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P24	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P25	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P26	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P27	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P28	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P29	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P30	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P31	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P32	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00

Continua

Continuação

PILAR	Estaca			
	16x16	18x18	20x20	23x23
P33	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P34	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P35	R$ 430,40	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P36	R$ 430,40	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P37	R$ 430,40	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P38	R$ 430,40	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P39	R$ 430,40	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P40	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P41	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P42	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P43	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P44	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P45	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P46	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P47	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00

Fonte: Dos autores.

No método Aoki-Velloso Corrigido, com a correção dos parâmetros de F_1 e F_2, foram obtidos valores diferentes para as cargas admissíveis por estaca, ainda assim foram adotadas as dimensões de 16x16cm e 20x20cm para o cálculo final do custo.

Na tabela a seguir, é apresentado a dimensão adotada, cota de assentamento dimensionada, cota de assentamento adotada, valor por metro, valor da estaca, valor da cravação e o custo total da mesma, para cada pilar.

Tabela 37 – Aoki-Velloso Corrigido

Pilar	Dimensão Selecionada [cm]	Profundidade Dimensionada [m]	Profundidade Adotada [m]	Valor por Metros (R$)	Valor Estaca [R$]	Cravação [R$]	Total da Estaca [R$]
P1	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P2	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P3	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P4	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P5	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P6	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P7	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P8	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P9	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P10	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P11	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8

Continua

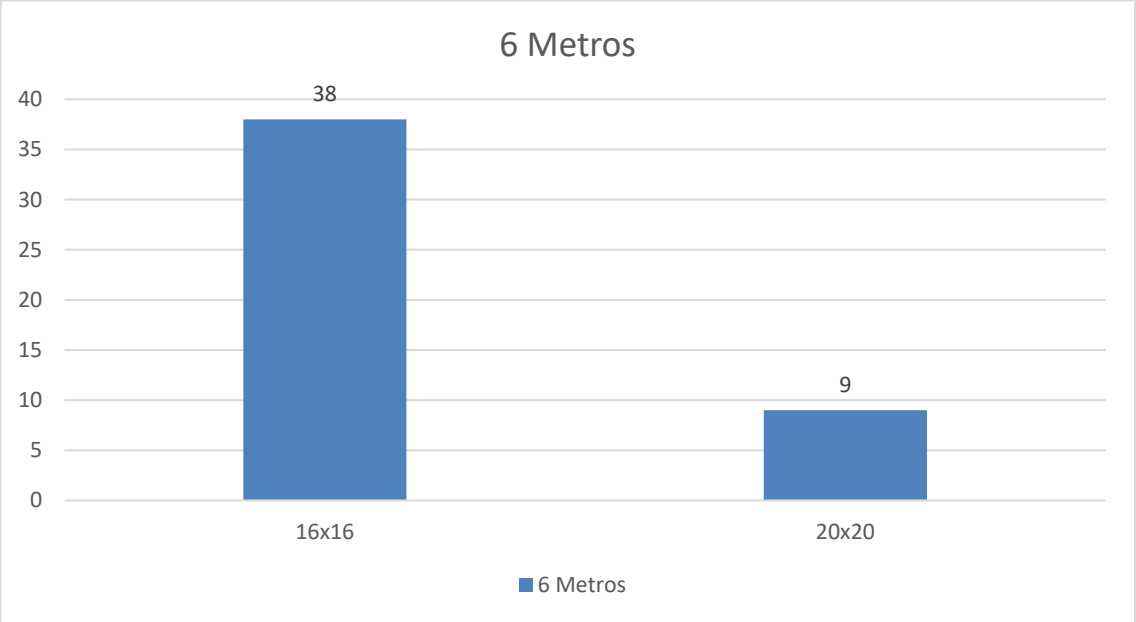
Continuação

Pilar	Dimensão Selecionada [cm]	Profundidade Dimensionada [m]	Profundidade Adotada [m]	Valor por Metros (R$)	Valor Estaca [R$]	Cravação [R$]	Total da Estaca [R$]
P12	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P13	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P14	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P15	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P16	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P17	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P18	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P19	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P20	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P21	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P22	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P23	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P24	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P25	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P26	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P27	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P28	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P29	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P30	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P31	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P32	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P33	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P34	16x16	6	6	35,8	214,8	108	322,8
P35	20x20	6	6	45,2	271,2	108	379,2
P36	20x20	6	6	45,2	271,2	108	379,2
P37	20x20	6	6	45,2	271,2	108	379,2
P38	20x20	6	6	45,2	271,2	108	379,2
P39	20x20	6	6	45,2	271,2	108	379,2
P40	16x16	6	6	35,8	214,8	108	322,8
P41	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P42	20x20	5	6	45,2	271,2	108	379,2
P43	20x20	5	6	45,2	271,2	108	379,2
P44	16x16	6	6	35,8	214,8	108	322,8
P45	20x20	5	6	45,2	271,2	108	379,2
P46	20x20	5	6	45,2	271,2	108	379,2
P47	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
					Custo Total		15679,20

Fonte: Dos autores.

O Gráfico 6 apresenta a quantidade final de estacas utilizadas, por cota de assentamento e dimensão lateral, dimensionadas pelo método Aoki-Velloso Corrigido. Com a correção dos parâmetros F1 e F2 os pilares que tiveram o dimensionamento de projeto com as menores dimensões de estaca comercializada passaram para 38 dos 47.

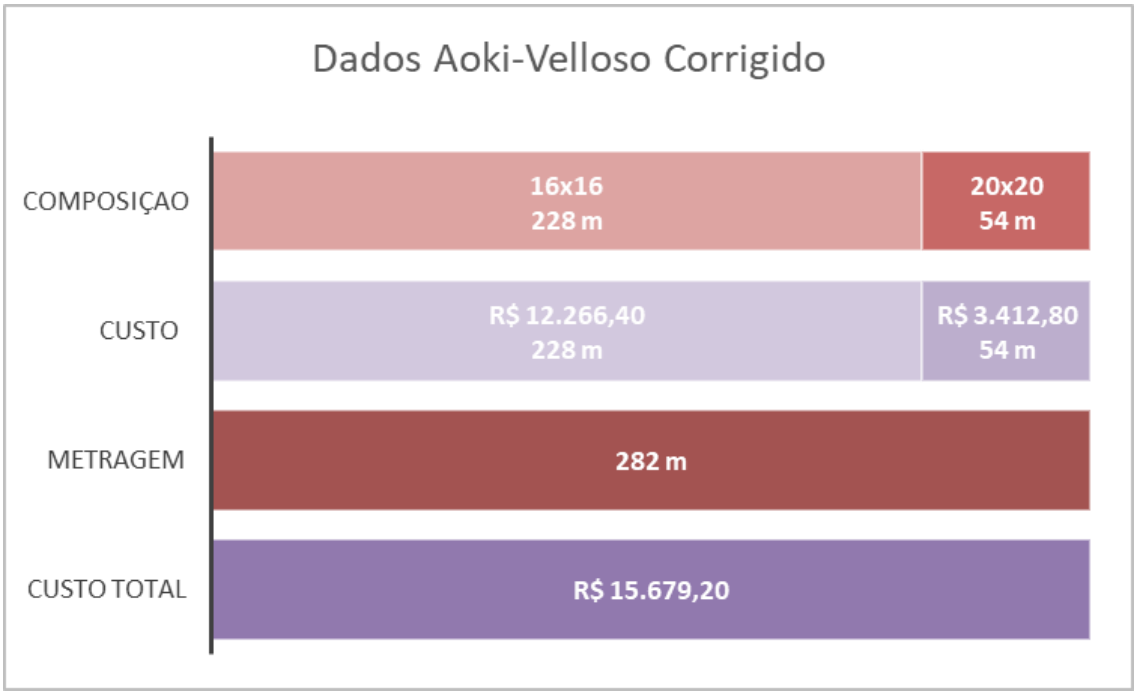
Gráfico 6 - Estacas utilizadas para o método Aoki-Velloso Corrigido



Fonte: Dos autores.

Devido a correção dos valores de F_1 e F_2, foi obtido um valor de 228m equivalentes a R$12.266,40 para estacas de 16x16cm, além de 54m equivalentes a R$3.412,80. Totalizando 282m de estacas pré-moldadas quadradas cravadas e valor de R$15.679,20. Como é apresentado no Gráfico 7

Gráfico 7 - Resumo do Consumo Aoki-Velloso



Fonte: Dos autores.

5.4.1.3 Determinação para Décourt-Quaresma

O custo de execução para cada dimensão de estaca calculado para o método Décourt-Quaresma é apresentado na tabela a seguir.

Tabela 38 – Custo de Execução por Dimensão – Décourt-Quaresma

Décourt-Quaresma				
PILAR	Estaca			
	16x16	18x18	20x20	23x23
P1	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P2	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P3	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P4	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P5	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P6	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P7	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P8	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P9	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P10	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P11	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P12	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00

Continua

Continuação

Décourt-Quaresma				
PILAR	Estaca			
	16x16	18x18	20x20	23x23
P13	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P14	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P15	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P16	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P17	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P18	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P19	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P20	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P21	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P22	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P23	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P24	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P25	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P26	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P27	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P28	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P29	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P30	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P31	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P32	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P33	R$ 430,40	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P34	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P35	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P36	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 632,00	R$ 604,00
P37	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P38	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P39	R$ 645,60	R$ 601,00	R$ 505,60	R$ 604,00
P40	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P41	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00
P42	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 505,60	R$ 453,00
P43	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 505,60	R$ 453,00
P44	R$ 430,40	R$ 480,80	R$ 379,20	R$ 453,00
P45	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 505,60	R$ 453,00
P46	R$ 538,00	R$ 480,80	R$ 505,60	R$ 453,00
P47	R$ 322,80	R$ 360,60	R$ 379,20	R$ 453,00

Fonte: Dos autores.

Com os valores de execução por dimensão de estacas determinados para cada pilar foi observado que, assim como os métodos anteriores, as melhores escolhas eram as estacas de 16x16cm e 20x20cm.

Na tabela a seguir são apresentadas as dimensões adotadas, cotas de assentamento dimensionadas, cotas de assentamento adotadas, valores por metro, valores das estacas, valores das cravações e os custos totais da mesma, para cada pilar

Tabela 39 – Décourt-Quaresma

Pilar	Dimensão Selecionada [cm]	Profundidade Dimensionada [m]	Profundidade Adotada [m]	Valor por Metros (R$)	Valor Estaca [R$]	Cravação [R$]	Total da Estaca [R$]
P1	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P2	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P3	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P4	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P5	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P6	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P7	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P8	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P9	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P10	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P11	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P12	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P13	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P14	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P15	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P16	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P17	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P18	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P19	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P20	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P21	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P22	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P23	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P24	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P25	16x16	3	6	35,8	214,8	108	322,8
P26	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8
P27	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P28	16x16	4	6	35,8	214,8	108	322,8

Continua

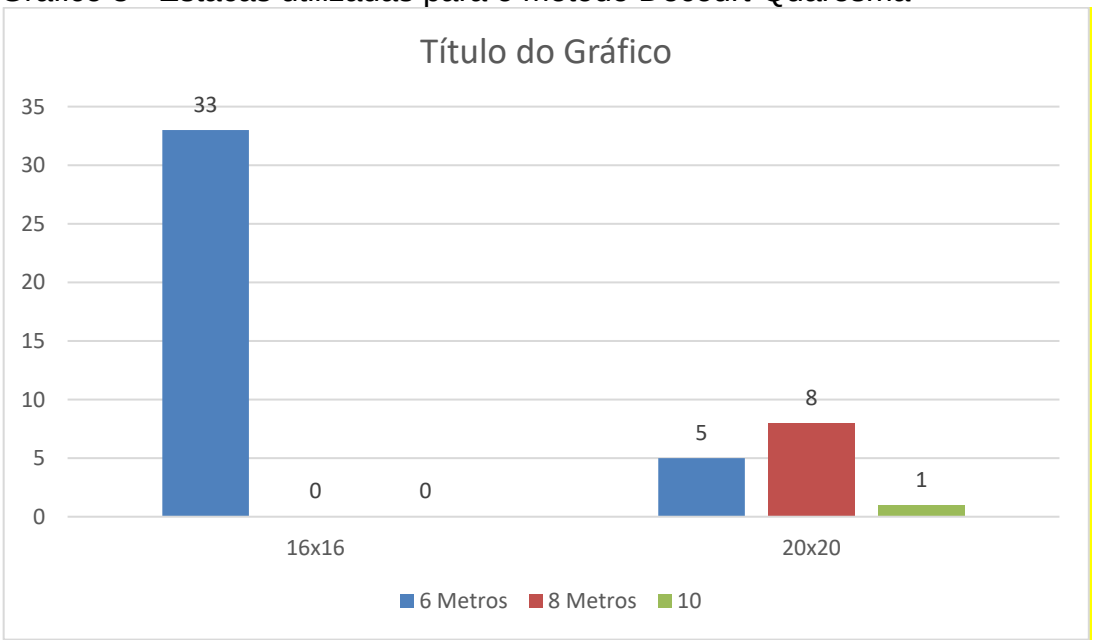
Continuação

Pilar	Dimensão Selecionada [cm]	Profundidade Dimensionada [m]	Profundidade Adotada [m]	Valor por Metros (R$)	Valor Estaca [R$]	Cravação [R$]	Total da Estaca [R$]
P29	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P30	20x20	5	6	45,2	271,2	108	379,2
P31	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P32	16x16	5	6	35,8	214,8	108	322,8
P33	20x20	5	6	45,2	271,2	108	379,2
P34	20x20	6	6	45,2	271,2	108	379,2
P35	20x20	8	8	45,2	361,6	144	505,6
P36	20x20	9	10	45,2	452	180	632
P37	20x20	8	8	45,2	361,6	144	505,6
P38	20x20	8	8	45,2	361,6	144	505,6
P39	20x20	8	8	45,2	361,6	144	505,6
P40	20x20	6	6	45,2	271,2	108	379,2
P41	16x16	6	6	35,8	214,8	108	322,8
P42	20x20	7	8	45,2	361,6	144	505,6
P43	20x20	7	8	45,2	361,6	144	505,6
P44	20x20	6	6	45,2	271,2	108	379,2
P45	20x20	7	8	45,2	361,6	144	505,6
P46	20x20	7	8	45,2	361,6	144	505,6
P47	16x16	6	6	35,8	214,8	108	322,8
					Custo Total		17225,20

Fonte: Dos autores.

O Gráfico 8 apresenta a quantidade final de estacas por cota de assentamento e seção utilizadas para o dimensionamento pelo método de Décourt-Quaresma. Os pilares que tiveram o dimensionamento de projeto com as menores dimensões de estaca comercializada ficaram próximos da quantidade determinada pelo método de Aoki-Velloso, 33 dos 47. Dos 3 métodos de dimensionamento, esse foi o único que utilizou estaca de 10 metros, com dimensão 20x20 cm.

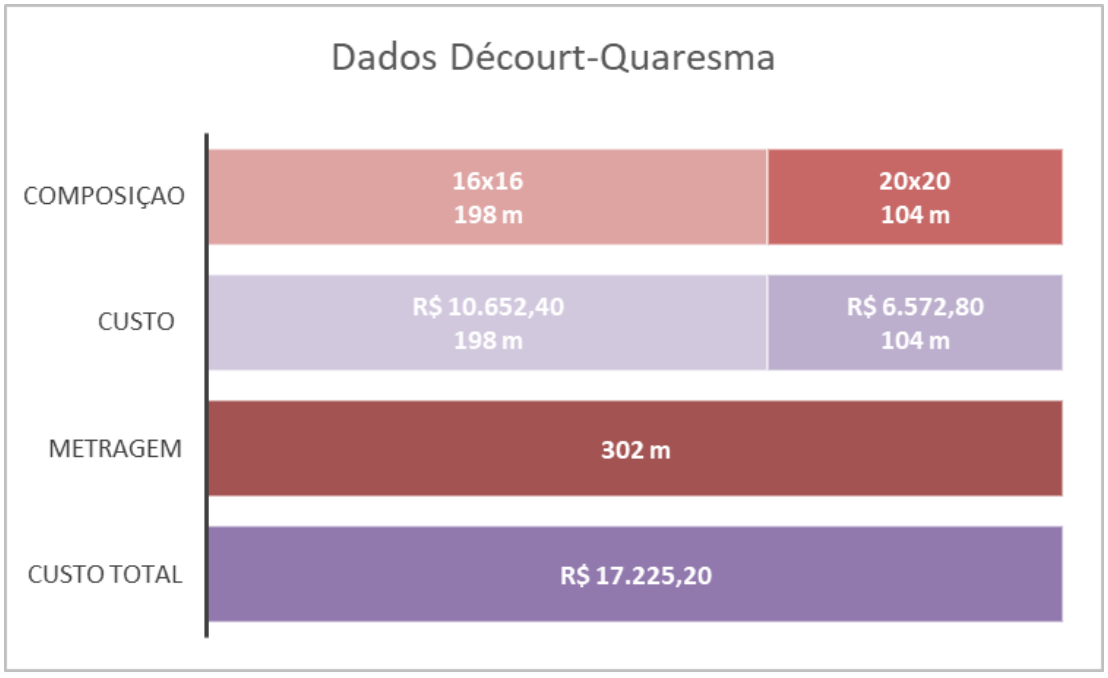
Gráfico 8 - Estacas utilizadas para o método Décourt-Quaresma



Fonte: Dos autores.

Com os valores obtidos neste método, foi determinado há necessidade de 198m de estaca 16x16cm, equivalentes a R$10.652,40 e 104m de estaca 20x20cm, equivalentes a R$6.572,80. Sendo necessário um total de 302m de estacas pré-moldadas quadradas cravadas, com custo de R$17.225,20. O resumo é apresentado no Gráfico 79

Gráfico 9 - Resumo do Consumo Décourt-Quaresma



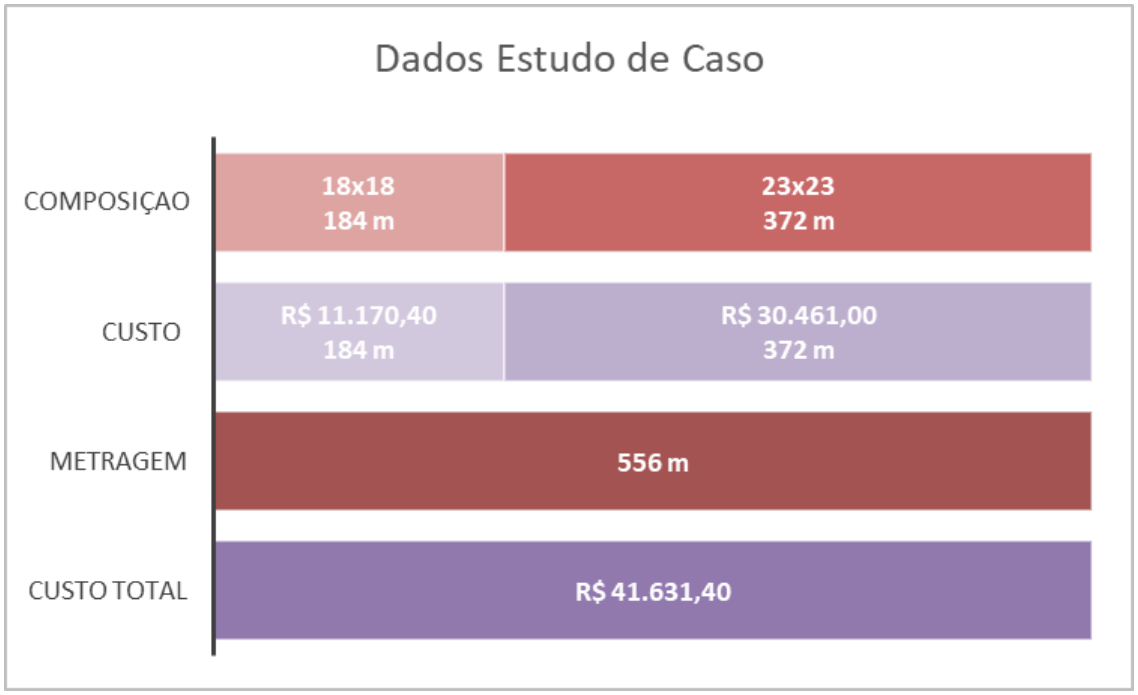
Fonte: Dos autores.

5.4.1.4 Utilizado na obra

Na obra a qual foi analisada, a cravação das estacas foi feita até a “nega” e foram utilizadas estacas de 18x18cm e 23x23cm. Devido a camada resistente do terreno ser muito profundo, além das estacas, foi necessário a utilização de luvas, para poder emendá-las nos locais os quais passavam de 12m.

A partir destes fatores, os valores de obra foram 184m e 2 luvas de 18x18cm, custando R$11.170,40, além de 372m e 25 luvas de 23x23cm, equivalentes a R$30.461,00. Totalizando 556m de estacas pré-moldadas quadradas cravadas com um valor de R$41.631,40.

Gráfico 10 - Resumo do Consumo Estudo de Caso

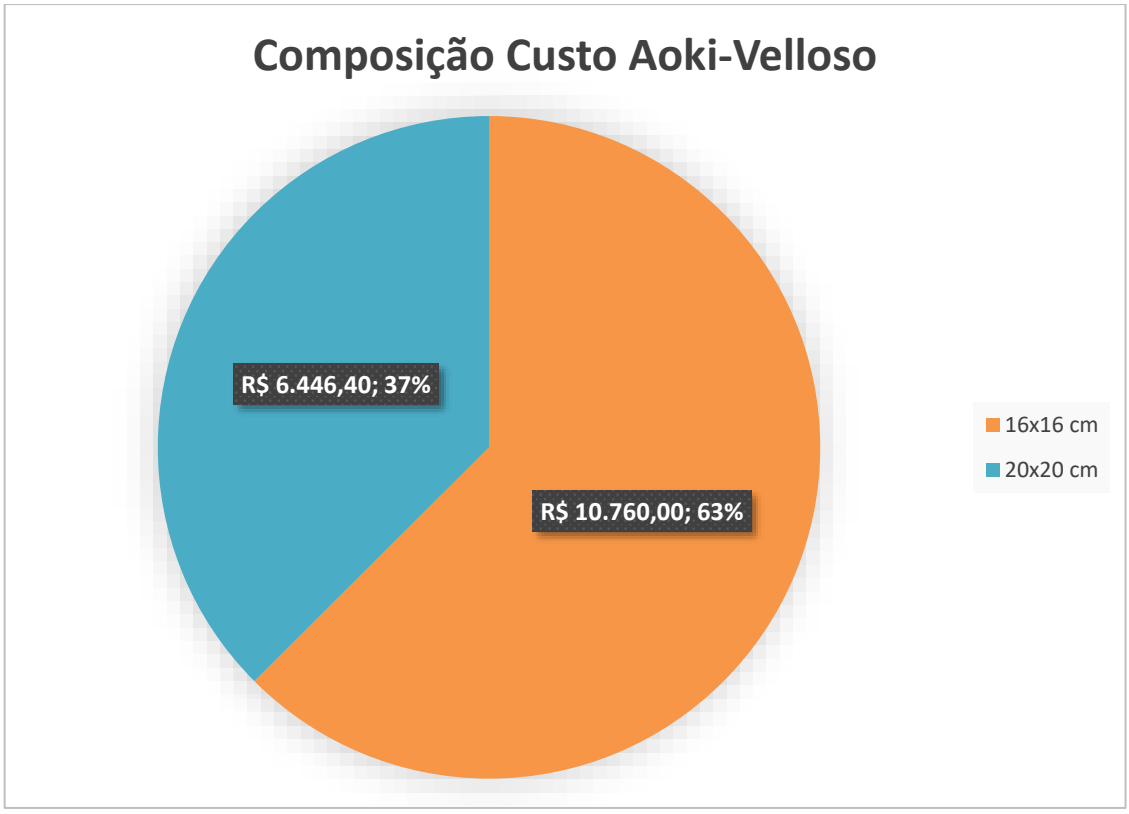


Fonte: Dos autores

5.4.1.5 Composição de Custos

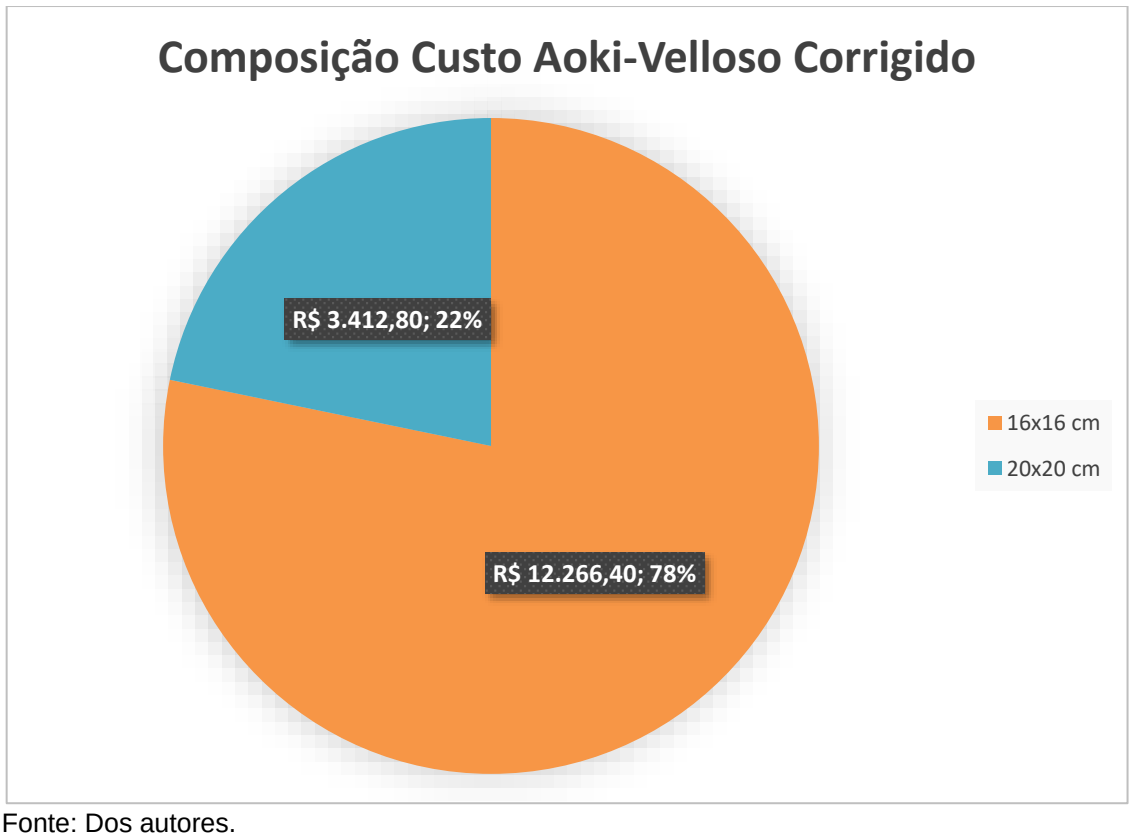
Comparando os métodos e a obra, obteve-se uma composição de custos similar apenas nos métodos de Décourt-Quaresma e Aoki-Velloso, apresentando uma grande diferença para Aoki-Velloso Corrigido e a obra, como mostram os gráficos a seguir.

Gráfico 11 – Composição de Custo Aoki-Velloso



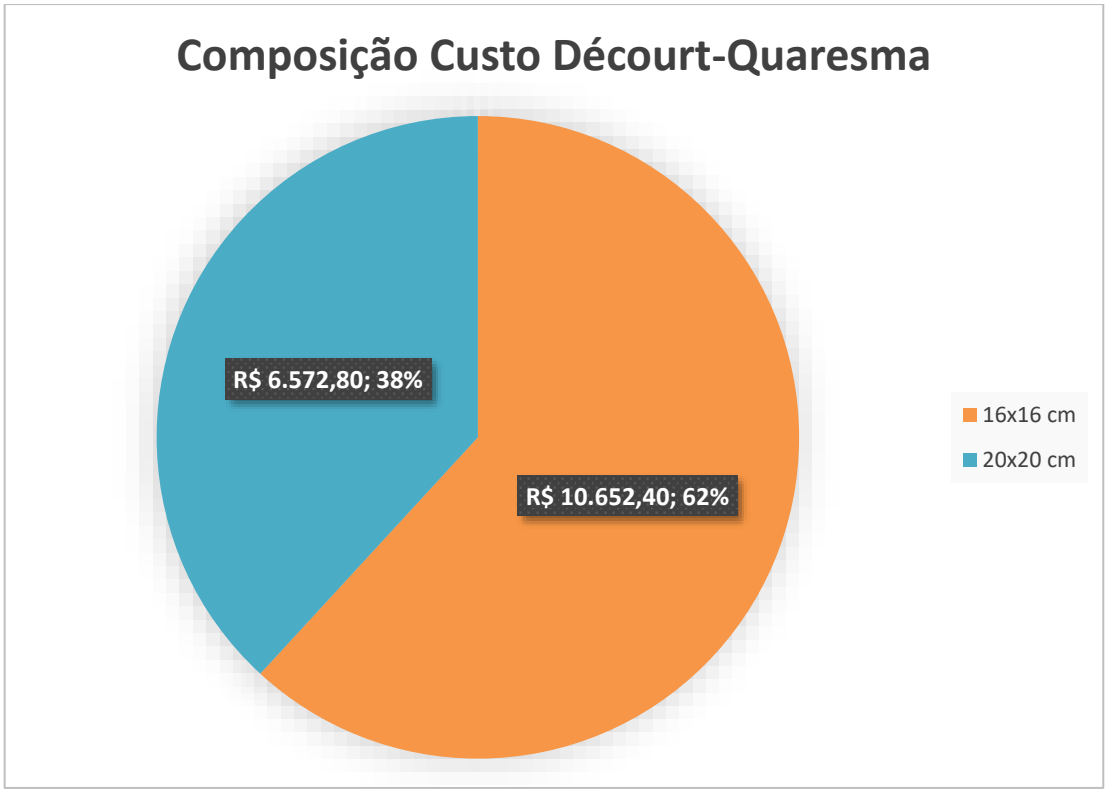
Fonte: Dos autores.

Gráfico 12 – Composição de Custo Aoki-Velloso Corrigido



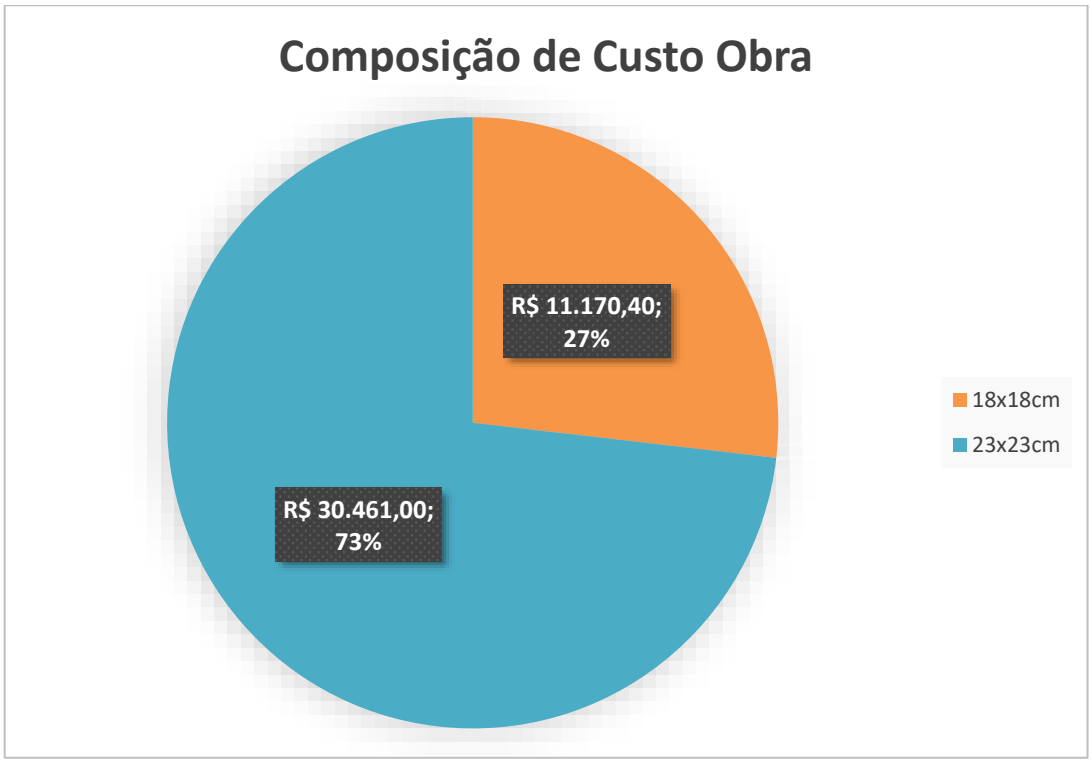
Fonte: Dos autores.

Gráfico 13 – Composição de Custo Décourt-Quaresma



Fonte: Dos autores.

Gráfico 14 – Composição de Custo Obra



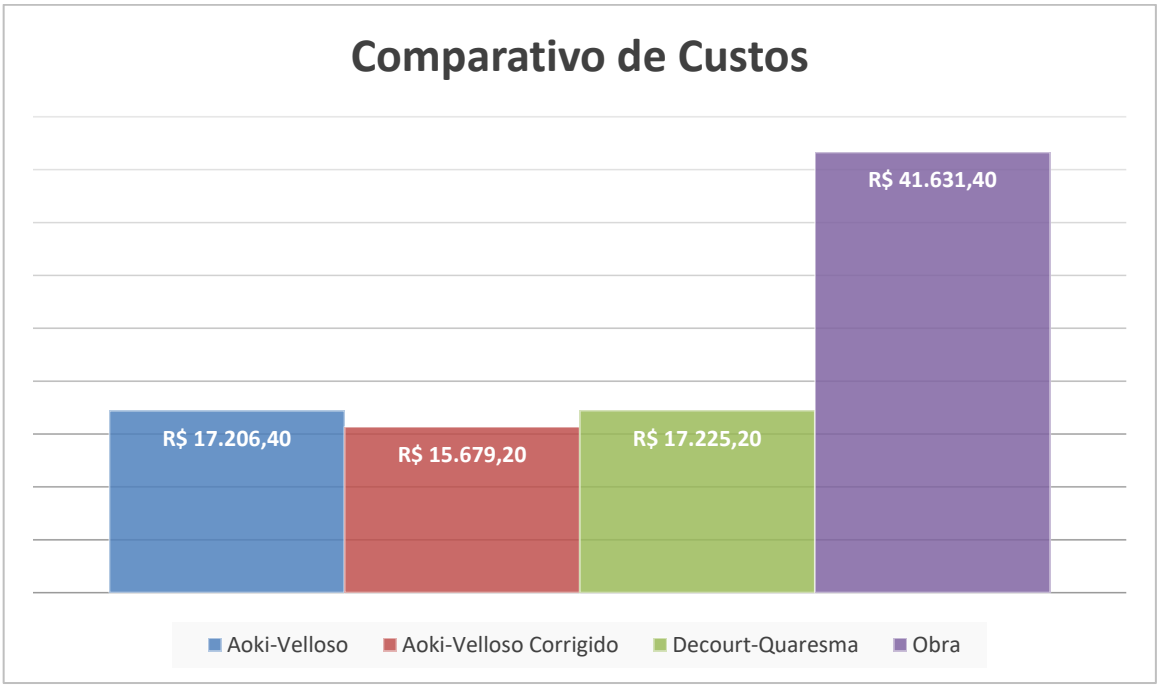
Fonte: Dos autores.

Nesta composição de custos, já foi incluso o preço da cravação e para a obra onde foram utilizadas luvas, as mesmas foram contabilizadas cada uma no seu respectivo diâmetro.

5.4.1.6 Comparativo de Custos

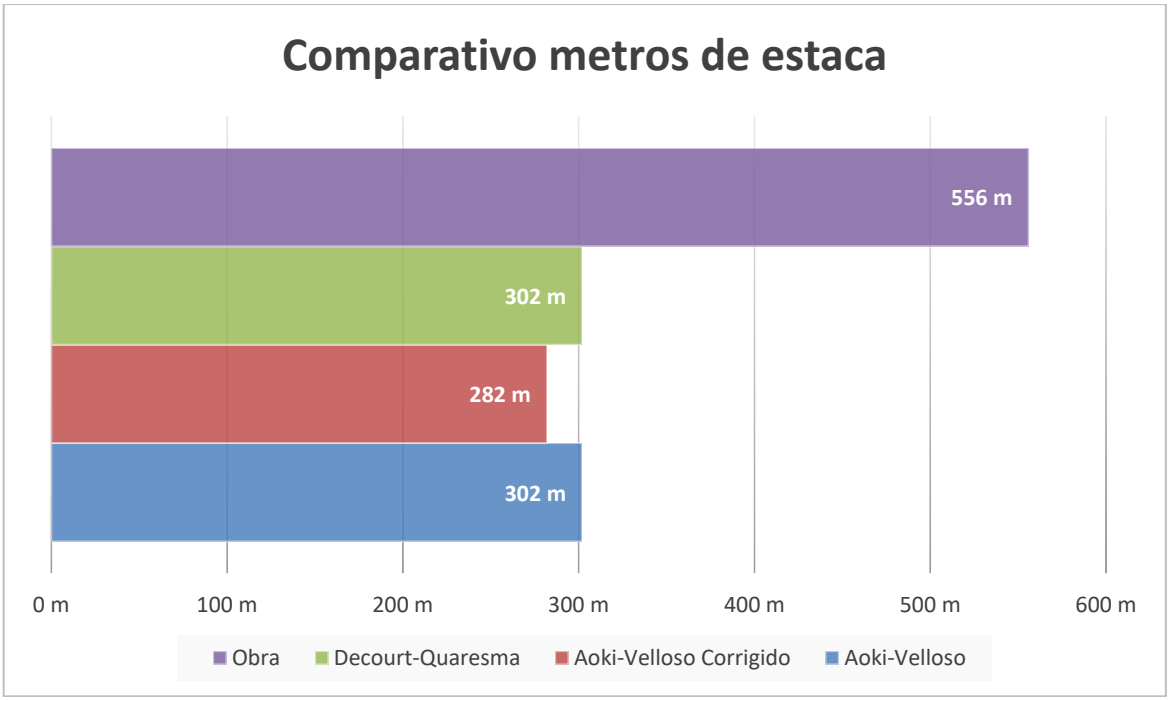
Com base nos dados mostrados anteriormente, obtém-se os gráficos que serão apresentados a seguir, onde é comparado o custo de cada método e o obtido em obra, além da metragem de estacas necessária em cada.

Gráfico 15 – Comparativo de custos métodos e obra



Fonte: Dos autores.

Gráfico 16 – Comparativo metros de estaca



Fonte: Dos autores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foi aplicado a metodologia, com o auxílio de planilhas, de dois dos principais métodos de dimensionamento de fundações profundas, Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma.

Por se tratar da análise de custo de um caso real, não houve necessidade de escolha para o tipo de fundação, sendo analisado a mesma estaca aplicada em obra, estaca pré-moldada de concreto com seção quadrada

Com os resultados das comparações dos métodos para estacas pré-moldadas de concreto, conclui-se que o dimensionamento através de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma apresentam resultados muito similares, tendo uma diferença de apenas 0,11% no custo. Importante observar que devido as limitações de mercado muitas estacas tiveram o dimensionamento definido pela dimensão mínima comercializada e não pelo que foi obtido no método.

No entanto, como já citado, o método de Aoki-Velloso sofreu uma correção em seu coeficiente para as estacas pré-moldadas de concreto, e quando comparado os valores dos métodos anteriores com Aoki-Velloso Corrigido, observa-se um resultado com uma diferença considerável de 9,86% para o método de Décourt-Quaresma e de 9,74% para o próprio método de Aoki-Velloso com os coeficientes anteriores, tornando-se o método mais econômico no caso estudado.

Outro ponto importante a observar é a elevada diferença entre os custos de projeto e o que foi executado em obra. O custo altamente elevado na obra, no valor de R$41.631,40 - uma diferença de 165.52% para o método Aoki-Velloso Corrigido, foi devido a estaca ter sido cravada até o “firme”, não sendo trabalhado com estacas flutuantes, onde se transmite a carga pelo atrito lateral para o solo, sem precisar atingir uma camada muito resistente.

Fica claro a importância de um projeto de fundação visando a segurança com o menor custo possível. Para cada obra existem inúmeras soluções de fundações, mas a mesma deve ser estudada a fundo.

Como sugestão para trabalhos futuros propõem-se a análise de outras obras que apresentem cargas maiores, visto que para este trabalho utilizou-se as cargas provenientes de um galpão industrial. E, sugere-se ainda, a comparação através de outros métodos disponíveis na bibliografia técnica acerca do assunto abordado.

REFERÊNCIAS

ALONSO, Urbano Rodriguez. Fundações Teoria e Prática: Estacas Premoldadas. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

ANTUNES, William Roberto; TAROZZO, Hélvio. Fundações Teoria e Prática: Execução de Fundações Profundas. São Paulo: Pini, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. 91 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeira: Abnt, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: Abnt, 1995. 18 p.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Sapatas de Fundação. Bauru: UNESP, 2019. 116 p. Disponível em http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf . Acesso em 10 de outubro de 2019

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. Fundações Diretas: Projeto Geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

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

DÉCOURT, Luciano; ALBIERO, José Henrique; CINTRA, José Carlos Ângelo. **Fundações Teoria e Prática:** Análise e Projeto de Fundações Profundas. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

GONÇALVES, Sérgio Fernandes. **Estudo do Comportamento à Compressão de Estacas Metálicas Curtas em Solo Sedimentar.** 2008. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2008. Disponível em https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7694/SERGIOGONCALVES.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Acesso em 15 de outubro de 2019.

MAIA, Clovis M. Moreira. Fundações Teoria e Prática: Execução de Fundações Profundas. São Paulo: Pini, 1998.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. Patologia das Fundações. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecanica dos Solos em 16 Aulas. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

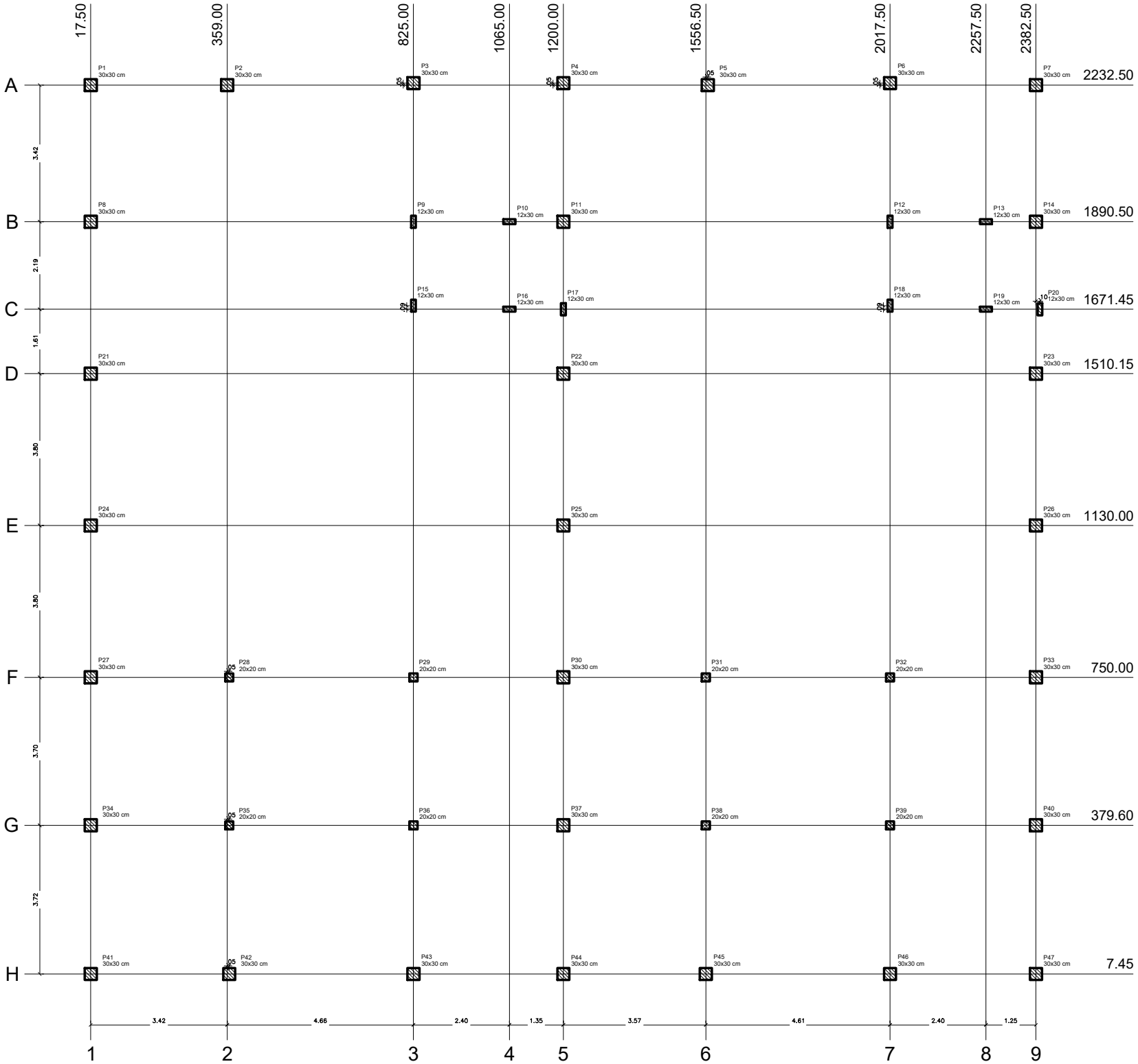
PINTO, Carlos de Sousa. Fundações Teoria e Prática: Propriedades dos Solos. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

QUARESMA, Arthur Rodrigues et al. Fundações Teoria e Prática: Investigações Geotécnicas. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

TEIXEIRA, Alberto Henrique; GODOY, Nelson Silveira de. Fundações Teoria e Prática: Análise, Projeto e Execução de Fundações Rasas. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

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

ANEXOS


17.50
359.00
825.00
1065.00
1200.00
1556.50
2017.50
2257.50
2382.50
A
B
C
D
E
F
G
H
2232.50
1890.50
1671.45
1510.15
1130.00
750.00
379.60
7.45
3.42
2.19
1.61
3.80
3.80
3.70
3.72
1
2
3
4
5
6
7
8
9
3.42
4.66
2.40
1.35
3.57
4.61
2.40
1.25

Pilar									
Nome	Seção (cm)	X (cm)	Y (cm)	Carga Máx. (tf)	Carga Mín. (tf)	Mx (kgf.m)	My (kgf.m)	Fx (tf)	Fy (tf)
P1	30x30	17.50	2232.50	8.6	7.1	0	0	0.4	0.6
P2	30x30	359.00	2232.50	9.9	9.2	0	0	0.6	0.2
P3	30x30	825.00	2237.45	12.8	11.5	0	0	0.6	0.6
P4	30x30	1200.00	2237.50	11.8	10.0	0	0	0.3	0.5
P5	30x30	1561.50	2232.50	9.7	9.1	0	0	0.6	0.2
P6	30x30	2017.50	2237.45	12.7	11.7	0	0	0.6	0.6
P7	30x30	2382.50	2232.50	9.7	8.4	0	0	0.4	0.3
P8	30x30	17.50	1890.50	9.0	8.5	0	0	0.2	0.6
P11	30x30	1200.00	1890.50	8.3	4.2	0	0	0.2	0.6
P14	30x30	2382.50	1890.50	9.7	7.3	0	0	0.2	0.3
P21	30x30	17.50	1510.15	9.3	8.9	0	0	0.2	0.7
P22	30x30	1200.00	1510.15	6.1	4.2	0	0	0.1	0.7
P23	30x30	2382.50	1510.15	8.3	6.5	0	0	0.1	0.5
P24	30x30	17.50	1130.00	9.0	8.6	0	0	0.2	0.7
P25	30x30	1200.00	1130.00	6.9	6.5	0	0	0.1	0.6
P26	30x30	2382.50	1130.00	9.1	8.7	0	0	0.2	0.3
P27	30x30	17.50	750.00	15.4	13.9	0	0	0.2	0.1
P28	20x20	364.00	750.00	12.5	10.8	0	0	0.2	0.1
P29	20x20	825.00	750.00	13.1	11.1	0	0	0.2	0.1
P30	30x30	1200.00	750.00	16.8	15.4	0	0	0.2	0.1
P31	20x20	1556.50	750.00	13.0	10.8	0	0	0.2	0.1
P32	20x20	2017.50	750.00	12.6	10.5	0	0	0.2	0.1
P33	30x30	2382.50	750.00	15.6	13.9	0	0	0.1	0.1
P34	30x30	17.50	379.60	20.5	18.6	0	0	0.1	0.1
P35	20x20	364.00	379.60	27.1	23.8	0	0	0.2	0.1
P36	20x20	825.00	379.60	28.2	24.7	0	0	0.2	0.1
P37	30x30	1200.00	379.60	26.8	24.5	0	0	0.2	0.1
P38	20x20	1556.50	379.60	27.8	24.3	0	0	0.2	0.1
P39	20x20	2017.50	379.60	27.5	24.2	0	0	0.2	0.1
P40	30x30	2382.50	379.60	21.2	19.1	0	0	0.1	0.1
P41	30x30	17.50	7.50	14.7	12.4	0	0	0.2	0.1
P42	30x30	364.00	7.50	22.6	20.5	0	0	0.3	0.1
P43	30x30	825.00	7.45	22.8	20.9	0	0	0.3	0.1
P44	30x30	1200.00	7.50	20.1	18.1	0	0	0.2	0.1
P45	30x30	1556.50	7.50	22.4	20.5	0	0	0.3	0.1
P46	30x30	2017.50	7.45	22.9	21.0	0	0	0.3	0.1
P47	30x30	2382.50	7.50	15.0	12.9	0	0	0.2	0.1
P9	12x30	825.00	1890.50	5.5	4.4	0	0	0.5	0.9
P10	12x30	1065.00	1890.50	6.7	3.0	0	0	1.0	0.5
P12	12x30	2017.50	1890.50	5.5	4.5	0	0	0.4	0.8
P13	12x30	2257.50	1890.50	5.8	3.6	0	0	0.9	0.5
P15	12x30	825.00	1680.45	3.0	1.6	0	0	0.4	0.3
P16	12x30	1065.00	1671.45	4.6	3.5	0	0	0.6	0.5
P17	12x30	1200.00	1671.45	4.2	2.7	0	0	0.1	0.7
P18	12x30	2017.50	1680.45	2.7	1.7	0	0	0.1	0.3
P19	12x30	2257.50	1671.45	4.5	3.8	0	0	1.4	0.5
P20	12x30	2392.50	1671.45	4.2	3.0	0	700	1.4	1.8