

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação de Mestrado

**ESTUDO COMPARATIVO POR ANÁLISE COMPUTACIONAL DE
FUNDAÇÕES CONSTITUÍDAS POR DIFERENTES ELEMENTOS
METÁLICOS EM AÇO**

Autor: Célio Márcio Magalhães

Orientador: Prof. Dr. Cícero Murta Diniz Starling

Belo Horizonte
Fevereiro de 2010

M118e Magalhães, Célio Márcio
Estudo comparativo por análise computacional de fundações constituídas por diferentes elementos metálicos em aço [manuscrito] / Célio Márcio Magalhães. – 2010.
335f., enc. : il.

Orientador: Cícero Murta Diniz Starling

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 286-335.

Inclui bibliografia.

1. Fundações metálicas – Teses. 2. Estacas de aço – Teses. 3. Construção civil – Teses. I. Starling, Cícero murta Diniz. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, III. Título.

CDU: 69 (043)

Ficha Elaborada pelo processamento técnico da Biblioteca da EE/UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**“ESTUDO COMPARATIVO POR ANÁLISE COMPUTACIONAL DE
FUNDAÇÕES CONSTITUÍDAS POR DIFERENTES ELEMENTOS
METÁLICOS EM AÇO”**

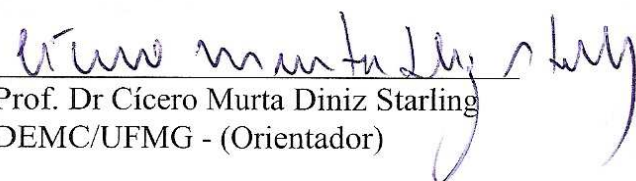
Célio Márcio Magalhães

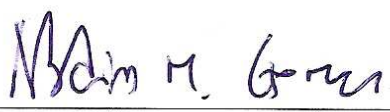
Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós- Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.


Área de concentração: Materiais Metálicos para a Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Cícero Murta Diniz Starling

Comissão Examinadora:


Prof. Dr Cícero Murta Diniz Starling
DEMC/UFMG - (Orientador)


Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes
DEMC/UFMG


Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes
DEMC/UFMG

Belo Horizonte
Fevereiro de 2010

RESUMO

As fundações metálicas, de deslocamento, contribuem para uma maior diversificação na construção civil, sendo essenciais para se obter, através das variadas geometrias dos elementos, a capacidade de carga almejada com uma maior praticidade de execução. Com isso, torna-se importante a avaliação de fundações constituídas por elementos metálicos. Neste trabalho foram estudados elementos estruturais constituídos por perfis de aço de geometria H e I, perfis tubulares de seção circular e trilhos ferroviários nacionais. Três programas computacionais distintos desenvolvidos anteriormente foram adaptados (um para cada elemento estrutural) para processar cinco métodos de cálculo semi-empíricos estáticos e um método de cálculo dinâmico, visando o dimensionamento da capacidade de carga da fundação. Foram utilizados nos programas dados de uma sondagem de edificação com tipo de solo predominantemente arenoso e modificado em sua predominância para argiloso. Foram aplicadas duas cargas estáticas distintas, 25tf e 75tf. Tendo assim resultados suficientes para a análise do comportamento das estacas metálicas. Foram estudados os comportamentos dos diferentes elementos metálicos (tendo resistências e profundidades variadas), realizando-se uma comparação de custos e paralelamente uma análise das tensões de cravação. Os métodos de dimensionamento resultaram em valores divergentes de capacidade de carga. Pôde-se determinar que os perfis metálicos apresentaram em ambas situações de tipos de solos, os menores custos globais para a execução da fundação. Concluiu-se também que a deformação do elemento de aço, devido ao excesso de carga de cravação, pode ser previsto e evitado através do cálculo da tensão de cravação em projetos de fundações.

Palavras-chave: fundações metálicas, estacas metálicas, capacidade de carga, carga admissível, tensão de cravação, tensão estática, tensão dinâmica.

ABSTRACT

The metallic foundations, of displacement, contribute for a bigger diversification in the civil construction, being essential to get themselves, through the varied geometry of the elements, the load capacity longed for with a bigger practical of execution. With this, the evaluation of foundations consisting of metallic elements becomes important. In this work structural elements consisting by steel profiles had been studied of geometry H and I, tubular profiles of circular section and national railroad tracks. Three developed distinct computational programs had been previously adapted (one for each structural element) to process five methods of calculation static half-empiricists and a method of dynamic calculation, aiming at the sizing of the load capacity of the foundation. They had been used in the given programs of a survey of construction with predominantly sandy soil and modified type of ground in its predominance for argillaceous. Two distinct static loads, 25tf and 75tf had been applied. Thus having resulted enough for the analysis of the behavior of the metallic props. The behaviors of the different metallic elements had been studied (having resistance and varied depths), carrying through a comparison of costs and parallel an analysis of the spiking tensions. The sizing methods had resulted in divergent values of load capacity. It could be determined that the metallic profiles had presented in both situations of types of ground, the lesser global costs for the execution of the foundation. One also concluded that the deformation of the element of steel, which had to the spiking load excess, can be foreseen and be prevented through the calculation of the tension of spiking in projects of foundations.

Keywords: foundations, metal, metal pile, capacity load, permissible load, tension driving, static tension, dynamic tension.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO	26
1.1. Justificativa e importância da pesquisa	26

CAPÍTULO 2

2. OBJETIVO DO TRABALHO	28
2.1. Objetivo geral	28
2.2. Objetivo específico	28

CAPÍTULO 3

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
3.1. A utilização do aço como elemento estrutural de fundação	30
3.2. Vantagens e desvantagens de Fundações em aço	31
3.2.1. Elementos de fundações metálicas - vantagens	32
3.2.2. Elementos de fundações metálicas - desvantagens.....	33
3.3. Utilização de estacas metálicas.....	33
3.4. Tipos de estacas quanto ao processo executivo.....	36
3.4.1 Estacas de deslocamento	38
3.4.2. Estacas de não deslocamento ou escavadas.....	40
3.5. Fundações metálicas quanto às dimensões da seção e fabricação.....	41
3.5.1. Perfis de aço utilizados em fundações.....	42
3.5.1.1. Perfis Soldados utilizados em fundações cravadas	44
3.5.1.2. Perfis Laminados utilizados em fundações cravadas	45
3.5.2. Tubos de aço utilizados em fundações cravadas	48
3.5.3. Trilhos ferroviários utilizados em fundações cravadas	51
3.6. Propriedades do aço.....	57
3.6.1. Constantes Físicas do Aço.....	57
3.6.2. Normalização.....	58
3.6.2.1. A NBR 7007 da ABNT	58
3.6.2.2. Normas de produtos importados	58
3.6.2.3. Similaridade entre normas de aços estruturais.....	60
3.6.3. Ductibilidade dos aços de limite de escoamento mínimo de 250 MPa e 350 MPa, comuns em fundações metálicas.....	61
3.6.4. Fadiga em elementos de trilhos ferroviários	63

3.7. Tipos de aços estruturais.....	64
3.7.1. Classificação.....	64
3.7.1.1. Aço-carbono.....	64
3.7.1.2. Aço de baixa liga.....	65
3.7.1.3. Aços com tratamento térmico.....	66
3.7.2. Padronização ABNT.....	67
3.8. Dimensionamento geotécnico de fundações de aço.....	67
3.8.1. Norma ABNT 6122/96.....	67
3.8.2. Investigação do subsolo.....	69
3.8.3. Capacidade de carga.....	71
3.8.4. Carga admissível.....	72
3.8.4.1. Métodos estáticos.....	73
3.8.4.2. Formulação teórica da capacidade de carga.....	73
3.8.4.2.1. Resistência de Ponta.....	74
3.8.4.2.2. Resistência por atrito lateral.....	76
3.8.5. Métodos semi-empíricos que utilizam o SPT.....	77
3.8.5.1. Método Aoki-Velloso (1975).....	79
3.8.5.2. Método Décourt-Quaresma (1978, 1982).....	84
3.8.5.3. Método Pedro Paulo Costa Velloso (1979).....	87
3.8.5.4. Método Alberto Henriques Teixeira (1996).....	90
3.8.5.5. Método Urbano Rodrigues Alonso (1996).....	92
3.9. Capacidade de carga por método dinâmico.....	94
3.9.1. Princípios fundamentais do cálculo dinâmico.....	95
3.9.2. Fórmula dinâmica de HILEY - NEGA.....	98
3.9.3. Medição da NEGA.....	101
3.10. Metodologia executiva.....	103
3.10.1. Cravação à percussão.....	103
3.10.2. Cravação em solos arenosos.....	106
3.10.3. Cravação em solos argilosos.....	107
3.11. Tensão de cravação.....	108
3.12. Interação solo-estrutura utilizando computação eletrônica.....	109

CAPÍTULO 4

4. METODOLOGIA.....	111
4.1. Considerações iniciais.....	111
4.2. Definição dos tipos de solos.....	112

4.3. Definição dos elementos metálicos e tipos de aço a serem utilizados.....	113
4.4. Desenvolvimento dos programas computacionais.....	113
4.4.1. Inserção dos dados dos elementos de fundações.....	115
4.4.1.1. Tubos.....	115
4.4.1.2. Perfis.....	115
4.4.1.3. Trilhos.....	116
4.4.2. Obtenção de resultados para carga admissível – dimensionamento estático.....	118
4.4.3. Obtenção de resultados para carga admissível – dimensionamento dinâmico.....	124
4.4.4. Definição do método executivo, das cargas estáticas e dinâmicas.....	129
4.4.5. Definição dos custos das fundações.....	131

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS PRELIMINARES.....	133
5.1 Considerações iniciais.....	133
5.2 Sondagem à percussão utilizada.....	134
5.3 Resultados obtidos para o trilho TR32 simples.....	135
5.3.1 Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR32.....	137
5.3.2 Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR32.....	139
5.3.3 Levantamento dos custos por estaca cravada.....	142
5.4 Resultados obtidos para o tubo de “168,3 x 4,8”.....	144
5.4.1 Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo de “168,0 x 4,8”.....	148
5.4.2 Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo de “168,0 x 4,8”.....	150
5.4.3 Levantamento dos custos por estaca cravada.....	152
5.5 Resultados obtidos para o perfil tipo “I”, “W 200 x 19,3”.....	154
5.5.1 Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”.....	157
5.5.2 Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W 200 x 19,3”.....	159
5.5.3 Levantamento dos custos por estaca cravada.....	161
5.6 Conclusões referentes aos resultados preliminares.....	164

5.6.1 Profundidade de cravação obtida através da carga admissível	164
5.6.2 NEGAs obtidas através das diferentes profundidades e elementos metálicos	167
5.6.3 Tensão de cravação obtidos a partir dos diferentes elementos cravados	168
5.6.4 Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos	170
5.6.5 Funcionamento e validação dos programas desenvolvidos	173

CAPÍTULO 6

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	174
6.1 Considerações iniciais	174
6.2. Sondagem à percussão utilizada	174
6.3. Resultados obtidos a partir da sondagem com solo do tipo arenoso sob a carga de 25 toneladas	176
6.3.1. Resultados para trilho ferroviário	176
6.3.1.1. Resultados obtidos para o trilho do tipo simples TR32	176
6.3.1.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR 32.....	176
6.3.1.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR32.....	178
6.3.1.4. Levantamento dos custos por cada trilho TR 32 cravado.	179
6.3.2. Resultados para tubo metálico	181
6.3.2.1. Resultados obtidos para o tubo metálico “168,3 x 4,8”	181
6.3.2.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo “168,3 x 4,8”	182
6.3.2.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo “168,3 x 4,8”	183
6.3.2.4. Levantamento dos custos por cada tubo “168,3 x 4,8” cravado ...	184
6.3.3. Resultados para perfil metálico.....	186
6.3.3.1. Resultados obtidos para o perfil metálico “W 200 x 19,3”	186
6.3.3.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”	187
6.3.3.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”	188
6.3.3.4. Levantamento dos custos para cada perfil “W200 x 19,3” cravado.....	190
6.3.4. Comparativo entre os elementos estudados	191

6.3.4.1. Profundidades obtido para o solo tipo arenoso sob a carga de 25 tf.....	191
6.3.4.2. Comparativo dos resultados geotécnicos dinâmicos para a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	193
6.3.4.3. Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	195
6.4. Resultados obtidos a partir da sondagem com solo do tipo arenoso sob a carga de 75 toneladas	196
6.4.1. Resultados para trilho ferroviário	196
6.4.1.1. Resultados obtidos para o trilho do tipo simples TR 57	196
6.4.1.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR 57.....	197
6.4.1.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR57.....	198
6.4.1.4. Levantamento dos custos por cada trilho TR 57 cravado	200
6.4.2. Resultados para tubo metálico sob a carga de 75 toneladas	202
6.4.2.1. Resultados obtidos para o tubo metálico “219,1 x 7,9”	202
6.4.2.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo “219,1 x 7,9”	203
6.4.2.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo “219,1 x 7,9”	204
6.4.2.4. Levantamento dos custos por cada tubo “219,1 x 7,9” cravado ...	206
6.4.3. Resultados para perfil metálico sob a carga de 75 toneladas.....	207
6.4.3.1. Resultados obtidos para o perfil metálico “W360 x 44”	207
6.4.3.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W360 x 44”	208
6.4.3.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W360 x 44”	209
6.4.3.4. Levantamento dos custos para cada perfil “W360 x 44”	211
6.4.4. Comparativo entre os elementos estudados	213
6.4.4.1. Profundidades obtido para o solo tipo arenoso sob a carga de 75 tf.....	213
6.4.4.2. Comparação dos resultados geotécnicos dinâmicos.....	214
6.4.4.3 Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	216

6.5. Resultados obtidos a partir da sondagem com solo do tipo argiloso sob a carga de 25 toneladas	217
6.5.1. Resultados para trilho ferroviário	217
6.5.1.1. Resultados obtidos para o trilho do tipo simples TR32	217
6.5.1.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR 32.....	218
6.5.1.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR32.....	219
6.5.1.4. Levantamento dos custos por cada trilho TR 32 cravado	221
6.5.2. Resultados para tubo metálico	223
6.5.2.1. Resultados obtidos para o tubo metálico “168,3 x 4,8”	223
6.5.2.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo “168,3 x 4,8”	224
6.5.2.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo “168,3 x 4,8”	225
6.5.2.4. Levantamento dos custos por cada tubo “168,3 x 4,8” cravado ...	226
6.5.3. Resultados para perfil metálico.....	228
6.5.3.1. Resultados obtidos para o perfil metálico “W 200 x 19,3”	228
6.5.3.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”	229
6.5.3.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”	230
6.5.3.4. Levantamento dos custos para cada perfil “W200 x 19,3” cravado.....	232
6.5.4. Comparativo entre os elementos estudados	233
6.5.4.1. Profundidades obtido para o solo tipo argiloso sob a carga de 25 tf.....	233
6.5.4.2. Comparativo dos resultados geotécnicos dinâmicos sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	235
6.5.4.3. Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	237
6.6. Resultados obtidos a partir da sondagem com solo do tipo argiloso sob a carga de 75 toneladas	238
6.6.1. Resultados para trilho ferroviário	239
6.6.1.1. Resultados obtidos para o trilho do tipo simples TR 57	239

6.6.1.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR 57.....	239
6.6.1.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR57.....	241
6.6.1.4. Levantamento dos custos por cada trilho TR 57 cravado	243
6.6.2. Resultados para tubo metálico sob a carga de 75 toneladas	244
6.6.2.1. Resultados obtidos para o tubo metálico “219,1 x 7,9”	244
6.6.2.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo “219,1 x 7,9”	245
6.6.2.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo “219,1 x 7,9”	246
6.6.2.4. Levantamento dos custos por cada tubo “219,1 x 7,9” cravado ...	248
6.6.3. Resultados para perfil metálico sob a carga de 75 toneladas.....	250
6.6.3.1. Resultados obtidos para o perfil metálico “W360 x 44”	250
6.6.3.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W360 x 44”	251
6.6.3.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W360 x 44”	252
6.6.3.4. Levantamento dos custos para cada perfil “W360 x 44”	254
6.6.4. Comparativo entre os elementos estudados	255
6.6.4.1. Profundidades obtido para o solo tipo arenoso sob a carga de 75 tf.....	255
6.6.4.2. Comparação dos resultados geotécnicos dinâmicos sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	257
6.6.4.3 Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	259

CAPÍTULO 7

7. ANÁLISE COMPARATIVA GLOBAL.....	261
7.1. Resultados comparativos de profundidades obtidos para a carga de 25 tf nos solos arenoso e argiloso	261
7.2. Resultados de custos obtidos para a carga de 25 tf nos solos arenoso e argiloso...262	262
7.3. Resultados de profundidades obtidos para 75 tf nos solos arenoso e argiloso.....	264
7.4. Resultados de custos obtidos para 75 tf nos solos arenoso e argiloso.....	265
7.5. Resultados de 136custos para 100 unidades de estacas.....	266

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	268
8.1. Considerações iniciais	268
8.2. Conclusões.....	269
8.3. Sugestões para trabalhos futuros	271
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	272
 BIBLIOGRAFIA.....	282
 ANEXOS	286

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Vista geral de um estaqueamento metálico.	30
Figura 3.2: Vista geral de uma construção utilizando estaqueamento metálico.	31
Figura 3.3: Perfis metálicos cravados - Metropolitan Home Boutique – Florianópolis.	39
Figura:3.4: Laminação de perfis metálicos 43	43
Figura 3.5: Figura ilustrando o perfil soldado.	44
Figura 3.6: Geometria de perfis metálicos soldados do tipo “H” 45	45
Figura 3.7: Geometria de perfis metálicos laminados do tipo “I” 46	46
Figura 3.8: Geometria de perfis metálicos laminados do tipo “H” 47	47
Figura 3.9: Fundação em tubos metálicos para sustentação da ponte sobre o rio Orinoco - Bolívar - Venezuela 48	48
Figura 3.10: Geometria de perfis metálicos 50	50
Figura 3.11: Trilho tipo Nacional 51	51
Figura 3.12: Propriedades mecânicas de trilhos de aço comum e de alta resistência. 52	52
Figura 3.13: Trilhos soldados lateralmente 54	54
Figura 3.14: Os principais arranjos com os respectivos símbolos no canto inferior direito..... 55	55
Figura 3.15: Exemplos contendo os trilhos do tipo TR25 e TR32 mostrando delimitações características de ponta e perímetro para cálculo do dimensionamento geotécnico 56	56
Figura 3.16: Diagrama Tensão x Deformação dos aços A36 e A242 62	62
Figura 3.17: Esquema da obtenção da capacidade de carga por atrito lateral e de ponta 72	72
Figura 3.18: Fundação com funcionamento de ponta 75	75
Figura 3.19: Fundação com funcionamento de ponta e lateral 77	77
Figura 3.20: Equipamento de bate estaca que transmite a energia de cravação para a estaca... 95	95
Figura 3.21: Sistema de cravação de estacas 96	96
Figura 3.22: Medição da NEGA e repique 102	102
Figura 3.23: Ilustração da medição da NEGA de uma estaca 103	103
Figura 3.24: Sistema de cravação à percussão: (a) martelo de queda livre, (b) martelo automático diesel, (c) detalhe dos acessórios de cravação e (d) esquema de uma martelo diesel..... 104	104
Figura 3.25: Bate estaca de queda livre utilizando martelo de 3 toneladas para cravação de trilhos TR57 105	105
Figura 3.26: Efeitos da cravação sobre o terreno arenoso 107	107
Figura 3.27: Efeitos da cravação sobre o terreno de argila saturada 108	108
Figura 4.1: Desgaste vertical do boleto do trilho. 117	117

Figura 4.2: Desgaste lateral do boleto do trilho.....	117
Figura 4.3: Perfis danificados pelo excesso de tensão de cravação.....	125
Figura 4.4: Bate estaca do tipo de gravidade	130
Figura 5.1: Sondagem á percussão.....	134
Figura 5.2: Imagem do programa de dimensionamento de trilhos. Setor de inserção de dados geotécnicos	136
Figura 5.3: Imagem do programa de dimensionamento de trilhos. Setor de seleção do tipo de trilho e composição.....	137
Figura 5.4: Ilustração do programa computacional. Setor de resultados geotécnicos gerados a partir dos métodos semi-empíricos.....	138
Figura 5.5: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas.....	139
Figura 5.6: Gráfico demonstrando os valores da NEGA	141
Figura 5.7: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação	141
Figura 5.8: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada utilizando trilho TR 32	143
Figura 5.9: Imagem do programa de dimensionamento de tubos. Setor de inserção de dados geotécnicos	146
Figura 5.10: Imagem do programa de dimensionamento de tubos. Setor de inserção e resultados referentes à peça de aço	147
Figura 5.11: Ilustração do programa computacional. Setor de resultados geotécnicos gerados a partir dos métodos semi-empíricos.....	148
Figura 5.12: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas.....	149
Figura 5.13: Gráfico demonstrando os valores da NEGA	151
Figura 5.14: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação	151
Figura 5.15: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada utilizando tubo “168,3 x 4,8” (mm).....	153
Figura 5.16: Imagem do programa de dimensionamento de perfis. Setor de inserção de dados geotécnicos	156
Figura 5.17: Imagem do programa de dimensionamento de perfis. Setor de inserção e resultados referentes à peça de aço	157
Figura 5.18: Imagem do programa de dimensionamento de perfis. Setor de resultados referentes ao comportamento estaca-solo.....	158
Figura 5.19: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método	159
Figura 5.20: Gráfico demonstrando os valores da NEGA	160
Figura 5.21: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação	161

Figura 5.22: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada utilizando perfil “W200 x 19,3”.....	163
Figura 5.23: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca.....	165
Figura 5.24: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca.....	167
Figura 5.25: Gráfico demonstrando os valores de NEGA em relação a cada profundidade para cada elemento de aço.....	168
Figura 5.26: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas.....	169
Figura 5.27: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca.....	171
Figura 5.28: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca.....	172
Figura 6.1: Ilustração do projeto de sondagem à percussão.....	175
Figura 6.2: Ilustração das respectivas profundidades dos trilhos TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	177
Figura 6.3: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	178
Figura 6.4: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	179
Figura 6.5: Gráfico demonstrando os valores de custos para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	180
Figura 6.6: ilustração das respectivas profundidades das estacas tipo tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	182
Figura 6.7: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	183
Figura 6.8: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	184
Figura 6.9: Gráfico demonstrando os valores de custos para o tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	185
Figura 6.10: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	187
Figura 6.11 Gráfico demonstrando os valores da NEGA para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	189
Figura 6.12: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	189
Figura 6.13: Gráfico demonstrando os valores de custo para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	191
Figura 6.14: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.	192

Figura 6.15: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas por estacas sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	193
Figura 6.16: Gráfico demonstrando os valores de NEGA por estacas sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	194
Figura 6.17: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas	195
Figura 6.18: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca por estacas sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso	196
Figura 6.19: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	198
Figura 6.20: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	199
Figura 6.21: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	200
Figura 6.22: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada utilizando trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	201
Figura 6.23: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	202
Figura 6.24: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	205
Figura 6.25: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	205
Figura 6.26: Gráfico demonstrando os valores de custo para cada estaca cravada para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	207
Figura 6.27: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	209
Figura 6.28: Gráfico demonstrando os valores da NEGA para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	210
Figura 6.29: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	211
Figura 6.30: Gráfico demonstrando os valores de custo para cada estaca do perfil “W360x44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	212
Figura 6.31: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	213
Figura 6.32: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	214

Figura 6.33: Gráfico demonstrando os valores de NEGA sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	215
Figura 6.34: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	216
Figura 6.35: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	217
Figura 6.36: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	219
Figura 6.37: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	220
Figura 6.38: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	221
Figura 6.39: Gráfico demonstrando os valores de custo para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	222
Figura 6.40: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	224
Figura 6.41: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	225
Figura 6.42: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	226
Figura 6.43: Gráfico demonstrando os valores de custo para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	227
Figura 6.44: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	229
Figura 6.45: Gráfico demonstrando os valores da NEGA para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	231
Figura 6.46: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	231
Figura 6.47: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	233
Figura 6.48: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	234
Figura 6.49: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	235

Figura 6.50: Gráfico demonstrando os valores de NEGA sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	236
Figura 6.51: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	237
Figura 6.52: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	238
Figura 6.53: Ilustração das respectivas profundidades das estacas para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	240
Figura 6.54: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso.....	242
Figura 6.55: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso.....	242
Figura 6.56: Gráfico demonstrando os valores de custo para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso.....	244
Figura 6.57: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	246
Figura 6.58: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	247
Figura 6.59: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	248
Figura 6.60: Gráfico demonstrando os valores de custo para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	249
Figura 6.61: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso.....	251
Figura 6.62: Gráfico demonstrando os valores da NEGA para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	253
Figura 6.63: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	253
Figura 6.64: Gráfico demonstrando os valores de custo para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	255
Figura 6.65: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso.....	256
Figura 6.66: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso.....	257

Figura 6.67: Gráfico demonstrando os valores de NEGA sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	258
Figura 6.68: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	259
Figura 6.69: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	260
Figura 7.1: Gráfico demonstrando as profundidades das estacas para 25 tf.....	262
Figura 7.2: Gráfico demonstrando valores de custo das estacas para 25 tf.....	263
Figura 7.3: Gráfico demonstrando as profundidades das estacas para 75 tf.....	264
Figura 7.4: Gráfico demonstrando valores de custo das estacas para 75 tf.....	265
Figura 7.5: Gráfico demonstrando valores de custo das estacas para 100 unidades	267

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Classificação das estacas conforme o código Inglês.....	38
Tabela 3.2: Composição química para trilhos de aço carbono - Especificações americanas adotadas no Brasil.....	42
Tabela 3.3: Séries de perfis soldados – NBR 5884/80	45
Tabela 3.4: Nomenclaturas de perfis, norma americana.....	47
Tabela 3.5: Tubos redondos de pequeno diâmetro disponíveis no mercado brasileiro (aço ASTM A500).....	51
Tabela 3.6: Trilhos ferroviários laminados no Brasil, segundo padrões da indústria americana.....	57
Tabela 3.7: Propriedades mecânicas e físicas do aço	57
Tabela 3.8: Composição química e Propriedades Mecânicas dos Aços Fabricados no Brasil..	58
Tabela 3.9: Propriedades Mecânicas dos Aços Estruturais Padrão ABNT	59
Tabela 3.10: Tabela de similaridade entre normas de aços estruturais para a construção civil	60
Tabela 3.11: Porcentagens máximas de elementos adicionais	64
Tabela 3.12: Teor de carbono	64
Tabela 3.13: Propriedades mecânicas de aços-carbono.....	65
Tabela 3.14: Propriedades Mecânicas de Aços de Baixa Liga	66
Tabela 3.15: Características mecânicas dos aços estruturais de acordo com a padronização ABNT para perfis, chapas e tubos.....	67
Tabela 3.16: Valores de F1 e F2 Método “Aoki e Velloso”.....	81
Tabela 3.17: Valores de F1 e F2 Método “Aoki e Velloso”.....	81
Tabela 3.18: Coeficientes k e α Método “Aoki e Velloso”	82
Tabela 3.19: Coeficientes k e α (Laprovitera (1988)).....	83
Tabela 3.20: Coeficientes k e α (Monteiro (1997))	84
Tabela 3.21: Valores “C” Método “Décourt-Quaresma”	85
Tabela 3.22: Valores da resistência lateral do fuste	85
Tabela 3.23: Valores de α e β em função do tipo de estaca e do tipo de solo	87
Tabela 3.24: Correlação de ponta e lateral aos tipos de estacas, α_l e α_p	89
Tabela 3.25: Correlação de ponta e lateral em relação à solicitação de esforços de tração ou compressão.....	89
Tabela 3.26: Parâmetros de atrito lateral e ponta.....	89
Tabela 3.27: valores de α , β	91
Tabela 3.28: Valores de α , β	94
Tabela 3.29: Valores dos coeficientes ao uso ou não de coxins.....	99

Tabela 3.30: Valores de “a” para estacas cravadas.....	100
Tabela 3.31: Valores de “b” para estacas cravadas	101
Tabela 3.32: Tabela de pesos mínimos para pilões de queda livre.....	106
Tabela 4.1: Coeficientes k e α , adaptado de Aoki-Velloso (1975).....	120
Tabela 4.2: Coeficientes de transformação F1 e F2 adaptado de Aoki-Velloso (1975).....	121
Tabela 4.3: Valores dos coeficientes ao uso ou não de coxins (HILEY, 1925)	127
Tabela 4.4: Valores de “a” para estacas cravadas (HILEY, 1925)	128
Tabela 4.5: Valores de b para estacas cravadas (HILEY, 1925)	128
Tabela 5.1: Dados do elemento de fundação e bate estaca.....	135
Tabela 5.2: Dados do elemento de fundação e bate estaca.....	140
Tabela 5.3: Custo das estacas por metro de cravação.....	142
Tabela 5.4: Dados da peça de cravação e do bate estacas	145
Tabela 5.5: Dados do elemento de fundação e do bate estaca.....	150
Tabela 5.6: Custo das estacas por metro de cravação.....	152
Tabela 5.7: Dados da peça de cravação e bate estacas.	155
Tabela 5.8: Dados da peça de cravação e bate estacas.	160
Tabela 5.9: Custo das estacas por metro de cravação.....	162
Tabela 6.1: Dados do elemento de fundação e de cravação, TR 32 para carga de 25 tf no solo tipo arenoso	176
Tabela 6.2: Dados geotécnicos dinâmicos para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso	178
Tabela 6.3: Custo das estacas por metro de cravação para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	180
Tabela 6.4: Dados do elemento de fundação do tipo tubo “168,3 x 19,35”	181
Tabela 6.5: Dados do elemento de fundação e do bate estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	183
Tabela 6.6: Custo das estacas por metro de cravação para o tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso	185
Tabela 6.7: Dados da peça de cravação e do bate estacas.do perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	186
Tabela 6.8: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	188
Tabela 6.9: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.....	190

Tabela 6.10: Dados do elemento de fundação e de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	197
Tabela 6.11: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	199
Tabela 6.12: Custo das estacas por metro de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	201
Tabela 6.13: Dados do elemento de fundação e de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	202
Tabela 6.14: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	204
Tabela 6.15: Custo das estacas por metro de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso	206
Tabela 6.16: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	208
Tabela 6.17: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	210
Tabela 6.18: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso.....	212
Tabela 6.19: Dados do elemento de fundação e de cravação para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	218
Tabela 6.20: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	220
Tabela 6.21: Custo das estacas por metro de cravação para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	222
Tabela 6.22: Dados do elemento de fundação e de cravação para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	223
Tabela 6.23: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso.....	225
Tabela 6.24: Custo das estacas por metro de cravação para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	227
Tabela 6.25: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	228
Tabela 6.26: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	230

Tabela 6.27: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso	232
Tabela 6.28: Dados do elemento de fundação e de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	239
Tabela 6.29: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	241
Tabela 6.30: Custo das estacas por metro de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	243
Tabela 6.31: Dados do elemento de fundação e de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	245
Tabela 6.32: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso.....	247
Tabela 6.33: Custo das estacas por metro de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	249
Tabela 6.34: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	250
Tabela 6.35: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	252
Tabela 6.36: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso	254

Símbolos

F_1 e F_2	Coeficientes de correção Método Aoki-Velloso (1975)
α	Atrito do cone com a tensão de ponta.
α ε β	Parâmetros correlacionados à capacidade de carga dos variados tipos de solo, ver tabela
A_c	A_c = seção do envelope da estaca ou do capacete
A_l	Área lateral da estaca.
A_1	Espessura de camada
α_1	Correlação do atrito de ponta
A_p	Área da seção transversal da estaca
α_p	Correlação do atrito lateral da estaca ao longo do seu comprimento
B	Menor dimensão da fundação (no caso de estacas circulares B é o diâmetro da estaca)
b	Parâmetro obtido da tabela
C	Coeficiente para resistência de ponta em função do tipo de solo
c	Perdas por compressão elástica
c_1	Perda elástica no capacete
c_2	Perda elástica na estaca
c_3	Perda elástica no solo
c_a	Aderência entre a estaca e o solo
CS	Coeficiente de segurança global
C_s	Coesão do solo de apoio
e	Penetração da estaca no solo
E	Módulo de deformação longitudinal ($2,1 \times 10^6$ kg/cm ²)
e_r	Coeficiente de restituição definido na teoria de choque entre corpos sólidos
e_r	Eficiência do sistema de cravação
f_y	Limite de escoamento
f_u	Resistência à ruptura
F_s	Resistência lateral unitária
γ	Peso específico total do solo
g	Aceleração da gravidade
h	Altura de queda do martelo (cm)
I	Comprimento elástico da estaca
K	Coeficiente em função do tipo de solo correlacionado entre o ensaio de CPT e SPT.
L	Comprimento da estaca
L_c	Profundidade entre a superfície do terreno e o nível da ponta da estaca
λ_1	Correlação para sollicitação lateral
λ_p	Correlação para compressão ou tração conforme sollicitação de ponta

M	Peso do martelo
N_c , N_γ e N_q	Fatores de capacidade de carga
N_l	Índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca, obtidos a partir do SPT
NI	Valor médio do NSPT ao longo do fuste da estaca
N_p	Índice de resistência à penetração na cota de apoio da fundação.
N_{pm}	Valor médio do NSPT na ponta da estaca, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior
p	Perímetro da seção transversal do fuste da estaca
P	Peso da estaca
Pc	Perda de energia devido ao choque martelo e estaca
Pe	Perda de energia devido a deformação elástica da estaca
PI	Perda de energia devido a deformação elástica do solo
Q	Carga estática admissível na estaca
Q_d	Capacidade de carga dinâmica da estaca
Q_l	Limite de ruptura por atrito lateral
q_l	Tensão de ruptura unitária por atrito lateral
q_l e q_p	Parâmetros que diferenciam os métodos semi-empíricos
Q_p	Tensão-limite de ruptura de ponta
q_p	Capacidade de carga unitária
Q_{pu}	Resistência de ponta unitária medida no ensaio de SPT
Q_u	Capacidade de carga total
R	Resistência do solo
s	NEGA de cravação
ΣN	Somatório dos valores de N ao longo da estaca.
S_c , S_γ e S_q	Fatores de correção quanto à forma da fundação
Tr	Trabalho resistente
Tu	Trabalho útil
v	Velocidade do martelo em queda livre
W _r	Peso do martelo
α	Característica do capacete
δ	Ângulo de atrito entre a estaca e o solo.
Δ_l	Trecho onde se admite q_l constante.
ρ	Rendimento do martelo
σ	Tensão média de cravação
σ_h	Tensão horizontal média na superfície lateral da estaca na ruptura

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa e importância da pesquisa

O emprego de estacas metálicas em fundações ocorre a muitos anos no Brasil, entre outros aspectos, pela facilidade de cravação das mesmas. Também conhecida como fundação de alto custo, os elementos metálicos cravados vêm provando no mercado da construção civil que sua utilização pode ser viabilizada pelas características dos seus elementos, execução e pela alta capacidade de cravação.

Pelo fato das estacas metálicas possuírem capacidade de penetração maior do que as de concreto tornaram-se elementos fundamentais em algumas situações especiais. A profundidade de cravação é um dos fatores mais importantes em relação à capacidade de carga da estaca, principalmente para aquelas pré-fabricadas.

O “fator vibração”, gerado pela estaca quando cravada, é merecedor de atenção nas construções realizadas com fundações constituídas por elementos pré-fabricados. Quando é necessário cravação com baixa vibração na proximidade de construções já existentes, as estacas metálicas são vantajosas em relação às de concreto pré-fabricadas.

Fundações realizadas com estacas de aço, principalmente nos quesitos transporte, manuseio, emendas e cortes dos elementos, entre outros aspectos, são vantajosas em relação às de concreto, resultando em muitos casos em um menor custo global.

Através de uma análise da bibliografia disponível, constata-se um número reduzido de estudos realizados no Brasil sobre fundações constituídas por elementos metálicos. Nesse sentido, alguns trabalhos de pesquisa, tubos e perfis, foram desenvolvidos relativos ao emprego destes produtos como elementos de fundações. Apesar da conhecida utilização de trilhos ferroviários como elemento de fundações, não se tem conhecimento de estudos mais aprofundados no Brasil envolvendo a utilização deste produto para tal fim. Normalmente, os trilhos são

retirados de linhas férreas desativadas (ou devido à necessidade de manutenções) e reutilizados em fundações sob cravação à percussão.

As fórmulas semi-empíricas disponíveis na literatura para o dimensionamento de fundações foram muito empregadas em estudos de fundações de concreto. Entretanto, também podem ser empregadas para o dimensionamento de fundações constituídas por elementos metálicos.

No presente trabalho, pretende-se promover o dimensionamento de fundações metálicas constituídas por diferentes elementos (para diferentes tipos de solos) através da utilização de fórmulas semi-empíricas desenvolvidas para processos de cálculos estáticos e dinâmicos. Como resultado, pretende-se promover um estudo do custo global associado à execução de fundações com tipos particulares de elementos metálicos e uma análise das tensões máximas dinâmicas permissíveis. Para os dimensionamentos, foi adaptado o programa “Carga admissível por SPT”, de autoria do próprio autor, (que calcula preferencialmente a capacidade de carga de estacas de concreto) para três programas que calculam especificamente a capacidade de carga dos distintos elementos em aço; perfil, tubos e trilhos.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é promover o dimensionamento de fundações constituídas por diferentes elementos metálicos com o auxílio de programas computacionais. Este trabalho abrangerá as fundações metálicas constituídas por perfis, tubos e, ainda, trilhos ferroviários reutilizados. Os programas computacionais (que serão desenvolvidos especificamente para essa aplicação) utilizarão fórmulas semi-empíricas de cálculos geotécnicos estáticos e dinâmicos para determinar a capacidade de carga de estacas profundas e, conseqüentemente, a carga admissível das mesmas. A partir dos dados do dimensionamento para situações controladas (por exemplo, para um mesmo tipo de solo), será promovida uma análise comparativa da eficiência dos diferentes tipos de elementos estruturais considerados. Também será realizada uma estimativa do custo global das fundações avaliadas que permitirá uma análise da viabilidade de utilização das mesmas em situações específicas. Além dos resultados relacionados à capacidade de carga, serão analisadas tensões máximas permissíveis dinâmicas e estáticas. Os resultados dinâmicos serão analisados através do cálculo da NEGA (penetração permanente de uma estaca, causada pela aplicação de um golpe do pilão - NBR 6122/96, item 3,23), evidenciando as condições reais de cravação.

2.2. Objetivo específico

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- . Adaptar o programa computacional “Carga Admissível por SPT”, de autoria do próprio autor, para geração de resultados do dimensionamento e da interação solo/estrutura para diferentes elementos comuns de fundações metálicas (perfis, tubos e trilhos ferroviários).

. Obter e analisar os resultados comparativos da carga admissível gerados por fórmulas estáticas semi-empíricas (*métodos; Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma, Pedro Paulo Costa Velloso, Alberto Henriques Teixeira e Urbano Rodrigues Alonso*) para os diferentes elementos metálicos considerados. Os resultados comparativos serão resultantes da análise em dois tipos de solos, o primeiro predominantemente arenoso e o segundo predominantemente argiloso.

. Obter e analisar os resultados comparativos da capacidade de carga dinâmica das fundações metálicas consideradas (através do método de *HILEY-1925*). Os resultados comparativos serão resultantes da análise em dois tipos de solos, o primeiro predominantemente arenoso e o segundo predominantemente argiloso.

. Avaliar a tensão de cravação obtida em cada simulação e realizar um comparativo em relação aos limites de resistência do material.

. Realizar um estudo comparativo do custo global estimado dos diferentes tipos de fundações metálicas avaliadas e realizar uma análise da viabilidade da utilização das mesmas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A utilização do aço como elemento estrutural de fundação

A Companhia Siderúrgica Nacional, CSN, na época do governo Getúlio Vargas, produziu peças de aço com finalidade de serem utilizados em fundações. Com isso iniciou-se a popularização do uso de estacas metálicas no Brasil. Este se deu na década de 1950 com a fabricação de perfis metálicos para a construção civil. Com a introdução na construção civil de estacas de aço, muitas delas por serem de seção de área com pouca resistência no solo, permitiram cravações acima do esperado e por este e outros motivos as estacas metálicas foram atribuídas às estacas profundas. As estacas de aço trabalham bem à flexão, de bom manuseio, de baixo risco de transporte e muitos outros fatores que contribuíram para que o elemento de aço fosse inserido em fundações da construção civil (AÇOMINAS, 1981).



Figura 3.1: Vista geral de um estaqueamento metálico (AÇOMINAS, 1981)

Além de fatores como os que foram citados acima, muitos outros também contribuíram para a popularização do uso do aço como elemento de fundação na construção civil. As peças de

estacas de fundações são produzidas fora da obra, são elementos de produção em seguimento e normalmente sob controle de qualidade. Estas chegam na obra praticamente prontas para serem cravadas por bate estacas e por este e outros motivos, as estacas metálicas começaram a ganhar seu valor.

As estacas de aço possuem uma diversidade elevada em relação à sua geometria contribuindo para que, juntamente com materiais de alta resistência como o aço, possam resistir a elevadas penetrações por cravação à percussão e conseqüentemente à cargas elevadas.

As estacas de aço também são muito utilizadas em reforços de fundações e isso foi atribuído à sua facilidade de cravação, baixa vibração, baixo peso, fácil manuseio e por possuir diferentes geometrias e tamanhos.



Figura 3.2: Vista geral de uma construção utilizando estaqueamento metálico (AÇOMINAS, 1981)

3.2. Vantagens e desvantagens de Fundações em aço

As fundações foram desenvolvidas pela necessidade em se obter equilíbrio entre as cargas das edificações e a deformação do solo. Para proporcionarem estabilidade estrutural geotécnico entre a estrutura e o comportamento do solo, muito tipos de fundações foram criadas ao longo

dos anos. Estudos geotécnicos são desenvolvidos há muitos anos para que a engenharia proporcione confiabilidade em relação às fundações, inclusive metálicas. As fundações de aço foram desenvolvidas para que em casos específicos, elas possam se tornar essenciais. Mas nem tudo é perfeito e, como em toda fundação, existem vantagens e desvantagens ao se construir com fundações metálicas (SIMONS e MENZIES, 1981).

3.2.1. Elemento de fundação metálica - vantagens

Segundo COSTA (1956), o processo executivo unido à facilidade de cravação das estacas metálicas confere a elas sua principal característica. As fundações pré-fabricadas de aço, ao contrário em relação às de concreto, possuem grande capacidade de penetração em praticamente qualquer tipo de solo. As fundações metálicas em muitos casos levam grandes vantagens em relação às demais e esse fator é muito importante na hora da escolha do tipo de fundação.

Entre muitos, alguns fatores podem ser levados em consideração para o emprego de estacas metálicas:

- 1 Pouca perturbação do terreno (exceto secções tubulares com ponta obturada)
- 2 Baixa vibração entre as estacas pré-fabricadas
- 3 Grande capacidade de cravação em quase todos os tipos de solos
- 4 Grande capacidade de carga
- 5 Podem atingir cota previamente fixada
- 6 Fácil condição de tempo de entrega
- 7 Facilidade em executar emendas e cortes
- 8 Elevada resistência à compressão, tração e flexão
- 9 Possibilita comprimentos variados
- 10 Possibilita que várias estacas possam ser soldadas
- 11 Facilidade de transporte e manuseio
- 12 Controle de qualidade

Segundo COSTA (1956), levando a cravação das estacas a profundidades muito superiores às estritamente necessárias, que é fácil com estacas metálicas, mesmo que, por ocasião de cheias, se venham a verificar escavações, não perigará a estabilidade da obra.

O modo como as estacas metálicas resistem à cravação, mesmo quando esta é difícil, leva a preferir o seu emprego sempre que seja de recear a existência no solo de restos de velhas construções, ou outros obstáculos capazes de danificarem estacas de madeira ou concreto.

Para COSTA (1956), as estacas metálicas apresentam a vantagem de, desde que existam em estaleiro, poderem ser imediatamente cravadas e, logo em seguida, postas em serviço, ao contrário do que acontece em geral com as estacas de concreto.

3.2.2. Elemento de fundação metálica – desvantagens

Como em qualquer outra fundação, as fundações metálicas também conferem desvantagens para o seu uso. Em comparação às demais fundações, as fundações metálicas têm a fama de alto custo, apesar desse assunto já ter sido superado. Como exemplo das desvantagens em relação ao uso de elementos de aço, podemos citar:

- 1 Alguns perfis são susceptíveis à curvatura quando cravados
- 2 Ruído quando cravados por percussão
- 3 Pouca resistência de ponta
- 4 Fama de alto custo
- 5 Problemas relacionados à corrosão

3.3. Utilização de estacas metálicas

Segundo JOPPERT JÚNIOR (2007), as estacas metálicas podem ser cravadas em profundidade dificilmente atingíveis pelas estacas pré-moldadas de concreto, o que acaba por lhes conferir capacidade de carga maior, podendo-se utilizar, na maioria dos casos, a

totalidade de sua capacidade estrutural. Isso se deve às suas características de resistência à percussão sem que ocorra quebra durante a cravação.

Sob o aspecto geotécnico, as estacas metálicas são utilizadas como fundações profundas nos seguintes casos:

- 1 Ocorrência de solo residual (alteração de rocha) onde a profundidade das estacas não é constante, o que gera perdas por sobras e quebras quando se utilizam estacas pré-moldadas;
- 2 Em solos sedimentares quando há necessidade de ultrapassar horizontes de argila dura ou pedregulho;
- 3 Em locais com camadas espessas de solos orgânicos moles e/ou areias fofas onde é possível a diminuição da seção da estaca com profundidade.

Segundo JOPPERT JÚNIOR (2007), a solução de fundações em estacas metálicas não é nova, sendo que até há pouco tempo, por problemas econômicos, se restringia à utilização de trilhos provenientes da substituição de linhas de trem ou tubulações velhas vendidas no mercado como sucata, que apresentam as seguintes desvantagens:

- 1 Baixa carga estrutural que esses elementos por serem materiais reutilizados
- 2 No caso de trilhos usados, é freqüente a necessidade de composição de dois ou três trilhos soldados longitudinalmente para se formar uma estaca com capacidade estrutural maior. Com isso aumenta-se a inércia e a área de aço visando diminuir torções e flambagem durante a cravação, porém com a desvantagem dos custos serem maiores.
- 3 Os trilhos são fornecidos sem garantias dimensionais e de linearidade devido à deteriorização pelo uso anterior, o que leva a necessidade de cortes e emendas de difícil estimativa no que refere à quantidade e custos.

Segundo JOPPERT JÚNIOR (2007), atualmente com a disponibilidade de perfis estruturais laminados no mercado Brasileiro com ampla variedade de bitolas nas formas I e H, tornou-se mais interessante sob o aspecto técnico e econômico o uso de perfis novos aproveitando integralmente a sua capacidade estrutural. Para tanto, devem-se considerar aspectos tais como a resistência do aço utilizado para fabricação, uniformidade e retilinidade das peças e o seu desempenho frente à corrosão. Os perfis laminados fabricados no Brasil seguem as especificações da norma ASTM A6/6M e são produzidos em aço ASTM A 572, grau 50, com tensão de escoamento de $f_y = 3500,00 \text{ kg/cm}^2$ (38% maior em comparação com o aço ASTM A 36). A aplicação dos perfis estruturais laminados em obras de fundações vem crescendo exponencialmente, em função, basicamente, dos seguintes fatores:

- 1 Garantia de aplicação de material com excelente qualidade e com grande resistência estrutural;
- 2 Disponibilidade no mercado de grande número de bitolas e cargas resistentes;
- 3 Maior facilidade de manuseio devido ao menor peso das peças quando comparados com os elementos pré-moldados de concreto;
- 4 Redução das perdas devido à inexistência de quebras e a viabilidade de se emendar sobras;
- 5 Inexistência de vibração quando se implantam os perfis por meio de percussão ou por técnicas modernas tais como a perfuração com equipamentos de hélice contínua. Nesse caso, substituem-se com muita vantagem as gaiolas de armação por uma peça estrutural de aço, tendo como resultado a conseqüente diminuição de mão-de-obra e agilização dos serviços.

Segundo WOLLE e HACHICH (1998), as fundações profundas por estacas cravadas têm como principal variação o tipo de material da estaca e seu processo de fabricação.

Ainda WOLLE e HACHICH (1998), a qualidade de fundações por estacas cravadas depende tanto da qualidade do elemento fornecido quanto do processo de cravação, podendo tanto um

quanto o outro comprometer totalmente o desempenho da fundação em caso de defeito, falha ou inadequação.

3.4. Tipos de Estacas quanto ao processo executivo

Estacas são fundações profundas, executadas por meio de equipamentos e processos apropriados, específicos, cada um deles para suas respectivas estacas. Uma característica fundamental das fundações em estacas são as suas formas executivas. Em alguns casos podemos definir o custo de uma fundação pelo seu método de execução.

Os métodos executivos se diferenciam quanto ao tipo de estaca, pela capacidade de carga, pelo manuseio, local, acesso, tipo de solo e custo. Em muitos casos o método executivo impera sobre o tipo de fundação e faz com que certas fundações sejam tratadas de forma diferente. É o caso quando se pretende realizar uma fundação com o mínimo de vibração possível, mas o local não permite escavações. Este seria um exemplo para o uso de fundações pré-fabricadas, mas a geração de vibrações do bate estaca não seriam aceitos. Outra solução seria o uso de estacas escavadas, mas estas já foram citadas que não poderiam, talvez por estarem próximos à outras fundações e isto poderia desestabilizá-la (COSTA, 1956).

Também é de grande importância que avaliemos fatores como o transporte (distância e acesso) em relação ao método executivo. Em alguns casos muitas fundações passam a ser redefinidas exatamente por não possuírem condições adequadas para transporte e acesso, por ex: alguns equipamentos por serem muito grandes e pesados e, também, devido aos acessos que nem sempre propiciarem condições favoráveis, pode tornar inviável a execução de alguns tipos de fundações (COSTA, 1956).

A capacidade de carga é outro fator importante na escolha do método executivo. O método executivo em certas fundações pode fazer com que a fundação atinja a capacidade de carga pretendida de projeto. Com isso, na maioria dos casos são necessários equipamentos especiais e de grande capacidade. Os equipamentos para execução de fundações são projetados inicialmente em função do elemento de fundação e solo, mas com o tempo estes equipamentos

tomam novas formas e tamanhos para que novas metas possam ser atingidas. A principal característica, entre outras, é a capacidade de carga da fundação, mas não podemos nos esquecer que o tamanho e o valor do equipamento para a execução de fundações de grande capacidade de carga pode tornar a fundação inviável em termos de custos (COSTA, 1956).

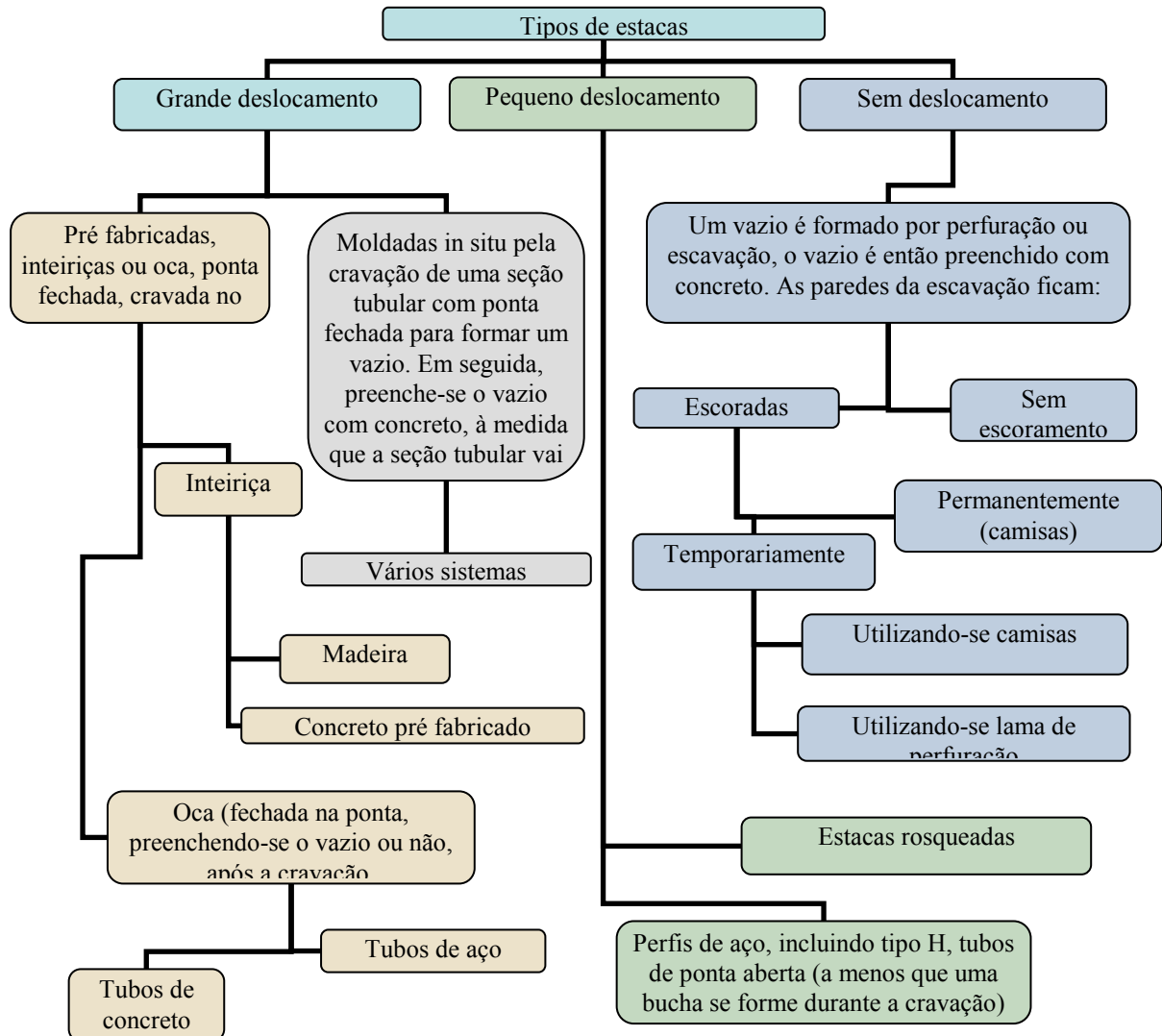
O tipo de solo é um item que devemos dar muita atenção no ato da escolha do tipo de fundação e conseqüentemente o processo executivo. O tipo de solo, com suas características e diferenças, pode em muitos casos ser o fator principal. Alguns equipamentos são produzidos em função dos solos e alguns casos para solos especiais. No caso de solos com presença de matacões, pedras, onde é necessário máquinas com poder de penetração ou perfuração de maior capacidade, determinam o valor ou o alto custo de certas fundações que passam a ter como principal fator de discussão o tipo de solo. Nesse caso percebemos que o processo executivo pode-se limitar ao tipo de solo e a execução da fundação poderá ficar sob as condições do equipamento. É comum depararmos também com situações onde a fundação a ser executada localiza-se numa região em que o equipamento necessário é inexistente. E, para piorar a situação ou completar as más condições de execução da fundação, descobre-se que o acesso ao local é difícil para certos equipamentos de fundações. Com isso, pode ser necessário que os projetos de fundações sejam refeitos e repensados.

Segundo DÉCOURT (1998), para simplificar os tipos de estacas quanto ao processo executivo, podemos citar dois grupos importantes: o grupo de “estacas de deslocamento” e o grupo de “estacas de não deslocamento” ou “escavadas”.

Segundo ALONSO (2004), as fundações podem ser divididas em três grupos: com deslocamento de solo, sem deslocamento de solo e as de deslocamento parcial.

SIMONS e MENZIES (1981) relatam que de acordo com código Inglês da Prática de Fundações, CP 200 4: 1972, as estacas são agrupadas em três grandes classes principais: grandes deslocamentos, pequenos deslocamentos e sem deslocamentos (ver tabela 3.1).

Tabela 3.1: classificação das estacas conforme o código Inglês



Fonte: Code of Practice for foundations - BRITISH STANDART BS 8004:1986 Seção 7.3.2 p.111

3.4.1 Estacas de deslocamento

Segundo DÉCOURT *et al* (1998), O grupo das “estacas de deslocamento” são aquelas que deslocam o solo sem retirá-lo. Estas estacas normalmente são cravadas afastando o solo sob pressão sem a necessidade de realizar escavações. Existem vários métodos executivos para se obter uma cravação com deslocamento de solo. O processo executivo mais comum para “estacas de deslocamento” é o bate estaca que consiste em cravar estacas por percussão. Além

das estacas metálicas cravadas, também encontramos em larga escala as estacas cravadas de concreto pré-fabricadas. Já as de madeira não são tão comuns. Uma das últimas estacas de deslocamento desenvolvidas é a chamada “estaca Omega”, inventada na Bélgica.



Figura 3.3: Perfis metálicos cravados - Metropolitan Home Boutique – Florianópolis. Adaptado do trabalho da estudante Fernanda Orben de Souza.

Existem também estacas cravadas por vibração, apiloadas e as estacas de concreto fundido no terreno através de tubo cravado. Todas do tipo “não deslocamento”. Para o caso de fundações cravadas por vibração, o solo é deslocado com auxílio de equipamentos especiais movimentando o solo por vibração sem a necessidade de retirá-lo. Estes equipamentos são na maioria das vezes utilizados em estacas pranchas.

O aumento da capacidade de carga de “estacas de deslocamento” é obtido normalmente conforme a profundidade de cravação aumenta. As estacas pré-fabricadas são subordinadas a

este processo de cravação e na maioria dos casos dependem do tipo de equipamento e do elemento de fundação para obterem capacidade cargas elevadas.

Durante a cravação das estacas e para se obter capacidade de carga elevada, é necessário vencer grandes profundidades. Para o caso de estacas cravadas a percussão, metálicas e pré-fabricadas de concreto, o elemento de fundação terá que suportar cargas elevadas à percussão. Em algumas estacas o fator carga dinâmica para cravação é muito preocupante, pois o material utilizado nem sempre suporta alta tensão de percussão para cravação. Neste caso as estacas metálicas obtêm de uma vantagem em relação ao elemento de fundação, exatamente por serem constituídos por material de alta resistência.

3.4.2. Estacas de não deslocamento ou escavadas

Segundo DÉCOURT *et al* (1998), estacas de não deslocamento são aquelas que são executadas com a retirada do solo, ao contrário das “estacas de deslocamento”. Normalmente a retirada do solo para a execução deste tipo de estaca se dá por escavação.

As estacas de “não deslocamento” são extremamente utilizadas no Brasil. Normalmente são estacas de concreto e na maioria dos casos moldadas *in loco*. As estacas escavadas possuem algumas vantagens em relação às “estacas de deslocamento”. Um das principais vantagens é o baixo ruído de execução. Temos que lembrar que apesar da baixa vibração, existem também limitações. As estacas de “não deslocamento” são pouco utilizadas em locais com nível d’água presente e em locais de difícil acesso para os equipamentos. Outro problema para este tipo de estaca é o fornecimento e transporte do concreto fresco. Em alguns casos o fornecimento de concreto torna o processo inviável, as vezes pelo volume, outra pela distância entre a usina e a obra ou até mesmo pelo acesso ao local.

Dentre as estacas de “não de deslocamentos”, podemos citar: tipo broca, Strauss, barretes, estacões, hélice contínua, raiz, injetadas etc. Estacas que não farão parte deste trabalho.

As estacas escavadas possuem como a principal característica a retirada de solo através de algum tipo de escavação. Esse tipo de retirada de terra pode em alguns casos ser benéfico e em outros prejudiciais. Fundações escavadas próximas a outras edificações podem trazer problemas de recalques e instabilidade ao terreno. As estacas escavadas, ao contrário das cravadas, possuem a opção de melhor controle da taxa do solo no momento da execução. Algumas fundações escavadas permitem que o profissional em campo possa fazer análises do solo antes da determinação final. As estacas cravadas necessitam de cálculos semi-empíricos para determinações da NEGA para que possa ser determinada a profundidade final de cravação. Para determinar a profundidade das estacas escavadas também é possível pelos métodos semi-empíricos estáticos, mas não pelas fórmulas dinâmicas.

3.5. Fundações metálicas quanto às dimensões da seção e fabricação

As dimensões da geometria da estaca é um dos principais fatores na determinação da capacidade de carga de fundações metálicas. Quanto maior a área da seção maior será a capacidade de carga de ponta e o mesmo para o perímetro em relação ao atrito lateral. Não podemos esquecer que a resistência do elemento de aço para fundação está diretamente relacionada à geometria da seção, dimensões e espessura da chapa. Em casos de tensões elevadas de cargas, tanto as de projeto quanto as dinâmicas de cravação, os elementos de aço deverão estar dimensionados de maneira a resisti-los.

Pelo fato das dimensões da geometria intervir no comportamento da estaca, em relação ao solo/estrutura e por estar diretamente ligado à resistência da peça, obriga o profissional dimensionar a fundação não apenas em relação à deformação do solo e da capacidade de carga, mas sim do conjunto que envolve todo o elemento de fundação.

Os perfis e tubos são constituídos de chapas de aço. Algumas destas peças são soldadas e outras não. Os tubos soldados são chamados de costurados e os perfis de soldados. Mas ambos também são fabricados sem soldas, chamados de laminados.

Os trilhos são formados a quente por laminação, e pelo fato de terem sido fabricados para trabalharem como trilhos de ferrovias, a resistência da peça, na maioria dos casos, são superiores aos demais elementos utilizados em fundações metálicas. Os trilhos nacionais, por exemplo, tem em sua composição teores de carbono em torno de 0,5% a 0,9%, como indicado na tabela 3.2, e isso pode ser uma das respostas para a sua alta resistência.

Tabela 3.2: Composição química para trilhos de aço carbono. Especificações americanas adotadas no Brasil.

Peso do Trilho		Composição Química				
kg/m	lb/jd	C	Mn	Si	P _{máx}	S _{máx}
35 – 40	70 – 80	0,55 – 0,68	0,60 – 0,90	0,10 – 0,25	0,04	0,05
40 – 45	80 – 90	0,64 – 0,77	0,60 – 0,90	0,10 – 0,25	0,04	0,05
45 – 60	90 – 120	0,67 – 0,80	0,70 – 1,00	0,10 – 0,25	0,04	0,05
> 60	> 120	0,69 – 0,82	0,70 – 1,00	0,10 – 0,25	0,04	0,05

Fonte: LEAL, W. S.; FIGUEIREDO, K. M. “**Soldagem Aluminotérmica**”. Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão, Departamento de mecânica e Materiais, São Luiz. 2006.

3.5.1. Perfis de aço utilizados em fundações

Os perfis estruturais para fundações são formados a quente por laminação ou chapas soldadas. As empresas que realizam as laminações de perfis, normalmente se comprometem em desenvolver uma quantidade de peças com geometrias, espessuras e tipos de aços diversos para poder atender a demanda do mercado, principalmente da construção civil (PFEIL *et al*, 2000).

A laminação consiste na redução da área e na modificação da seção transversal através do alongamento do produto recebido do lingotamento. Através desse processo são criados perfis de geometrias e dimensões diversas, entre eles; os tubos, perfis e trilhos (PFEIL *et al*, 2000).



Figura: 3.4: Laminação de perfis metálicos (CONSTANCIO, 2006)

Os perfis soldados são originados de chapas de aço que são cortadas e soldadas umas as outras formando peças em formas de tubos ou em forma de letras (perfis). Estes perfis por não serem produzidos através de laminação e não dependerem de rolos laminadores pode ser fabricado por encomenda em geometrias e tamanhos diferentes.

Algumas chapas de aço são fornecidas sob a forma de bobinas, mas estas não são as mais adequadas para formarem perfis soldados. No momento do uso da solda nas chapas para formarem os perfis, estas por terem sido enroladas em bobinas tenderão à retornar à sua forma anterior e com isso dificulta o uso desses tipos de chapas.

Existem os perfis soldados, laminados e também os que são formados a frio. Prensas especiais são utilizadas para deformar chapas de aço e formar geometrias de novos perfis. Estes perfis normalmente são feitos com aços de composição diferente dos aços de perfis laminados. Estes são mais maleáveis, de menor resistência estrutural em relação aos perfis laminados. Para fundações os perfis laminados e soldados são utilizados com maior frequência.

3.5.1.1. Perfis Soldados utilizados em fundações cravadas

Os perfis soldados são muito utilizados na construção civil em estruturas metálicas, inclusive em fundações, e isso se deve à sua diversidade geométrica por variadas combinações de chapas soldadas. Os perfis soldados são obtidos através da união de chapas de aço fabricados por usinas siderúrgicas e soldados por arco elétrico. Estas chapas são de qualificação estrutural aprovados por normas brasileiras ou estrangeiras para o uso em perfis soldados. As chapas devem possuir resistência característica ao escoamento máxima de 450 MPa e relação entre resistências característica à ruptura e ao escoamento não inferior a 1,18. A NBR 5884 é a Norma brasileira que rege a fabricação de perfis formados com chapas de aço soldados por soldas elétricas (ZATTONI, 2008 (NBR 5884)).

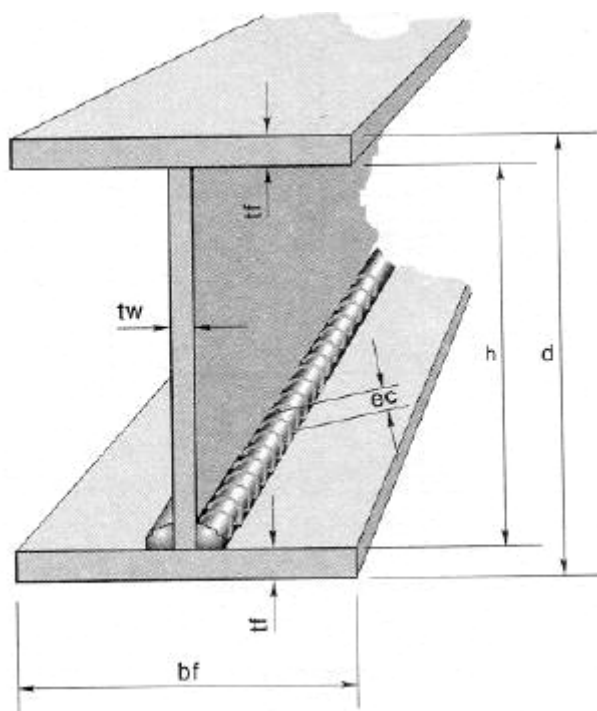


Figura 3.5: Figura ilustrando o perfil soldado. (PALMA, 2007)

Uma das vantagens mais significativas dos perfis soldados em relação aos perfis laminados é exatamente por serem mais versáteis em relação às suas dimensões e geometrias. Já os perfis laminados possuem limitação devido à sua fabricação. As geometrias dos perfis laminados encontradas no mercado são de dimensões já pré-determinadas e na maioria das vezes em pequenas dimensões de seção e isso acarreta problemas na viabilidade para o uso em fundações. Apesar da grande vantagem dos perfis soldados, estes também se limitam em alguns pontos. Os perfis soldados

são mais caros, o custo de fabricação dos perfis soldados é superior em relação aos laminados e isso, de certa forma, contribui para um equilíbrio mesmo que ainda pouco significativo.

A norma brasileira NBR 5884/80 padronizou 3 séries de perfis soldados:

Tabela 3.3: séries de perfis soldados – NBR 5884/80

Perfis CS	(colunas soldadas)
Perfis VS	(vigas soldadas)
Perfis CVS	(colunas e vigas soldadas)

Fonte: PFEIL *et al*, Estruturas de aço, dimensionamento prático, 2000.

As características geométricas dos perfis soldados padronizadas CS, VS e CVS podem ser vistas no anexo 2A.

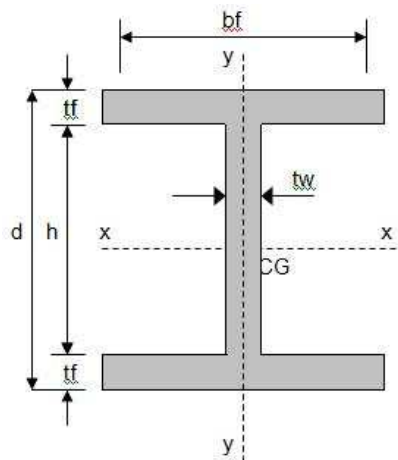


Figura 3.6: Geometria de perfis metálicos soldados do tipo “H”

3.5.1.2. Perfis Laminados utilizados em fundações cravadas

Os perfis laminados são fabricados através de siderurgias que utilizam rolos laminadores para formarem as geometrias das peças. A laminação é a fase subsequente ao lingoteamento (ver figura 3.5.1) onde o aço quente é prensado sob rolos giratórios que comprimem o lingote reduzindo sua seção e aumentando seu comprimento (PFEIL, *et al*, 2000).

A fabricação de perfis através de rolos laminadores permite peças de alta eficiência e diferentes geometrias, entre elas os do tipo H, I, C, L e outros demais.

O dimensionamento estrutural de uma fundação, ligado às características do solo, tem grandes relações com as dimensões geométricas dos perfis utilizados. O Fator capacidade de carga é um dos grandes influentes para que perfis com maiores dimensões sejam exigidos no mercado da construção civil.

Os perfis agrupados entre os H, I e C se diferenciam pelas suas abas e mantêm suas alturas constantes. Durante a fabricação dos perfis laminados é possível que se obtenha as variações nas dimensões das abas aumentando ou diminuindo as distâncias entre os rolos giratórios. Dessa maneira o laminador pode controlar as dimensões da geometria do perfil (PFEIL, *et al*, 2000).

Dentre os vários tipos de perfis laminados, alguns são destinados com maior frequência para fundações da construção civil e um deles é o perfil I de Abas paralelas. Os Perfis I de abas paralelas são laminados com aços produzidos de acordo com a norma brasileira NBR 7007 / MR250 (ASTM A36) e NBR 7007 / AR350 COR.

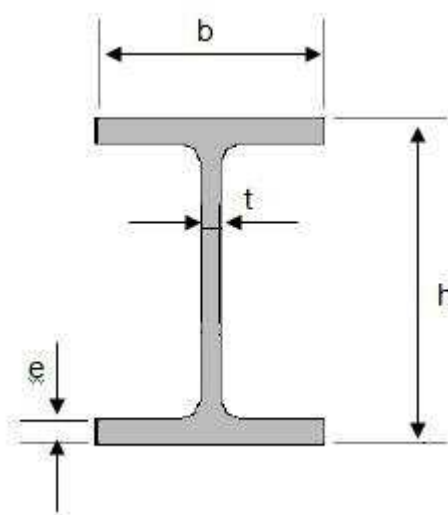


Figura 3.7: Geometria de perfis metálicos laminados do tipo “I”

Outro perfil que tem grande mercado para fundações da construção civil é o do tipo “H” de abas paralelas. Os Perfis H de abas paralelas são laminados com aços produzidos de acordo com a norma brasileira NBR 7007 / MR250 (ASTM A36) e NBR 7007 / AR350 COR.

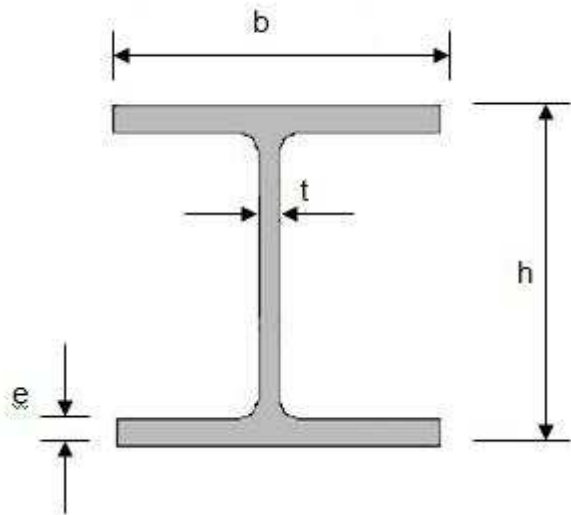


Figura 3.8: Geometria de perfis metálicos laminados do tipo “H”

O perfil laminado pode ser designado pelas suas dimensões externas (altura, ou altura X largura), seguidas da massa do perfil em kg/m. Por exemplo, com dimensões em mm, tem-se 610 x 174 (perfil I de altura igual a 610 mm, massa 174 kg/m).

Na indústria americana são usadas as seguintes nomenclaturas de perfis:

Tabela 3.4: Nomenclaturas de perfis, norma americana.

perfil aba larga	W (wide flange)
perfil I	S (standard beam)
perfil U	C (channel)

Fonte: PFEIL, W., PFEIL, M. Estruturas de aço, dimensionamento prático, 2000.

As características geométricas dos perfis laminados padronizadas tipo I e H podem ser vistas nos anexos 2B e 2C.

3.5.2. Tubos de aço utilizados em fundações cravadas

Os tubos de aço, dentre as várias aplicações, são fabricados e utilizados como forma de fundações há muitos anos. Os tubos de aço para fundações são encontrados no mercado como novos ou usados. Os tubos usados são retirados de gasodutos, oleodutos, entre outros, e reaproveitados em fundações (CHIAVERINI, 1996).

A Empresa Figueiredo Ferraz, realizou o grande feito com na construção da ponte sobre o Rio Orinoco na Venezuela. A ponte foi um grande avanço na tecnologia da América do Sul, considerada como a maior obra viária até então. A construção teve como meta, início em 2001 e término em 2006. O grande feito contou com 384 estacas de tubos de aço com 2,0 a 2,5 metros de diâmetro, cravadas por vibração e martelos hidráulicos (ver figura 3.9).



Figura 3.9: Fundação em tubos metálicos para sustentação da ponte sobre o rio Orinoco - Bolívar - Venezuela (Construído pela Construtora Figueiredo Ferraz – Consultoria e Engenharia de projeto LTDA).

Segundo CHIAVERINI (1996), os tubos de aço podem ser classificados quanto ao seu processo de fabricação, divididos entre laminados e soldados. Os tubos soldados são também chamados de “com costura”, norma NBR 8161 (ASTM A500), e os laminados de “sem costura”, norma NBR 8261 (ASTM A500). Os tubos “sem costura” são produzidos por extrusão, perfuração ou mandrilagem. A laminação por mandrilagem se dá a quente. Um bloco de aço maciço redondo é perfurado por um mandril e assim obtêm-se as dimensões de seção circular formando o tubo sem costura ou sem solda.

Os tubos sem costura são produzidos por extrusão, perfuração ou mandrilagem, a partir de tarugos de aço, podendo atingir diâmetros de até 660 mm.

Tiras de aço laminados a quente é a matéria-prima dos tubos com costura. A largura da tira corresponde ao diâmetro do tubo, que apresenta grandes variações, podendo chegar a 762 mm. Para formar o tubo, são utilizadas várias formas de soldagem, a mais freqüente é o processo E.R.W. (Solda por Resistência Elétrica) com alta freqüência.

Os tubos produzidos com aço laminado a frio devem ser submetidos a cuidados especiais, já que este tipo de matéria prima é altamente susceptível a oxidação. Os tubos devem ser armazenados e transportados sempre evitando a umidade, pois tendem a amarelar, comprometendo sua aplicação.

Aqueles que utilizam laminados a quente correm menos risco com relação à oxidação. Os tubos podem ser armazenados e transportados em condições normais, até mesmo a céu aberto, sem que sua qualidade seja prejudicada. Obviamente, o tempo de exposição não deve ser prolongado.

Para aplicações mais comuns, utiliza-se o aço com baixo teor de carbono (0,10% a 0,25%), com resistência à tração variando de 35 a 50 kgf/mm². Os valores mais elevados de resistência mecânica são obtidos no estado encruado pelo estiramento. A resistência à tração, nos tubos provenientes do mesmo lingote, é maior nos tubos de menor diâmetro, devido à conformação mecânica mais intensa a que são submetidos (CHIAVERINI, 1996). Normalmente, os tubos são estirados a frio, com os seguintes objetivos:

- a) Produzir paredes mais finas;
- b) Produzir diâmetros muito pequenos;
- c) Melhorar o acabamento superficial;
- d) Obter tolerâncias dimensionais mais rigorosas;
- e) Melhorar certas propriedades mecânicas, como resistência à tração;
- f) Produzir formas diferentes da circular.

Os aços estruturais empregados na fabricação dos tubos sem costuras de seção transversal circular e os tubos sem costura de seção transversal quadrada e retangular atendem a diversas normas nacionais e internacionais, ver figura 3.10. De uma forma geral estes podem ser especificados em conformidade com as seguintes normas ISO (International Standards Organisation) (ver tabela 3.5):

- a) ISO 630 Structural Steels
- b) ISO 4951 High Yield Strength Steel Bars and Sections
- c) ISO 4952 Structural Steel With Improved Corrosion Resistance.

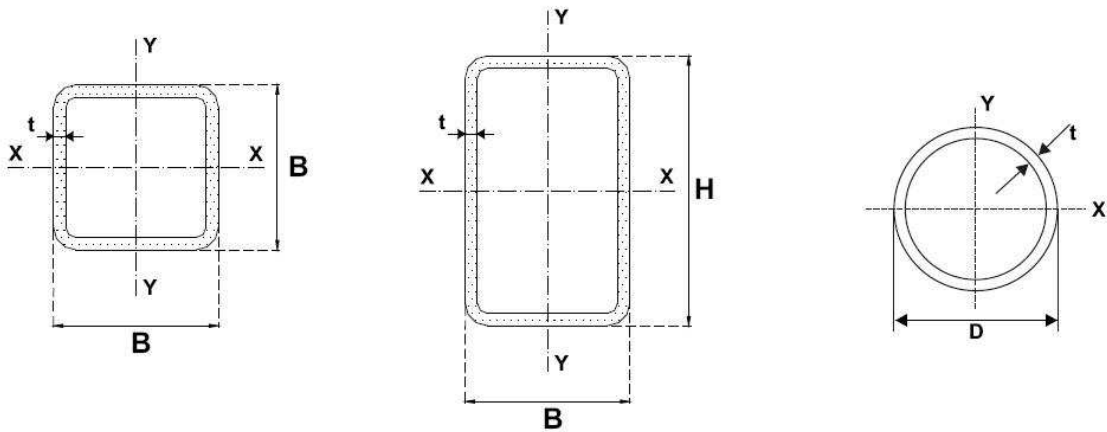


Figura 3.10: Geometria de perfis metálicos

Tabela 3.5: Tubos redondos de pequeno diâmetro disponíveis no mercado brasileiro (aço ASTM A500).

	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência a Tração (MPa)	Alongamento		Normas ASTM
			Lo (mm)	(%) Mínima	
Aços Estruturais					
VMB 250	≥ 250	≥ 400	50	23	A 36, A 501
VMB 300	≥ 300	≥ 415	50	21	A 501, A 570 Gr40, A572 Gr42
VMB 350	≥ 350	≥ 485	50	20	A 572, Gr50
Aços Patináveis					
VMB 250cor	≥ 250	≥ 400	50	23	A709, Gr30W
VMB 300cor	≥ 300	≥ 415	50	21	A709, Gr30W
VMB 350cor	≥ 350	≥ 485	50	20	A 588, A 242

As características geométricas dos tubos estruturais podem ser conferidas no anexo 1.

3.5.3. Trilhos ferroviários utilizados em fundações cravadas

Os trilhos ferroviários são produtos laminados formados por uma base (A), uma alma vertical (D) e um boleto (C) sobre o qual as rodas da locomotiva se apóiam.

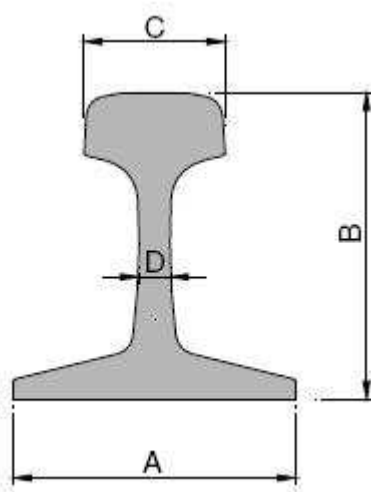


Figura 3.11: Trilho tipo Nacional

Os trilhos de aço-carbono para ferrovias são fabricados pela CSN e obedecem aos requisitos da norma ABNT EB-119 (1978). São classificados conforme a norma ABNT CB-23 (1978) e marcados e identificados segundo a norma ABNT PB-12 (1978) com as modificações constantes do catálogo da CSN.

Uma via férrea contínua normalmente é feita com segmentos de trilhos de 8 a 24 metros e soldados em estaleiros através do processo de centelhamento elétrico para se formar barras longas de 180 a 300 metros de comprimento. Estas barras após posicionadas nas vias são soldadas através de aluminotermia.

Os trilhos ferroviários existentes no Brasil são de fabricação nacional ou importados de vários países como Polônia, Canadá, Japão e muitos outros.

Segundo CHIAVERINI (1996), os trilhos nacionais fabricados pela CSN possuem limite de escoamento característico de 645 MPa (ver figura 3.12).

Fabricante	Tipo	Propriedades mecânicas						
		Limite convencional 0,2%		Limite de resist. à tração		Alongamento, %	Estrição %	Dureza Brinell
		MPa	kgf/mm ²	MPa	kgf/mm ²			
Padrão AREA		510	51,7	920	93,4	11	18	255
C.F. & I.	Alto silício	520	52,8	980	99,5	11	14	285
	Cr-Mo	807	81,9	1228	124,7	9	17	352
Algoma	Cr	650	66,0	1100	111,6	9	17	320
British Steel	Cr	690	70,1	1130	114,7	11	17	325
Krupp	Cr-Si	675	68,5	1140	115,7	12	20	315
Thyssen	Cr-Si-V	680	69,0	1130	114,7	12	20	320
Klockner	Cr-Mo-V	705	71,6	1145	116,3	12	20	325
Sydney	Mn-Cr-V	705	71,6	1035	105,1	12	18	325
	Cr-Si-Nb	705	71,6	1040	105,6	10	16	340
Aço brasileiro (CSN)	Si-Nb	645	65,4	1070	108,6	10	15	320
Bethlehem	Totalmente temperado	870	88,3	1220	123,8	13	30	365
US Steel	Boleto temperado	910	93,4	1260	128,0	12	33	380
Rússia	Totalmente temperado	820	83,2	1250	126,9	14	40	380
Nippon Steel	Boleto temperado	857	87,0	1231	124,9	12	34	370
Nippon Kokan	Boleto temperado	817	82,9	1192	121,0	14	37	365

As propriedades de resistência à tração e de dureza foram determinadas a 10 mm e 5 mm respectivamente dos cantos do topo dos boletos dos trilhos

Figura 3.12: Propriedades mecânicas de trilhos de aço comum e de alta resistência. Adaptado de CHIAVERINI (1996)

Segundo MACEDO *et al* (2001), os trilhos ferroviários são elementos de aço muito suscetíveis à falhas por diversos fatores, como: alta pressão de contato das rodas em regime de carregamento cíclico e existência de tensões residuais, causadas pela deformação plástica superficial, pelo processo de soldagem, pela variação térmica na linha e pela tensão de projeto (tensão necessária para manter os trilhos alinhados).

Em sua estrutura interna, os segmentos de trilho podem possuir diversas discontinuidades, tais como inclusões não metálicas, que aliados às condições severas de trabalho podem nuclear defeitos que levam o material ao colapso estrutural. Por outro lado, parâmetros metalúrgicos como tamanho de grão e tipo de microestrutura presente, apresentam-se como fatores determinantes da tenacidade à fratura do material e das propriedades mecânicas. (MACEDO, *et al* 2001, p.519).

Para que as linhas férreas possam manter-se em funcionamento, trilhos ferroviários são regularmente substituídos das linhas ferroviárias após constatação de desgaste e sem condições de uso. Estes são substituídos por trilhos novos para que possam proporcionar segurança à ferrovia. Testes e estudos são feitos a respeito do uso de trilhos para serem compreendidos os desgastes em relação à via e seu uso. Para isso, são realizados em corpos de prova; ensaios de dureza, tração, tenacidade à fratura, fadiga, composição química e ensaios metalográficos.

Apesar das diversas sinalizações de desgastes, que podem ser acompanhadas acima, os trilhos mesmo sem condições de uso para via férrea são materiais reutilizados em fundações cravadas. Descartes de trilhos por ferrovias contribuíram para que a engenharia de fundações no Brasil pudesse atribuir à sua diversificação um novo elemento que vêm a cada ano contribuindo significativamente para inúmeras construções com materiais reutilizados. Os trilhos descartados são selecionados sob critérios simplistas de boa conservação e nunca terem redução de peso superior a 20% do seu valor teórico.

Os trilhos retilíneos que possuem curvatura ≥ 400 metros em qualquer ponto do eixo ou que apresentem o máximo de 0,3% de flecha do comprimento total podem ser utilizadas como fundações (NBR 6122/96 item 7.8.2.1.2).

Para formar estacas metálicas através do uso de trilhos, os seguimentos de trilhos são emendados de topo através de processos de soldas. Além das soldas de topo, talas de aço são fixadas e soldadas lateralmente para que os seguimentos possam obter maior aderência e alinhamento. Dentre muitos tipos de soldas, os realizados com eletrodos dos tipos OK46 e OK48 são comuns.

Normalmente, utiliza-se de trilhos soldados uns aos outros lateralmente formando elementos robustos de estacas com maior seção para suportarem cargas maiores, ver figura 3.13.



Figura 3.13: Trilhos soldados lateralmente. (CONSTANCIO, 2006)

A finalidade do agrupamento de trilhos numa só peça é atribuir ao elemento de fundação maior rigidez, capacidade estrutural da peça e geotécnica. As peças soldadas umas às outras lateralmente conseguem maior capacidade de carga e com isso juntamente com outras peças como esta, formam fundações de capacidade de cargas elevadas. Um exemplo de agrupamento de estacas para formarem elementos de maior seção pode ser vistas na figura 3.14.

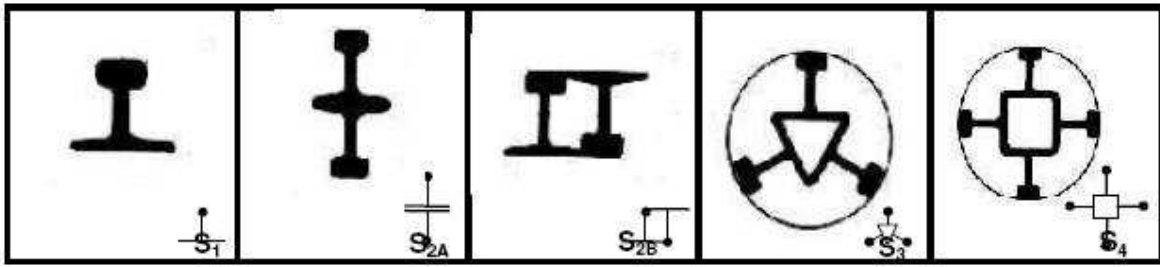


Figura 3.14: Os principais arranjos com os respectivos símbolos no canto inferior direito

Para aumentar a capacidade de carga da fundação, além das estacas soldadas umas às outras lateralmente, é comum o uso de várias peças de fundações para uma mesma fundação. Estes grupos são ligados pelo bloco de coroamento que tem como função distribuir as cargas, por ex, do pilar.

Para o cálculo da capacidade de carga de fundações utilizando trilhos ferroviários, devem ser levadas em conta algumas considerações. Uma delas é a área da seção da peça e outra é o perímetro da seção. Para definição destes parâmetros em trilhos ferroviários consideremos um polígono circunscrito à seção para definirmos a área e seu perímetro. Na figura 3.15, observa-se exemplos de trilhos do tipo TR25 e TR32 agrupados ou não e com suas consideradas áreas de seção.

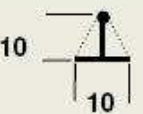
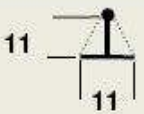
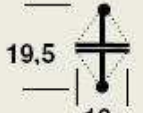
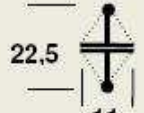
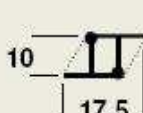
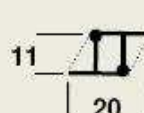

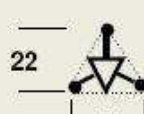
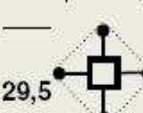
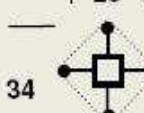
Dados de geometria cm	TR 25		Dados de geometria cm	TR 32	
	S_p cm ²	P_b cm		S_p cm ²	P_b cm
10 	75	35	11 	97	40,5
19,5 	150	51	22,5 	194	58,5
10 	150	50,5	11 	194	58
19 	340	74	22 	444	84,5
29,5 	584	90	34 	749	103

Figura 3.15: Exemplos contendo os trilhos do tipo TR25 e TR32 mostrando delimitações características de ponta e perímetro para cálculo do dimensionamento geotécnico (CARNAÚBA, 2008).

Os tipos descartados mais comuns são os TR25, TR32, TR57 e TR68, cujos índices indicam o peso por metro, 25, 32, 57 e 68 kg/m, respectivamente. Na tabela 3.6 estão dispostos as dimensões e características de trilhos nacionais e trilhos da norma Americana e que possuem similaridade em suas características.

Tabela 3.6: Trilhos ferroviários laminados no Brasil, segundo padrões da indústria americana.

Tipo			Dimensões				Massa por metro	Área A							
Nacional (C.S.N.)	Americano		A	B	C	D			I_x	Y_{sup}	W_{XSup}	Y_{inf}	W_{yinf}	i_x	I_y
			mm	mm	mm	mm									
TR-25	A.S.C.E.	5040	98,4	98,4	54,0	11,1	25	31,5	413	5,07	81,5	4,77	86,6	3,62	110
TR-32	A.S.C.E.	6540	112,7	112,7	61,1	12,7	32	40,8	702	5,84	120,2	5,43	129,3	4,15	204
TR-37	A.S.C.E.	7540	122,2	122,2	62,7	13,5	37	47,3	951	6,38	149,1	5,84	162,8	4,48	269
TR-45	A.R.E.A.	90RA-A	142,9	130,2	65,1	14,3	45	56,9	1605	7,84	204,7	6,45	248,8	5,31	368
TR-50	A.R.E.A.	100RE	152,4	136,5	68,2	14,3	50	64,2	2037	8,26	246,6	6,98	291,8	5,63	456
TR-57	A.R.E.A.	115RE	168,3	139,7	69,0	15,9	57	72,5	2735	9,26	295,4	7,57	361,3	6,14	511
TR-68	A.R.E.A.	136RE	185,7	152,4	74,6	17,5	68	86,1	3950	10,08	391,7	8,52	463,8	6,77	

Fonte: PFEIL *et al*, Estruturas de aço, dimensionamento prático, 2000.

3.6. Propriedades do aço

3.6.1. Constantes Físicas do Aço

As seguintes características físicas são comuns a todos os tipos de aço estrutural na faixa normal de temperaturas atmosféricas (ver tabela 3.7).

Tabela 3.7: Propriedades mecânicas e físicas do aço

Constante física	Valor
Módulo de elasticidade, E	205 000 MPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,3
Peso específico, γ_a	77 kN/m ³

Fonte: PFEIL *et al*, Estruturas de aço, dimensionamento prático, 2000

3.6.2. Normalização

3.6.2.1. A NBR 7007 da ABNT

A NBR 7007 tem por objetivo estabelecer requisitos mínimos para os aços carbono e os chamados aços microligados, laminados a quente para aplicação em perfis para uso estrutural.

Os aços abrangidos por essa norma são classificados segundo suas propriedades mecânicas, nos seguintes graus: o aço carbono NBR 7007 grau MR 250 e os aços microligados NBR 7007 grau AR 350, NBR 7007 grau AR 415 e NBR 7007 grau AR 350 COR.

3.6.2.2. Normas de produtos importados

Os perfis metálicos importados pelo Brasil são produzidos de aço carbono (aço microligado) conforme a norma americana ASTM A572 /50 semelhante a norma brasileira NBR 7007 / AR 350, com baixo teor de carbono permitindo uma ótima soldabilidade. Estruturalmente apresentam uma relação inércia/peso de muito bom desempenho, e que permite encontrar uma solução bem econômica ao projeto. São encontrados em comprimentos de 12 metros. A composição química é assegurada por padrões internacionais com certificado de qualidade fornecido para cada peça, ver tabela 3.8 e 3.9.

Tabela 3.8: Composição química e Propriedades Mecânicas dos Aços Fabricados no Brasil

Nomenclatura	Composição química (%)							Limite de escoamento (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Alongamento (%em200m)
	C _{máx}	Si _{máx}	Mn _{máx}	P _{máx}	S _{máx}	CU _{min}	Outros			
ASTM A36	0,26	0,15-0,30	0,80-1,20	0,04	0,05			250	400 (min)	18
ASTM A242 Gr.1	0,15	-	1,00	0,15	0,05	0,20		345	485	18
ASTM A242 Gr.2	0,20	-	1,35	0,04	0,05	0,20		345	485	18
ASTM A572 Gr.50	0,23	0,30	1,35	0,04	0,05	-	Nb0,005-0,05	345	450	18
USI - SAC - 250	0,18	0,35	1,30	0,ü30	0,035	0,25-0,50	Cr 0,40-0,65	245	402 a 510	19
USI - SAC - 350	0,18	0,15-0,55	1,40	0,030	0,ü30	0,25-0,50	Cr 0,40-0,65	303-373	490 a 608	16 (min)
USI - SAC - 450	0,19	0,15-0,65	1,40	0,035	0,035	0,25-0,50	Cr 0,40-0,65	451	569 a 716	19 (min)

Fonte: PFEIL *et al*, Estruturas de aço, dimensionamento prático, 2000.

Tabela 3.9: Propriedades Mecânicas dos Aços Estruturais Padrão ABNT

	<i>Descrição</i>	<i>Classe / grau</i>		f_y (MPa)	f_u (MPa)
1 -	Aços para perfis laminados para uso estrutural NBR 7007	MR250 AR290 AR345 AR-COR-345 A ou B		250 290 345 345	400 415 450 485
2 -	Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural NBR6648	CG-24 CG-26		235 255	380 410
3 -	Chapas finas de aço-carbono para uso estrutural (a friola quente) NBR 6649INBR 6650	CF-24 CF-26		240 260	370 400
4 -	Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica NBR5000	G-30 G-35		300 345	415 450
5 -	Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica NBR5004	<i>F-32/Q-32</i> <i>F-35/Q-35</i>		310 340	410 450
6-	Chapas grossas de aço de baixa e alta resistências mecânicas, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais NBR5008	1,2 e 2A	espessuras $t \leq 19$ mm $19 < t \leq 40$ mm $40 < t \leq 100$ mm	345 315 290	480 460 435
7 -	Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais (a friola quente) NBR 5920INBR 5921	laminadas a friol/ bobinas a quente		310	450
		laminadas a quente (não fomecidas em bobinas)		340	480
8 -	Perfil tubular de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular, quadrada ou retangular, para usos estruturais	B - seção circular B - seção retangular C - seção circular C - seção retangular		290 317 317 345	400 400 427 427

Fonte: PFEIL *et al*, Estruturas de aço, dimensionamento prático, 2000.

3.6.2.3. Similaridade entre normas de aços estruturais

A tabela 3.10 mostra similaridades entre as normas de diferentes regiões para aços de diferentes fabricantes.

Tabela 3.10: Tabela de similaridade entre normas de aços estruturais para a construção civil

MARCAS COMERCIAIS						NORMAS				
V&M do Brasil SA	GERDAU AÇOMINAS	COSIPA	USIMINAS	CSN	CST	ASTM	EN	JIS	NBR	MERCOSUL
VMB 250						ASTM A36	EN-10025-S235J0 EN-10025-S275JR	JIS-G3101-SS400	NBR 6650-CF26 NBR 6648-CG26 NBR 7007 MR250	NM02-131-ED24
VMB 300		COSCIVIL 300	USI-CIVIL 300			ASTM A 572 GR 42				
VMB 350		COSCIVIL 350	USI-CIVIL 350			ASTM A 572 GR 50	EN-10025-S355J0 EN-10025-S355JR	JIS-G3101-SS490	NBR 5000-G35 NBR 5004-Q40 NBR 7007 AR350	NM02-102-MCF345 NM02-101-MCG-360
						ASTM A 572 GR 60			NBR 7007 AR415	
VMB 250 COR		COS AR COR 400			CST COR	ASTM A 709 GR36	EN-10155-S235J0	JIS-G3114-SMA400	NBR 5921 CFR400 NBR 5008 CGR400	NM02-103-GR 400
VMB 300 COR		COS AR COR 400E	USI-SAC 300 (Antigo USI-SAC 41E ou USI-SAC 41MG)	CSN COR 420		ASTM A 709 GR50			NBR 5921 CFR400 NBR 5008 CGR400	NM02-103-GR 400
VMB 350 COR	GERDAU COR AÇO COR 500	COS AR COR 500 COS AR COR 350	USI-SAC 350 (Antigo USI-SAC 50)	CSN COR 480 CSN COR 500		ASTM A588 (CG) ASTM A606-2 (LQ)	EN-10155-S355J0W	JIS-G3114-SMA490	NBR 5921CFR 500 NBR 5008 CGR 500 NBR 5920 CFR 500 NBR 7007 AR350 COR	NM02-103-GR 500
						ASTM A 709 GR70		JIS-G3114-SMA570		

*As similaridades das normas não implicam em igualdade das mesmas.

3.6.3. Ductibilidade dos aços de limite mínimo de escoamento de 250 MPa e 350 MPa, comuns em fundações metálicas.

Denomina-se ductibilidade a capacidade de o material se deformar sob a ação das cargas. Os aços dúcteis, quando sujeitos a tensões locais elevadas, sofrem deformações plásticas capazes de redistribuir as tensões. Esse comportamento plástico permite, por exemplo, que se considere numa ligação parafusada distribuição uniforme da carga entre os parafusos. Além desse efeito local, a ductibilidade tem importância porque conduz a mecanismos de ruptura acompanhados de grandes deformações que fornecem avisos da atuação de cargas elevadas.

A ductibilidade pode ser medida pela deformação unitária residual após ruptura do material.

As especificações de ensaios de materiais metálicos estabelecem valores mínimos de alongação unitária na ruptura para as diversas categorias de aços.

Quando uma barra é tracionada, sua seção transversal diminui. Desta forma, a tensão real em cada estágio de carga é obtida dividindo-se a força pela área medida no estágio. Para simplificar o trabalho, define-se uma tensão convencional como sendo o resultado da divisão da força pela área inicial (sem carga) A_0 .

Ultrapassando o regime elástico, o material apresenta uma propriedade, chamada *escoamento* ou *cedência*, caracterizada pelo aumento de deformação com tensão constante. A tensão que produz o escoamento chama-se limite de escoamento (σ_e) do material. Os aços-carbono usuais tem limite de escoamento 250 MPa (ASTM A36, MR250). Os aços de baixa liga usuais têm limite de escoamento próximo a 350 MPa.

Para deformações unitárias superiores ao patamar de escoamento, o material apresenta acréscimo de tensões (encruamento), porém tal acréscimo não é, em geral, utilizado nos cálculos, pois corresponde a deformações exageradas.

O escoamento produz em geral uma deformação visível da peça metálica. Por esse motivo, a teoria elástica de dimensionamento utiliza o limite de escoamento (f_y) como tensão limite, da qual se obtém a tensão admissível com um coeficiente de segurança adequado.

As teorias plásticas calculam o estado limite dentro da faixa do escoamento real. O encruamento não é em geral considerado diretamente nas teorias de dimensionamento do aço.

Existem aços que não apresentam patamar de escoamento bem definido, como, por exemplo, os aços A325 e A490. Nestes casos, estabelece-se um limite arbitrário de deformação, chamado *limite* de escoamento convencional, utilizado nos cálculos da mesma forma que o limite de escoamento real dos aços com patamar de escoamento.

Através da figura 3.16 observam-se os diagramas convencionais tensão-deformação dos aços de construção mais usuais.

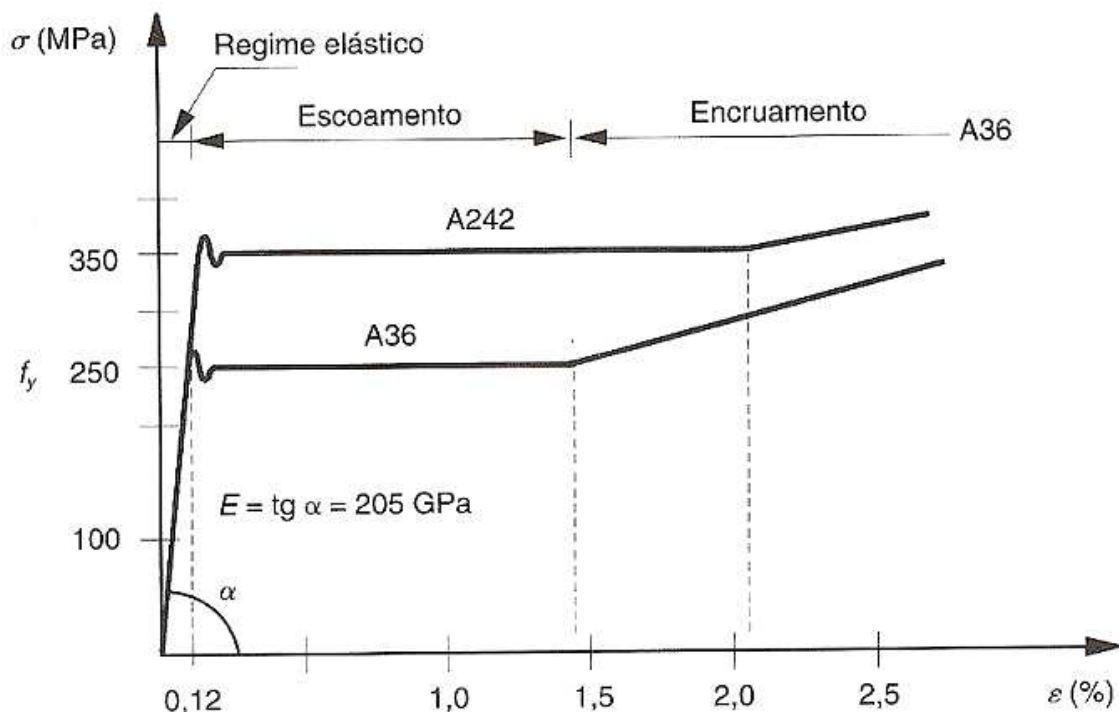


Figura 3.16: Diagrama Tensão x Deformação dos aços A36 e A242 (PFEIL, *et al*, 2000)

3.6.4. Fadiga em elementos de trilhos ferroviários

A resistência à ruptura dos materiais é, em geral, medida em ensaios estáticos. Quando as peças metálicas trabalham sob efeito de esforços repetidos em grande número, pode haver ruptura em tensões inferiores às obtidas em ensaios estáticos. Esse efeito denomina-se *fadiga* do material.

A resistência à fadiga é geralmente determinante no dimensionamento de peças sob ação de efeitos dinâmicos importantes, tais como peças de máquinas, de pontes etc.

A resistência à fadiga das peças é fortemente diminuída nos pontos de concentração de tensões, provocadas, por exemplo, por variações bruscas na forma da seção, endentações devidas à corrosão etc.

As uniões por solda provocam modificação na estrutura cristalina do aço junto à solda, bem como concentrações de tensões, com a conseqüente redução da resistência à fadiga nesses pontos.

A ocorrência de fadiga é caracterizada pelo aparecimento de fraturas que se propagam com a repetição do carregamento. Em geral, estas fraturas se iniciam nos pontos de concentração de tensões já mencionados.

As normas americanas e brasileiras verificam a resistência à fadiga pela flutuação de tensões elásticas ($-\sigma$) provocadas pelas cargas variáveis.

Os segmentos de trilho são os componentes ferroviários mais suscetíveis à falha devido a vários fatores, entre eles: alta pressão de contato das rodas em regime de carregamento cíclico e existência de tensões residuais, causadas pela deformação plástica superficial.

Em sua estrutura interna, os segmentos de trilho podem possuir diversas discontinuidades, tais como inclusões não metálicas, que aliados às condições severas de trabalho podem nuclear defeitos que levam o material ao colapso estrutural. Por outro lado, parâmetros

metalúrgicos como tamanho de grão e tipo de microestrutura presente, apresentam-se como fatores determinantes da tenacidade à fratura do material e das propriedades mecânicas. Sendo assim, avaliações metalúrgicas e mecânicas em trilhos usados em vias, é necessário para o acampamento do seu desgaste, porém, o mesmo não é de exigência para o uso como fundações cravadas (MACEDO, *et al* 2001).

3.7. Tipo de aços estruturais

3.7.1. Classificação

Segundo a composição química, os aços utilizados em estruturas são divididos em dois grupos: aços-carbono e aços de baixa liga. Os dois tipos podem receber tratamentos térmicos que modificam suas propriedades mecânicas.

3.7.1.1. Aço-carbono

Os aços-carbono são os tipos mais usados, nos quais o aumento de resistência em relação ao ferro puro é produzido pelo carbono e, em menor escala, pelo manganês. Eles contêm as seguintes porcentagens máximas de elementos adicionais.

Tabela 3.11: Porcentagens máximas de elementos adicionais

carbono	1,7%	manganês	1,65%
silício	0,60%	cobre	0,60%

Fonte: Estruturas de aço: dimensionamento prático, PFEIL, et al, (2000)

Em função do teor de carbono, distinguem-se quatro categorias:

Tabela 3.12: Teor de carbono

baixo carbono	$C < 0,15\%$
moderado	$0,15\% < C < 0,29\%$
médio carbono	$0,30\% < C < 0,59\%$
alto carbono	$0,6\% < C < 1,7\%$

Fonte: Estruturas de aço: dimensionamento prático, PFEIL, et al, (2000)

O aumento de teor de carbono eleva a resistência do aço, porém diminui a sua ductilidade (capacidade de se deformar).

Em estruturas usuais de aço, utilizam-se de preferência aços com teor de carbono baixo até moderado, que podem ser soldados sem precauções especiais.

Os principais tipos de aço-carbono usados em estruturas, segundo os padrões do ASTM ("American Society for Testing and Materials") e da norma alemã DIN são os apresentados na tabela 3.12.

Na tabela 3.13 são apresentados dados do aço tipo A36 que substituiu o aço A7, que foi o aço mais utilizado nos Estados Unidos até 1960.

Tabela 3.13: Propriedades mecânicas de aços-carbono

<i>Especificação</i>	<i>Teor de carbono %</i>	<i>Limite de escoamento f_y (MPa)</i>	<i>Resistência à ruptura f_u (MPa)</i>
ASTM A7		240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250 (36 ksi)	400-500
DIN St37 (norma alemã)	0,17-0,20	240	370-450

Fonte: Estruturas de aço: dimensionamento prático, PFEIL, et al, (2000)

3.7.1.2. Aço de baixa liga

Os aços de baixa liga são aços-carbono acrescidos de elementos de liga (cromo, colúmbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), os quais melhoram algumas das propriedades mecânicas.

Os elementos de liga produzem aumento de resistência do aço através da modificação da microestrutura para grãos finos. Graças a este fato, pode-se obter resistência elevada com teor de carbono de ordem de 0,20%, o que permite a soldagem dos aços sem preocupações especiais.

Na Tabela 3.14, alguns tipos de aços de baixa liga usados em estruturas foram reunidos e apresentados.

Tabela 3.14: Propriedades Mecânicas de Aços de Baixa Liga

<i>Especificação</i>	Principais elementos de liga	Limite de escoamento <i>f_y</i> (MPa)	Resistência à ruptura <i>f_u</i> (MPa)
ASTMA242	C < 0,22% Mn <1,25%	290-350	435-480
DIN St52	C < 0,20% Mn <1,5%	360	520-620
USI-SAC-350	C < 0,18% Mn <1,4%	303-373	490-608

Fonte: Estruturas de aço: dimensionamento prático, PFEIL, et al, (2000)

A Usiminas fabrica aços da série USI-SAC, que são aços de baixa liga, de altas e médias resistências mecânicas, soldáveis e com características de elevada resistência atmosférica (obtida pela adição de 0,25% a 0,40% de cobre). A Companhia Siderúrgica Nacional e a Cosipa também fabricam aços com estas características sob as denominações NIOCOR e COS-AR-COR, respectivamente.

3.7.1.3. Aços com tratamento térmico

Tanto os aços-carbono quanto os de baixa liga podem ter suas resistências aumentadas pelo tratamento térmico. A soldagem dos aços tratados termicamente é, entretanto, mais difícil, o que toma seu emprego pouco usual em estruturas correntes.

Os parafusos de alta resistência utilizados como conectores são fabricados com aço de médio carbono sujeito a tratamento térmico (especificação ASTM A325).

Os aços de baixa liga com tratamento térmico são empregados na fabricação de barras de aço para protensão e também de parafusos de alta resistência (especificação ASTM A490).

3.7.2. Padronização ABNT

Segundo a especificação EB558INBR7007 - Aços para perfis laminados para uso estrutural da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), os aços podem ser enquadrados nas seguintes categorias, designadas a partir do limite de escoamento (σ_e) do aço, (ver tabela 3.15):

Tabela 3.15: Características mecânicas dos aços estruturais de acordo com a padronização ABNT para perfis, chapas e tubos.

MR250	aço de média resistência ($f_y = 250$ MPa; $f_u = 400$ MPa)
AR290	aço de alta resistência ($f_y = 290$ MPa; $f_u = 415$ MPa)
AR345	aço de alta resistência ($f_y = 345$ MPa; $f_u = 450$ MPa)
AR-COR-345-A ou B	aço de alta resistência ($f_y = 345$ MPa; $f_u = 485$ MPa), resistente à corrosão
MR250	corresponde ao aço ASTM A36

Fonte: Estruturas de aço: dimensionamento prático, PFEIL, et al, (2000)

3.8. Dimensionamento geotécnico de fundações de aço

3.8.1. Norma ABNT 6122

Foram listados aqui, alguns itens da Norma Brasileira de fundações NBR6122/96. Algumas exigências e considerações em relação às fundações profundas por estacas estão transcritas abaixo.

- NBR 6122/96 (item 3.8)

Fundação profunda: Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência do fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta e, no mínimo, a 3m, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões.

- NBR 6122/96 (item 3.9)

Estaca: Elemento de fundação profunda executado inteiramente por equipamento ou ferramenta, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de operário. Os materiais empregados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado “*in situ*” ou mistos.

- NBR 6122/96 (item 3.12)

Estaca cravada por percussão: Tipo de fundação profunda em que a própria estaca ou um molde introduzido no terreno por golpes de martelo (por exemplo: de gravidade, de explosão, a vapor, hidráulico, a ar comprimido, vibratório). Em certos casos esta cravação pode ser precedida por escavação ou lançamento.

- NBR 6122/96 (item 3.26)

Carga admissível sobre uma estaca ou tubulão: Tensão aplicada sobre a estaca ou tubulão isolado, provocando apenas recalques que a construção pode suportar sem inconvenientes e oferecendo, simultaneamente, segurança satisfatória contra a ruptura ou o escoamento do solo ou do elemento de fundação.

- NBR 6122/96 (item 7.2.1.1)

Métodos estáticos: podem ser teóricos, quando o cálculo é feito de acordo com teoria desenvolvida dentro da Mecânica dos Solos, ou semi-empíricos, quando são usadas correlações com ensaios *in situ*.

- NBR 6122/96 (item 7.2.3.1)

Métodos dinâmicos: São métodos de estimativa da capacidade de carga de fundações profundas, baseados na previsão e/ou verificação do seu comportamento sob ação de

carregamento dinâmico. Entre os métodos dinâmicos estão as chamadas “Fórmulas Dinâmicas” e os métodos que usam a “Equação da Onda”.

- NBR 6122/96 (item 7.3)

Carga admissível a partir da ruptura: a partir do valor calculado ou determinado experimentalmente para a capacidade de carga na ruptura, a carga admissível é obtida mediante aplicação de coeficiente de segurança adequado, não inferior a 2, salvo o disposto em 7.5.4.

- NBR 6122/96 (item 7.8.2.1.1)

Estacas de aço: as estacas de aço podem ser constituídas por perfis laminados ou soldados, simples ou múltiplos, tubos de chapa dobrados (seção circular, quadrada ou retangular), tubo sem costura e trilhos.

3.8.2. Investigação do subsolo

O emprego do sistema de SPT como forma de investigação do solo tornou-se uma prática bem difundida. A avaliação através de SPT tem algumas limitações, mas, segundo a norma brasileira NBR 6122/96, em primeira instância, ela é obrigatória. Em casos especiais são empregados outros tipos de investigações do subsolo para se obter maiores informações ou informações em que o SPT não é suficiente (por exemplo: poços exploratórios, ensaio de penetração contínua, ensaio de palheta).

Segundo QUARESMA (1998), o SPT é, de longe, o ensaio mais executado na maioria dos países do mundo, e também no Brasil.

Dependendo do porte da obra ou tendo-se informações insuficientes, outros tipos de pesquisas ou um número maior de procedimentos poderão ser necessários, como por exemplo: número de pontos de sondagem, posicionamento no terreno (posição do edifício) e a profundidade a

ser atingida, que são determinados por profissional com conhecimentos suficientes, baseado em normas brasileiras e na sua experiência.

As sondagens de reconhecimento à percussão são indispensáveis e devem ser executadas de acordo com a NBR 6484, levando-se em conta as peculiaridades da obra em projeto. As sondagens devem fornecer no mínimo a descrição das camadas atravessadas, os valores dos índices de resistência à penetração (S.P.T.) e as posições dos níveis de água (NBR 6122/96).

Normalmente são atribuídas aos problemas de fundações as falhas na investigação correta do subsolo. A investigação do subsolo é a causa mais freqüente de problemas de fundações. Na medida em que o solo é o meio que vai suportar a carga, sua identificação e a caracterização de seu comportamento são essenciais à solução de qualquer problema (MILITITSKY, 2005).

Tendo-se executado as sondagens corretamente, as informações são apresentadas em um projeto escrito e outro gráfico, que deverá conter as seguintes informações referentes ao subsolo estudado:

- Locação dos furos de sondagem;
- Determinação dos tipos de solo até a profundidade de interesse do projeto;
- Determinação das condições de compacidade, consistência e capacidade de carga de cada tipo de solo;
- Determinação da espessura das camadas e avaliação da orientação dos planos que as separam;
- Informação do nível do lençol freático.

O tipo de edificação poderá depender, em grande parte, das características da investigação do solo. As propriedades mecânicas do solo podem inviabilizar uma determinada obra e, conseqüentemente, modificar a estrutura de um local ou região em termos de edificações. Muitas obras dependem da capacidade de carga de um determinado local e isso faz com o reconhecimento do subsolo torna-se um fator importantíssimo. Vários tipos de fundações são empregados há muitos anos em todo mundo e juntamente com novas técnicas e estudos, a

engenharia de fundações propicia cada vez mais segurança e confiabilidade aos projetos e, consequentemente, às edificações que se pretendem construir.

3.8.3. Capacidade de carga

A resistência de uma estaca submetida a um carregamento vertical, é constituída de duas parcelas: a resistência ao cisalhamento, R_l , gerada por atrito ao longo do seu fuste e as tensões normais na ponta da estaca, R_p .

Segundo COSTA (1956), a capacidade de carga de fundações profundas, como as estacas metálicas, são determinadas por fórmulas estáticas e dinâmicas. Com isso, o comprimento da estaca pode ser calculado a partir de dados colhidos pela sondagem. A cota de apoio ou comprimento de cravação poderá ser definida antes da execução da estaca.

As fórmulas teóricas, como as de Terzaghi e Meyerhof, por exemplo, dão muitas vezes resultados discrepantes. Com isso surgiram os métodos empíricos que correlacionam os resultados de resistência à penetração de ensaios já executados, SPT, por exemplo, com estados limites de ruptura.

Os métodos semi-empíricos surgiram com o intuito de determinar a capacidade de carga de uma fundação a partir de dados geotécnicos, do material utilizado e do tipo de execução. Através de dados como estes os autores das fórmulas estáticas semi-empíricas determinaram a profundidade em que a estaca atinge para uma determinada capacidade de carga.

A previsão da capacidade de carga Q_u por métodos empíricos se resume ao cálculo da tensão-limite de ruptura por atrito lateral, Q_l , e da tensão limite de ruptura de ponta Q_p , denominadas por resistência lateral e resistência de ponta, respectivamente (DÉCOURT, *et al.* 1998) (ver figura 3.17).

$$Q_u = Q_p + Q_l = q_l A_l + q_p A_p \quad (1)$$

Onde:

q_l : tensão limite de cisalhamento lateral

q_p : tensão limite de cisalhamento de ponta

A_l : Área lateral da estaca

A_p : Área da seção da estaca

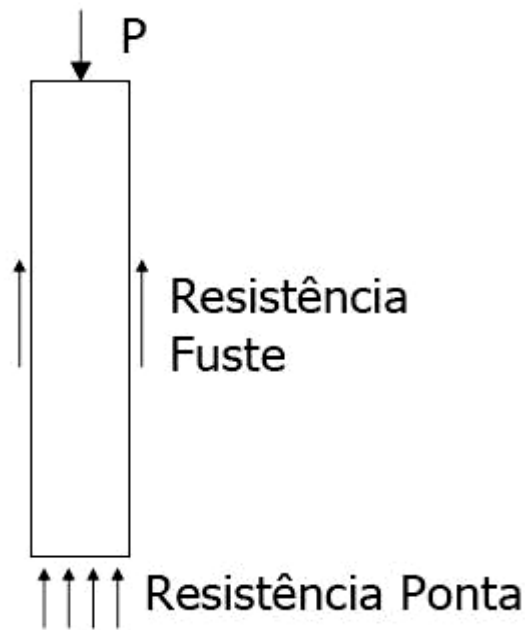


Figura: 3.17: Esquema da obtenção da capacidade de carga por atrito lateral e de ponta. (SPECHT, 2006)

3.8.4. Carga admissível

A carga admissível de uma fundação depende em alguns casos do tipo da edificação. A norma NBR 6122/96 define alguns parâmetros a serem seguidos, como, por exemplo, os coeficientes de segurança globais mínimos. No caso de fundações de estacas ou tubulões, que não foram submetidas à prova de cargas, estes terão o coeficiente de segurança mínimo igual a 2,0 (NBR 6122/96).

Através das fórmulas semi-empíricas é possível determinar a capacidade de carga de uma fundação e, conseqüentemente, a carga admissível. No caso de fundações em estacas, a carga admissível é obtida através da aplicação do coeficiente de segurança global sobre a capacidade de carga total da fundação.

Com isso, a carga admissível da fundação em estacas Q_{adm} , pode ser definida obtendo-se a capacidade de carga total Q_u e aplicando-se o coeficiente de segurança global CS, neste caso 2,0.

$$Q_{adm} = Q_u / CS \quad (2)$$

3.8.4.1. Métodos estáticos

Os métodos que estimam a capacidade de carga de uma fundação podem ser divididos em teóricos, empíricos e semi-empíricos. Os métodos teóricos estimam a capacidade de carga obtida através de teorias desenvolvidas na Mecânica dos solos. Os métodos empíricos, normalmente, são determinados através de tabelas com valores fixos baseados em estudos de campo. Os métodos semi-empíricos são determinados aqueles em que as propriedades dos materiais são estimadas com base em correlações e são usadas em teorias de Mecânica dos solos. Na utilização dos métodos semi-empíricos, devem-se apresentar justificativas, indicando a origem das correlações (inclusive referência bibliográfica) (ABNT, NBR 6122/96).

3.8.4.2 Formulação teórica da capacidade de carga

Através de observações do comportamento de fundações rasas, várias teorias foram criadas para se tentar determinar a capacidade de carga de fundações profundas (Castello, 1979).

As fórmulas teóricas são centenárias, datam do início do século por Verendeel, Bénabenq, etc.

Os primeiros trabalhos teóricos para previsão da capacidade de carga admissível foram apresentados por Caquot (1934) e Buisman (1935), seguido por Terzaghi (1943), Meyerhorf (1951) e outros (Castello, 1979; Décourt *et al.*, 1996). Cada um destes autores assumiu um modelo de ruptura para ser utilizado na análise teórica da capacidade de carga (DÉCOURT *et al.*, 1998).

Terzaghi apresentou em 1943 uma solução para a determinação da capacidade de carga. Para que ocorra a ruptura do solo na cota de apoio da estaca, o solo precisará se deslocar para baixo, para cima ou para os lados.

Terzaghi e Peck consideram que o estado de tensões na base de uma estaca cravada é bastante complexo, e se referem às experiências em modelos de grandes dimensões realizadas por Vesic (1963, Kérisel (1961) e Kérisel e Adam (1962) (VELLOSO e LOPEZ, 2002).

Meyerhof (1951, 1953, 1976..) foi um dos pesquisadores que mais contribuíram com os estudos da capacidade de carga das fundações. Meyerhof abordou a capacidade de carga de fundações com base na teoria da plasticidade dos solos e fez referência ao uso do SPT.

A capacidade de carga, Q_u , é definida pela soma das resistências máximas suportadas pela ponta Q_p e pelo atrito lateral Q_l :

$$Q_u = Q_p + Q_l \quad (3)$$

3.8.4.2.1. Resistência de Ponta

Segundo Vesic (1972), a resistência do solo é o único contribuinte para a determinação da capacidade de carga de ponta (VELLOSO e LOPEZ, 2002).

A resistência de ponta, Q_p , é definida pelo produto da capacidade de carga unitária, q_p , da camada de solo na cota de apoio da estaca, pela área da seção transversal de sua ponta, A_p :

$$Q_p = q_p \cdot A_p \quad (4)$$

Sendo, num solo homogêneo:

$$q_p = C_s \cdot N_c \cdot S_c + \gamma \cdot B/2 \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + \gamma \cdot L_c \cdot N_q \cdot S_q \quad (5)$$

Onde:

γ : peso específico total do solo

B: menor dimensão da fundação (no caso de estacas circulares B é o diâmetro da estaca)

C_s : coesão do solo de apoio

L_c : profundidade entre a superfície do terreno e o nível da ponta da estaca

S_C , S_γ e S_q : fatores de correção quanto à forma da fundação e

N_c , N_γ e N_q : são os fatores de capacidade de carga

A estaca trabalhará especialmente por atrito de ponta quando o fuste da estaca atravessa camadas de solos com baixa ou quase nenhuma resistência e se apóiam em camadas rígidas com alta capacidade de carga.

As estacas cravadas são geralmente dimensionadas como estacas de ponta pelo fato de o processo de cravação fazer geralmente diminuir drasticamente a resistência lateral mobilizável. Esta noção não é encarada de modo consensual por projetistas e fabricantes (PEDRO, 2007) (ver figura 3.18).

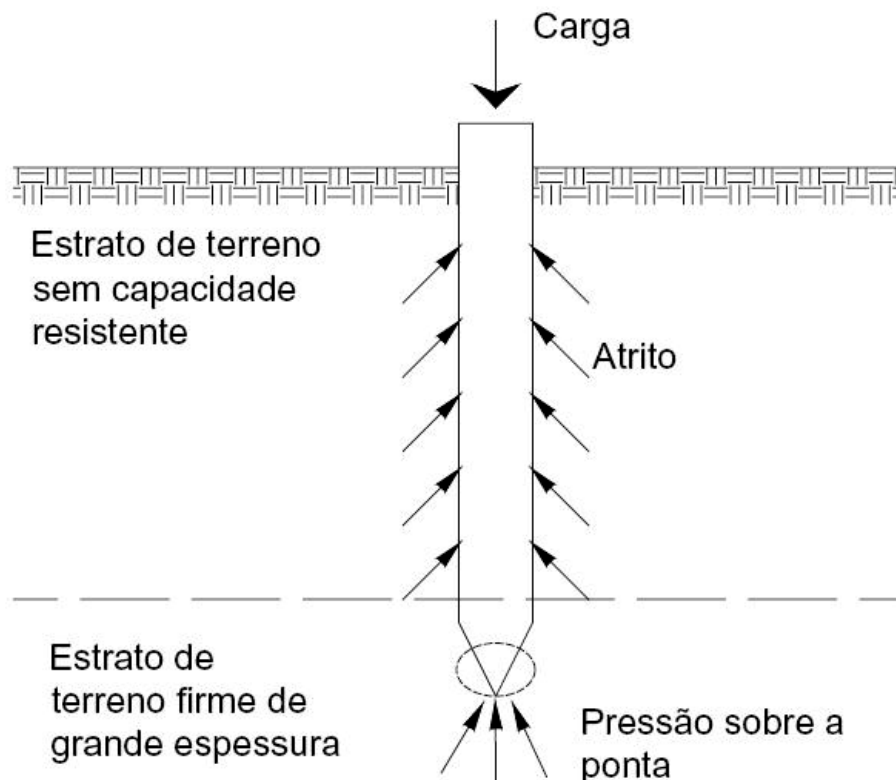


Figura 3.18: Fundação com funcionamento de ponta (PEDRO, 2007)

A capacidade de carga depende também do ângulo de atrito interno ‘ ϕ ’ do solo e pelo fato de existirem diversos fatores de influencia, obtém-se vários resultados que tentam estimar a mesma grandeza. Devido às diversas teorias existentes, juntamente com os inúmeros resultados de ensaios de campo e laboratório, percebe-se que as estimativas para capacidade de carga, levando-se em consideração os cálculos a partir de fórmulas semi-empíricas, são muitas com resultados discrepantes.

3.8.4.2.2. Resistência de atrito lateral

O atrito lateral que ocorre ao longo do fuste da fundação em contato com o solo depende não somente da resistência ao cisalhamento do solo. Depende também do histórico de tensões ao qual o solo esteve submetido e em particular da relação de sobre-adensamento (DÉCOURT *et al*, 1998).

O atrito e a adesão entre o fuste da estaca e o solo desenvolvem uma força resistiva Q_l , também conhecida como carga lateral e definida como:

$$r_l = q_l \cdot A_l \quad (6)$$

Sendo:

q_l : tensão de ruptura unitária por atrito lateral

A_l : área lateral da estaca.

Em geral, a tensão de ruptura lateral é determinada por:

$$Q_l = c_a + \sigma_h \cdot \text{tg}\bar{\delta} \quad (7)$$

Sendo:

c_a : aderência entre a estaca e o solo

σ_h : tensão horizontal média na superfície lateral da estaca na ruptura

δ : ângulo de atrito entre a estaca e o solo.

A tensão de ruptura lateral ao longo do fuste é de difícil avaliação (LAMBE e WHITMAN, 1969).

A mobilização da estaca em ambas as partes de atrito, de ponta e lateral, propicia à estaca uma capacidade de carga maior do que quando submetida à apenas uma das partes de atrito (ver figura 3.19).

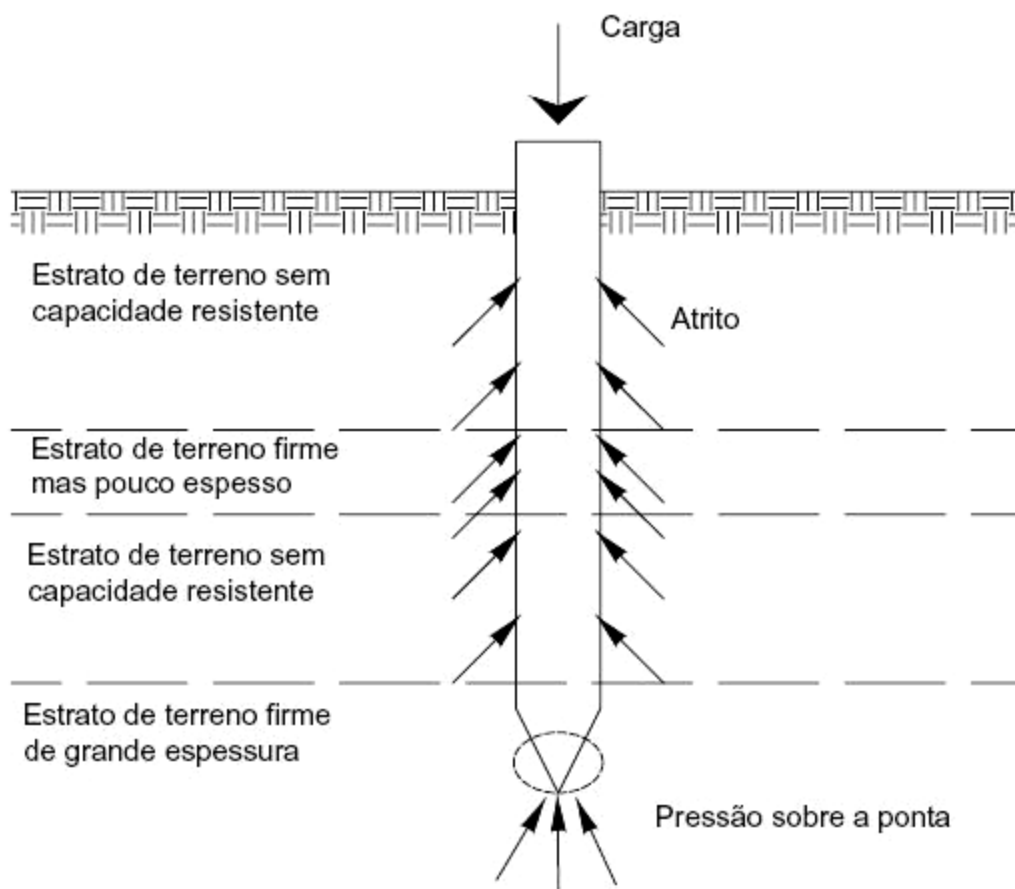


Figura 3.19: Fundação com funcionamento de ponta e lateral (PEDRO, 2007)

3.8.5. Métodos semi-empíricos que utilizam o SPT

No Brasil, o uso da sondagem por percussão SPT é sem dúvida a investigação geotécnica mais difundida e realizada.

“A Engenharia de Fundações correntes no Brasil pode ser descrita como a Geotecnia do SPT”. Por este motivo, os profissionais de fundações se preocuparam em desenvolver métodos de cálculo da capacidade de carga que utilizam SPT (VELLOSO e LOPES, 2002).

Os métodos semi-empíricos são baseados em correlações empíricas com resultados de ensaios *in situ*.

Meyerhof (1956) publicou seu primeiro trabalho e, possivelmente, foi o primeiro pesquisador a desenvolver um método semi-empírico para estimar a capacidade de carga de estacas utilizando o SPT (VELLOSO e LOPES, 2002).

No Brasil o primeiro método de estimativa da capacidade de carga de estacas foi proposto por Aoki e Velloso (1975).

Neste trabalho serão adotados além do método Aoki-Velloso (1975), o método Décourt-Quaresma (1978), o método de Pedro Paulo Costa Velloso (1979), método Alberto Henriques Teixeira (1996) e o método de Urbano Rodrigues Alonso (1996), bastante utilizados no Brasil. Esses métodos de previsão da capacidade de carga determinam a resistência lateral e de ponta e, juntamente com seus respectivos coeficientes de segurança, a carga admissível.

A área lateral da estaca é dada por:

$$A_l = \sum p \cdot \Delta_l \quad (8)$$

Sendo:

p: perímetro da seção transversal do fuste da estaca

Δ_l : trecho onde se admite q_l constante.

q_l e q_p :parâmetros que diferenciam os métodos semi-empíricos que serão abordados neste trabalho.

Nesse trabalho, os métodos semi-empíricos apresentados a seguir serão utilizados para estimar a capacidade de carga das estacas de aço em estudo, cravadas em um solo predominantemente argiloso e arenoso.

3.8.5.1. Método Aoki-Velloso (1975)

Aoki e Velloso (1975) apresentaram o método de estimativa da capacidade de carga de estacas. O método prevê o uso de diferentes seções e execuções. Através do método de Aoki e Velloso (1975), foi possível analisar os diferentes tipos de estacas em solos diversos com vários tipos de execuções. Aoki e Velloso desenvolveram o método para que fosse usado a partir de dados colhidos em investigações do solo por SPT ou CPT. Neste trabalho serão utilizados dados colhidos em sondagens a percussão, SPT.

A capacidade de carga do solo “ Q_{pu} ” na cota de apoio da estaca é dada por:

$$Q_{pu} = (sp / F_1) \cdot k \cdot N_p \quad (9)$$

e o atrito lateral q_l entre a estaca e o solo é definido como:

$$Q_{lu} = f_s / F_2 \quad (10)$$

$$f_s = \alpha \cdot k \cdot N_l \quad (11)$$

$$Q_{lu} = (p / F_2) \cdot \Sigma (\alpha \cdot k \cdot N_l) \quad (12)$$

Sendo:

Q_{pu} : a resistência de ponta unitária medida no ensaio de SPT

F_s : resistência lateral unitária

F_1 e F_2 : são os coeficientes de correção que levam em consideração o tipo de estaca e o efeito de escala entre a estaca.

Existe uma correlação entre os valores obtidos por CPT e SPT. Aoki e Velloso (1975) estimaram uma relação que a partir de dados obtidos por SPT ou CPT, ambos pudessem ser utilizados no mesmo método. O ensaio por SPT é muito comum nas investigações do solo. Por este motivo, muitos processos foram desenvolvidos ao longo dos anos proporcionando uma maior diversificação de ensaios com a possibilidade de melhores opções de viabilidade.

Obtêm-se a expressão utilizada para resultados em SPT:

$$q_c = k \cdot N_p \quad (13)$$

e

$$f_s = \alpha \cdot k \cdot N_l \quad (14)$$

Sendo:

N_p : índice de resistência à penetração na cota de apoio da fundação.

N_l : índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca, obtidos a partir do SPT.

α : atrito do cone com a tensão de ponta.

K : coeficiente em função do tipo de solo correlacionado entre o ensaio de CPT e SPT.

Segundo Aoki e Velloso (1975), o método proposto fora desenvolvido com a intenção de trabalhar com tipos de estacas limitadas, como: Franki, metálicas e pré-fabricadas. Posteriormente o método fora estendido para outros tipos de estacas, como: escavadas com lama bentonítica. Os coeficientes de proporcionalidade propostos por Aoki e Velloso (1975), Danziger (1982), Laprovitera (1988) e Monteiro (1997) são apresentados na tabela 3.16 e 3.17.

Tabela 3.16: Valores de F1 e F2

Classificação do Solo	Aoki e Velloso		Monteiro		Danziger	Laprovitera	
	K MPa	α (%)	K MPa	α (%)	K MPa	α (%)	α^* (%)
Areia	1,00	1,4	0,73	2,1	0,60	1,4	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0	0,68	2,3	0,53	1,9	1,9
Areia silto-argilosa	0,70	2,4	0,63	2,4	0,53	2,4	2,4
Areia argilo-siltosa	0,50	2,8	0,57	2,9	0,53	2,8	2,8
Areia argilosa	0,60	3,0	0,54	2,8	0,53	3,0	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2	0,50	3,0	0,48	3,0	3,0
Silte areno-argiloso	0,45	2,8	0,45	3,2	0,38	3,0	3,0
Silte	0,40	3,0	0,48	3,2	0,48	3,0	3,0
Silte argilo-arenoso	0,25	3,0	0,40	3,3	0,38	3,0	3,0
Silte argiloso	0,23	3,4	0,32	3,6	0,30	3,4	3,4
Argila arenosa	0,35	2,4	0,44	3,2	0,48	4,0	2,6
Argila areno-siltosa	0,30	2,8	0,30	3,8	0,38	4,5	3,0
Argila silto-arenosa	0,33	3,0	0,33	4,1	0,38	5,0	3,3
Argila siltosa	0,22	4,0	0,26	4,5	0,25	5,5	3,6
Argila	0,20	6,0	0,25	5,5	0,25	6,0	4,0

Fonte: Adaptado de NEINOV, 2006

Tabela 3.17: Valores de F1 e F2 (Aoki e Velloso, 1975; Velloso *et al.*, 1978)

Tipo de estaca	F1	F2
Franki	2,50	5,00
Pré fabricada de concreto	1,75	3,50
Metálica	1,75	3,50
Escavada	3,00	6,00

Fonte: VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. (2002). "Fundações profundas". Publicação da COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

Os valores de k e α estão apresentados na Tabela 3.18.

Tabela 3.18: Coeficientes k e α (Aoki-Velloso, 1975)

Tipo de solo	K (KPa)	α
Areia	1000	1,4
Areia siltosa	800	2,0
Areia silto-argilosa	700	2,4
Areia argilosa	600	3,0
Areia argilo-siltosa	500	2,8
Silte	400	3,0
Silte arenoso	550	2,2
Silte areno-argilo	450	2,8
Silte argiloso	230	3,4
Silte argilo-arenoso	250	3,0
Argila	200	6,0
Argila arenosa	350	2,4
Argila areno-siltosa	300	2,8
Argila siltosa	220	4,0
Argila silto-arenosa	330	3,0

Fonte: VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. (2002). "Fundações profundas". Publicação da COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

Para o cálculo da capacidade de carga Q_u de estacas isoladas, Aoki e Velloso (1975) estimaram pelo método semi-empírico, a expressão:

$$Q_u = (k \cdot N_p) / F_1 \cdot sp + p / F_2 \sum (\alpha \cdot k \cdot N_l \cdot \Delta l) \quad (15)$$

Sendo:

p : perímetro da seção transversal do fuste da estaca

Δl : trecho onde se admite q_l constante.

Para carga admissível, segundo Aoki e Velloso:

$$Q_{adm} = Q_u / 2,0 \quad (16)$$

Considerar:

40 quando N (SPT) for superior a 40.

Laprovitera (1988) e Benegas (1993) avaliaram o método de Aoki-Velloso através de dados obtidos em provas de carga e publicaram os resultados para valores de k e α :

Tabela 3.19: Coeficientes k e α (Laprovitera (1988))

Tipo de solo	K (Kgf/cm ²)	α
Areia	6,0	1,4
Areia siltosa	5,3	1,9
Areia silto-argilosa	5,3	2,4
Areia argilosa	5,3	3,0
Areia argilo-siltosa	5,3	2,8
Silte	4,8	3,0
Silte arenoso	4,8	3,0
Silte areno-argilo	3,8	3,0
Silte argiloso	3,0	3,4
Silte argilo-arenoso	3,8	3,0
Argila	2,5	6,0
Argila arenosa	4,8	4,0
Argila areno-siltosa	3,0	4,5
Argila siltosa	2,5	5,5
Argila silto-arenosa	3,0	5,0

Fonte: VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. (2002). "Fundações profundas". Publicação da COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

Monteiro (1997) estabeleceu, mostrado na tabela 3.20, correlações diferentes para k e α :

Tabela 3.20: Coeficientes k e α (Monteiro (1997))

Tipo de solo	K (KPa)	α
Areia	7,3	2,1
Areia siltosa	6,8	2,3
Areia silto-argilosa	6,3	2,4
Areia argilosa	5,4	2,8
Areia argilo-siltosa	5,7	2,9
Silte	4,8	3,2
Silte arenoso	5,0	3,0
Silte areno-argilo	4,5	3,2
Silte argiloso	3,2	3,6
Silte argilo-arenoso	4,0	3,3
Argila	2,5	5,5
Argila arenosa	4,4	3,2
Argila areno-siltosa	3,0	3,8
Argila siltosa	2,6	4,5
Argila silto-arenosa	3,3	4,1

Fonte: VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. (2002). “Fundações profundas”. Publicação da COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

3.8.5.2. Método Décourt-Quaresma (1978, 1982)

Décourt e Quaresma (1978) apresentam um método de previsão da capacidade de carga do sistema estaca-solo a partir dos dados fornecidos por sondagens de reconhecimento à percussão SPT. Décourt e Quaresma apresentaram o método de estimativa de capacidade de carga de estacas a partir do SPT ao 6º congresso Brasileiro (Velloso e Lopez, 2002).

O método Décourt-Quaresma (1978) tem como característica o dimensionamento da capacidade de carga e de ponta separadamente. Através dos números de golpes apresentado no projeto de ensaio por SPT e o tipo de solo, define-se a resistência de ponta Q_{pu} , que é dada pela expressão:

$$Q_{pu} = C \cdot N_{pm} \quad (17)$$

Sendo:

N_{pm} :média aritmética dos valores de SPT a cota de apoio da estaca.

C : coeficiente relacionado ao tipo de solo obtidos na Tabela 3.21.

A capacidade de carga lateral é calculada através da média dos valores do número de golpes ao longo do fuste da estaca. A partir desses valores, a adesão média ao longo do fuste é obtida diretamente pela Tabela 3.21 sem levar em consideração o tipo de solo.

Tabela 3.21: Valores C (Décourt e Quaresma, 1978)

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

Fonte: VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. (2002). "Fundações profundas". Publicação da COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

Tabela 3.22: Valores da resistência lateral do fuste (Décourt e Quaresma, 1978)

N_l (valor médio ao longo do fuste)	Adesão (kPa)
≤ 3	20
6	30
9	40
12	50
≥ 15	60

Fonte: VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. (2002). "Fundações profundas". Publicação da COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

Décourt e Quaresma (1982) aperfeiçoaram o método citado acima. A expressão para resistência lateral é modificada e passa a ser obtida por:

$$Q_{lu} = 10 \cdot (N_l / 3 + 1) \quad (18)$$

Sendo:

N_l : valor médio dos valores de SPT ao longo do fuste da estaca.

Segundo os autores, os valores de SPT menores que 3, devem ser considerados como 3 e os valores de SPT devem ser considerados no máximo 50, acima desse valor considerar 50.

Portanto, a capacidade de carga Q_u de uma fundação composta por apenas uma estaca é estimada pela fórmula semi-empírica de Décourt-Quaresma (1978, 1982) a seguir:

$$Q_u = C \cdot N_{pm} \cdot A_p + 10 \cdot (N_l / 3 + 1) \cdot A_l \quad (19)$$

Onde:

C = coeficiente para resistência de ponta em função do tipo de solo (tabela 2.6)

N_{pm} = valor médio do NSPT na ponta da estaca, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior

A_p = área da ponta da estaca

A_l = área do fuste da estaca

N_l = valor médio do NSPT ao longo do fuste da estaca

Décourt, em 1996 acrescentou coeficientes “ α ” e “ β ” na fórmula de capacidade de carga. A finalidade da inclusão destes dados foi estender o método para que outros tipos de fundações pudessem ser dimensionados. Inicialmente o método de Décourt se aplicava apenas a estacas de deslocamento. Os coeficientes adotados pelo autor estão dispostos na tabela 3.23. A expressão também fora modificada acrescentando-se os novos dados e, segundo Dédourt, a fórmula pode ser expressa como:

$$Q_u = \alpha \cdot C \cdot N_{pm} \cdot A_p + p \cdot \beta \cdot \sum 10(N_l / 3 + 1) \cdot A_l \quad (20)$$

Onde:

N_{pm} = valor médio do NSPT na ponta da estaca, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior

C = coeficiente para resistência de ponta em função do tipo e solo (Tabela 2.6)

A_p = área da ponta da estaca

p = perímetro da estaca

N_l = valor médio do NSPT ao longo do fuste

A_l = espessura de cada camada solo considerado (em metros)

Tabela 3.23: Valores de α e β em função do tipo de estaca e do tipo de solo (Décourt 1996)

Solo	Escavadas		Escavadas com lama		Hélice Contínua		Raiz		Injetadas	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
Argilas	0,85	0,80*	0,85	0,90*	0,30*	1,0*	0,85*	1,5*	1,0*	3,0*
Intermediários	0,60	0,65*	0,60	0,75*	0,30*	1,0*	0,60*	0,6*	1,0*	3,0*
Areias	0,50	0,5*	0,50	0,6*	0,30*	1,0*	0,50*	1,5*	1,0*	3,0*

* Valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: NIENOV, F. A. Comportamento à compressão de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solo sedimentar na região de Santa Maria. UFSM, 2006. Dissertação Mestrado. Santa Maria RS, 2006

3.8.5.3. Método Pedro Paulo Costa Velloso (1979)

Pedro Paulo Costa Velloso (1979) - O problema da estimativa do comprimento de fundações profundas com base em sondagens de reconhecimento à percussão.

Para capacidade de carga Q_u de um elemento isolado da fundação é estimada pela fórmula semi-empírica de Pedro Paulo Costa Velloso (1979) a seguir:

$$Q_u = Q_{lu} + Q_{pu} \quad (21)$$

Sendo:

Q_u : capacidade de carga da relação solo/estaca

Q_{lu} : capacidade de carga lateral da estaca cravada

Q_{pu} : a capacidade de carga de ponta da estaca.

O valor da carga admissível da estaca é:

$$Q_{adm} = Q_u / 2.5 \quad (22)$$

Sendo:

Q_{adm} : carga admissível da estaca isolada cravada.

2,5: coeficiente de segurança definido pelo autor.

Velloso (1979) definiu para capacidade de carga lateral ao longo da estaca e capacidade de carga de ponta, pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$Q_{lu} = \alpha_l \cdot \lambda_l \cdot p \cdot \Sigma (C_l \cdot N \cdot I) \quad (23)$$

e

$$Q_{pu} = \alpha_p \cdot \lambda_p \cdot \beta \cdot A_p \cdot 0.5 \cdot [(C_p \cdot N)_{acima} + (C_p \cdot N)_{abaixo}] \quad (24)$$

Onde:

α_l : correlação do atrito de ponta

α_p : correlação do atrito lateral da estaca ao longo do seu comprimento

λ_l : correlação para compressão ou tração conforme solicitação lateral

λ_p : correlação para compressão ou tração conforme solicitação de ponta.

p : perímetro da estaca

Segundo o método de Pedro Paulo Costa Velloso (1979), Considerar:

a) $\beta = 1,016 - 0,016$

b) dp/dc onde dc = diâmetro do cone holandês = 3,6cm

c) $(C_p \cdot N)_{acima}$ = média dos valores q_p calculada num intervalo de 8 vezes o diâmetro da

estaca, acima da ponta da estaca.

- d) $(C_p \cdot N)_{\text{abaixo}}$ = média dos valores calculada num intervalo de 3,5 vezes o diâmetro da estaca, abaixo da ponta da estaca.
- e) Utilizar 40 quando N (SPT) for superior a 40.

Tabela 3.24: Correlação de ponta e lateral aos tipos de estacas, α_l e α_p

TIPO DA ESTACA	α_l	α_p
Premoldada (concreto ou aço)	1,00	1,00
Franki	1,00	1,00
Hélice Contínua	0,85	0,50
Escavadas sem revestimento	0,50	0,50
Escavadas com revestimento ou lama	0,70	0,50
Raiz	0,90	0,50

Fonte: SILVEIRA, E. S. **Investigações geotécnicas do subsolo para fundações**, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

Tabela 3.25: Correlação de ponta e lateral em relação à solicitação de esforços de tração ou compressão.

TIPO DO CARREGAMENTO	λ_l	λ_p
Compressão	1,00	1,00
Tração	0,75	0,00

Fonte: SILVEIRA, E. S. **Investigações geotécnicas do subsolo para fundações**, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

Tabela 3.26: Parâmetros de atrito lateral e ponta.

TIPO DO SOLO	C_l (t/m ²)	C_p (t/m ²)
ARGS	0,63	25,00
ARGA	0,63	25,00
SAG	0,70	30,00
SAR	0,80	40,00
AREA	0,85	45,00
ARS	0,85	50,00
ARE	0,50	60,00
ARP	0,50	60,00

Fonte: SILVEIRA, E. S. **Investigações geotécnicas do subsolo para fundações**, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

As abreviaturas dos tipos solos terão as seguintes referências:

ARGS: Argila siltosa

ARGA: Argila arenosa

SAG: Silte argiloso

SAR: Silte arenoso

AREA: Areia argilosa

ARS: Areia siltosa

ARP: Areia com pedregulhos

3.8.5.4. Método Alberto Henriques Teixeira (1996)

Para capacidade de carga Q_u de um elemento isolado da fundação é estimada pela fórmula semi-empírica de Alberto Henriques Teixeira (1996) a seguir:

$$Q_u = Q_{lu} + Q_{pu} \quad (25)$$

Sendo:

Q_u : capacidade de carga da relação solo/estaca

Q_{lu} : capacidade de carga lateral da estaca cravada

Q_{pu} : a capacidade de carga de ponta da estaca.

O valor da carga admissível relacionado ao coeficiente de segurança para estacas cravadas, pode ser expresso da seguinte forma:

$$Q_{adm} = Q_u / 2,0 \quad (26)$$

Sendo:

Q_{adm} : carga admissível da estaca isolada cravada

2,0: o valor do coeficiente de segurança para estacas cravadas, definido pelo autor.

Alberto Henriques Teixeira (1996) determinou, para capacidade de carga lateral ao longo da

estaca e capacidade de carga de ponta, as seguintes fórmulas:

$$Q_{lu} = p \cdot \beta \cdot \Sigma N \quad (27)$$

e

$$Q_{pu} = A_p \cdot 0,5 \cdot [(\alpha \cdot N)_{acima} + (\alpha \cdot N)_{abaixo}] \quad (28)$$

Onde:

p: perímetro da estaca,

A_p : área de ponta da estaca,

ΣN : somatório dos valores de N ao longo da estaca.

α e β : parâmetros correlacionados à capacidade de carga dos variados tipos de solo, ver tabela 3.27.

Segundo o método de Alberto Henriques Teixeira, Considerar:

- $(\alpha \cdot N)_{acima}$ = média dos valores q_p calculada num intervalo de 4,0 vezes o diâmetro da estaca, acima da ponta da estaca.
- $(\alpha \cdot N)_{abaixo}$ = média dos valores calculada num intervalo de 1,0 vezes o diâmetro da estaca, abaixo da ponta da estaca.
- Utilizar 40 quando N (SPT) for superior a 40 e 4 quando inferior a 4.

Tabela 3.27: valores de α , β

Tipo de estaca	β (t/m ²)	Tipo de solo							
		α (t/m ²)							
		ARGS	ARGA	SAG	SAR	AREA	ARS	ARE	ARP
Prem(concreto ou aço)	0,40	11,0	21,0	16,0	26,0	30,0	36,0	40,0	44,0
Franki	0,50	10,0	16,0	12,0	21,0	24,0	30,0	34,0	38,0
Hélice contínua	0,40	10,0	13,0	11,0	16,0	20,0	22,0	27,0	31,0
Esc. s/ revestimento	0,40	10,0	13,0	11,0	16,0	20,0	22,0	27,0	31,0
Esc. c/ revest.ou lama	0,40	10,0	13,0	11,0	16,0	20,0	22,0	27,0	31,0
Raiz	0,60	10,0	14,0	11,0	16,0	19,0	22,0	26,0	29,0

Fonte: SILVEIRA, E. S. **Investigações geotécnicas do subsolo para fundações**, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

As abreviaturas dos tipos solos terão as seguintes referências:

ARGS: Argila siltosa

ARGA: Argila arenosa

SAG: Silte argiloso

SAR: Silte arenoso

AREA: Areia argilosa

ARS: Areia siltosa

ARP: Areia com pedregulhos

3.8.5.5. Método Urbano Rodrigues Alonso (1996)

Para capacidade de carga Q_u de um elemento isolado da fundação é estimada pela fórmula semi-empírica de Urbano Rodrigues Alonso (1996) a seguir:

$$Q_u = Q_{lu} + Q_{pu} \quad (29)$$

Sendo:

Q_u : capacidade de carga da relação solo/estaca

Q_{lu} : capacidade de carga lateral da estaca cravada

Q_{pu} : a capacidade de carga de ponta da estaca.

O valor da carga admissível relacionado ao coeficiente de segurança para estacas cravadas, é expresso como:

$$Q_{adm} = Q_u / 2,0 \quad (30)$$

Ou

$$Q_{adm} = Q_{lu} / 0,8 \quad (31)$$

Sendo:

Q_u : capacidade de carga da relação solo/estaca

Q_{adm} : carga admissível

Q_{lu} : a capacidade de carga lateral da estaca.

2,0: coeficiente de segurança a ser aplicado à capacidade de carga total

0,8: coeficiente de segurança a ser aplicado à capacidade de carga lateral.

Segundo o autor, Urbano Rodrigues Alonso (1996), considerar o resultado de menor valor encontrado entre as fórmulas acima para Carga admissível.

Urbano Rodrigues Alonso (1996) determinou para capacidade de carga lateral ao longo da estaca e capacidade de carga de ponta, as seguintes fórmulas:

$$Q_{lu} = 0,662 \cdot p \cdot \alpha \cdot \Sigma N \quad (32)$$

e

$$Q_{pu} = A_p \cdot 0,5 \cdot [(\beta \cdot N)_{acima} + (\beta \cdot N)_{abaixo}] \quad (33)$$

Onde:

p : perímetro da estaca,

A_p : área de ponta da estaca,

ΣN : somatório dos valores de N ao longo da estaca.

α e β : parâmetros correlacionados à capacidade de carga dos variados tipos de solo, ver tabela 3.28.

Segundo o método de Urbano Rodrigues Alonso (1996), Considerar:

- a) $(\alpha \cdot N)_{acima}$ = média dos valores q_p calculada num intervalo de 8 vezes o diâmetro da estaca, acima da ponta da estaca.
- b) $(\alpha \cdot N)_{abaixo}$ = média dos valores calculada num intervalo de 3,0 vezes o diâmetro da estaca, abaixo da ponta da estaca.
- c) Utilizar 40 quando N (SPT) for superior a 40.

Tabela 3.28: Valores de α , e β

Tipo de estaca	α (t/m ²)	Tipo de solo							
		β (t/m ²)							
		ARGS	ARGA	SAG	SAR	AREA	ARS	ARE	ARP
Prem.(concreto ou aço)	0,67	10,0	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Franki	0,67	10,0	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Hélice contínua	0,65	10,0	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Esc. s/ revestimento	0,56	10,0	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Esc. c/ revest.ou lama	0,59	10,0	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Raiz	0,87	10,0	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0

Fonte: SILVEIRA, E. S. **Investigações geotécnicas do subsolo para fundações**, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

3.9. Capacidade de carga por método dinâmico

A capacidade de carga estática das estacas foi correlacionada com as fórmulas dinâmicas que surgiram com esse objetivo. A correlação envolveu a resistência do solo à penetração da estaca, durante a cravação, com sua capacidade de carga. A grande maioria destas fórmulas foi deduzida com base na lei de Newton referente ao impacto entre dois corpos rígidos, modificadas para levar em conta as perdas de energia que ocorreriam durante o processo de cravação (ALVES *et al*, 2004).

A resistência do elemento de fundação cravado é função do que ele próprio é constituído, de madeira, concreto ou aço, baseados nas teorias da resistência dos materiais. A energia de cravação depende do tipo do equipamento empregado na cravação da estaca. A capacidade de carga das estacas pode ser obtida a partir desta energia de cravação, também chamado de “fórmula dinâmica” (ver figura 3.20) (OLIVEIRA FILHO, 1988).

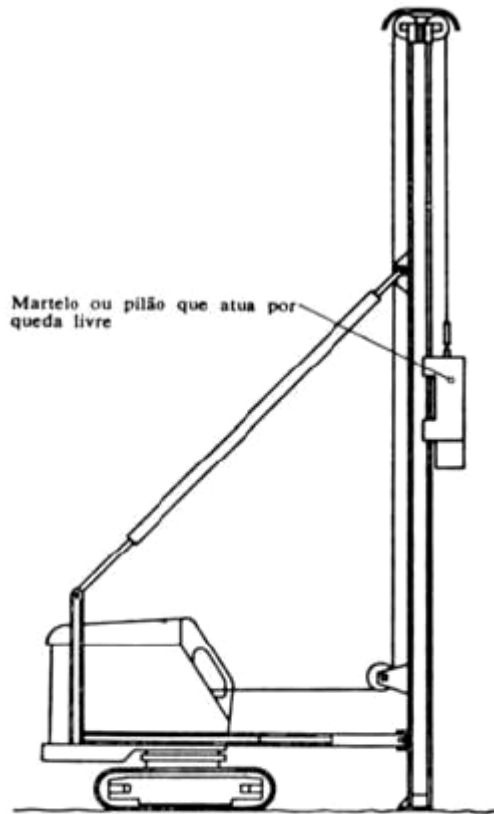


Figura 3.20: Equipamento de bate estaca que transmite a energia de cravação para a estaca (RODRIGUES, 2008)

Existem inúmeras fórmulas dinâmicas e todas elas baseadas no princípio de que o trabalho motor iguala o trabalho resistente. Aconselha-se, entretanto, a fórmula de HILEY (1925), por ser mais bem elaborada (AÇOMINAS, 1981). No presente trabalho será utilizada a fórmula dinâmica de HILEY (1925).

3.9.1. Princípios fundamentais do cálculo dinâmico

Admitamos um bate estaca de gravidade de peso do martelo (W_r), altura de queda (h), caindo em queda livre com velocidade (v), capaz de cravar uma estaca de peso (W_p) (ver figura 3.21)

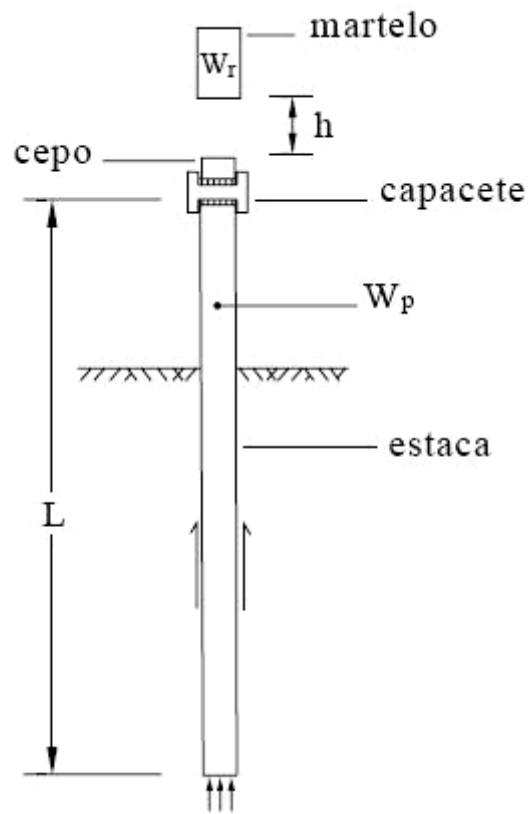


Figura 3.21: Sistema de cravação de estacas (CAVASSANI, 2005 (FLEMING, et al 1992))

A energia produzida pelo martelo, caindo em queda livre é:

$$T_m = W_r \cdot h \text{ (energia de cravação)} \quad (34)$$

Sendo:

v: velocidade de queda do martelo, a expressão fica:

$$T_m = W_r \cdot (v^2 / 2g) \quad (35)$$

Onde:

g: aceleração da gravidade

Pelo fato de existirem perdas de energia no ato da cravação devido ao choque entre o martelo e a estaca, deformação elástica do material da estaca e do solo faz com que fórmula acima não seja suficiente para que a estaca seja cravada, com isso deve-se à fórmula abaixo:

$$T_u = T_m - \text{perdas} \quad (36)$$

e

$$R \cdot e = W \cdot v^2/eg - P_c - P_e - P_i \quad (37)$$

Sendo:

e: penetração da estaca no solo

R: resistência do solo

P_c: Perda de energia devido ao choque martelo e estaca

P_e: Perda de energia devido a deformação elástica da estaca

P_i: Perda de energia devido a deformação elástica do solo

O trabalho útil (T_u) usado na cravação da estaca é igual ao trabalho resistente (T_r), portanto (OLIVEIRA FILHO, 1988):

$$T_u = T_r \quad (38)$$

A fórmula de “Sanders” de 1851 é a mais antiga, e consiste numa versão simplificada da Equação denominada “fórmula fundamental”.

WELLINGTON (1888) baseou-se na premissa do encurtamento da estaca após receber a energia do martelo e com isso, a conseqüente penetração (VELLOSO e LOPES, 2002).

Segundo OLIVEIRA FILHO (1988), as fórmulas dinâmicas devem ser empregadas para o cálculo de NEGA da estaca, ficando sua resistência admissível, ou capacidade de carga, a ser determinada por fórmulas que consideram as diferenças características geométricas do solo atravessado.

3.9.2. Fórmula dinâmica de HILEY (1925) - NEGA

A fórmula de HILEY é relativamente simples, no entanto, racional, que permite calcular as perdas de energia diante das condições reais (TSCHEBOTARIOFF, 1978)

Nas estacas cravadas a capacidade de carga dinâmica pode ser avaliada a partir dos dados dinâmicos da cravação.

As primeiras tentativas de estabelecer a capacidade de carga das estacas basearam-se em parâmetros dinâmicos observados na cravação.

Assim a primeira idéia foi sem dúvida correlacionar a dificuldade de cravação, avaliada pela NEGA (penetração permanente de uma estaca devida a um golpe, representativo de uma dada energia, associada ao peso do martelo e à altura de queda) à capacidade de carga da estaca.

Numa situação teórica onde não existam perdas de energia, a aplicação do Princípio de Conservação da Energia permite escrever:

$$W \cdot h = Q_d \cdot s \quad (39)$$

Onde:

W = peso do martelo

h = altura de queda

Q_d = capacidade de carga dinâmica da estaca

s = NEGA de cravação, ou seja, a energia aplicada é totalmente gasta no trabalho de cravação da estaca.

Uma equação deste tipo é denominada Fórmula Dinâmica, cabendo, para torná-la aplicável à situação real, avaliar as perdas de energia que ocorrem no processo

Segundo NIYAMA, et al (1998), dentre as várias fórmulas dinâmicas existentes apresenta-se a de HILEY, que estima a capacidade de carga estática em função dos pesos do martelo “W” e

da estaca “P”, da altura de queda do martelo “h”, da eficiência do martelo “e_f”, do coeficiente de restituição “e_r”, da NEGA “s” e das perdas de energia do capacete, da estaca e no solo (c₁, c₂, c₃), pela expressão:

$$Q_d = (e_r \cdot W \cdot h) / (s + c) \cdot (W + e^2 P) / (W + P) \quad (40)$$

Onde:

W= peso do martelo

P= peso da estaca

h= altura de queda do martelo

c = 1/2 (c₁ + c₂ + c₃) = representa as perdas por compressão elástica, ocorrentes no capacete (c₁), na estaca (c₂) e no solo (c₃).

e_r = eficiência do sistema de cravação

e_f = coeficiente de restituição definido na teoria de choque entre corpos sólidos, estudada na Física.

s= NEGA

De acordo com HILEY:

e_f = 0,75 para bate estaca de queda livre

e_r = 1,00 para bate estaca diesel ou a vapor.

Neste caso W.h será a energia nominal declarada no manual do equipamento.

O valor do coeficiente de restituição pode ser obtido através da tabela 3.29:

Tabela 3.29: Valores dos coeficientes ao uso ou não de coxins

Tipo da estaca	Capacete sem coxim de madeira	Capacete com coxim de madeira
Aço	0,55	0,32
Concreto	0,40	0,25

Fonte: SIMONS E MENZIES, 1981. Introdução à engenharia de fundações.

A avaliação do coeficiente de restituição pode ser obtida a seguir:

$$c_1 = a \cdot Q_d / Se \quad (41)$$

Sendo:

Se = área da seção transversal do capacete (cm^2)

Q_d = capacidade dinâmica da estaca (t)

c_1 = perda elástica no capacete (mm)

a = parâmetro obtido da tabela 3.30

Tabela 3.30: Valores de “a” para estacas cravadas

Tipo da Estaca	Valor de a (mm . cm^2 / t)
Aço	28,9
Concreto	18,1

Fonte: SILVEIRA, E. S. Investigações geotécnicas do subsolo para fundações, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

$$c_2 = b \cdot (Q_d / A) \cdot I \quad (42)$$

Sendo:

A = área da seção transversal da estaca (cm^2)

Q_d = capacidade de carga dinâmica da estaca (t)

c_2 = perda elástica na estaca (mm)

I = comprimento elástico da estaca

$I = 0,5 \cdot L$ para estacas trabalhando essencialmente por atrito lateral

$I = 1,00 \cdot L$ para estacas trabalhando essencialmente de ponta

$I = 0,75 \cdot L$ para estacas trabalhando por ponta e atrito

L = comprimento da estaca (m)

b = parâmetro obtido através da tabela 3.31.

Tabela 3.31: Valores de “b” para estacas cravadas

Tipo de estaca	B(mm . cm ²) / t.m
Aço	0,4741
Concreto	4,7408

Fonte: SILVEIRA, E. S. Investigações geotécnicas do subsolo para fundações, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

$$c_3 = 2,5\text{mm} = \text{perda elástica no solo} \quad (43)$$

Carga admissível a seguir:

$$Q = Q_d / 2,5 \quad (44)$$

Sendo:

Q = carga estática admissível na estaca

Cumpra registrar que a validade desta relação somente tem sentido como valor médio, pois a carga estática admissível em função da carga dinâmica apresenta variação bastante extensa, o que torna o valor médio pouco confiável. Assim uma estaca que apresente NEGA muito baixa implica em Q_d muito elevado, o que poderá, entretanto, não corresponder a um valor de Q também elevado, como por exemplo, quando a NEGA é medida com a estaca apoiada em matacão, por exemplo, sob o qual ocorra solo compressível. Neste caso a carga estática (Q) admissível poderá ser muito baixa devido ao recalque esperado.

3.9.3. Medição da NEGA

O controle dinâmico da cravação de uma estaca metálica, por exemplo, normalmente, utiliza-se da medição do número de golpes necessário para certa penetração permanente da estaca no solo. A contagem de golpes sobre a estaca e a medição da sua penetração se dá o nome de *NEGA*. A NEGA pode ser obtida através da contagem dos 10 últimos golpes ou pelo método

da colagem de uma folha de papel na estaca, sobre a qual um lápis é movimentado horizontalmente, durante o golpe do martelo (ver figura 3.22).

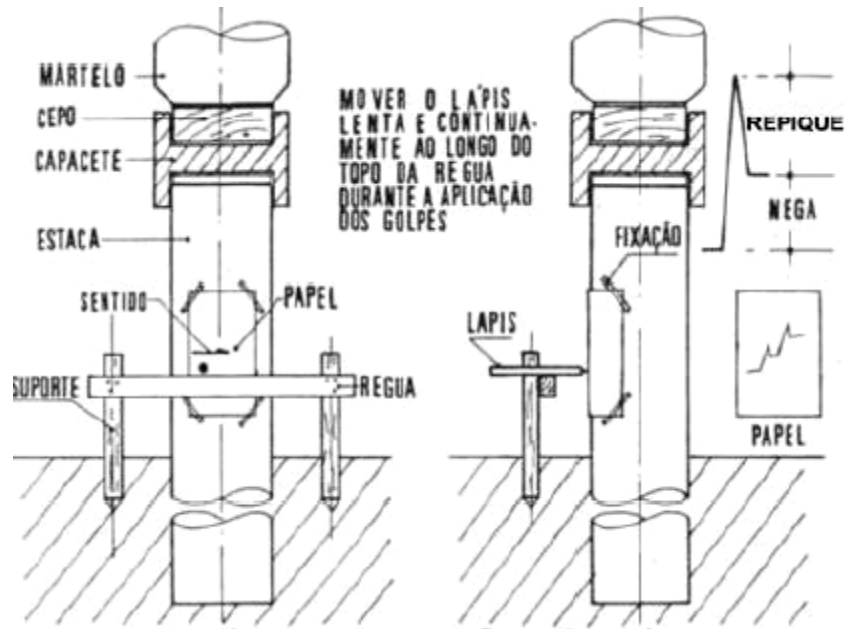


Figura 3.22: Medição da NEGA e repique. Adaptado de ALVES, *et al* (2004).

O procedimento do papel permite a medição da NEGA, como também do repique elástico, utilizado para estimativa da capacidade de carga. Se a estaca, por ventura, não alcançar a pré-determinada NEGA ou não atinja uma NEGA satisfatória, deve-se considerar a cravação da estaca como não aceita. Neste caso é comum que se realize uma recravação da estaca ou, quando em casos mais críticos, reforço. Através dos dados colhidos na cravação da estaca ou anteriormente através dos cálculos da NEGA, podem-se determinar a capacidade de carga da estaca fazendo-se com que os cálculos estáticos trabalhem em conjunto de forma a encontrar a melhor solução. O cálculo dinâmico pode vir a determinar a profundidade da estaca, da mesma forma através dos cálculos semi-empíricos estáticos (ALVES *et al*, 2004).

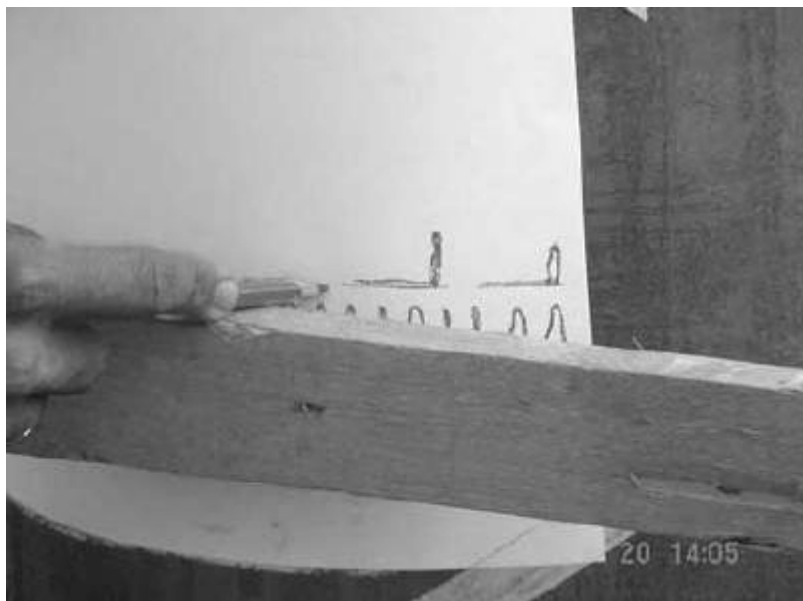


Figura 3.23: Ilustração da medição da NEGA de uma estaca. Adaptado de CAVASSANI (2005).

As estacas cravadas e pelo fato de serem cravadas, propiciam certa confiabilidade em relação ao seu desempenho. Isto se dá pelo fato da estaca, no ato da cravação, estar diante de um teste ou pré-teste durante sua execução. Este processo de cravação pode-se ser considerado como uma forma de avaliar a quantidade de carga que a estaca suportará. Com isso, na medida em que a estaca é cravada até apresentar a NEGA, pode-se considerar a própria cravação como um pré-teste de carregamento (WOLLE e HACHICH, 1998).

3.10. Metodologia executiva

3.10.1. Cravação à percussão

Cravação por percussão é o método executivo mais difundido no Brasil. Devido à alta frequência de utilização no país, vários processos semi-empíricos foram criados para determinação da capacidade de carga. Para a cravação das estacas é necessário o equipamento de bate estacas que pode ser de queda livre ou automática, também chamada de “Martelos a diesel”. A cravação de estacas promove deslocamentos do subsolo permitindo que a estaca possa penetrar e transmitir sua carga para o subsolo pela ponta e pela área do fuste. Para tanto se utilizam pilões de queda livre ou automáticos também denominados martelos diesel. Para

amortecer os golpes do pilão e uniformizar as tensões por ele aplicadas à estaca, instala-se no topo desta um capacete dotado de “cepo” e “coxim” (MAIA *et al*, 1998).

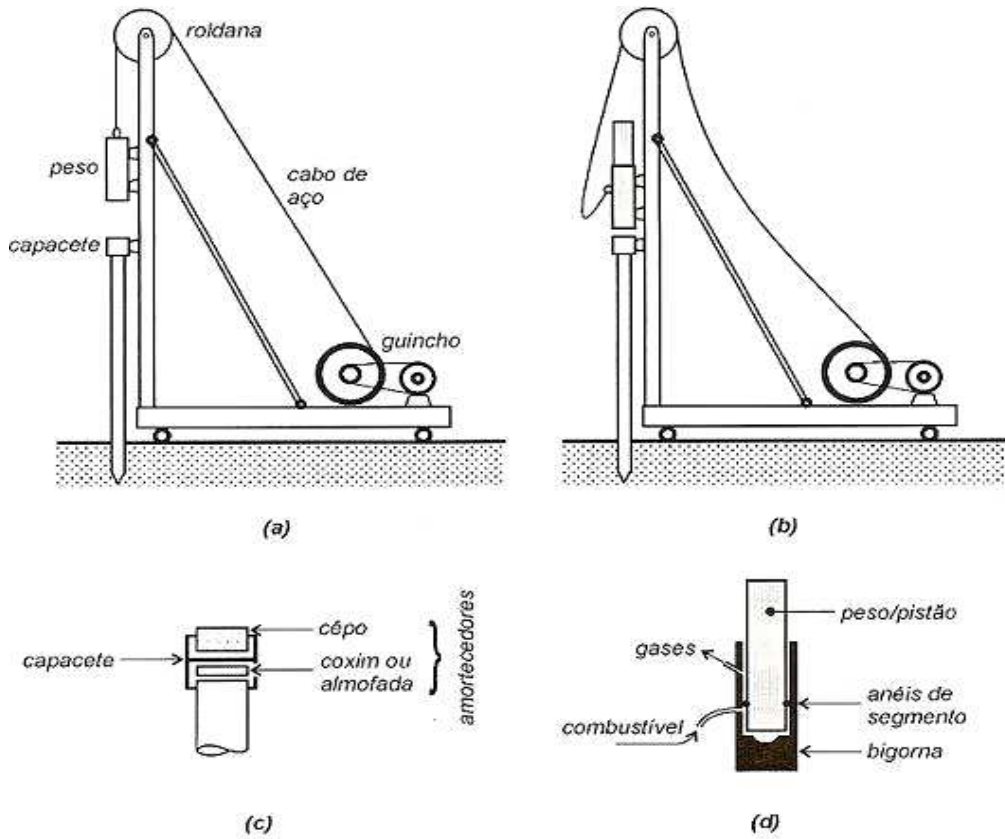


Figura 3.24: Sistema de cravação à percussão: (a) martelo de queda livre, (b) martelo automático diesel, (c) detalhe dos acessórios de cravação e (d) esquema de um martelo diesel. (VELLOSO e LOPES, 2002)

A capacidade de carga das estacas cravadas são medidas anteriormente através de métodos semi-empíricos, empíricos e teóricos ou durante a cravação através de métodos dinâmicos.



Figura 3.25: Bate estaca de queda livre utilizando martelo de 3 toneladas para cravação de trilhos TR57. Obra de fundação da Empresa Celso Contijo realizado em Belo Horizonte (MAGALHÃES, 2008).

Quando a cravação for feita utilizando-se martelos de queda livre, estes deverão ter um peso mínimo fixado na norma NBR 6122/96 para cada tipo de estaca (ver tabela 3.32). A altura de queda, em metros, para este tipo de martelo, deve ser adotada da ordem de (MAIA, *et al* 1998):

$$h = 0,7 P/W \quad (45)$$

Sendo:

P: peso da estaca

W: peso do martelo

H: altura de queda do martelo

Tabela 3.32: Tabela de pesos mínimos para pilões de queda livre

Tipo de estaca	W/P	Wmín (kN)
Madeira	1,0	-
Metálica	0,5	10
Concreto	0,7	15

Fonte: Fundações: teoria e prática: (MAIA, *et al* 1998).

3.10.2. Cravação em solos arenosos

Em relação à profundidade de cravação e a resistência do solo, TOMLINSON (1957, 1970, 1971) afirmou que, estacas cravadas em solos arenosos (areias ou areias com pedregulhos) permitem que no ato da cravação estes solos sejam empurrados para baixo até uma profundidade limitada, formando uma película de areia ou uma mistura de areia e argila compacta em torno do fuste. Esta película tem um atrito lateral de valor alto, de modo que estacas cravadas a penetrações de menos de 20 diâmetros dentro de solos coesivos rijos podem apresentar uma resistência devido ao atrito que excede em 1,25 vezes a resistência não-drenada ao cisalhamento do solo. Essa resistência diminui conforme a profundidade de penetração aumenta e o coeficiente de adesão tende a diminuir com o aumento da resistência ao cisalhamento do solo (SIMONS e MENZIES, 1981).

As estacas em solos arenosos ou granulares, pouca a média compactação, causam uma compacidade destes solos na medida em que o volume da estaca, introduzido no terreno, acarreta uma redução do índice de vazios (ver figura 3.26) (VELLOSO e LOPES, 2002).

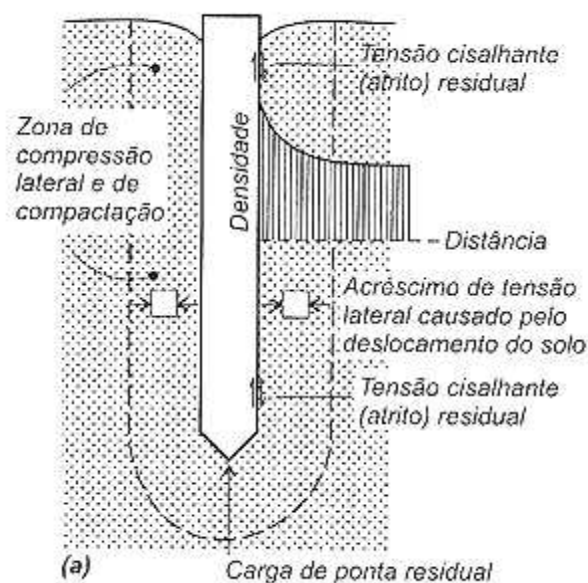


Figura 3.26: Efeitos da cravação sobre o terreno arenoso (VELLOSO e LOPES, 2002)

3.10.3. Cravação em solos argilosos

Estacas cravadas em solos argilosos (argilas ou siltes moles) formam uma película mole em volta do fuste da estaca que é empurrada para baixo até uma profundidade limitada. Essa película tende a aumentar a resistência da estaca ao cisalhamento devido ao adensamento. A película mole tem um efeito enfraquecedor considerável sobre a resistência devido ao atrito no fuste, onde a estaca penetra o solo coesivo rijo até menos de 20 diâmetros (SIMONS e MENZIES, 1981).

As estacas cravadas em solos argilosos deslocam o mesmo volume de solo que a própria estaca. Durante a cravação de estacas nestes solos (argila saturada), formam no subsolo poros pressões ao longo do fuste da estaca devido à baixa permeabilidade da argila, ver figura 3.27. Os excessos dos poros pressões ou amolgamento se dissipam logo após a execução de cravação (VELLOSO e LOPES, 2002).

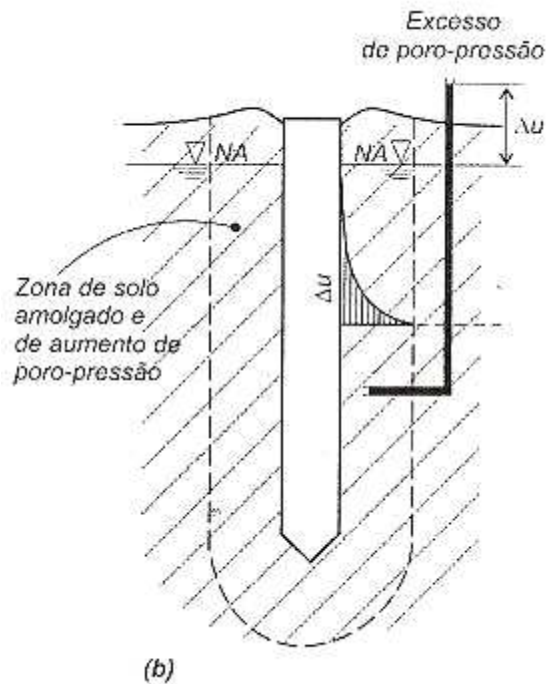


Figura 3.27: Efeitos da cravação sobre o terreno de argila saturada (VELLOSO e LOPES, 2002)

3.11. Tensão de cravação

O cálculo da tensão de cravação tem por objetivo estudar a energia disponibilizada pelo equipamento para atingir as metas de cravação da estaca. A energia de cravação propicia à estaca condições à sua cravabilidade, porém, pode também inviabilizar a execução do serviço ou da estaca. Um dos fatores que limitam a energia de cravação é o limite mínimo de escoamento do aço da estaca. Através destes cálculos é possível dimensionarmos a profundidade de cravação da estaca e as condições máximas suportáveis pelo material (VELLOSO e LOPES, 2002).

A deformação das estacas durante a cravação, em muitos casos, se deve à elevada energia de cravação sobre a peça de fundação. A elevada energia de cravação, na maioria das vezes, ultrapassa os limites suportados pelos elementos de aço, devido a vários fatores:

- Resistência do aço não dimensionado devidamente para a energia empregada.
- Dimensões geométricas da seção não dimensionadas devidamente.
- Profundidade de cravação acima das condições suportadas pela estaca.

- Excesso de energia de cravação.
- Número de golpes acima da capacidade do elemento, fazendo com que sofra por fadiga.
- Tipo de solo com camadas rígidas suficientes para danificar os elementos de aço.

Fórmulas foram desenvolvidas ao longo dos anos para a estimativa da tensão de cravação com o intuito de estabelecer limites de cravação para que as condições pudessem correr conforme o esperado.

A AÇOMINAS (1981) disponibilizou no material; “Estacas em perfis de aço”, a fórmula para estimativa da tensão cravação, que pode ser expressa da seguinte forma:

$$\sigma = ((\rho \cdot M \cdot h) / S(L/E + \alpha \cdot S/AC))^{1/2} \leq f_y \quad (46)$$

Sendo:

ρ = rendimento do martelo (queda livre – adotar 0,75)

σ = tensão média de cravação (kgf/cm²)

f_y = limite mínimo de escoamento do aço (kg/cm²)

L = comprimento da estaca (cm)

Ac = seção do envelope da estaca ou do capacete (cm²)

α = característica do capacete (aço c/ coxim = $0,3 \times 10^{-2}$ cm³/kgf)

M = peso do martelo (kgf)

h = altura de queda do martelo (cm)

S = Área da seção da estaca (cm²)

E = módulo de deformação longitudinal ($2,1 \times 10^6$ kg/cm²)

3.12. Interação solo-estrutura utilizando computação eletrônica

Segundo Vargas (1998), em História das fundações do Livro Fundações, Teoria e Prática (1998), os cálculos da interação solo-estrutura foram praticamente possíveis a partir do momento em que os computadores começaram a ser utilizados no auxílio.

Pois os cálculos de interação só se tornaram praticamente possíveis com os computadores. Pode-se admitir que a institucionalização da computação na Geotecnia brasileira deu-se com a realização do “1º seminário Brasileiro do Método dos Elementos finitos Aplicado à Mecânica dos Solos”, realizado pela COPPE no Rio de Janeiro, em setembro de 1974 (VARGAS, 1998).

Ainda Vargas (1998), em História das fundações no Livro “Fundações, Teoria e Prática” (1998), os computadores já são ferramentas comuns entre os engenheiros de fundação.

O uso dos computadores não se limita a fundações, mas deixa evidenciada que os comportamentos das fundações precisam de muitos cálculos e testes teóricos para que os resultados possam estar próximos da realidade que é almejado. O uso de programas computacionais na engenharia proporciona dimensionamentos com maior precisão e velocidade, possibilitando ao profissional realizar vários cálculos simultâneos ou em poucos espaços de tempo atribuir ao projeto uma maior segurança e confiabilidade estrutural.

4. METODOLOGIA

4.1 Considerações iniciais

Uma das principais características das fundações metálicas é a sua capacidade de carga elevada. A capacidade de carga juntamente com outros fatores (tipo de execução, tipo de estaca, distância de transporte, disponibilidade do produto, tempo de entrega e tipo de aço utilizado no elemento metálico) torna-se os precursores do custo da obra de fundação metálica. Se avaliarmos o custo da fundação mantendo-se fixos estes outros fatores, tem-se como variável apenas a capacidade de carga.

A capacidade de carga de estacas cravadas depende, entre outros, das dimensões geométricas da peça, da profundidade e do tipo de solo. Simulando-se numa mesma fundação a cravação de elementos diferentes, o tipo de solo também passará a ser uma variável importante. Assim, para situações similares, a opção de menor custo depende da análise da capacidade de carga das fundações resultantes de diferentes elementos de aço.

Para se calcular a capacidade de carga da fundação, foi considerada, dentre outras, a profundidade de cravação e as suas dimensões geométricas. A profundidade de cravação, além das dimensões geométricas do elemento, também depende da resistência do aço e da capacidade do equipamento de cravação.

As fundações metálicas mais comuns utilizadas são aquelas constituídas por perfis, tubos e trilhos. Estas fundações são, dentre outros métodos, executadas sob percussão por bate estacas. No presente trabalho, foram dimensionados 03 tipos distintos de fundações em aço (para elementos em perfis, tubos e trilhos) através da adaptação do programa “Carga Admissível por SPT”, de autoria do próprio autor, para a criação de 3 programas computacionais distintos (uma para cada tipo de elemento). Os processos utilizados para o dimensionamento das fundações cravadas foram os métodos clássicos estáticos e dinâmicos semi-empíricos (apresentados no item 3.8.5 da revisão bibliográfica).

4.2. Definição dos tipos de solo

Para o dimensionamento e análise do custo de uma obra de fundação metálica, foram considerados os fatores de solo utilizando o método à percussão, SPT (ver item 3.10.1 da revisão bibliográfica). O método de sondagem por SPT foi escolhido por ser um dos processos mais comuns utilizados no Brasil. Os processos semi-empíricos utilizados no desenvolvimento dos programas computacionais (descritos no item 3.8 da revisão bibliográfica) levam em consideração estes valores.

Foram utilizados nos programas, dois projetos de sondagem à percussão SPT (item 6.2). Para tornar os projetos de sondagens independentes, foi escolhido aquele que possui características parecidas em relação ao uso de fundações metálicas, onde no primeiro predomina solo tipo arenoso e no segundo (modificado na sua predominância do tipo de solo) tem característica típica de solo argiloso. Os valores de SPT foram variados em número de golpes (entre 2 a 58), porém iguais mudando apenas o tipo de solo. Para se obter resultados em relação ao estudo das variadas fundações metálicas em relação ao tipo de solo (arenoso e argiloso) sem a variação dos índices de SPT, o projeto foi modificado nos seus tipos de solos de arenoso para argiloso, mantendo-se os índices de SPT. Desta forma, os resultados relacionados ao comportamento da estaca, num certo solo, puderam ser analisados levando-se em consideração os mesmos índices de SPT e assim, variando-se apenas os tipos de solos. Os dois projetos de sondagem, apresentados no item 6.2, possuem características comuns para o uso de fundações metálicas. O perfil de sondagem utilizado tem como característica, origem de situação real e que empregou elementos de aço como fundação.

A presença de matacões torna as fundações, em muitos casos, especiais. Por este motivo, a presença de matacões foi evitada e não incluída entre os tipos de solos de sondagem deste trabalho. Outro elemento comum nos solos é a presença do nível d'água e para este trabalho não fora considerado, mesmo que presente ou não na sondagem. A presença do nível d'água para o dimensionamento de fundações cravadas, calculados através dos métodos semi-empíricos, não são consideradas nos métodos clássicos de dimensionamento.

4.3. Definição dos elementos metálicos e tipos de aço a serem utilizados

No mercado da construção civil é comum encontrar-se fundações metálicas em trilhos ferroviários, como também tubos de seção circular e perfis do tipo “H”. Assim, neste trabalho foram considerados esses elementos, para uma comparação em relação aos seus desempenhos quanto à carga admissível e custo.

Os perfis do tipo “H” e “I” utilizados em fundações cravadas, são comuns em fundações com aço A36, que oferece o limite de escoamento característico mínimo de 250 MPa. Atualmente, os perfis e tubos de aço utilizados em fundações metálicas também podem ser do tipo ASMT 572 de grau 50 que oferece o limite de escoamento característico mínimo de 350 MPa. Os trilhos ferroviários são regidos por normas diferentes e possuem resistência maior de limite de escoamento mínimo, em média 450 MPa. Neste trabalho foram utilizados perfis e tubos ASTM 572 grau 50 e trilhos com 450 MPa de limite de escoamento.

4.4. Desenvolvimento dos programas computacionais

Por melhor possibilidade de interface, os programas computacionais foram desenvolvidos na plataforma Microsoft Excel. Esses programas foram criados a partir do programa “Carga admissível por SPT” (que realiza cálculos preferencialmente para estacas de concreto) de autoria prévia do próprio autor e adaptado para se determinar a carga admissível das estacas metálicas utilizado neste trabalho. Desta forma, foram dimensionadas as tensões máximas permissíveis dinâmicas e estáticas. Os 3 programas criados foram, respectivamente, para tubos, trilhos e perfis. Os programas dimensionaram a fundação metálica a partir da sondagem (SPT), das cargas atuantes e da resistência do aço considerado. O campo comum entre eles é a parte de inserção de dados geotécnicos do solo (sondagem). Neste setor, foram criados campos individuais designados aos tipos de solos mais comuns, definidos pelos autores dos processos semi-empíricos. O setor de inserção de dados geotécnicos foi dividido em colunas e linhas que representam a profundidade máxima que o programa pode aceitar. Um gráfico demonstrando a situação do número de golpes, por cota, foi inserido para que se torne mais fácil a visualização. Os tipos de solos argilosos utilizados nos programas foram:

- Argila siltosa
- Argila arenosa
- Silte argiloso
- Silte arenoso

Os tipos de solos arenosos utilizados nos programas foram:

- Areia argilosa
- Areia siltosa
- Areia
- Areia com pedregulhos

No segundo campo, foi criado um setor para dados de cargas atuantes, comprimento da estaca, limite de escoamento do aço utilizado, espessura de corrosão conforme ABNT NBR 6122/96 e o valor da massa específica do aço.

Os campos de momento nas direções X e Y e o campo para inserção de carga de tração não foram utilizados. No campo de comprimento da estaca foram inseridos os valores aproximados em metros para a determinação da carga admissível. No campo “Espessura de corrosão” foi mantido o valor de 1,5 mm, adotado pela ABNT NBR 6122/96 (item 7.8.2.3.2) como espessura de sacrifício. O limite de escoamento do aço utilizado nas fundações foi o mesmo dos elementos utilizados nas fundações metálicas e definidos pelos fabricantes (ver item 4.3 da metodologia).

Os campos de inserção dos dados dos elementos de fundações foram apresentados separadamente.

4.4.1. Inserção dos dados dos elementos de fundações:

4.4.1.1. Tubos

No programa de cálculo da Carga admissível de tubos, foram necessários os dados de entrada de dimensionamento da peça para que o programa pudesse processar todas as condições para chegar à carga admissível. No caso deste trabalho, foram utilizados tubos de seção circular por serem mais comuns. Através do diâmetro da peça, o programa determinou a capacidade de carga de ponta e lateral. Além destes dados, o programa calculou a área efetiva de aço da seção e, conseqüentemente, a tensão máxima suportada.

Foram calculadas as tensões máximas da estaca e apresentadas as cargas máximas de trabalho e atuantes. O programa apresentou os valores referentes à eficiência da estaca em relação à carga de compressão atuante. O embuchamento foi considerado como 100% e isso significa que o programa calculou a carga admissível da estaca considerando a ponta da estaca como fechada.

4.4.1.2. Perfis

No programa de cálculo da Carga admissível em perfis, foram necessários os dados de entrada de dimensionamento da peça para que o programa pudesse processar todas as condições para se chegar à carga admissível. No caso deste trabalho, foram utilizados perfis de seção “H” e “I”, por serem mais comuns em fundações metálicas. A inserção das dimensões do perfil foi necessária para que o programa pudesse analisar a melhor opção.

Foram calculados os valores de tensão máxima da estaca e as cargas máximas de trabalho e atuante. Para uma breve verificação da eficiência da carga admissível em relação à estaca, o programa dimensionou e apresentou resultados que definem suas condições de aceitação.

4.4.1.3. Trilhos

No programa de cálculo da Carga admissível em trilhos, os valores a serem inseridos foram dispostos sob a forma de uma lista. Nessa lista, foram incluídos vários tipos distintos de geometrias, porém utilizados apenas trilhos fabricados no Brasil (no caso, TR25 ao TR68, ver especificações no item 5.3.5). Os trilhos ferroviários são de área de seção e perímetro bem reduzidos em comparação aos tubos e perfis “H” e “T”. Para que os trilhos possam obter capacidade de carga de ponta e lateral suficiente ou representativo diante dos perfis e tubos, peças de trilhos são soldadas lateralmente umas as outras formando novas seções. No caso de seções compostas para trilhos, o programa oferece cinco opções, das quais as mais utilizadas. Foram dispostos para o trabalho os seguintes tipos de fundações em trilhos: simples (composta por uma única peça), os duplos (com duas peças de trilhos soldadas lateralmente - em duas versões de combinações), os triplos (com três peças soldadas) e os quádruplos (com quatro peças soldadas). Por apresentar as mesmas condições dos demais elementos estudados, neste trabalho foi adotada a utilização apenas do elemento de trilho simples.

Os programas forneceram os dados da área da seção do trilho e o peso por metro para uma peça por vez. O programa também realizou algumas considerações em relação ao desgaste das peças de trilhos ferroviários. Os trilhos são elementos de linhas férreas e estes apresentam, normalmente, desgaste devido ao atrito com as rodas das locomotivas sobre eles (ver figuras 4.1 e 4.2). O desgaste sobre o boleto do trilho, até 5%, em alguns casos é visível e, normalmente, relevante quando utilizado como peça de fundação. O desgaste acontece normalmente no boleto, diminuindo o peso da peça de trilho e, conseqüentemente, a área da seção. Se pesarmos a peça de trilho e compararmos ao peso característico de fabricação, perceberemos que existirá uma porcentagem de desgaste.

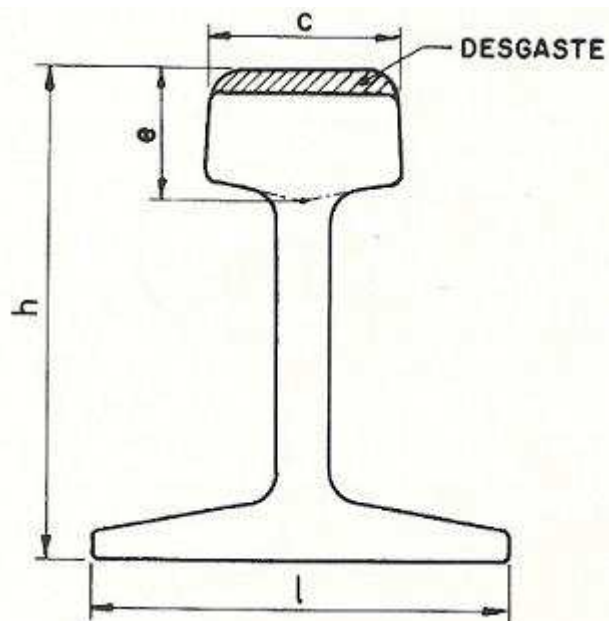


Figura 4.1: Desgaste vertical do boleto do trilho. Adaptado do livro “Estradas de ferro”, publicado pela UFMG em 1988. (BRINA, 1988)

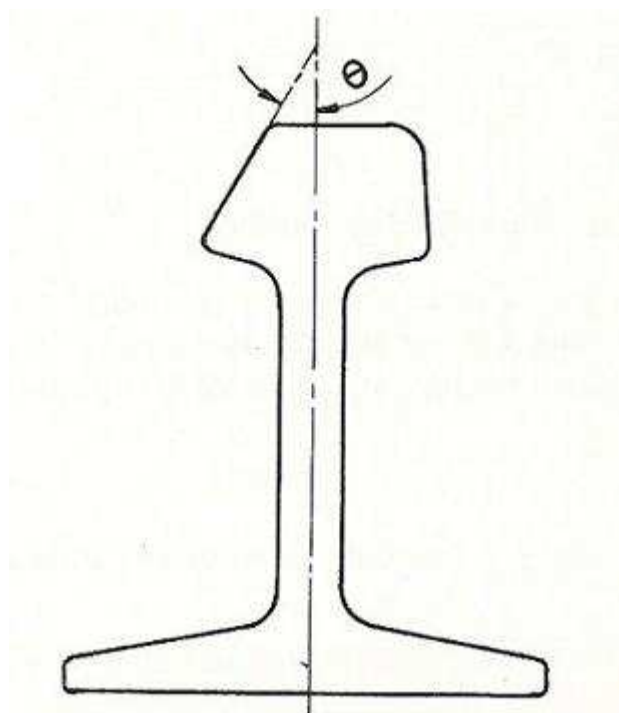


Figura 4.2: Desgaste lateral do boleto do trilho. Adaptado do livro “Estradas de ferro”, publicado pela UFMG em 1988. (BRINA, 1988)

Os desgastes dos trilhos foram considerados em forma de porcentagem nos programas. Estes valores foram dispostos em uma lista variando de 0% e 20%. Os trilhos com desgaste acima de 20% da área total foram considerados inúteis para o reuso como fundações. Para se calcular o desgaste do trilho é necessário que o elemento seja pesado e comparado com seu peso característico de fabricação. Segundo as Empresas, como a Brasil Trilhos, que comercializam trilhos de sucatas de vias férreas, a maioria dos trilhos retirados e substituídos apresenta desgaste de 3%. Com isso o número de peças disponíveis para reutilização como elementos de fundações com esse nível de desgaste é muito elevado. Desta forma adotou-se este valor de 3% para o desenvolvimento dos cálculos.

Através deste e outros valores, o programa pode determinar a nova área da seção e processar a tensão máxima permitida. Os dados do comprimento da estaca foram arbitrários e determinados conforme a carga admissível aproximou-se ou alcançou o valor desejado. O programa possui campos para inserção da carga estática da edificação, do peso específico do aço e o limite de escoamento.

4.4.2. Obtenção de resultados para carga admissível – dimensionamento estático

Os programas forneceram os resultados da carga admissível assim que todos os dados de inserção foram preenchidos e marcados. Foi utilizado, para determinação da carga admissível, o SPT como forma de investigação do solo. Os processos de cálculos da capacidade de carga estáticos levam em consideração os dados colhidos por meio do SPT.

Dentre muitos processos de investigação do solo, o SPT é um dos meios mais divulgados e utilizados no mercado da construção civil. Devido a sua confiabilidade e praticidade, o método passou a ter grande representação no mercado. Por este e outros motivos, o método foi considerado como um dos fatores que levaram muitos autores a aderirem ao uso do SPT como fonte de dados para suas fórmulas (ver item 3.8.2 da revisão bibliográfica).

Os três programas desenvolvidos para perfis, tubos e trilhos possuem um setor em comum, ou seja, os processos para cálculo da capacidade de carga. Para a determinação da capacidade de

carga total da estaca foi necessário a soma da capacidade de carga de ponta e lateral. A soma das duas parcelas define a capacidade de carga total e dividido pelo coeficiente de segurança, determinado pela ABNT NBR 6122/96 (item 5.6) como não menor que 2, temos assim a carga admissível da estaca.

O coeficiente de segurança normalmente é determinado pelo autor da fórmula, mas a partir das determinações da norma ABNT NBR 6122/96, a maioria dos autores passaram a adotá-la.

Os programas realizaram os cálculos da eficiência de compressão em relação às cargas admissíveis. Para que a eficiência da fundação em relação à carga estática seja aprovada, foi necessário que o coeficiente de eficiência não fosse menor que 1. A eficiência de compressão, como também de tração, é a relação da carga na estaca sobre carga admissível da estaca calculado a partir dos métodos estáticos.

Os processos de Decourt-Quaresma e Aoki-Velloso (ver item 3.8.5.1 e 3.8.5.2 da revisão bibliográfica) que fazem parte dos métodos estudados neste trabalho são muito comuns na literatura Brasileira de fundações. Porém, quando realizamos os cálculos de fundações para estacas, através dos dois processos, percebem-se discrepâncias nos resultado. Dentre os processos disponíveis, foram escolhidos cinco Métodos com aplicações com maior frequência no Brasil. Estes processos levam em consideração dados colhidos em ensaios de SPT.

Através dos processos utilizados foram abordadas e discutidas as diferenças entre as capacidades de carga obtidas entre as estacas. Os programas realizaram uma rápida análise das eficiências de trabalho de cada estaca e informaram quando a carga admissível mínima não foi atingida. Em função de prováveis diferenças entre os resultados fornecidos pelo dimensionamento com cada um dos cinco processos, os resultados também necessitaram de aprovação no quesito eficiência (relação carga sobre a estaca/ carga admissível da estaca). Desta forma foi possível uma avaliação direta dos processos comparando-os em relação às capacidades de cargas das fundações testadas.

A seguir foram apresentados alguns detalhes das formulações (que são considerados pelos respectivos autores dos métodos) que fazem parte do processamento promovido pelos programas computacionais.

a) Método Aoki-Velloso (1975)

O método Aoki-Velloso (1975) permite que sejam realizados cálculos no mesmo processo e, através de correlações, entre valores colhidos em investigações de solo por CPT e SPT. A formulação e detalhamentos sobre o método estão dispostos no item 3.8.5.1 da Revisão Bibliográfica.

Segundo Aoki e Velloso (1975), considerar 40 quando os valores de N na sondagem forem maiores que 40.

Os valores de K e α que serão utilizados nos programas estão listados na tabela 4.1:

Tabela 4.1: Coeficientes k e α , adaptado de (Aoki-Velloso, 1975)

Tipo de solo	k (T/m ²)	α (%)
Areia	100	1,4
Areia com pedregulhos	100	1,4
Areia siltosa	80	2,0
Areia argilosa	60	3,0
Silte arenoso	55	2,2
Silte argiloso	23	3,4
Argila arenosa	35	2,4
Argila siltosa	22	4,0

Fonte: SILVEIRA, E. S. **Investigações geotécnicas do subsolo para fundações**, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

Os valores de F1 e F2 que serão utilizados nos programas estão listados na tabela 4.2:

Tabela 4.2: Coeficientes de transformação F1 e F2 adaptado de Aoki-Velloso (1975)

Tipo de estaca	F1	F2
Franki	2,11	4,22
Pré-moldada (aço ou concreto)	1,75	3,50
Hélice Contínua	3,00	4,50
Escavada sem revestimento	3,00	6,00
Escavada c/ revestimento ou lama	3,00	5,00
Raiz	3,00	3,50

Fonte: SILVEIRA, E. S. **Investigações geotécnicas do subsolo para fundações**, Curso de estruturas de fundações, Escola de Engenharia UFMG, 1999.

b) Método Décourt-Quaresma (1978, 1982)

A formulação e detalhamentos sobre o método estão dispostos no item 3.8.5.2 da Revisão Bibliográfica.

Segundo os autores, os valores de SPT menores que 3 serão considerados como 3 e os valores de SPT devem ser considerados no máximo 50, acima desse são considerados como 50.

Segundo Décourt e Quaresma (1982), para carga admissível adota-se a expressão a seguir:

$$Q_{adm} = (Q_{lu} / 1,3) + (Q_{pu} / 4) \quad (47)$$

A fórmula citada acima foi utilizada nos programas computacionais para determinar a carga admissível de cada estaca.

c) Método Pedro Paulo Costa Velloso (1979)

A formulação e detalhamentos sobre o método estão dispostos no item 3.8.5.3 da Revisão Bibliográfica.

A norma ABNT NBR6122/96 (item 5.6), define que o coeficiente de segurança em fundações por estacas, calculados por métodos semi-empíricos, não deve ser menor que 2,0. Pedro Paulo Costa Velloso (1979), definiu como coeficiente de segurança o valor de 2,5 e a fórmula pode ser expressa da seguinte forma:

$$Q_{adm} = Q_u / 2.5 \quad (48)$$

O método também considera um valor máximo para número de golpes relacionados à investigação do solo, STP. Para Pedro Paulo Costa Velloso (1979), os valores de SPT acima de 40 devem ser considerados como 40.

O Autor relaciona as médias para os valores de SPT da sondagem acima e abaixo da cota de apoio para definir a capacidade de carga de ponta. Considera-se que a média dos valores de SPT acima da cota de apoio deve ser calculada num espaço igual a 8,0 vezes o diâmetro da estaca. Ainda, o autor considera que para a definição da capacidade de carga de ponta devam ser considerados, além da média acima da cota de apoio, a média abaixo da cota de apoio. Então, Pedro Paulo Costa Velloso (1979), considera que a partir da cota de apoio deve-se calcular a média dos valores de SPT numa distância até 3,5 vezes o diâmetro da estaca. Os programas criados para dimensionamento da carga admissível das estacas de aço levam em consideração todas estas recomendações propostas pelo autor.

d) Método Alberto Henriques Teixeira (1996)

A formulação e detalhamentos sobre o método estão dispostos no item 3.8.5.4 da Revisão Bibliográfica.

A norma ABNT NBR6122/96, define que o coeficiente de segurança em fundações por estacas, calculados por métodos semi-empíricos, não deve ser menor que 2,0. Teixeira (1996) definiu como coeficiente de segurança o valor de 2,0 e a fórmula expressa da seguinte forma:

$$Q_{adm} = Q_u / 2.0 \quad (49)$$

O método também considera um valor máximo para número de golpes relacionados à investigação do solo por STP. Para Teixeira (1996), os valores de SPT quando maiores que 40 são considerados 40.

O Autor relaciona as médias acima e abaixo da cota de apoio para definir a capacidade de carga de ponta. Considera que a média dos valores de SPT acima da cota de apoio deva ser calculada num intervalo igual a 4,0 vezes o diâmetro da estaca. Ainda, o autor considera que para definir a capacidade de carga de ponta, devem ser considerados, além da média acima da cota de apoio, a média abaixo da cota de apoio. Então, Teixeira (1996) considerou que, a partir da cota de apoio deve-se calcular a média dos valores de SPT num intervalo de 1,0 vez o diâmetro. Os programas criados para dimensionamento da carga admissível das estacas de aço levam em consideração todas estas recomendações propostas pelo autor.

e) Método Urbano Rodrigues Alonso (1996)

A formulação e detalhamentos sobre o método estão dispostos no item 3.8.5.5 da Revisão Bibliográfica.

No item 5.6 da norma ABNT NBR6122/96, define que o coeficiente de segurança em fundações por estacas, calculados por métodos semi-empíricos, não devem ser menores que 2,0. Alonso (1996) definiu como coeficiente de segurança o valor de 2,0 (para capacidade de carga total) e 0,8 (para capacidade de carga lateral), e as fórmulas podem ser expressas da seguinte forma:

$$Q_{adm} = Q_u / 2,0 \quad (50)$$

ou

$$Q_{adm} = Q_{lu} / 0,8 \quad (51)$$

Segundo o autor, deve-se utilizar aquele que obter menor valor.

O método também considera um valor máximo para o número de golpes relacionados à investigação do solo por STP. Para Alonso (1986), os valores de SPT quando maiores que 40 devem ser considerados como 40.

O autor relaciona as médias acima e abaixo da cota de apoio para definir a capacidade de carga de ponta. Ele considera que a média dos valores de SPT acima da cota de apoio deva ser calculada num intervalo igual a 8,0 vezes o diâmetro da estaca. Ainda, o autor considera que para definir a capacidade de carga de ponta deve ser considerado, além da média acima da cota de apoio, a média abaixo da cota de apoio. Então, Alonso (1996) considerou que, a partir da cota de apoio deve-se calcular a média dos valores de SPT num intervalo de 8,0 vezes o diâmetro da estaca. Os programas criados para o dimensionamento da carga admissível das estacas de aço levam em consideração todas estas recomendações propostas pelo autor.

4.4.3. Obtenção de resultados para carga admissível – dimensionamento dinâmico

Para que possamos ter a noção real das condições de cravação, os programas realizaram um reconhecimento por meio de fórmulas considerando métodos dinâmicos. O método dinâmico baseia-se na teoria do cálculo da cravação de estacas. A profundidade máxima ou suficiente para se atingir uma determinada capacidade de carga é determinada a partir de dados colhidos pela cravação. Através da contagem manual do número de golpes em relação ao intervalo de penetração do elemento de fundação, podemos definir a NEGA de cravação. Observando a penetração da estaca a partir dos dados colhidos, pode-se obter uma previsão da capacidade de carga.

Além das determinações da NEGA de cravação e da capacidade de carga, é importante observar os métodos de cravação. As estacas de aço, normalmente são cravadas por percussão utilizando equipamentos que fornecem energia suficiente para que a peça penetre no solo (sem ser retirado). Esse processo envolve energia potencial proveniente de martelos de aço com pesos que variam (na ordem de toneladas) conforme a necessidade da profundidade (relacionada à capacidade de carga e às dimensões do elemento de fundação). Em alguns casos, pela necessidade da elevada capacidade de carga da fundação, a energia de cravação

supera a capacidade de absorção do elemento de fundação. Isso pode acarretar problemas como empenos e deformações em forma de sanfona nas estacas (ver figura 4.3). Em alguns casos as estacas trincam ou até se rompem totalmente.

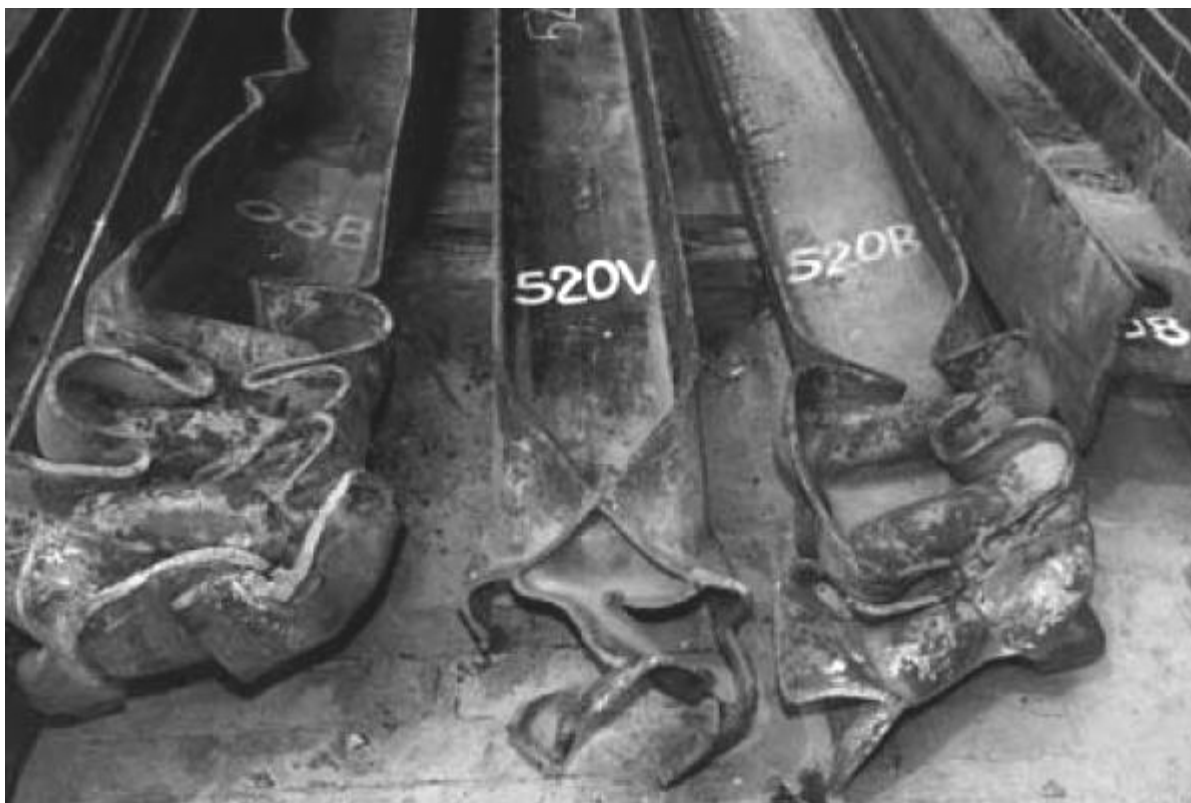


Figura 4.3: Perfis de aço danificados após cravação (PEDRO, 2007).

Para um melhor controle da execução de cravação, os programas realizaram uma análise quanto ao reconhecimento da máxima tensão de cravação. Esse método de cálculo leva em consideração o limite de escoamento do aço utilizado e as dimensões da seção do elemento estrutural. Com esses dados os programas puderam traçar uma tensão máxima de cravação que também podem, em alguns casos, limitar a capacidade de carga.

O cálculo dinâmico foi desenvolvido para determinar a capacidade de carga de estacas a partir dos dados de cravação. Existe uma relação entre os processos dinâmicos e estáticos. As investigações à percussão são nada mais do que ensaios dinâmicos e é por este motivo que existem ligações entre os dados colhidos através de sondagens a SPT com os cálculos estáticos.

O processo de HILEY (1925) foi escolhido para utilização nos programas por ser um dos mais comuns e de grande aceitação entre os profissionais.

A fórmula de HILEY (1925) é definida como:

$$W \cdot h = Q_d \cdot s \quad (52)$$

onde:

W = peso do martelo

h = altura de queda

Q_d = capacidade de carga dinâmica da estaca

s = NEGA de cravação, ou seja, a energia aplicada é totalmente gasta no trabalho de cravação da estaca.

A fórmula de HILEY (1925), para a Capacidade de carga dinâmica da estaca pode ser expressa da seguinte maneira:

$$Q_d = (ef \cdot W \cdot h) / (s + c) \cdot (W + e^2 P) / (W + P) \quad (53)$$

Onde:

ef = eficiência do sistema de cravação

e = coeficiente de restituição definido na teoria de choque entre corpos sólidos

P = peso da estaca

$c = 1/2 (c_1 + c_2 + c_3)$ = representa as perdas por compressão elástica, ocorrentes no capacete (c_1), na estaca (c_2) e no solo (c_3).

De acordo com HILEY (1925):

ef = 0,75 para bate estaca de queda livre

er = 1,00 para bate estaca diesel ou a vapor. Neste caso “W.h” será a energia nominal declarada no manual do equipamento.

A fórmula de HILEY (1925) (ver item 3.9.2. da revisão bibliográfica) é utilizada para prever a resistência da interação estaca/solo. Para a eficiência mecânica do martelo “ef” em bate estacas de queda livre foi utilizado o valor 0,75. O valor da compressão elástica do capacete C1 em relação à tensão aplicada no elemento de fundação é a relação entre o valor de 28,9 mm. cm² / t para “a”, a carga da edificação e a área da seção da estaca.

Neste trabalho foi adotado o coeficiente de restituição ao choque entre corpos sólidos “e” igual a 0,32, com o uso de coxim de madeira. O método de cravação sem o uso de coxim, com o valor do coeficiente de restituição igual a 0,55, não foi utilizado por não ser muito comum. Os valores de NEGA “S” foram determinados pelos programas. A altura de queda do martelo oscilou conforme a tensão de cravação em relação à profundidade da fundação ou da capacidade de absorção sem deformações por parte do elemento de aço ou pela capacidade de carga atingida.

O valor do coeficiente de restituição pode ser obtido na tabela 4.3:

Tabela 4.3: Valores dos coeficientes ao uso ou não de coxins (HILEY, 1925)

Tipo da estaca	Capacete sem coxim de madeira	Capacete com coxim de madeira
Aço	0,55	0,32
Concreto	0,40	0,25

Fonte: SIMONS E MENZIES, 1981. Introdução à engenharia de fundações.

Para a determinação dos parâmetros de perda por compressão elástica para o capacete pode ser definida pela fórmula de HILEY (1925):

$$c_1 = a \cdot Q_d / Se \quad (54)$$

Sendo:

Se = área da seção transversal do capacete (cm²)

Q_d = capacidade dinâmica da estaca (t)

c₁ = perda elástica no capacete (mm)

a = parâmetro obtido da tabela 4.4

Tabela 4.4: Valores de “a” para estacas cravadas (HILEY, 1925)

Tipo da Estaca	Valor de a (mm . cm ² / t)
Aço	28,9
Concreto	18,1

Fonte: SIMONS E MENZIES, 1981. Introdução à engenharia de fundações.

O cálculo da perda por compressão elástica na estaca também pode ser definida pela fórmula de HILEY (1925):

$$c_2 = b.(Q_d / A) . I \quad (55)$$

sendo:

A= área da seção transversal da estaca (cm²)

Q_d = capacidade de carga dinâmica da estaca (t)

c₂ = perda elástica na estaca (mm)

I = comprimento elástico da estaca

I = 0,5 * L para estacas trabalhando essencialmente por atrito lateral

I = 1,00 * L para estacas trabalhando essencialmente de ponta

I = 0,75 * L para estacas trabalhando por ponta e atrito

L = comprimento da estaca (m)

c₂ = perda elástica na estaca (mm)

b = parâmetro obtido da tabela 4.5

Tabela 4.5: Valores de b para estacas cravadas (HILEY, 1925)

Tipo de estaca	B(mm . cm ²) / t.m
Aço	0,4741
Concreto	4,7408

Fonte: SIMONS E MENZIES, 1981. Introdução à engenharia de fundações.

O cálculo da perda por compressão elástica no solo pode ser definida pela fórmula de HILEY (1925):

$$c_3 = 2,5\text{mm (perda elástica no solo)} \quad (56)$$

Para determinar a carga admissível da estaca, HILEY (1925) adicionou o coeficiente de segurança igual a 2,5, conforme a expressão abaixo:

$$Q = Q_d / 2,5 \quad (57)$$

Sendo:

Q = carga estática admissível na estaca

4.4.4. Definição do método executivo, das cargas estáticas e dinâmicas

As estacas cravadas normalmente são submetidas a cargas à percussão que fazem com que penetrem no solo. Estas cargas dependem de alguns fatores que determinam o sucesso da operação. A resistência do solo é um fator fundamental quanto a este aspecto, pois é um dos determinantes do grau de dificuldade de penetração da estaca, mas também contribuí com o potencial da capacidade de carga da fundação. Em solos mais rígidos, a cravação da estaca depende da energia de cravação que permite que sejam vencidos obstáculos do subsolo. Muitas vezes, para que estes obstáculos possam ser vencidos são necessárias elevadas cargas. Entretanto, deve-se observar que o sucesso da operação de cravação com cargas elevadas depende da resistência do material utilizado. Quanto maior a resistência do aço, para uma mesma geometria do elemento, maior será a probabilidade de sucesso na superação de obstáculos no subsolo. Porém, o aumento excessivo da resistência do material também poderá contribuir para que a tenacidade (resistência ao impacto) venha a diminuir, comprometendo o desempenho do elemento de fundação.

A Figura 4.4, ilustra um equipamento de bate estacas por gravidade ou queda livre. A escolha desse método de cravação se deve à sua grande utilização para estacas pré-fabricadas metálicas.

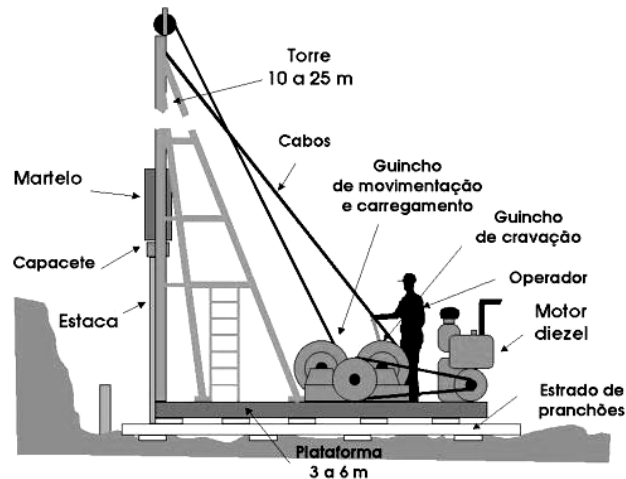


Figura 4.4: Bate estaca do tipo de gravidade (Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2002).

Para se evitar perdas de materiais (pontas de estacas) durante a execução, é importante que a fundação esteja projetada prevendo o mínimo de variação de seções dos elementos de fundação. Desta forma, consegue-se destino para as “pontas de estacas” que foram cortadas. Assim, optou-se pela utilização de somente duas cargas distintas neste trabalho (25 e 75 tf), pretendendo extinguir ao máximo as perdas de materiais.

Os programas calcularam as tensões máximas de cravação e, a partir destes resultados, foram determinados a capacidade de carga e os limites de tensões suportados para cada elemento de fundação em relação ao tipo de solo. Para que a estaca obtenha profundidade de cravação suficiente, necessitará que o valor da NEGA seja maior ou igual a zero. Quando a capacidade de carga não apresenta condições para ser alcançada, o cálculo retorna com um valor negativo para NEGA.

A altura de queda do martelo também variou conforme a necessidade para se atingir a capacidade de carga. Os pesos dos martelos utilizados foram crescentes, de 500 em 500 kgf, com peso mínimo de 2 tf e relação peso do martelo/peso da estaca estipulado para o mínimo igual a 1 ou enquanto a tensão de cravação permitir. As alturas de queda e peso dos martelos,

energia de cravação, foram definidas conforme as respectivas metas de cargas admissíveis a atingirem. Em todos os casos foram considerados bate estacas de queda livre utilizando uma peça de madeira para proteção.

4.4.5. Definição dos custos das fundações

O custo de uma fundação é calculado, normalmente, sobre o quantitativo de elementos a serem cravados, mão de obra de cravação, local da fundação, distância e transporte dos elementos e equipamentos até a obra, forma de pagamento, tipo de solo, entre outros aspectos. Para os objetivos do presente trabalho, foi considerada a execução da fundação em um local plano e de fácil instalação dos equipamentos. A forma de pagamento foi tratada como um fator comum nas simulações. Da mesma forma, a distância e transporte dos equipamentos e a disponibilidade no mercado foram consideradas similares em todas as situações. Os custos de corte, preparo da cabeça da estaca e emendas, foram considerados como fator comum em todas as situações e assim não registrado seus valores unitários. Assim, o fator diferenciador no custo final das fundações executadas com elementos metálicos será o comprimento das fundações e o valor dos elementos de aço.

Foram consideradas como base quantitativa para o estudo dos custos, 100 fundações cravadas simulados em duas condições de solos diferentes. As estacas foram simuladas e distribuídas em grupos de cargas de 25 e 75 tf, com 50 unidades de estacas para cada carga. Os valores finais dos custos das fundações foram calculados e divididos por metro de cravação. Os valores de execução por metro de cravação foram levantados através de coleta de dados no mercado, considerando empresas que atuam na região metropolitana de Belo Horizonte – MG. A seguir é apresentada a composição levantada para estes custos.

a) Valor do elemento perfil metálico

Os perfis são comercializados, normalmente, por faixas de peso por metro de perfil. Segundo a empresa GUERDAL, os valores variam entre faixas, abaixo e acima de 40 kg/metro. Para perfis até ou próximos de 40 kg/m, o valor é em torno de R\$3,30 reais (Ver anexo 3A).

b) Valor do elemento tubo metálico

O melhor valor encontrado para o tubo estudado foi de R\$5157,68 por tonelada. Com isso, o tubo tem o peso por metro linear de 19,35 kg/m, então, R\$ 99,80 reais/metro ou R\$5,16/kg (FERNANDES, V&MTUBES, 2009) (Ver anexo 3B).

c) Valor do elemento trilho ferroviário

Os trilhos ferroviários são comercializados, normalmente, pelo valor do kg do aço. O valor médio encontrado foi de R\$ 2,00 reais/kg (BRASIL Trilhos, 2009) (ver anexo 3C).

d) Valor para execução de cravação

O valor médio encontrado foi de R\$40,00 reais por metro de cravação apresentando pela Empresa Celso Gontijo (Gontijo, 2009) (ver anexo 3D). Nesse valor não foram incluídos o deslocamento do equipamento, emenda de peças, corte e preparo do topo da estaca, sendo estes fatores considerados comuns a todas as fundações.

5. RESULTADOS PRELIMINARES

5.1. Considerações iniciais

Neste capítulo foram apresentadas simulações com os programas desenvolvidos para o dimensionamento de estacas metálicas. O objetivo principal deste capítulo é realizar demonstrações reais com os programas criados, validar o funcionamento, testar preliminarmente as geometrias, profundidades e o comportamento dos elementos citados diante de diferentes métodos de dimensionamentos.

Foram utilizados trilhos TR 32 simples com limite de escoamento mínimo estipulado em 450 MPa, pouco abaixo dos resultados apresentados nos testes de MACEDO (2001). Após um breve teste utilizando os programas computacionais, o trilho TR32 foi escolhido por apresentar menor peso por metro de trilho que suporta a carga mínima de 25 tf.

Os resultados da carga admissível do trilho simples TR 32 foram comparados aos resultados da carga admissível do tubo de diâmetro externo de 168,3 mm com espessura de 4,8 mm. Ambos foram também comparados ao perfil do tipo “I” da série Laminado, “W 200 x 19,3” com espessura da alma de 5,8 mm e aba de 6,5 mm. Ambos do tipo ASTM 572 de grau 50 com limite de escoamento mínimo característico de 350 MPa.

Os dados da investigação do solo foram retirados de uma sondagem à percussão com solo predominantemente argiloso. A sondagem tem como característica principal o índice de SPT variando entre 3 e 45, crescente, porém, decrescentes em algumas cotas, apresentado no item 5.2.

Neste capítulo foram incluídos gráficos demonstrativos com as respectivas profundidades de cada método semi-empírico, além de tabelas demonstrando os dados referentes à cravação.

Será administrada a carga de 25 tf à compressão simples para efeitos de simulação que, dentre muitas aplicações, é comum em construções.

5.2. Sondagem à percussão utilizada

A sondagem utilizada nesta simulação foi retirada do livro “Tensão admissível em fundações diretas”, CINTRA, AOKI e ALBIERO (2003). A sondagem foi escolhida por ser de solo do tipo predominantemente argiloso (ver figura 5.1)

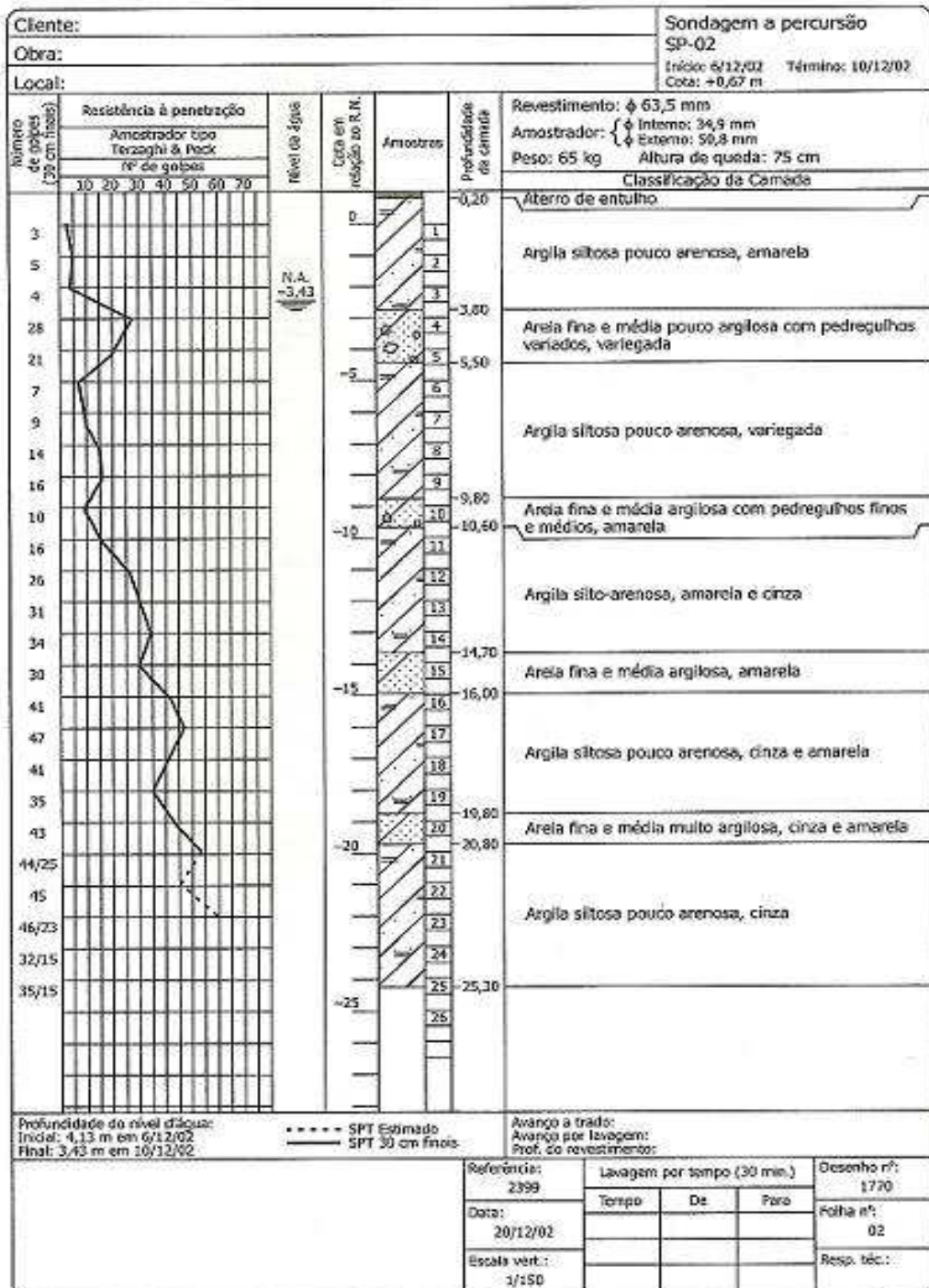


Figura 5.1: Sondagem à percussão. Adaptado de CINTRA (2003).

5.3. Resultados obtidos para o trilho TR32 simples.

Neste item mostra-se a tabela 5.1 com os dados referentes ao trilho TR32 simples. Num cálculo rápido e simples, o TR32 demonstrou melhor custo em relação aos demais.

Para que a NEGA seja positiva e para que a estaca não venha a ser cravada com excesso de tensão, foi utilizado 2 tf para o peso do martelo.

Tabela 5.1: Dados do elemento de fundação e do bate estaca

Dados da peça:			Bate estaca		
Trilho simples	TR32		Tipo	queda livre	
Carga	25	tf	Peso martelo	2	tf
Lim. Escoamento	450	MPa	Altura de queda	75	cm
Desgaste	3	%	Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²	Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	41,58	cm ²	Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	97,94	cm ²			
Perímetro consid.	40,5	cm	Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	270	MPa			

Conforme descrito no item 5.1, o trilho escolhido fora o TR32 que obtêm de 32 kg por metro linear. O limite de escoamento mínimo, também definido no item 5.1, foi de 450 MPa. O desgaste da peça em 3% representa o desgaste do boleto, mas a representação está relacionada ao peso da peça em relação ao peso característico de fabricação, neste caso 3%. A área de ponta é a área determinada pelo polígono circunscrito à seção do trilho, conforme descrito no item 3.5.3 da revisão bibliográfica. A altura de queda do martelo em 75 cm foi determinada por apresentar uma tensão de cravação compatível à seção da peça. O tamanho do capacete utilizado é definido, primeiramente, pelas dimensões da seção da peça e em segundo pela disponibilidade existente.

A figura 5.2, mostra alguns campos de inserção dos dados geotécnicos referentes ao dimensionamento. Neste caso, ilustrado pela figura 5.2, foram inseridos alguns dados relacionados da tabela 5.1, como: comprimento ou profundidade da estaca, carga de compressão de simulação, limite mínimo de escoamento do aço, desgaste da peça de trilho e

peso específico do aço. O gráfico apresentado na figura 5.2, no centro, demonstra os índices de SPT da sondagem.

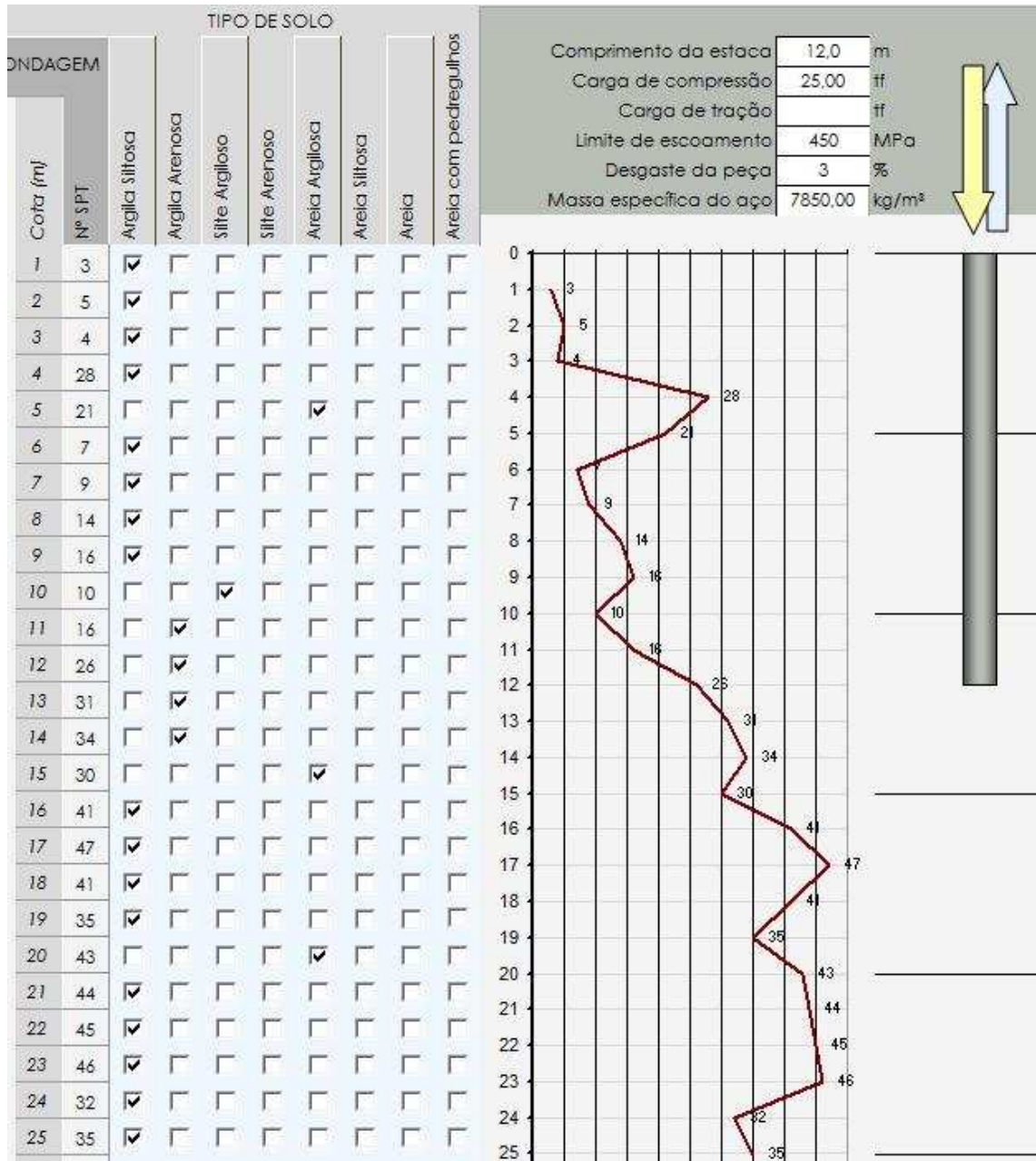


Figura 5.2: Imagem do programa de dimensionamento de trilhos. Setor de inserção de dados geotécnicos.

A figura 5.3, mostra o espaço onde é possível realizar a escolha do tipo de trilho, neste caso, TR32. Neste espaço também é possível obter-se alguns detalhes do dimensionamento da fundação, como: a tensão máxima estática que a estaca suporta, elemento de aço, neste caso, 270 MPa e a carga máxima de 108,90 tf. Na parte inferior direita da figura 5.3 em “eficiência

de compressão”, o programa apresenta através de números o quanto o elemento de aço suporta de compressão, relação carga/estaca, neste caso 4,36 vezes a carga de 25 tf.

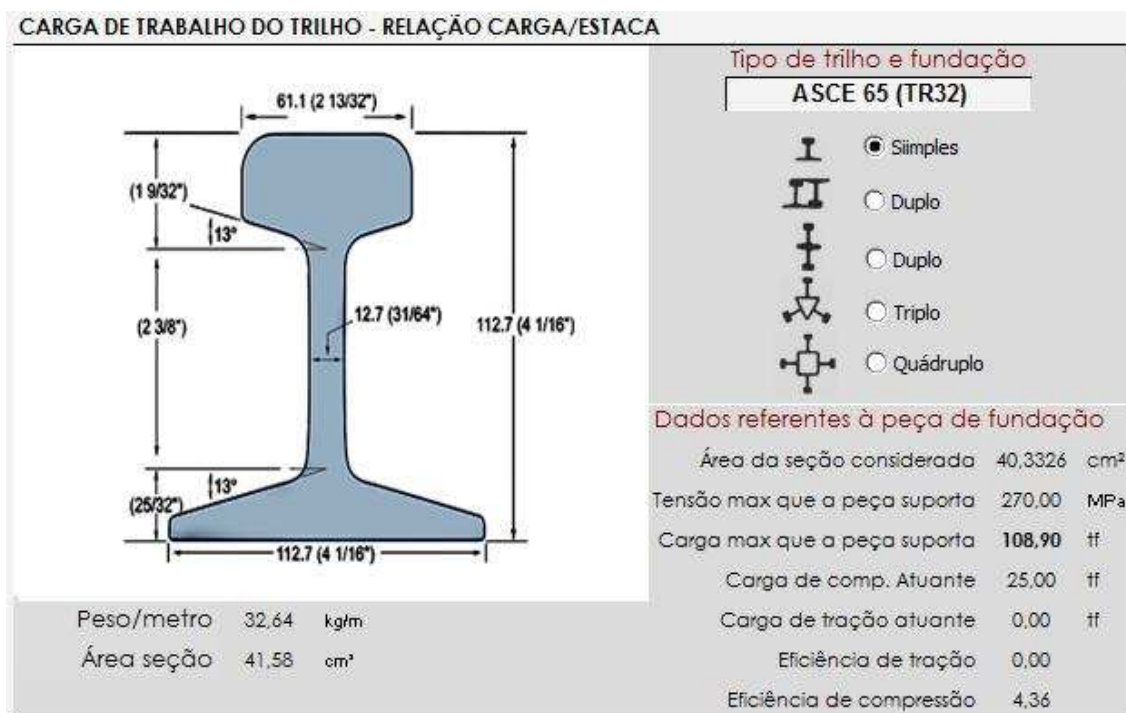


Figura 5.3: Imagem do programa de dimensionamento de trilhos. Setor de seleção do tipo de trilho e composição.

5.3.1. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR32.

Os resultados para cargas admissíveis para cada método foram apresentados na figura 5.4.

Observa-se através da figura 5.4, que o método “Aoki-Velloso” atingiu a carga admissível de 25 tf com 14 metros de profundidade. A eficiência de compressão, neste caso, fora de 1,08, o que significa que a relação estaca/solo suporta até 1,08 vezes a carga de 25 tf. O programa computacional criado para tal fim retorna com os resultados dos cinco métodos. Neste exemplo, apenas 1 método atingiu a carga admissível de 25 tf em 14 metros de profundidade. Os demais não obtiveram eficiência mínima igual a 1 e com isto não podem ser considerados eficientes nesta profundidade.

A área da seção, considerada para o cálculo da capacidade de ponta, foi de 97,94 cm², como disposto na figura 5.4. Essa área é definida a partir da delimitação da seção do trilho formando um polígono ao qual a seção do trilho estará circunscrito.

CARGA ADMISSÍVEL RELAÇÃO ESTACA/SOLO								
Área de ponta considerada		97,94		cm ²				
Perímetro considerado		40,50		cm		Carga admissível da estaca (tf)		
Eficiência de compressão				Capacidade de carga total da estaca (tf)				
Efic. de tração				Capacidade de carga atrito de ponta (tf)				
				Capacidade de carga atrito lateral (tf)				
Processo 1	0,00	#	0,93	Pedro Paulo Costa Velloso	50,6	7,7	58,3	23,3
Processo 2	0,00	#	0,56	Aoki-Velloso	21,1	6,7	27,8	13,9
Processo 3	0,00		1,08	Décourt-Quaresma	33,3	6,0	39,3	27,1
Processo 4	0,00	#	0,68	Alberto Henriques Teixeira	30,9	3,2	34,1	17,1
Processo 5	0,00	#	0,75	Urbano Rodrigues Alonso	34,1	3,2	37,3	18,7
Média	0,00	#	0,80	Médias dos processos	34,0	5,3	39,4	20,0

Figura 5.4: Ilustração do programa computacional. Setor de resultados geotécnicos gerados a partir dos métodos semi-empíricos.

Observa-se na figura 5.5, que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 25 tf foram diversas. Percebe-se uma discrepância entre os valores de cravação para os métodos utilizados. O método “Décourt-Quaresma”, com 14,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto o método de “Aoki-Velloso”, com coeficiente de segurança igual a 2,0, apresentou profundidade de 20,0 metros, obtendo 43% a mais do que o método de “Décourt-Quaresma”. O método “P.P.C.Velloso”, com coeficiente de segurança igual a 2,5, apresentou 15,0 metros de profundidade, aproximando-se da menor cota. O resultado do método “Alonso” com 16,0 metros de profundidade demonstrou um valor mediano em comparação aos demais. Através do método de “Teixeira”, a profundidade da fundação se aproximou da maior cota, mas manteve-se próxima também da cota média entre os métodos utilizados.

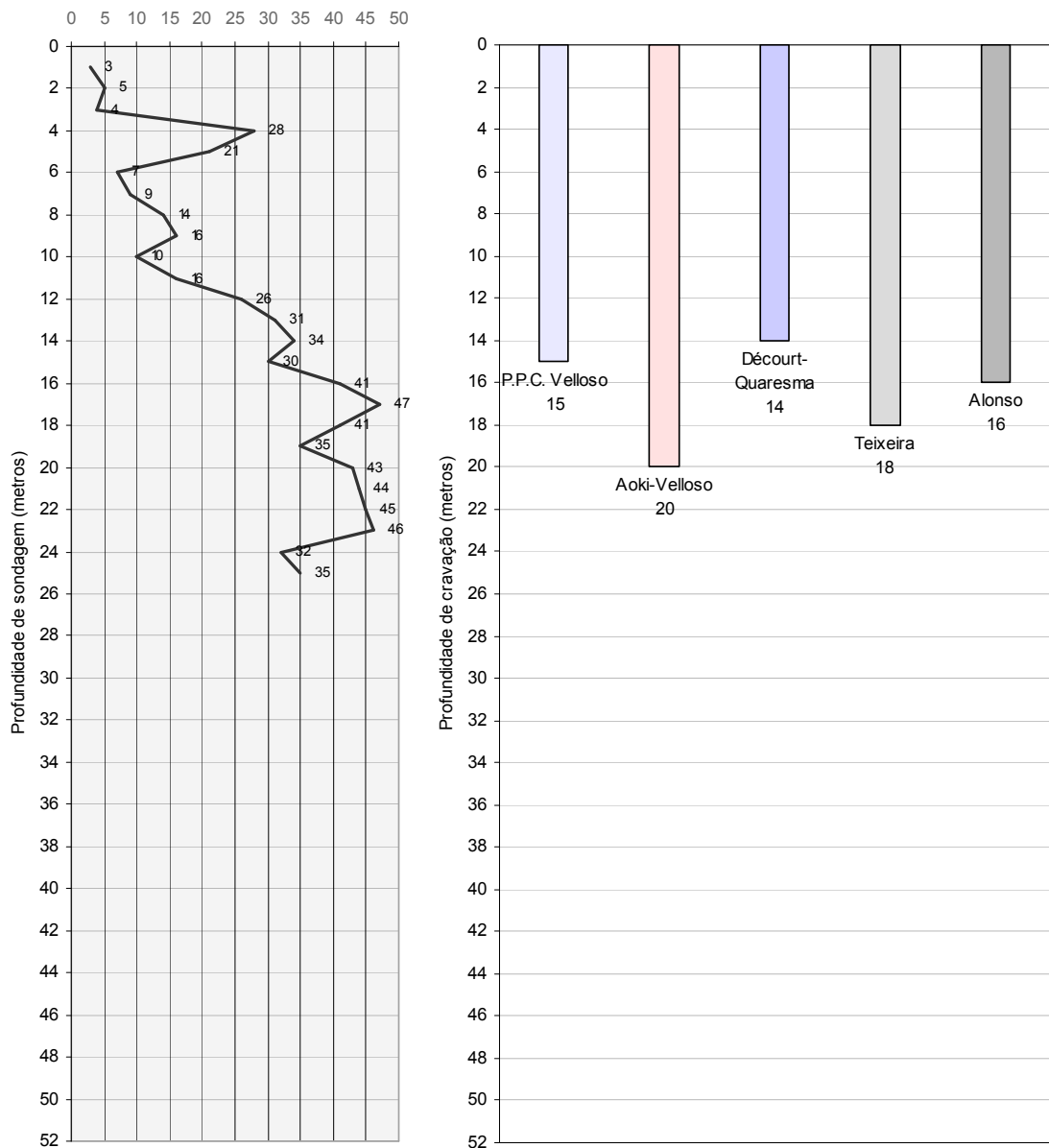


Figura 5.5: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas.

5.3.2. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR32.

Observa-se na tabela 5.2, que os resultados de cravação foram satisfatórios com os valores para NEGA acima de zero e as tensões de cravação não ultrapassaram o limite de escoamento mínimo do aço. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 5.2 para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Tabela 5.2: Dados do elemento de fundação e do bate estaca

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)								
	Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1	P.P.C. Velloso	15	m	119,08	MPa	8,17	mm/golpe	4,17
2	Aoki-Velloso	20	m	112,32	MPa	5,1	mm/golpe	3,13
3	Décourt-Quaresma	14	m	120,58	MPa	7,7	mm/golpe	4,46
4	Teixeira	18	m	114,88	MPa	5,95	mm/golpe	3,47
5	Alonso	16	m	117,63	MPa	6,82	mm/golpe	3,91

Observa-se na figura 5.6 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 5,1 e 8,17. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é grande. Valores da NEGA abaixo de zero, significa que a estaca não atingirá a profundidade esperada ou a carga admissível almejada é alta para as condições. Quando os valores para NEGA são muito altos, existe a possibilidade de a carga admissível ser baixa em relação à capacidade de carga da estaca ou as dimensões geométricas são elevadas.

Os métodos semi-empíricos estão numerados da seguinte forma:

- Método P.P.C.Velloso- número (1)
- Método Aoki-Velloso – número (2)
- Método Décourt-Quaresma – número (3)
- Método Teixeira – número (4)
- Método Alonso – número (5)

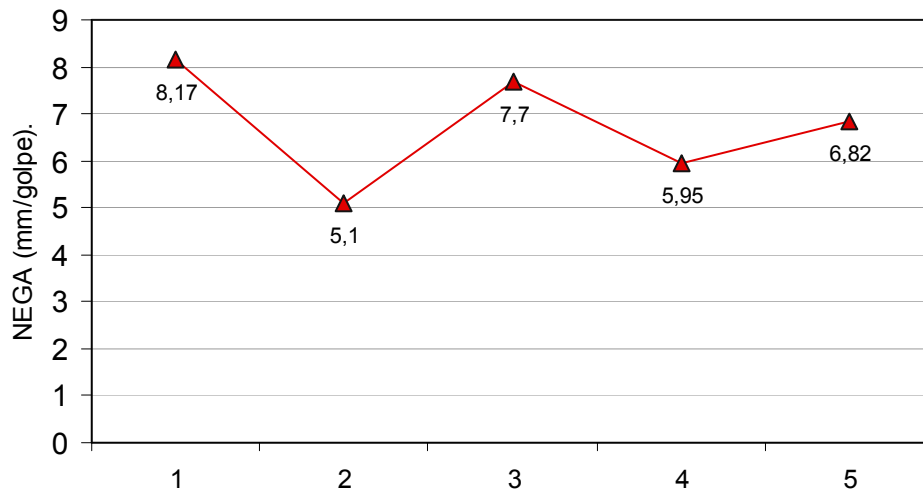


Figura 5.6: Gráfico demonstrando os valores da NEGA.

A tensão de cravação apresentou-se bem uniforme e distante do alto limite de escoamento adotado para o trilho. Os valores variaram entre 112,32 e 120,58 MPa. Normalmente a tensão de cravação varia um pouco em relação ao comprimento da estaca. As perdas de energia ao longo da peça de aço fazem com que a tensão na cabeça da estaca diminua conforme o aumento do comprimento. Observa-se na figura 5.7, que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta.

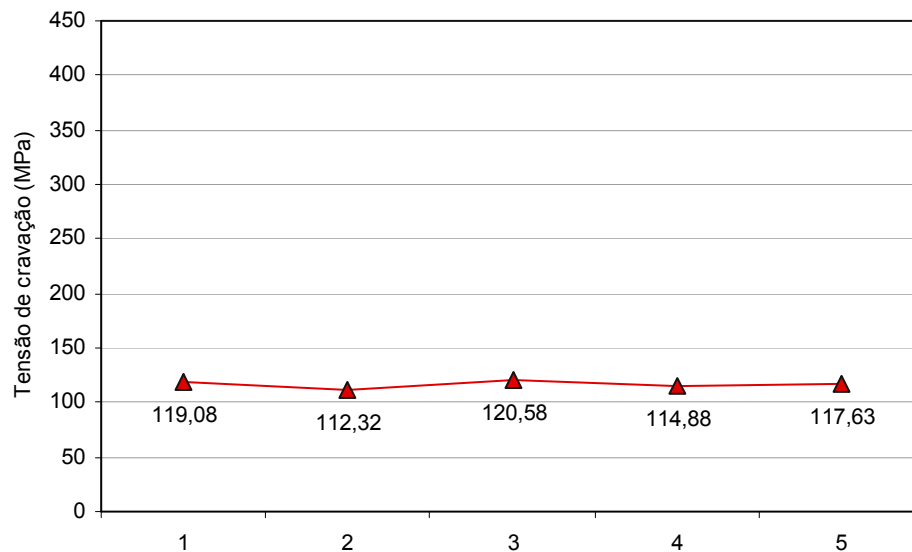


Figura 5.7: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação.

5.3.3. Levantamento dos custos por estaca cravada.

Os valores de execução por metro de cravação foram levantados através de coleta de dados no mercado, considerando empresas que atuam na região metropolitana de Belo Horizonte - MG.

Os trilhos ferroviários são comercializados, normalmente, pelo valor do kg do aço. O valor médio encontrado foi de R\$ 2,00 reais/kg (BRASIL Trilhos, 2009) (ver anexo 3C), para uma fundação constituída de aproximadamente 50 estacas. Nos trilhos, é comum obter-se o peso por metro do trilho através da sua própria nomenclatura. Neste caso, o trilho TR32 pesa 32 kg por metro. O valor médio coletado da mão de obra para cravação de fundações metálicas até 100 tf é de 40,00 reais por metro de cravação (Gontijo, 2009).

Na tabela 5.3, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, (ver figura 5.7).

Tabela 5.3: Custo das estacas por metro de cravação.

	Método	Peso da estaca (kg)	Profund. (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	480	15	32,00	2,00	40,00	104,00	1560,00
2	Aoki-Velloso	640	20	32,00	2,00	40,00	104,00	2080,00
3	Décourt-Quaresma	448	14	32,00	2,00	40,00	104,00	1456,00
4	Teixeira	576	18	32,00	2,00	40,00	104,00	1872,00
5	Alonso	512	16	32,00	2,00	40,00	104,00	1664,00

O valor da estaca é a soma do valor da peça com o valor da mão de obra. Neste caso, o trilho TR32 obtém de 32 kg por metro linear que multiplicado pelo comprimento de cravação, no caso 15 metros para o primeiro exemplo, será de 480 kg, conforme a tabela 5.3. O valor do aço em kg é de R\$ 2,00, definido pela empresa Brasil Trilhos em 2009 para uma fundação de

25 estacas, com isso, o valor da peça para 15 metros é de R\$960,00 reais. A estaca com 15,0 metros de comprimento de profundidade a R\$40,00 reais por metro de mão de obra custa R\$600,00 reais que somado ao valor da peça temos o total de R\$1560,00, conforme a tabela 5.3.

A figura 5.8 demonstra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (2) de Aoki-Velloso, apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (3), de Décourt-Quaresma, apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga admissível, 25 tf, e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente argiloso, conforme sondagem no item 5.2.

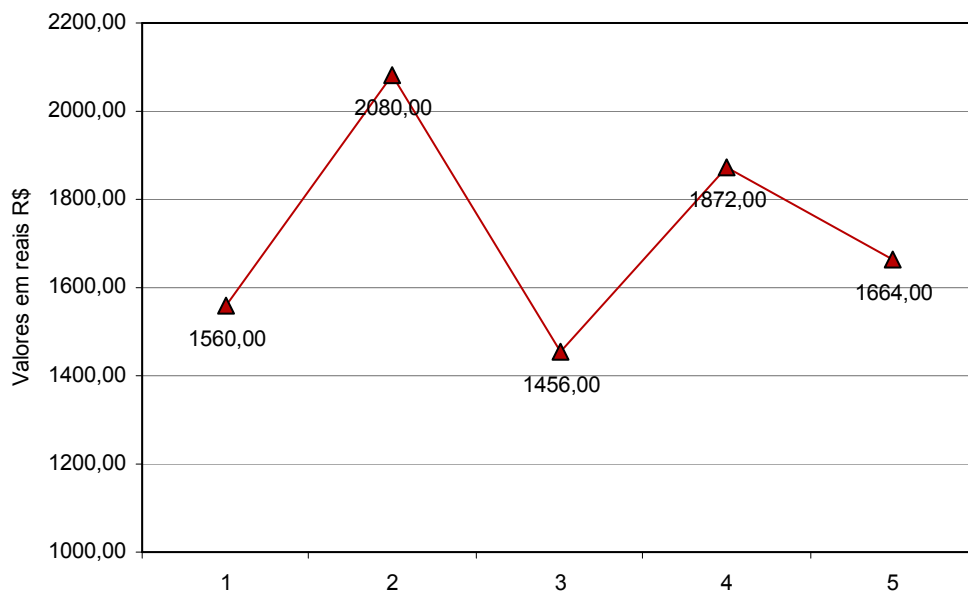


Figura 5.8: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada utilizando trilho TR 32.

Observa-se na figura 5.8 uma variação nos custos finais de cada estaca cravada. Essa variação está relacionada à carga admissível determinada através dos métodos estudados. A definição da carga admissível em estacas, determinada pelos métodos semi-empíricos, está relacionada a fatores como: dimensão e geometria da seção e profundidade de cravação. Quanto maior a profundidade e área da seção maior é o peso da estaca e, conseqüentemente, maior o valor da mão de obra. Para isso foi realizado uma simples e rápida conta para a definição da estaca ideal para tal utilização. Se considerarmos o valor do trilho por kg e a profundidade de

cravação chegaremos ao valor final da estaca. No caso, foi utilizado o trilho TR32 que obtêm de 32 kg por metro linear e, considerando a maior profundidade encontrada, no caso no método de “Aoki-Velloso”, chegaremos ao valor final. Através dos programas computacionais, desenvolvidos para tal finalidade, foi possível calcular o valor final de cada estaca variando o tipo de trilho com suas respectivas profundidades. Com isso, foram realizados testes preliminares que determinaram o tipo de trilho com menor peso e com profundidade suficiente para atender a carga mínima estipulada com o menor valor final de custo.

A escolha do método de cálculo, em princípio, se dá pela escolha daquele que proporciona menor custo, porém, em caso de fundações onde se englobam segurança e confiabilidade da construção, a definição é bem mais complicada. Normalmente a escolha do tipo do método a ser utilizado cabe ao profissional definir.

5.4. Resultados obtidos para o tubo de “168,3 x 4,8”

Neste item foram apresentados os resultados da carga admissível do tubo de 168,3 mm de diâmetro externo com 4,8 mm de espessura da parede de aço, conforme tabela do catálogo da empresa VALLOUREC & MANNESMANN TUBES (2008). A escolha foi definida após um breve e rápido cálculo, onde foram definidos os tubos que melhor se adequam às condições. Com isto, chegou-se à conclusão que o tubo de diâmetro externo de 168,3 mm atingiu a carga mínima, na relação estaca/solo, de 25 tf. A espessura de 4,8 mm da chapa de aço do tubo foi suficiente para que o coeficiente de compressão atingisse um valor positivo. O mesmo aconteceu com o valor da NEGA, atingindo um valor acima de zero e não muito alto, a partir de um martelo de 2tf a 75 cm de altura. O tubo de diâmetro externo de 141,3 mm e espessura de 5,6, o mais fino na tabela da V&M para este diâmetro, atingiu a carga mínima de 25 tf, para o método de maior profundidade, com 18 metros. O mesmo fora atingido com o tubo de 168,3 mm de diâmetro externo, citado acima, com 15 metros de profundidade, ficando aproximadamente 18% mais barato. Esse valor também é relacionado ao peso do tubo que é calculado pelo diâmetro da peça e espessura da chapa. Os tubos de 114,3 mm de diâmetro externo, com espessuras de 4,0, 4,4 e 4,8 mm não apresentaram eficiência à compressão

mínima de 1. Isso significa que a carga de 25 tf extrapolou a capacidade de tensão estática suportada pela peça de aço. O mesmo tubo com parede de 5,2 mm de espessura apresentou eficiência de compressão suficiente, porém, com o valor da NEGA negativo para um martelo de 2 tf a 75 cm de altura de queda. Para este mesmo tubo, de 114,3 mm com 5,2 mm de espessura, se utilizássemos um martelo de 3tf, o valor da NEGA seria positiva, porém, a profundidade de 20 metros proporcionaria um aumento de 15% acima do tubo escolhido. Por isto, a escolha do tubo de 168,3 mm com espessura de 4,8 foi a melhor opção entre os demais, atendendo às condições de simulação.

Na tabela 5.4 observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende as exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2. Os dados referentes ao bate estaca são os mesmos aplicados para a simulação do trilho TR32.

Tabela 5.4: Dados da peça de cravação e do bate estacas.

Dados da peça:				Bate estaca		
Tubo	168,3	19,35	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	25	tf		Peso martelo	2	tf
Lim. escoamento	350	MPa		Altura de queda	75	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	24,66	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	222,46	cm ²				
Perímetro consid.	52,87	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

A figura 5.9, mostra alguns campos de inserção dos dados geotécnicos referentes ao dimensionamento. Neste caso, ilustrado pela figura 5.9, foram inseridos alguns dados relacionados na tabela 5.4, como: comprimento ou profundidade da estaca, carga de compressão, limite mínimo de escoamento do aço, espessura de corrosão e peso específico do aço. O gráfico apresentado na figura 5.9, mostra os índices de SPT da sondagem.

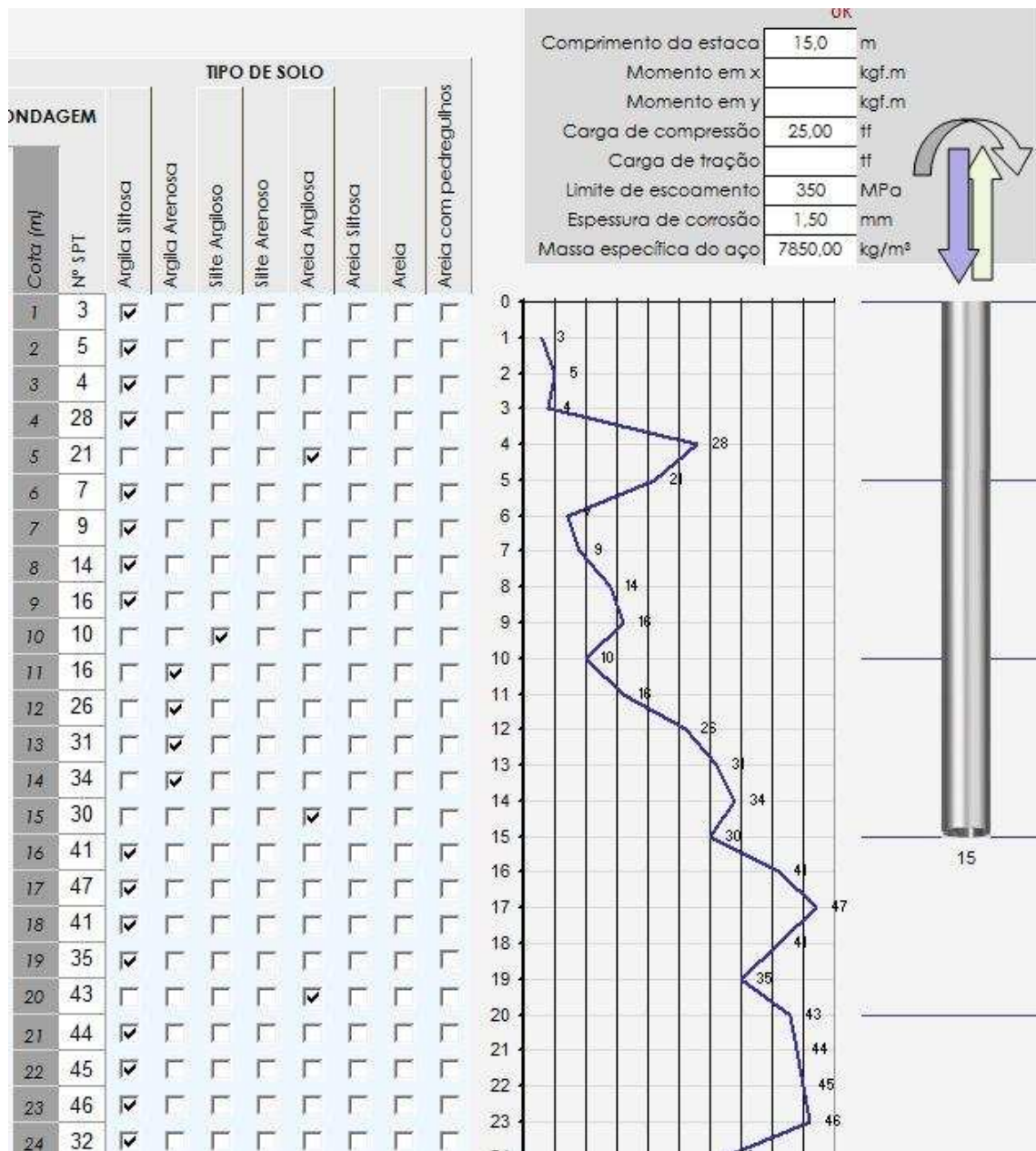


Figura 5.9: Imagem do programa de dimensionamento de tubos. Setor de inserção de dados geotécnicos.

A figura 5.10, demonstra o espaço para escolha do tipo de tubo e a inserção das dimensões, neste caso, Tubo de 168,3 mm de diâmetro externo e 4,8 mm de espessura. Neste espaço também é possível obter-se alguns detalhes do dimensionamento da fundação. Ilustrado pela figura 5.10, os dados referentes à peça de aço foram definidos. A tensão máxima estática que a estaca suporta, elemento de aço, neste caso, é de 210 MPa e a carga máxima de 35,27 tf. Na parte inferior direita da figura 5.10 em “eficiência de compressão”, o programa apresenta através de números o quanto o elemento de aço suporta de compressão, neste caso 1,41 vezes

a carga de 25 tf, relação carga/estaca. A área da seção, considerada para o cálculo da capacidade de ponta, foi de 222,46 cm², como disposto na figura 5.10. Essa área é definida a partir da delimitação da seção do tubo mais o embuchamento, ou seja, a área total do círculo.



Figura 5.10: Imagem do programa de dimensionamento de tubos. Setor de inserção e resultados referentes à peça de aço.

O exemplo ilustrado na figura 5.10, mostra o embuchamento considerado como 100% obstruído ou obturado. Este tipo de obturação é comum em fundações de tubos, principalmente com diâmetros pequenos. Esse efeito acontece no ato da cravação onde o solo, que deveria percorrer pelo interior do tubo, acompanha-o na cravação fazendo com que a ponta do tubo fique fechada ou obstruída. Desta forma o tubo adquire um aliado natural no aumento da capacidade de carga de ponta. Na simulação fora considerado, por costume, a ponta 100% embuchada.

5.4.1. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo de “168,0x4,8”

Os resultados para cargas admissíveis para cada método foram apresentados na figura 5.11.

Observa-se através da figura 5.11, que o método “Décourt-Quaresma” atingiu a carga admissível de 25 tf com 12,0 metros de profundidade. A eficiência de compressão, neste caso, fora de 1,05, o que significa que a fundação, relação estaca/solo, suporta até 1,05 vezes a carga de 25 tf. O programa computacional criado para tal fim retorna com os resultados dos cinco métodos. Neste caso, apenas 1 método atingiu a meta de 25 tf com 12,0 metros de profundidade. Os demais não obtiveram eficiência mínima igual a 1 e com isto não podem ser considerados eficientes nesta profundidade.

CARGA ADMISSÍVEL - RELAÇÃO ESTACA/SOLO								
Eficiência de compressão				Carga admissível da estaca (tf)				
Efic. de tração				Capacidade de carga total da estaca (tf)				
				Capacidade de carga atrito de ponta (tf)				
				Capacidade de carga atrito lateral (tf)				
Processo 1	0,00	#	0,93	Pedro Paulo Costa Velloso	47,1	11,0	58,1	23,2
Processo 2	0,00	#	0,64	Aoki-Velloso	20,4	11,6	31,9	16,0
Processo 3	0,00		1,05	Décourt-Quaresma	31,9	6,5	38,4	26,2
Processo 4	0,00	#	0,64	Alberto Henriques Teixeira	28,3	3,7	32,1	16,0
Processo 5	0,00	#	0,72	Urbano Rodrigues Alonso	31,2	4,7	35,9	17,9
Média	0,00	#	0,79	Médias dos processos	31,8	7,5	39,3	19,9

Figura 5.11: Ilustração do programa computacional. Setor de resultados geotécnicos gerados a partir dos métodos semi-empíricos.

Observa-se na figura 5.12, que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 25 tf foram diversas. Percebe-se uma variação entre os valores de cravação para os métodos utilizados. O método “Décourt-Quaresma”, com 12,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto o método de “Aoki-Velloso” e “Teixeira”, apresentaram profundidade de 15,0 metros, obtendo 25% a mais do que o método de “Décourt-Quaresma”. O método “P.P.C.Velloso”, com coeficiente de segurança igual a 2,5, apresentou 13,0 metros

de profundidade, aproximando-se da menor cota. O resultado do método “Alonso” com 14,0 metros de profundidade demonstrou um valor mediano em comparação aos demais.

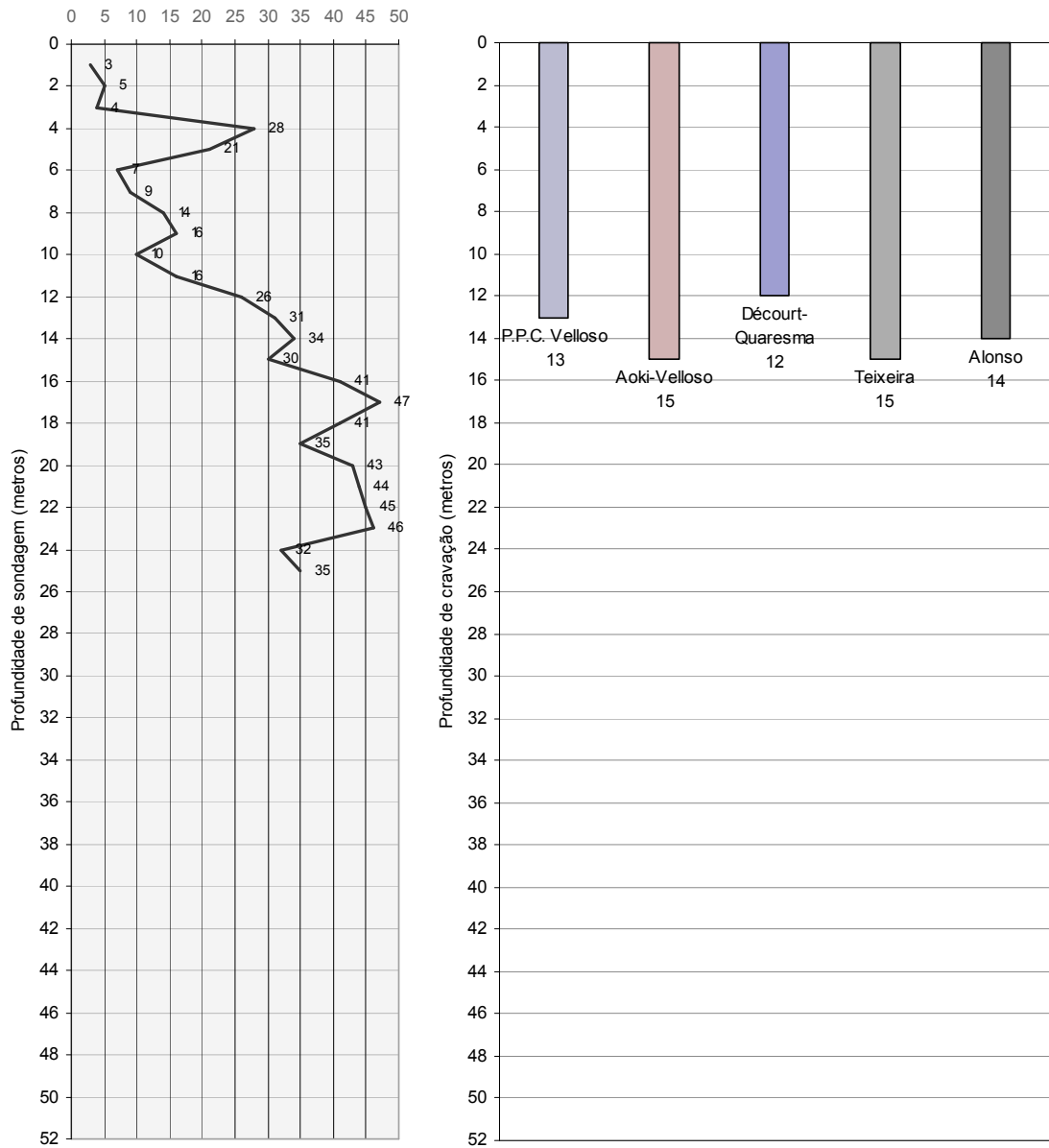


Figura 5.12: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas.

5.4.2. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo de “168,0x4,8”.

Observa-se na tabela 5.5, que os resultados de cravação foram satisfatórios com os valores para NEGA acima de zero e as tensões de cravação não ultrapassaram o limite de escoamento mínimo do aço. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 5.5 para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Tabela 5.5: Dados do elemento de fundação e do bate estaca

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)								
	Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1	P.P.C. Velloso	13	m	217,30	MPa	4,0	mm/golpe	7,95
2	Aoki-Velloso	15	m	207,10	MPa	2,5	mm/golpe	6,89
3	Décourt-Quaresma	12	m	223,00	MPa	4,8	mm/golpe	8,61
4	Teixeira	15	m	207,10	MPa	2,5	mm/golpe	6,89
5	Alonso	14	m	212,00	MPa	3,3	mm/golpe	7,38

Observa-se na figura 5.13 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 2,5 e 4,8. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é grande. Valores da NEGA abaixo de zero, significa que a estaca não atingirá a profundidade esperada ou a carga admissível almejada é alta para as condições. Quando os valores para NEGA são muito altos, a carga admissível é baixa em relação à capacidade da estaca ou as dimensões geométricas são elevadas.

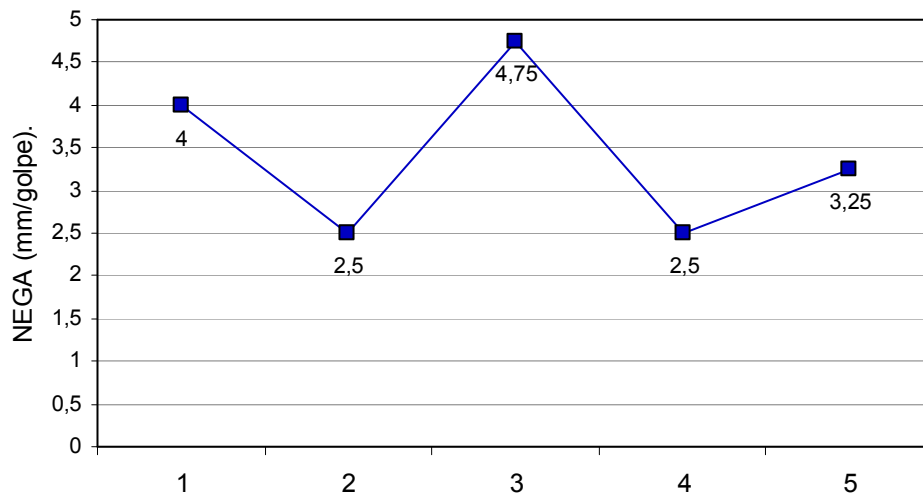


Figura 5.13: Gráfico demonstrando os valores da NEGA.

A tensão de cravação apresentou-se bem uniforme e distante do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no tubo. Os valores variaram entre 207,10 e 223,00 MPa. Normalmente a tensão de cravação varia um pouco em relação ao comprimento da estaca. As perdas de energia ao longo da peça de aço fazem com que a tensão na cabeça da estaca diminua conforme o aumento do comprimento. Observa-se na figura 5.14, que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta.

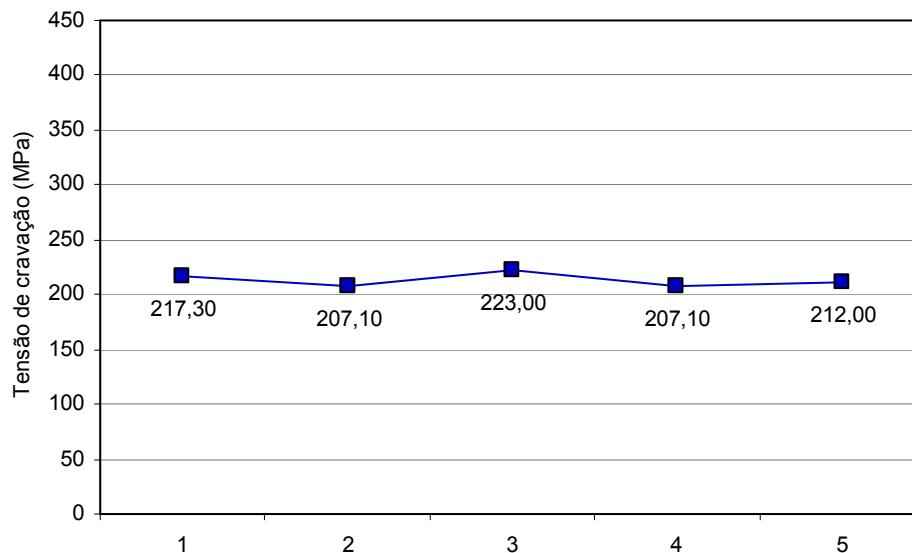


Figura 5.14: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação.

5.4.3. Levantamento dos custos por estaca cravada.

Os valores de execução por metro de cravação foram levantados através de coleta de dados no mercado, considerando empresas que atuam na região metropolitana de Belo Horizonte - MG.

Os tubos são comercializados, normalmente, pelo tipo e seus comprimentos. O melhor valor encontrado para o tubo estudado foi de R\$5157,68 por tonelada. Com isso, o tubo tem o peso por metro linear de 19,35 kg/m, então, R\$ 99,80 reais/metro ou R\$5,16/kg (FERNANDES, V&MTUBES, 2009) (Ver anexo 3B), para uma fundação constituída de aproximadamente 25 estacas ou 7,3 toneladas de aço. Segundo informações passadas pela empresa, este valor independe de uma quantidade maior.

O melhor valor coletado de mão de obra para cravação de fundações metálicas até 100 tf é de 40,00 reais por metro de cravação (Gontijo, 2009).

Na tabela 5.6, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 5.12.

Tabela 5.6: Custo das estacas por metro de cravação.

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	251,55	13	19,35	5,16	40,00	139,85	1818,00
2	Aoki-Velloso	290,25	15	19,35	5,16	40,00	139,85	2097,69
3	Décourt-Quaresma	232,2	12	19,35	5,16	40,00	139,85	1678,15
4	Teixeira	290,25	15	19,35	5,16	40,00	139,85	2097,69
5	Alonso	270,9	14	19,35	5,16	40,00	139,85	1957,84

Neste caso, a partir do peso por metro linear do tubo, 19,35 kg, obtém-se o peso da estaca. Para exemplificar, suponhamos o primeiro método, onde obteve-se 13,0 metros de

profundidade e, conseqüentemente, 251,55 kg de tubo, conforme a tabela 5.6. O valor do aço em kg é de R\$ 5,16, definido pela empresa V&MTUBES em 2009 para uma fundação de 25 estacas ou 7,3 toneladas. Com isso, o valor da peça de aço com 13,0 metros é de R\$1297,99,00 reais. A mão de obra da estaca ao preço de R\$40,00 reais por metro de cravação (CELSO GONTIJO, 2009), terá o valor de cravação estimado em R\$520,00 para a estaca do exemplo, no caso 13,0 metros. O valor total da estaca, então, de R\$1818,00 reais, conforme a tabela 5.6.

A figura 5.15, ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. Os métodos (2) e (4) de “Aoki-Velloso” e “Teixeira”, respectivamente, apresentaram maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (3), de Décourt-Quaresma, apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga admissível, 25 tf, e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente argiloso, conforme sondagem do item 5.2.

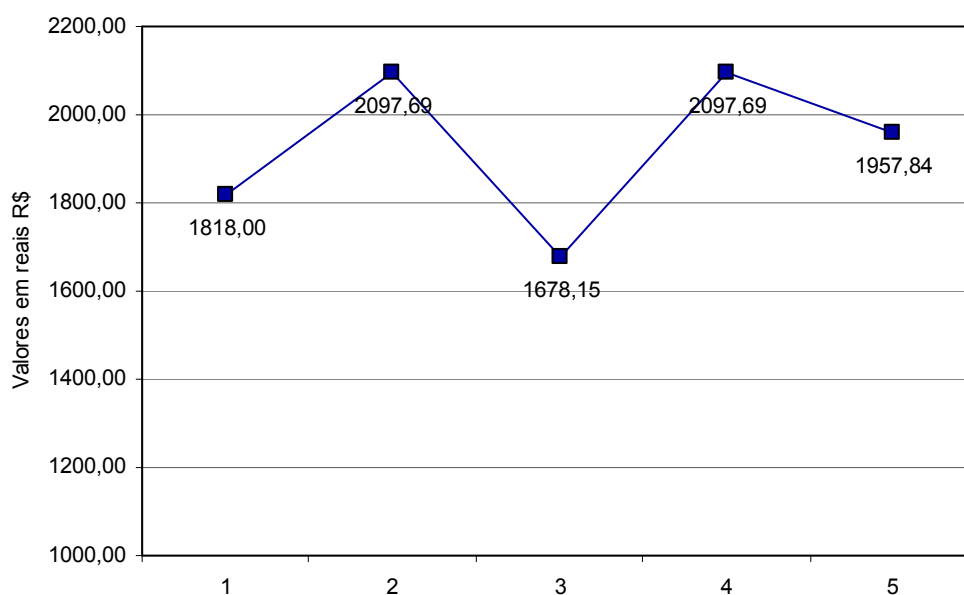


Figura 5.15: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada utilizando tubo “168,3 x 4,8” (mm).

Observa-se na figura 5.15 uma variação nos custos finais de cada estaca cravada. Essa variação está relacionada à carga admissível determinada através dos métodos estudados. A definição da carga admissível em estacas, determinada pelos métodos semi-empíricos, está relacionada a fatores como: dimensão e geometria da seção e profundidade de cravação.

Quanto maior a profundidade e área da seção maior é o peso da estaca e, conseqüentemente, maior o valor da mão de obra. Para isso foi realizado um simples e rápido cálculo para a definição da estaca ideal para tal utilização. Se considerarmos o valor do tubo por kg e a profundidade de cravação chegaremos ao valor final da estaca. No caso, foi utilizado o tubo “168,3 x 4,8” de 350 MPa que obtêm de 19,35 kg por metro linear. Através dos programas computacionais, desenvolvidos para tal finalidade, foi possível calcular o valor final de cada estaca variando o tipo de tubo com suas respectivas profundidades. Com isso, foram realizados testes preliminares que determinaram o tipo de tubo com menor peso e com profundidade suficiente para atender a carga mínima estipulada num menor valor final de custo.

A escolha do método de cálculo, em princípio, se dá pela escolha daquele que proporciona menor custo, porém, em caso de fundações onde englobam segurança e confiabilidade da construção, a definição é bem mais complicada. Normalmente a escolha do tipo do método a ser utilizado cabe ao profissional definir.

5.5. Resultados obtidos para o perfil tipo “I”, “W 200 x 19,3”.

Neste item foram apresentados os resultados da carga admissível do perfil “I” do tipo laminado, W 200 x 19,3. Características obtidas através do catálogo da GERDAU AÇOMINAS (2008). A escolha foi definida após um breve e rápido cálculo com análise do comportamento de vários perfis em relação ao seu custo final. O perfil w 200 x 19,3 apresentou condições favoráveis à tensão de trabalho. Apresentou carga admissível com 15 m de profundidade e, apesar da pouca massa, peso, demonstrou resistência satisfatória em relação à tensão de cravação e, conseqüentemente, melhor opção como custo benefício na execução final. O perfil é de dimensões geométricas pequenas, leve e de espessura fina, mas atendeu todos os requisitos mínimos para suportar a carga admissível de 25 tf.

Na definição do perfil ideal, foram comparados diversos elementos diferentes. Além do perfil “W200 x 19,3”, o “CS200 x 29” também apresentou boas condições. O perfil apresenta dimensões geométricas e peso favoráveis e demonstrou melhores condições de profundidade

em relação à carga admissível, estipulada, para o método de maior profundidade, neste caso, 13,0 metros. Dentre outros aspectos, o perfil CS 200 x 29 demonstrou condições em atender às simulação deste trabalho, porém, os perfis da série CS (soldados) apresentam maior custo.

Na tabela 5.7 observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende às exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2. Os dados referentes ao bate estaca são os mesmos aplicados para a simulação do trilho TR32.

Tabela 5.7: Dados da peça de cravação e do bate estacas.

Dados da peça:				Bate estaca		
Perfil	W200x19,3	19,3	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	25	tf		Peso martelo	2	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	75	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	24,28	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	207,1	cm ²				
Perímetro consid.	61	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

A figura 5.16, mostra alguns campos de inserção dos dados geotécnicos referentes ao dimensionamento. Neste caso, ilustrado pela figura 5.16, foram inseridos alguns dados relacionados na tabela 5.7, como: comprimento ou profundidade da estaca, carga de compressão, limite mínimo de escoamento do aço, espessura de corrosão e peso específico do aço. O gráfico apresentado na figura 5.16, mostra os índices de SPT da sondagem.

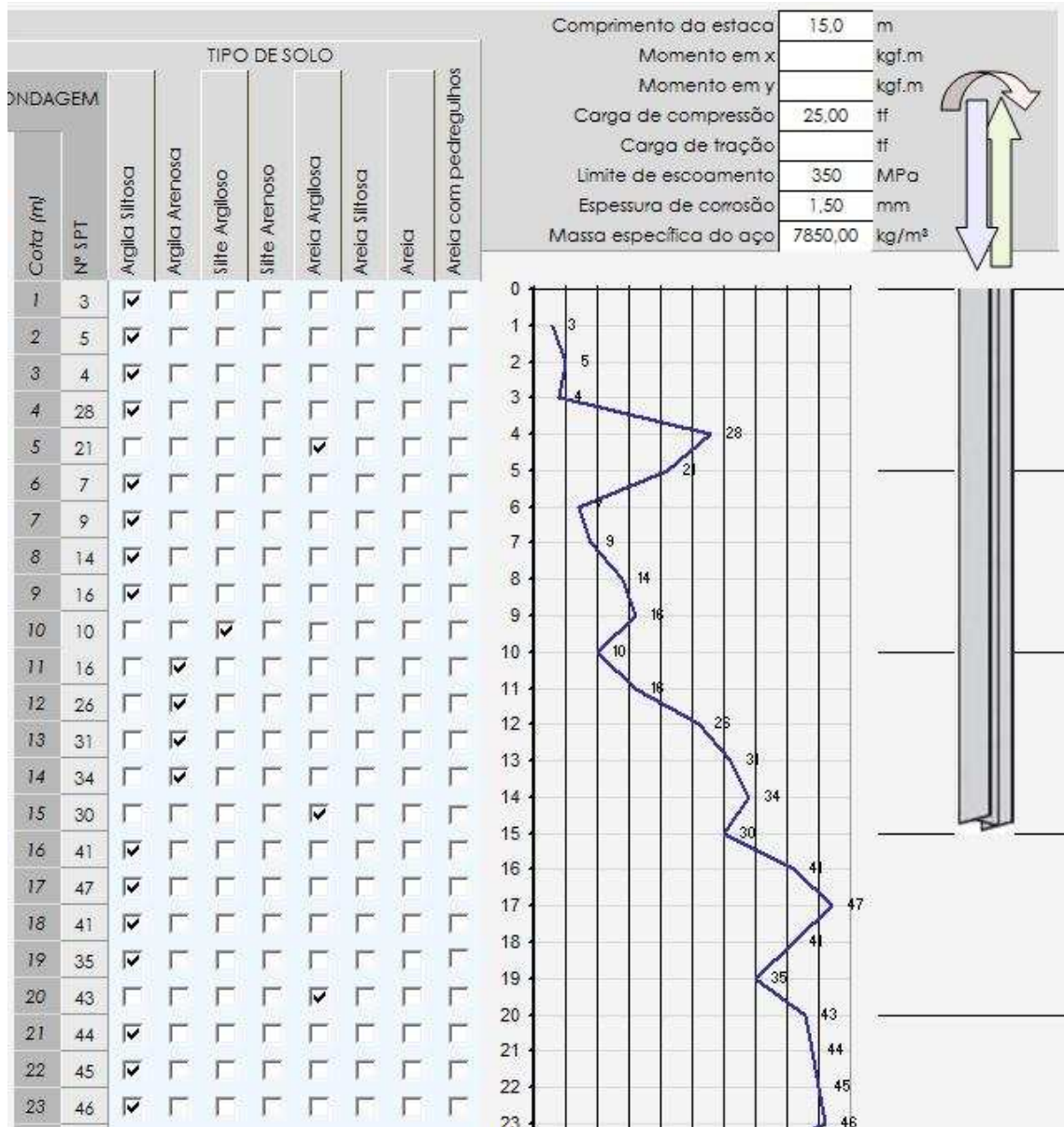


Figura 5.16: Imagem do programa de dimensionamento de perfis. Setor de inserção de dados geotécnicos.

A figura 5.17, ilustra o espaço para escolha do tipo de perfil e a inserção das dimensões, neste caso, fora escolhida o perfil “W200 x 19”. Para melhor manuseio dos programas computacionais, foi inserido, ao lado da ilustração do perfil, um campo com listas de vários tipos de perfis diferentes. Neste caso foi escolhido o perfil w200x199 e marcado logo ao lado no campo de seleção. Através da ilustração observa-se os resultados da tensão máxima estática que a estaca suporta, elemento de aço, neste caso, é de 210 MPa e a carga máxima de 25,90 tf. Na parte inferior esquerda da figura 5.17, em “eficiência de compressão”, o programa apresenta através de números o quanto o elemento de aço suporta de compressão, neste caso

1,04 vezes a carga de 25 tf, relação carga/estaca. Os resultados apresentados nesta ilustração, são importantes para a definição dos cálculos geométricos que influenciam diretamente nos resultados estáticos e dinâmicos.

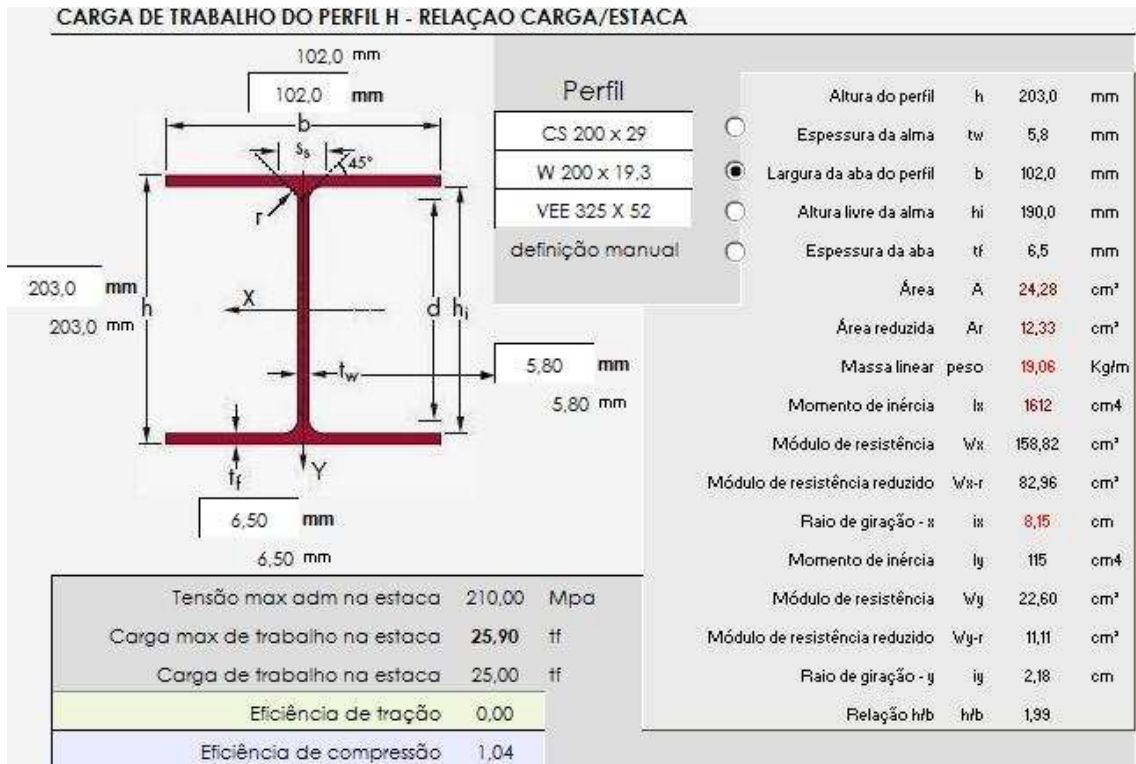


Figura 5.17: Imagem do programa de dimensionamento de perfis. Setor de inserção e resultados referentes à peça de aço.

5.5.1. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”.

Os resultados para cargas admissíveis para cada método foram apresentados na figura 5.18.

Observa-se através da figura 5.18, que o método “Décourt-Quaresma” atingiu a carga admissível de 25 tf com 11,0 metros de profundidade. A eficiência de compressão, neste caso, fora de 1,1, o que significa que a fundação, relação estaca/solo, suporta até 1,1 vezes a carga de 25 tf. O programa computacional criado para tal fim retorna com os resultados dos cinco métodos. Neste caso, apenas 1 método atingiu a meta de 25 tf com 11,0 metros de

profundidade. Os demais não obtiveram eficiência mínima igual a 1 e com isto não podem ser considerados eficientes nesta profundidade.

CARGA ADMISSÍVEL RELAÇÃO ESTACA/SOLO			
Área de ponta		207,1	cm ²
Perímetro		61,0	cm
Eficiência de compressão		Carga admissível da estaca (tf)	
Efic. de tração		Capacidade de carga total da estaca (tf)	
		Capacidade de carga atrito de ponta (tf)	
		Capacidade de carga atrito lateral (tf)	
Processo 1	0,0	#	0,9
Processo 2	0,0	#	0,6
Processo 3	0,0	#	1,1
Processo 4	0,0	#	0,6
Processo 5	0,0	#	0,7
Média	0,0	#	0,8
		Pedro Paulo Costa Velloso	48,2 7,2 55,4 22,2
		Aoki-Velloso	21,1 6,6 27,8 13,9
		Décourt-Quaresma	32,9 4,9 37,7 26,5
		Alberto Henriques Teixeira	28,8 1,7 30,4 15,2
		Urbano Rodrigues Alonso	31,7 3,3 34,9 17,5
		Médias dos processos	32,5 4,7 37,3 19,0

Figura 5.18: Imagem do programa de dimensionamento de perfis. Setor de resultados referentes ao comportamento estaca-solo.

Observa-se na figura 5.19, que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 25 tf foram diversas. Percebe-se uma variação entre os valores de cravação para os métodos utilizados. O método “Décourt-Quaresma”, com 11,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto o método de “Aoki-Velloso” apresentou a maior profundidade, 15,0 metros, obtendo 36% a mais do que o método de “Décourt-Quaresma”. O método “P.P.C.Velloso”, com coeficiente de segurança igual a 2,5, apresentou 12,0 metros de profundidade, e novamente aproximou-se da menor cota. O resultado do método “Alonso” e “Teixeira”, com 14,0 metros de profundidade, demonstraram resultado mediano em comparação aos demais.

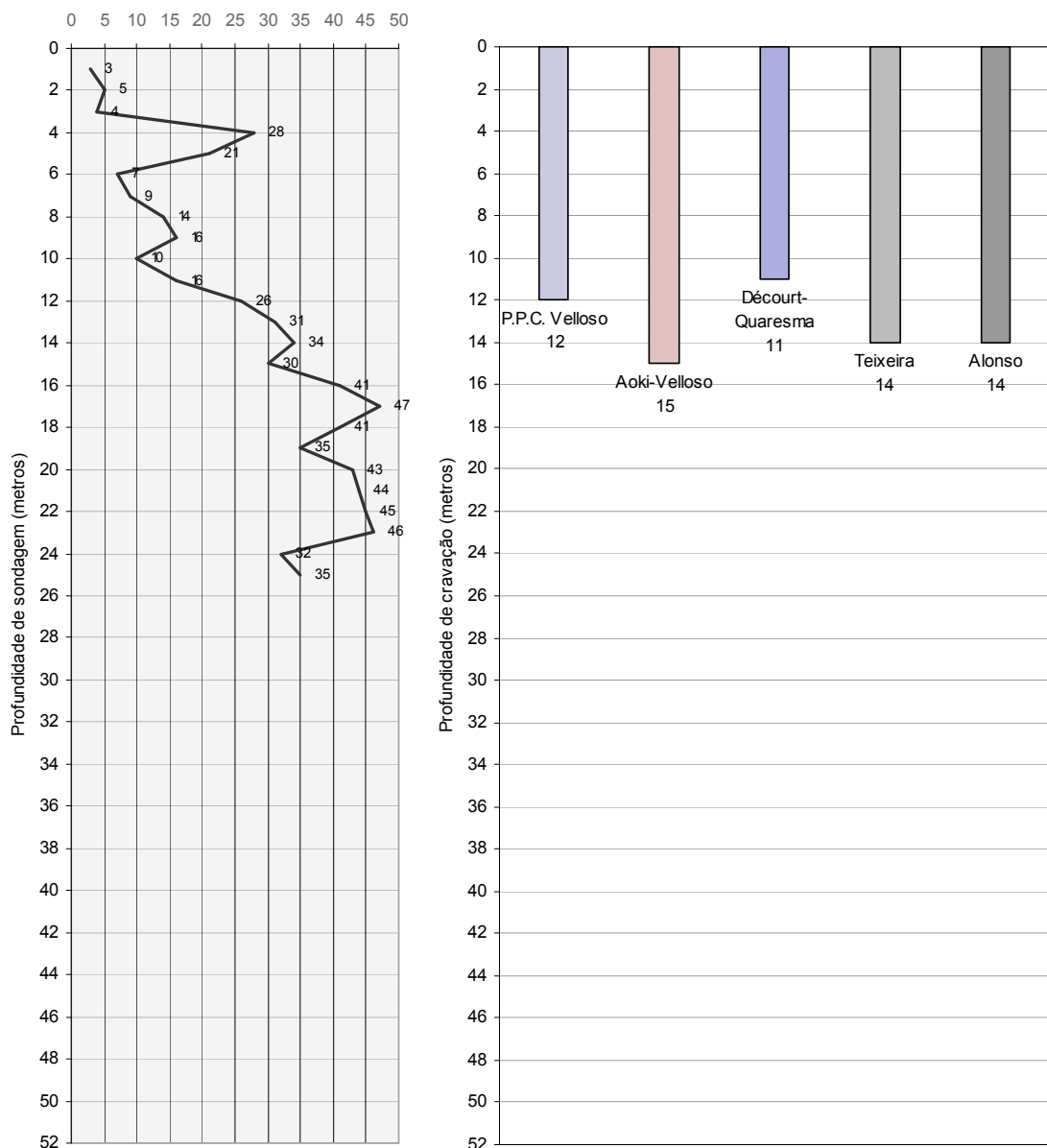


Figura 5.19: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método.

5.5.2. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”.

Observa-se na tabela 5.8, que os resultados apresentaram-se em condições favoráveis. Os valores de NEGA foram acima de zero e demonstram que as estacas favorecem cravações mais profundas. Através dos resultados da NEGA e pelos resultados das tensões de cravações apresentados para cada estaca, percebe-se que as cravações podem atingir profundidades maiores e sugerir novas cargas admissíveis de projeto.

A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 5.8, para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Tabela 5.8: Dados da peça de cravação e do bate estacas.

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)							
Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1 P.P.C. Velloso	12	m	222,40	MPa	5,87	mm/golpe	8,64
2 Aoki-Velloso	15	m	206,80	MPa	4,81	mm/golpe	6,91
3 Décourt-Quaresma	11	m	228,40	MPa	6,28	mm/golpe	9,42
4 Teixeira	14	m	211,60	MPa	5,14	mm/golpe	7,40
5 Alonso	14	m	211,60	MPa	5,14	mm/golpe	7,40

Observa-se na figura 5.20 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 4,81 e 6,28. Neste caso a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é ainda maior em comparação aos trilhos e tubos. A relação entre a carga admissível da estaca e a NEGA atingida, pode significar uma maior carga admissível se o valor da NEGA, nesse caso, diminuir.

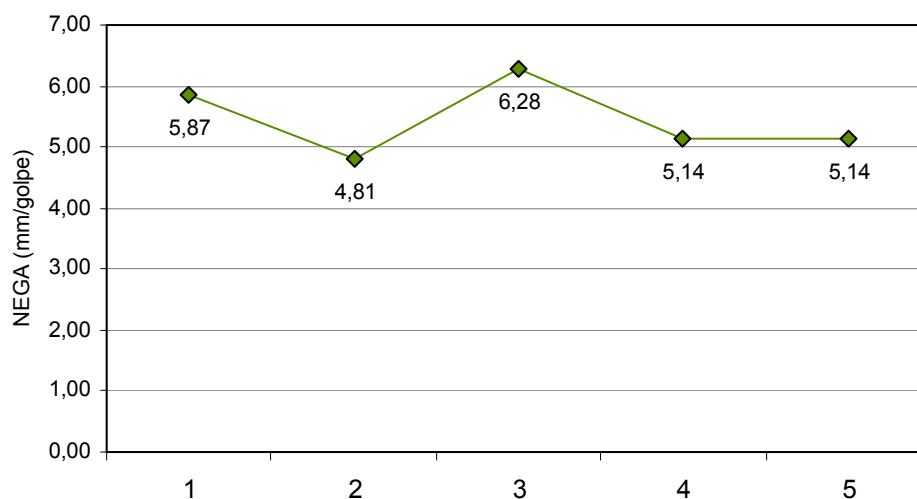


Figura 5.20: Gráfico demonstrando os valores da NEGA.

A tensão de cravação, figura 5.21, apresentou-se bem uniforme e abaixo do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no perfil, neste caso 350 MPa. Os valores variaram entre 206,80 e 228,00 MPa. A perda de tensão de cravação foi menos relevante, neste caso, no método de “Décourt-Quaresma”. Isto se dá pelo fato da esta ser menor que as demais e, com isso, as perdas de tensão ao longo da peça de aço são menores fazendo com que a tensão de cravação seja alta. O contrário acontece com o método de “Aoki-Velloso” que apresentou a menor tensão de cravação. Isso se deve por ser a maior estaca e parte da tensão de cravação se dissipa ao longo da peça de aço. Embora haja diferenças, todas as tensões comportaram-se satisfatórias.

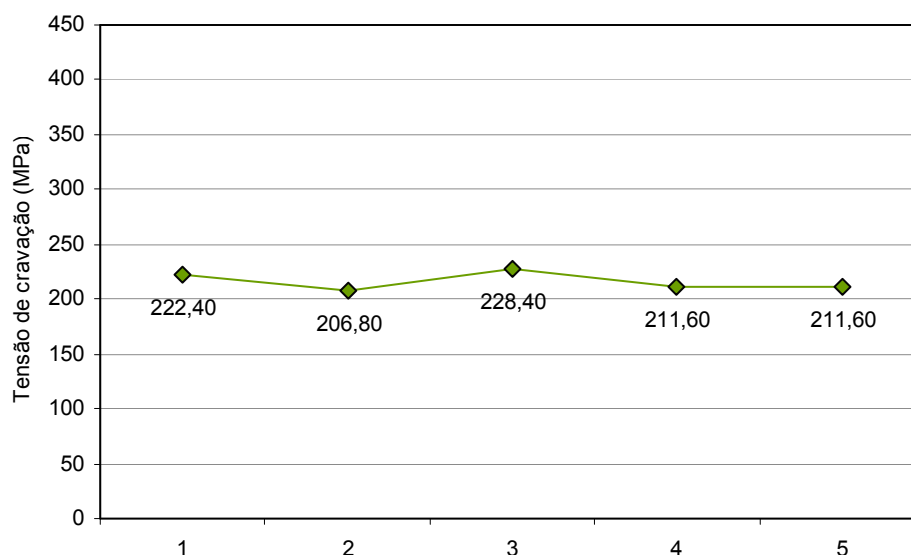


Figura 5.21: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação.

5.5.3. Levantamento dos custos por estaca cravada.

Os valores de execução por metro de cravação foram levantados através de coleta de dados no mercado, considerando empresas que atuam na região metropolitana de Belo Horizonte - MG. Os perfis são comercializados, normalmente, por faixas de peso por metro de perfil. Segundo a empresa GUERDAL, os valores variam entre faixas, abaixo e acima de 40 kg/metro. Para perfis até 40 kg/metro, o valor está em torno de R\$3,30 reais (Ver anexo 3A).

Os valores foram coletados, simulando uma fundação de 100 estacas, porém, para a carga de 25 tf, foram cotados para 50 estacas e as demais 50 para a carga de 75 tf.

Na tabela 5.9, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 5.19.

Tabela 5.9: Custo das estacas por metro de cravação.

	Método	peso da estaca (kg)	Profund. (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	231,6	12	19,30	3,30	40,00	103,69	1244,28
2	Aoki-Velloso	289,5	15	19,30	3,30	40,00	103,69	1555,35
3	Décourt-Quaresma	212,3	11	19,30	3,30	40,00	103,69	1140,59
4	Teixeira	270,2	14	19,30	3,30	40,00	103,69	1451,66
5	Alonso	270,2	14	19,30	3,30	40,00	103,69	1451,66

O cálculo do valor final para cada estaca é definido pelo tipo de perfil e pela profundidade de cravação. O tipo de perfil influencia em dois pontos a fundação; a carga admissível e, conseqüentemente, a profundidade de cravação. O valor coletado no mercado fora de R\$3,30 reais por kg de aço. Com isso, as estacas passam a ter seus valores definidos pelo peso da estaca, devido aos seus respectivos comprimentos de cravação. O comprimento da estaca também definirá o valor final da mão de obra de cravação, neste caso R\$40,00 reais por metro de cravação (GONTIJO, 2009), conforme tabela 5.9.

A figura 5.22, ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (2) de “Aoki-Velloso”, apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (3) de Décourt-Quaresma, apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga admissível, 25 tf, e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente argiloso, conforme sondagem do item 5.2.

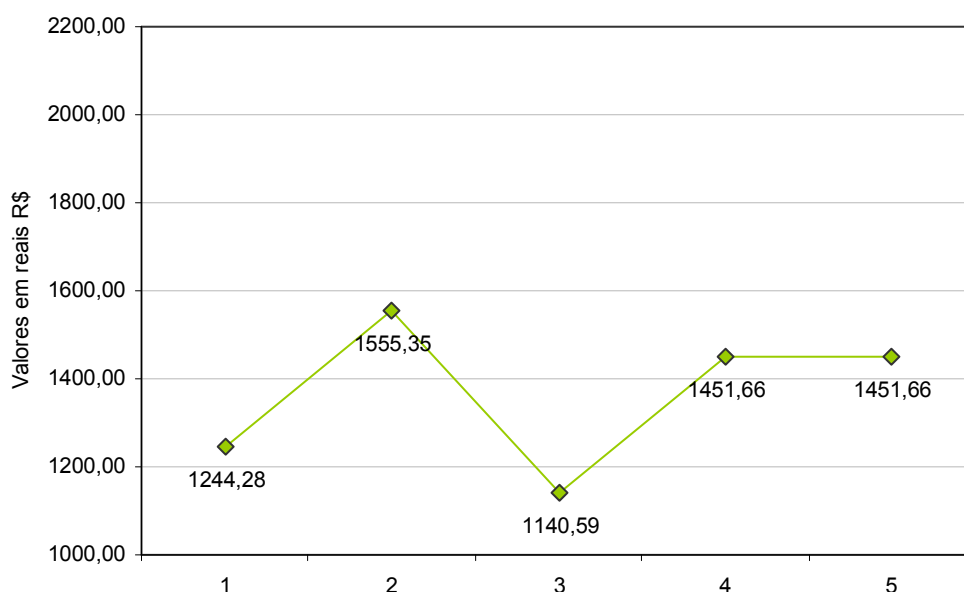


Figura 5.22: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada utilizando perfil “W200 x 19,3”.

Observa-se na figura 5.22 uma variação nos custos finais de cada estaca cravada. Essa variação está relacionada à carga admissível determinada através dos métodos estudados. A definição da carga admissível em estacas, determinada pelos métodos semi-empíricos, está relacionada a fatores como: dimensão e geometria da seção e profundidade de cravação. Quanto maior a profundidade e área da seção maior é o peso da estaca e, conseqüentemente, maior o valor da mão de obra. Para isso foi realizado um simples e rápido cálculo para a definição da estaca ideal para tal utilização. Se considerarmos o valor do perfil por kg e a profundidade de cravação, chegaremos ao valor final da estaca. No caso, foi utilizado o perfil “W200 x 19,3” de 350 MPa que obtêm de 19,30 kg por metro linear. Através dos programas computacionais, desenvolvidos para tal finalidade, foi possível calcular o valor final de cada estaca variando o tipo de perfil com suas respectivas profundidades. Com isso, foram realizados testes preliminares que determinaram o tipo de perfil com menor peso e profundidade suficiente para atender a carga mínima estipulada num menor valor final de custo.

A escolha do método de cálculo, em princípio, se dá pela escolha daquele que proporciona menor custo, porém, em caso de fundações onde englobam segurança e confiabilidade da

construção, a definição é bem mais complicada. Normalmente a escolha do tipo do método a ser utilizado cabe ao profissional definir.

5.6. Conclusões referentes aos resultados preliminares

Neste item serão apresentadas as principais conclusões obtidas a partir dos resultados para cada tipo de elemento de aço utilizado. Os resultados foram obtidos a partir de cálculos de métodos semi-empíricos diferentes, simulados para uma mesma sondagem à percussão num mesmo local. Os resultados obtidos foram analisados e comparados entre si. Foram utilizados nesta simulação cinco processos semi-empíricos estáticos muito utilizados para dimensionamento de fundações no Brasil. O método de HILEY (1925) foi o método dinâmico utilizado para determinar os valores da NEGA em cada estaca. As estacas metálicas foram escolhidas entre trilhos ferroviários, perfis e tubos metálicos. A carga admissível para cada tipo de fundação foi obtida com o auxílio de três programas computacionais que desenvolvem os cálculos geotécnicos dos métodos citados.

5.6.1. Profundidade de cravação obtida através da carga admissível

Observa-se na figura 5.23, as profundidades obtidas para carga admissível de 25 tf em cada estaca. As fundações divididas entre perfis, trilhos e tubos, apresentaram grandes diferenças relacionadas à cravação. Boa parte desta diferença pode ser atribuída ao tipo de elemento, principalmente às dimensões geométricas. Os trilhos, por exemplo, são robustos, pesados e possuem pouca área de ponta e perímetro, se comparados aos demais elementos utilizados. Com isso, os trilhos passam a necessitar de profundidades maiores para que possam atingir suas metas de cargas admissíveis. Os tubos, que apresentaram profundidades próximas às menores estudadas, dependem, normalmente, do embuchamento criado na ponta do tubo. Com isso, os tubos adquirem boa capacidade de carga de ponta tornando sua aplicação viável em comparação aos trilhos em relação à profundidade, ver figura 5.23.

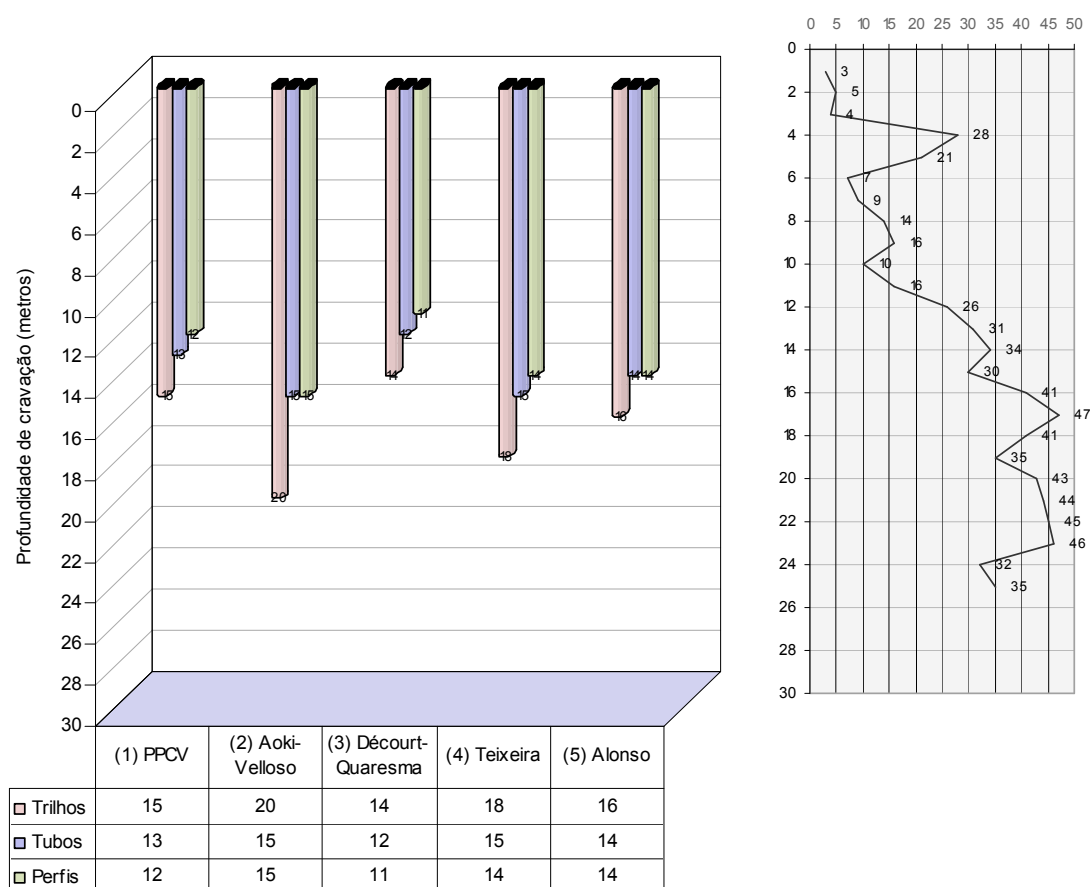


Figura 5.23: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca.

Os resultados relacionados ao perfil, conforme a figura 5.23, apresentou as menores profundidades entre os elementos estudados. Apesar da profundidade, única e somente, não representar na totalidade o custo final da fundação, tem apresentado bons resultados de custo quando comparados aos demais elementos. O perfil “W200 x 19,3”, por exemplo, apresentou 60% do peso por metro em relação ao trilho TR32.

- O método (1), “P.P.C.Velloso”, apresentou diferença entre o trilho e o perfil, na profundidade de cravação, de 20%. Enquanto isso, o perfil obteve apenas 7,5% de diferença em relação ao tubo.
- O método (2), “Aoki-Velloso”, apresentou a maior diferença de profundidade de cravação entre o trilho e o perfil. Neste caso, a diferença foi de 25%. Em relação ao tubo, o perfil apresentou 7,5% de diferença.

- No método (3), “Décourt-Quarema”, foram obtidos os menores resultados de cravação por estacas. O trilho apresentou 21% de diferença em relação ao perfil. A profundidade do tubo em relação ao perfil manteve-se quase inalterado em relação aos resultados dos demais métodos, com 8%.
- No método (4), “Teixeira”, os resultados para os diferentes elementos de fundações se mantiveram entre os resultados de maiores profundidades, Aoki-Velloso, e os de menores profundidades, Décourt-Quaresma. A diferença entre o trilho e o perfil foi expressiva, 22%. O perfil em relação ao tubo apresentou 6,6%.
- O método (5), “Alonso”, os resultados apresentaram-se medianos em relação aos demais. A diferença entre o trilho e o perfil foi de 12,5%. Entre o perfil e o tubo não existiu diferenças de cravação, ambos com 14 metros.
- Através da figura 5.24, podemos analisar as diferenças de profundidades de cravação para cada estaca. Neste caso, os trilhos apresentaram em todos os métodos as maiores profundidade de cravação, enquanto que os perfis as menores. Os tubos apresentaram resultados muitos próximos dos perfis, chegando a se igualar no método “Aoki-Velloso” e “Alonso”.

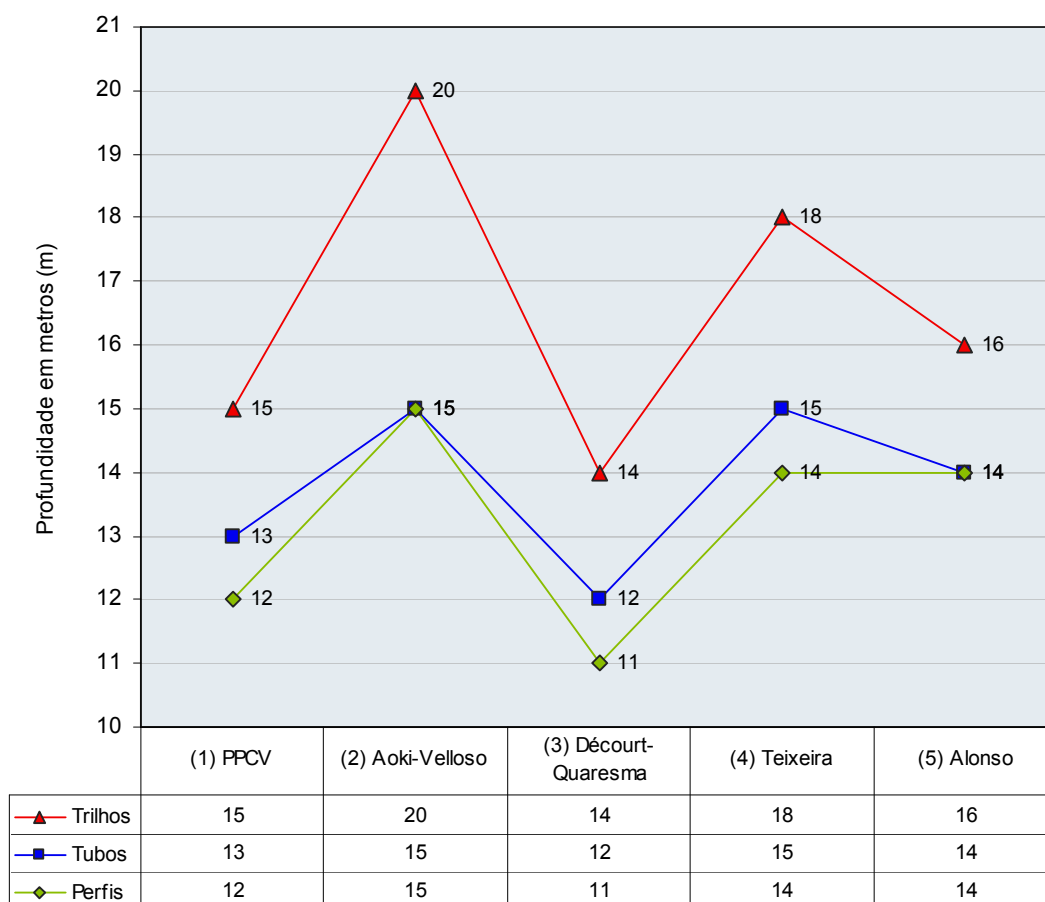
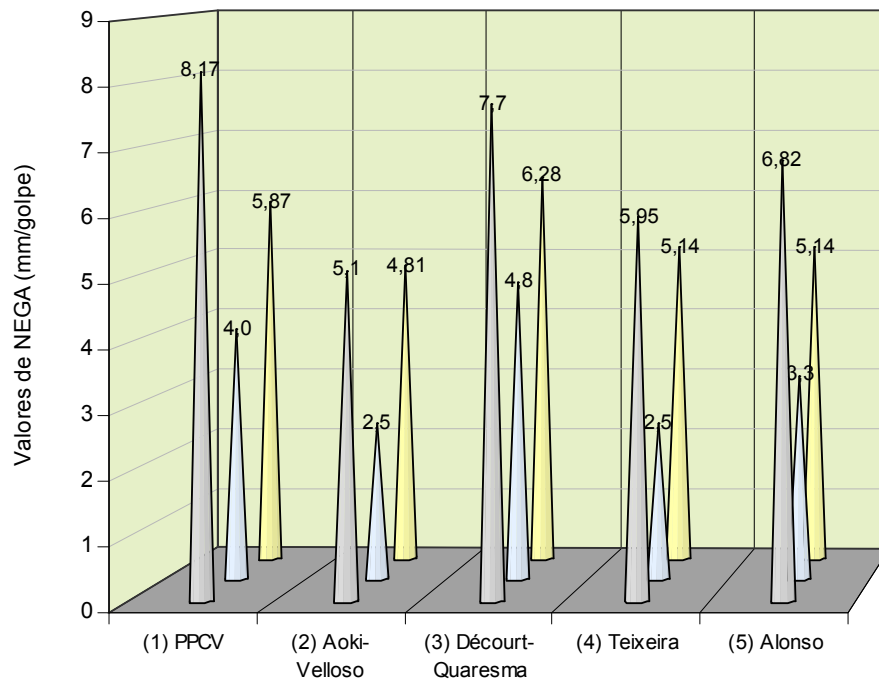


Figura 5.24: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca.

5.6.2. NEGAs obtidas através das diferentes profundidades e elementos metálicos

Os valores obtidos da NEGA, através do método dinâmico de HILEY (1925), auxiliam-nos a compreender os diversos comportamentos de cravação. Conforme a figura 5.25, os valores de NEGA obtidos para trilhos foram superiores aos demais. Parte deste valor se dá pela profundidade de cravação dos elementos. Dentre outros fatores, relacionam-se também as dimensões geométricas do elemento. Apesar dos altos resultados de NEGA e, ainda, mesmo obtendo de alta profundidade de cravação, os resultados indicam que, se analisarmos pelos valores indicadores de NEGA, as fundações utilizando trilhos TR32, neste caso, possuem maiores capacidades de cravação. Isso significa que o trilho TR32 calculado nestas condições, poderá, teoricamente, atingir profundidades superiores.



	(1) PPCV	(2) Aoki-Velloso	(3) Décourt-Quaresma	(4) Teixeira	(5) Alonso
□ Trilhos	8,17	5,1	7,7	5,95	6,82
□ Tubos	4,0	2,5	4,8	2,5	3,3
□ Perfis	5,87	4,81	6,28	5,14	5,14

Figura 5.25: Gráfico demonstrando os valores de NEGA em relação a cada profundidade para cada elemento de aço

5.6.3. Tensão de cravação obtida a partir dos diferentes elementos cravados

A tensão de cravação é uma das formas para determinarmos patamares dinâmicos que os elementos suportam durante a cravação. Neste caso, foram utilizados para a simulação, elementos de aço do tipo ASTM 572 de grau 50 com limite mínimo de escoamento característico de 350 MPa. O limite de escoamento do trilho TR32 foi estipulado através de testes apresentados em MACEDO (2001). Conforme a figura 5.26, as tensões de cravação foram muito próximas entre os perfis e tubos. Dentre outros fatores, a proximidade entre as áreas de seção e profundidade de cravação dos tubos e perfis contribuiu para que as tensões fossem próximas.

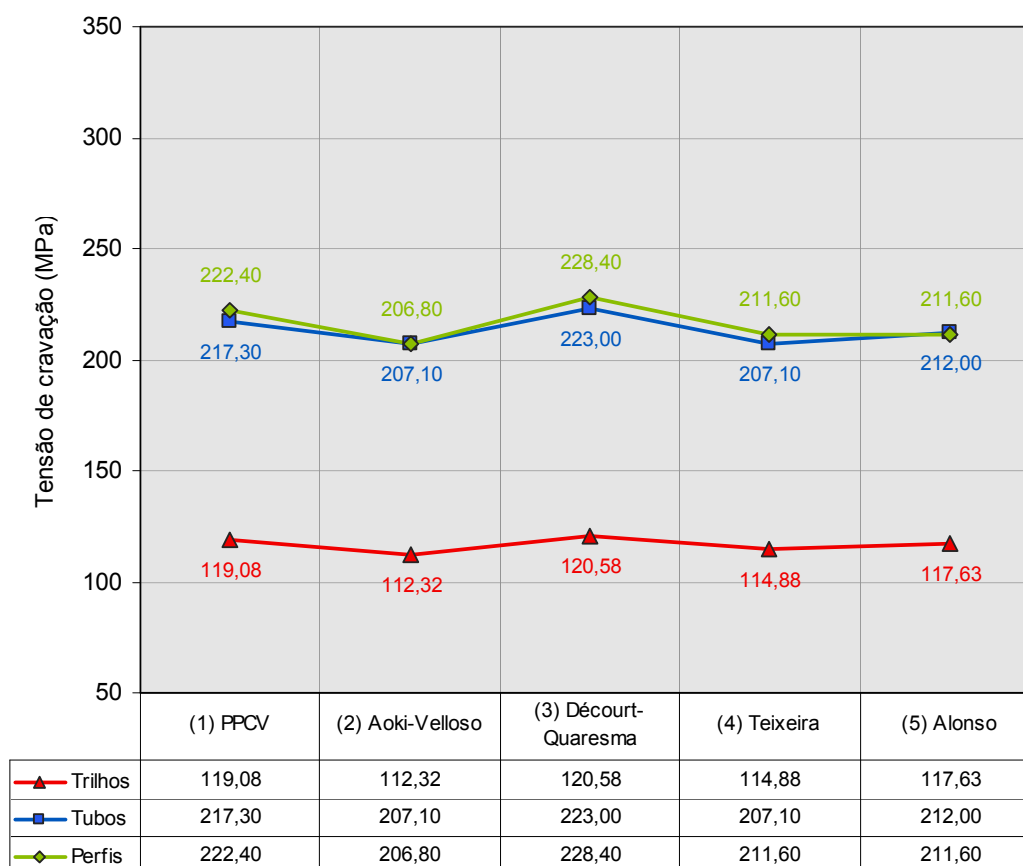


Figura 5.26: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas

O trilho ferroviário, TR32, devido a sua área de seção maior em relação ao tubo “168,3 x 4,8” e o perfil “W200 x 19,3” e, além da maior profundidade de cravação, conseqüentemente, obteve baixas tensões de cravação. Os trilhos por possuírem alto limite de escoamento, dificilmente apresentarão deformações durante a cravação.

Os tubos e perfis obtiveram resultados, para tensão de cravação, entre 200 e 250 MPa. Isso significa que estão em torno de 100 MPa de tensão abaixo do limite mínimo de escoamento. Através destes resultados percebe-se que, para a carga admissível de 25 tf, os elementos de aço, tanto os tubos e perfis, quanto os trilhos, não sofreriam deformações durante a cravação. Os cálculos da tensão de cravação reforçam a importância dos estudos relacionados à resistência dos materiais em casos como este.

5.6.4. Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos

Neste item foram apresentados os custos por estaca, divididos por tipo de elemento metálico e método de dimensionamento. Conforme a figura 5.27, os valores foram dispostos em forma de tabela com seus respectivos métodos numerados de 1 a 5. Os valores obtidos estão dispostos em forma de gráfico. Os métodos semi-empíricos estão numerados da seguinte forma:

- Método P.P.C.Velloso- número (1)
- Método Aoki-Velloso – número (2)
- Método Décourt-Quaresma – número (3)
- Método Teixeira – número (4)
- Método Alonso – número (5)

Os valores coletados no mercado de Belo Horizonte, foram dispostos a partir do kg de aço do elemento de fundação. No caso dos trilhos, o valor de mercado encontrado foi de R\$ 2,0 reais por kg de aço (BRASIL Trilhos, 2009). Para o tubo “168,3 x 4,8” de 350 MPa, o valor do kg do aço foi de R\$ 5,16 reais, (V&MTUBES, 2009). O perfil laminado “W200 x 19,3”, obteve o valor de R\$ 3,30 reais por kg de aço (GUERDAL, 2009)

Os valores apresentados na figura 5.27, demonstram diferenças entre os tipos de elementos de aço. No caso do trilho, que apresentou as maiores profundidades de cravação, obteve valores medianos em comparação aos demais. Já o perfil, apresentou os menores valores em todos os métodos, enquanto que, os resultados para o tubo foram os maiores entre os métodos estudados (ver figura 5.27).

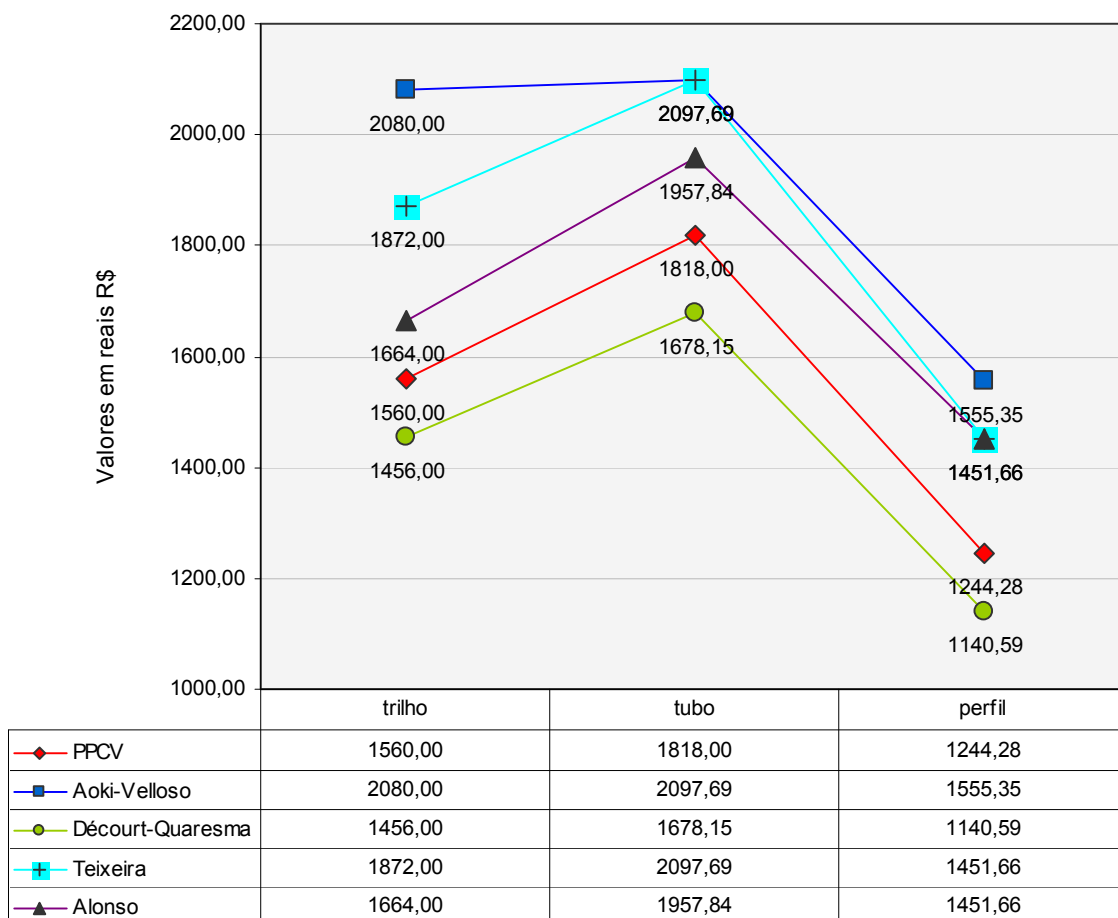


Figura 5.27: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca

Através da ilustração da figura 5.28, observa-se que o perfil dimensionado através do método “Décourt-Quaresma”, apresentou o menor custo entre os demais. O mesmo aconteceu com os demais elementos metálicos, apresentaram menor custo no método “Décourt-Quaresma”. O perfil dimensionado através do método “Aoki-Velloso” apresentou o maior valor. O mesmo aconteceu para os demais elementos metálicos.

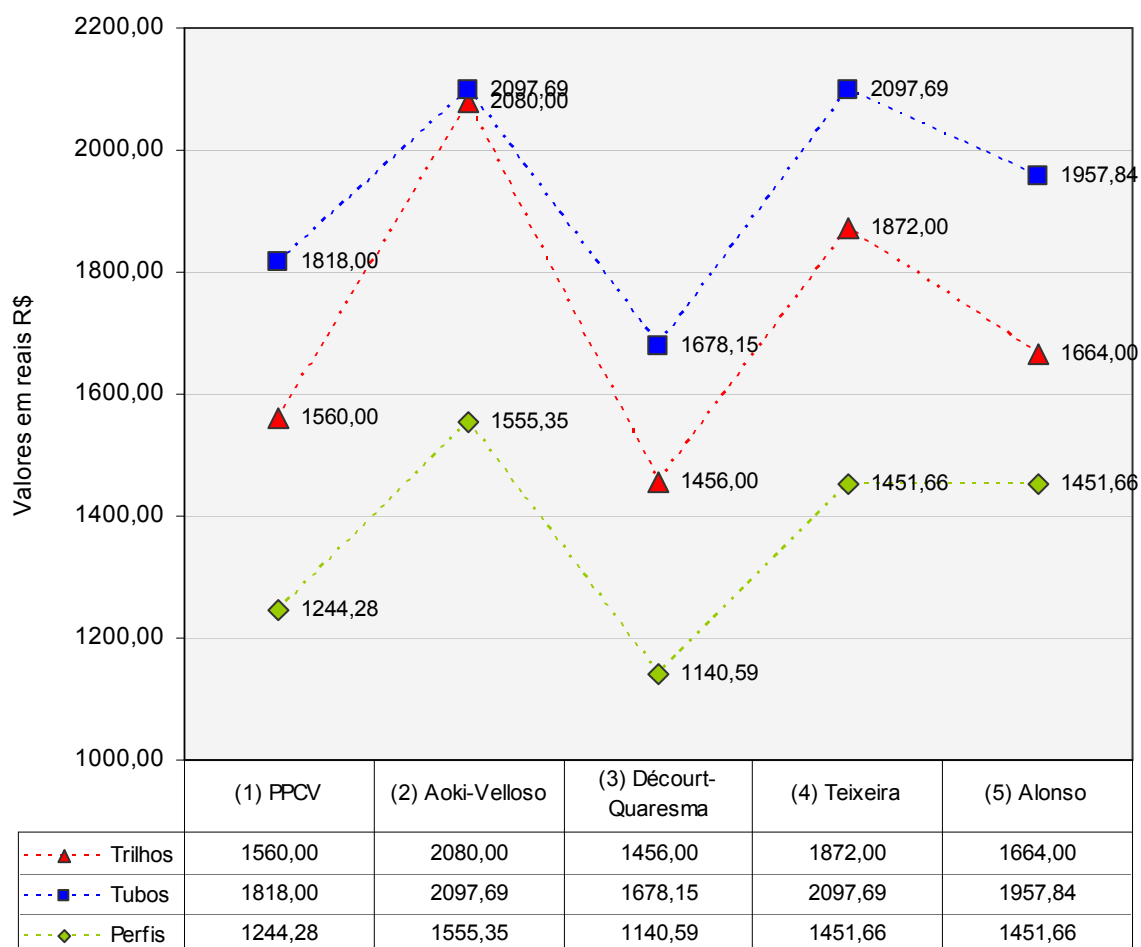


Figura 5.28: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca

É importante salientar que os elementos utilizados nas simulações, foram escolhidos perante o menor preço por kg, levando-se em consideração o valor final cravado através da profundidade apresentada para cada elemento. Os valores são indicadores de custos, porém, quando lidamos com segurança e confiabilidade das fundações, estes se tornam não imperativos. É de grande importância que os dimensionamentos sejam realizados conforme as condições estruturais de projeto, levando-se em conta os aspectos necessários para que a estrutura possa manter-se intacta diante das situações consideradas em projetos. Com isso, observa-se que os custos nem sempre são os indicadores para a melhor situação.

5.6.5. Funcionamento e validação dos programas desenvolvidos

Os programas utilizados e criados apresentaram resultados que comprovaram sua eficiência. Após algumas comparações com resultados apresentados em literaturas (SILVEIRA, J. E. S. Dimensionamento geotécnico de fundação: fundações profundas), que tratam do mesmo assunto, pôde-se concluir que os parâmetros finais de cálculo estão corretos. Em específico, para o cálculo da capacidade de carga de fundações por trilhos ferroviários, foram realizados testes “à mão” e comparados aos resultados que o programa forneceu. Desta forma, pode-se comprovar a eficiência de cada programa e estabelecer confiabilidade aos resultados que apresentam. A validação dos programas através dos testes preliminares teve grande importância para a realização deste trabalho.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Considerações iniciais

Neste capítulo são apresentados os resultados dos programas desenvolvidos para o dimensionamento das estacas metálicas.

Como descrito, o enfoque deste trabalho é reunir resultados a respeito do dimensionamento de fundações metálicas utilizando diferentes elementos em aço para se realizar análises comparativas. Para se obter tais resultados, foram utilizadas cargas de 25 e 75 tf. Para estes dimensionamentos, foi utilizado uma sondagem real com solo do tipo predominantemente arenoso e modificado em relação à sua predominância.

Os resultados das cargas admissíveis dos trilhos simples serão comparados aos resultados das cargas admissíveis dos tubos e perfis do tipo “H” ou “I” (somente do tipo simples, não considerando aqueles dos tipos duplos ou triplos). Com isso, serão gerados valores de profundidades para comparação.

Serão discutidos os comparativos realizados em relação às profundidades das fundações e dos custos finais de cada elemento em aço. As tensões máximas de cravação e de carga de trabalho, para cada caso, serão apresentadas e analisadas em relação à resistência do material utilizado.

6.2. Sondagem à percussão utilizada

Neste item será apresentado o relatório de sondagem utilizado para o dimensionamento das fundações. A sondagem (representado pela figura 6.1) é do tipo com solo predominantemente argiloso. A sondagem foi interrompida aos 32,45m por apresentar profundidade suficiente para o dimensionamento das fundações. Os índices de SPT do relatório de sondagem apresentaram-se crescentes por quase todo o perfil geológico, ultrapassando a condição “impenetrável” nos últimos metros.

Os dados do relatório de sondagem foram extraídos da região de Franca no Estado de São Paulo. Os dados da Empresa Cliente foram preservados.

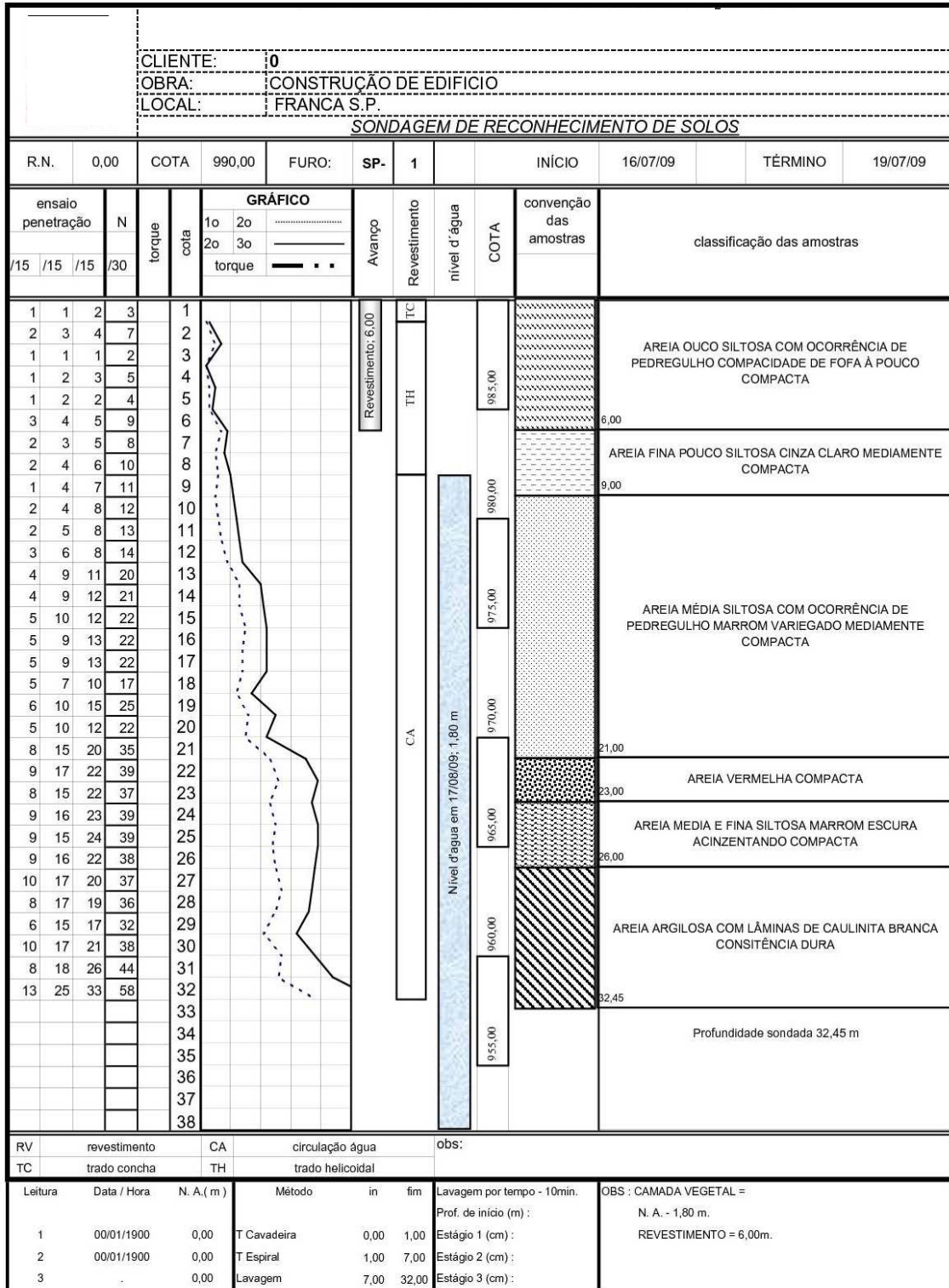


Figura 6.1: Ilustração do projeto de sondagem à percussão. Fornecido pela Empresa SOLOCON, 2009

6.3. Resultados obtidos a partir da sondagem com solo do tipo arenoso sob a carga de 25tf

6.3.1. Resultados para trilho ferroviário

6.3.1.1. Resultados obtidos para o trilho do tipo simples TR32

Neste item mostra-se a tabela 6.1 com os dados referentes ao trilho TR32 simples. Após alguns cálculos utilizando o programa para carga admissível por SPT para trilhos ferroviários, o trilho TR32 demonstrou menor custo em relação aos demais.

O martelo de 2 tf com 75 cm de altura foi suficiente para atender à cravação sem ultrapassar o limite de escoamento mínimo do aço, conforme o item 4.3, de 450 MPa. O desgaste da peça em 3%, conforme descrito no item 4.4.1.3, representa o desgaste do boleto. A área de ponta é determinada pelo polígono circunscrito à seção do trilho, conforme descrito no item 3.5.3 da revisão bibliográfica. A altura de queda do martelo em 75 cm foi determinada por apresentar uma tensão de cravação compatível à seção da peça. O tamanho do capacete utilizado é definido, primeiramente, pelas dimensões da seção da peça e em segundo pela disponibilidade existente

Tabela 6.1: Dados do elemento de fundação e de cravação, TR 32 para carga de 25 tf no solo tipo arenoso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Trilho simples	TR32	32	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	25	tf		Peso martelo	2	tf
Lim. Escoamento	450	MPa		Altura de queda	75	cm
Desgaste	3	%		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	40,33	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	97,94	cm ²				
Perímetro consid.	40,5	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	270	MPa				

6.3.1.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR 32

Observa-se na figura 6.2 que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 25 tf foram diversas. Percebe-se uma discrepância entre os valores de cravação para os métodos

utilizados. Os métodos, “Décourt-Quaresma” e "P.P.C.Velloso", com 16,0 metros, apresentaram as menores profundidades de cravação. O método de “Teixeira”, apresentou a maior profundidade com 22,0 metros.

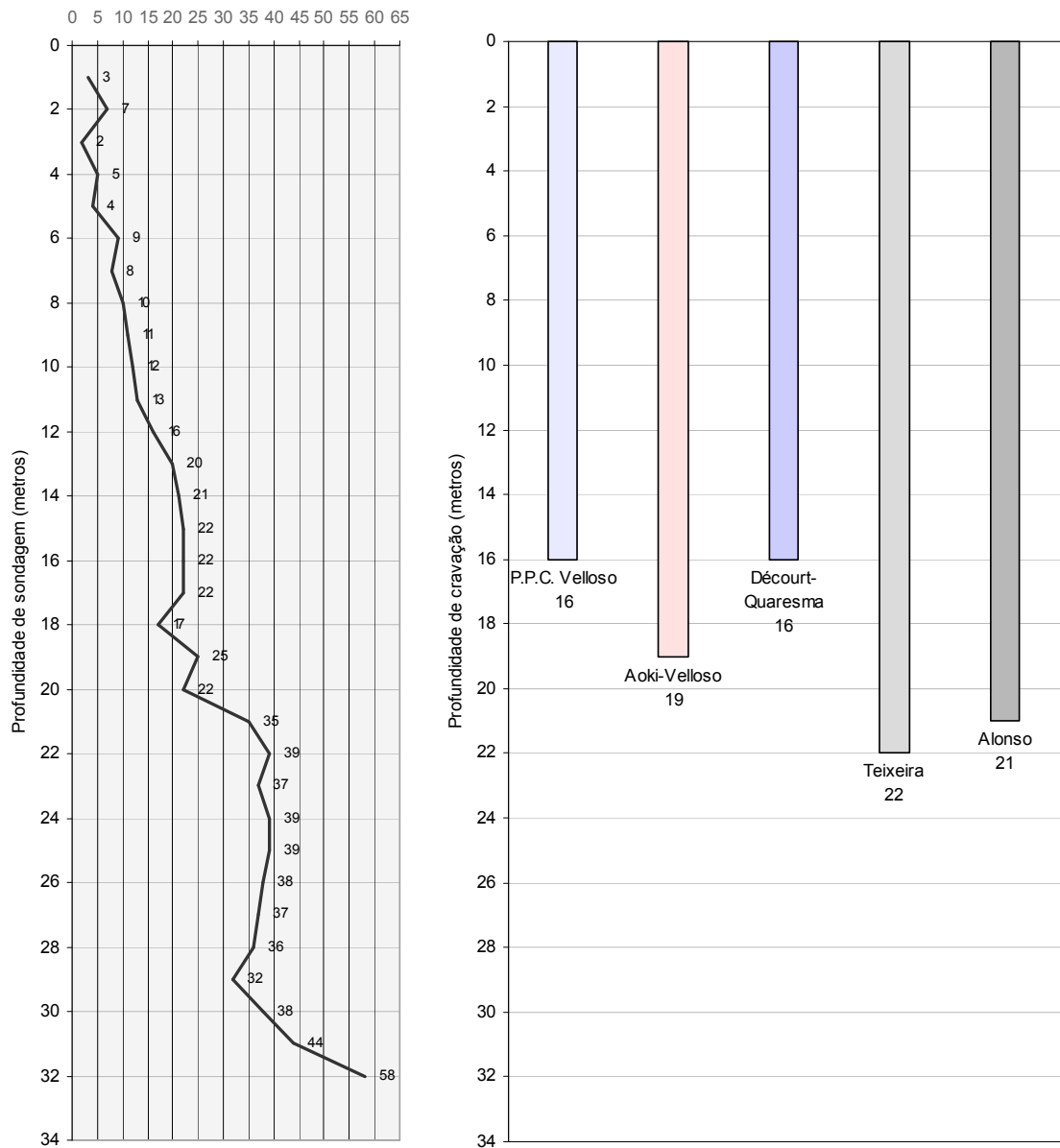


Figura 6.2: Ilustração das respectivas profundidades dos trilhos TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.1.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR32

Observa-se na tabela 6.2 que os resultados de cravação foram satisfatórios com os valores para NEGA acima de zero e as tensões de cravação não ultrapassaram o limite de escoamento mínimo do aço. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca não houve excessos e foi apresentada na tabela 6.2.

Tabela 6.2: Dados geotécnicos dinâmicos para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)							
Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1 P.P.C. Velloso	16	m	117,63	MPa	6,82	mm/golpe	3,91
2 Aoki-Velloso	19	m	113,58	MPa	5,52	mm/golpe	3,29
3 Décourt-Quaresma	16	m	117,63	MPa	6,82	mm/golpe	3,91
4 Teixeira	22	m	109,92	MPa	4,26	mm/golpe	2,84
5 Alonso	21	m	111,11	MPa	4,68	mm/golpe	2,98

Observa-se na figura 6.3 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 4,26 e 6,82. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é real.

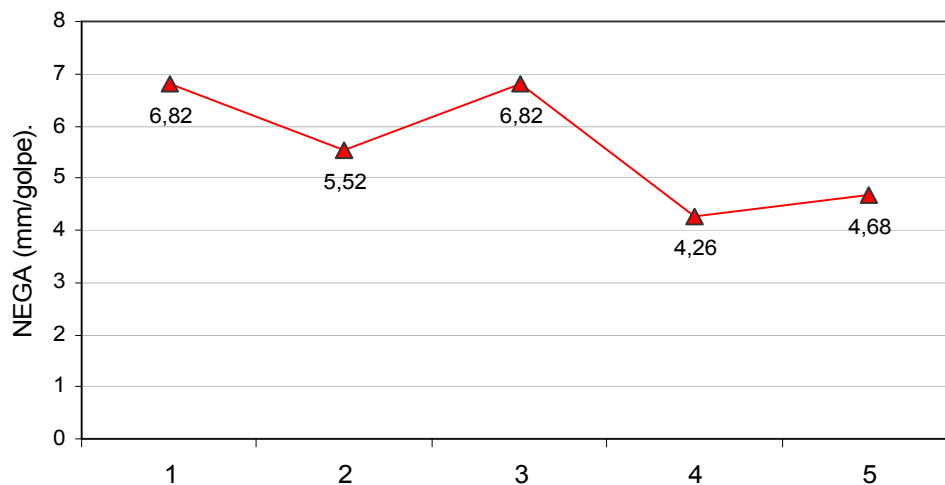


Figura 6.3: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso.

A tensão de cravação apresentou-se bem uniforme e distante do limite de escoamento adotado para o trilho. Os valores variaram entre 109,92 e 117,63 MPa. Normalmente a tensão de cravação varia um pouco em relação ao comprimento da estaca. As perdas de energia ao longo da peça de aço fazem com que a tensão na cabeça da estaca diminua conforme o aumento do comprimento. Observa-se na figura 6.4 que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta. A altura do martelo de 2 tf foi de 75 cm em todos os processos.

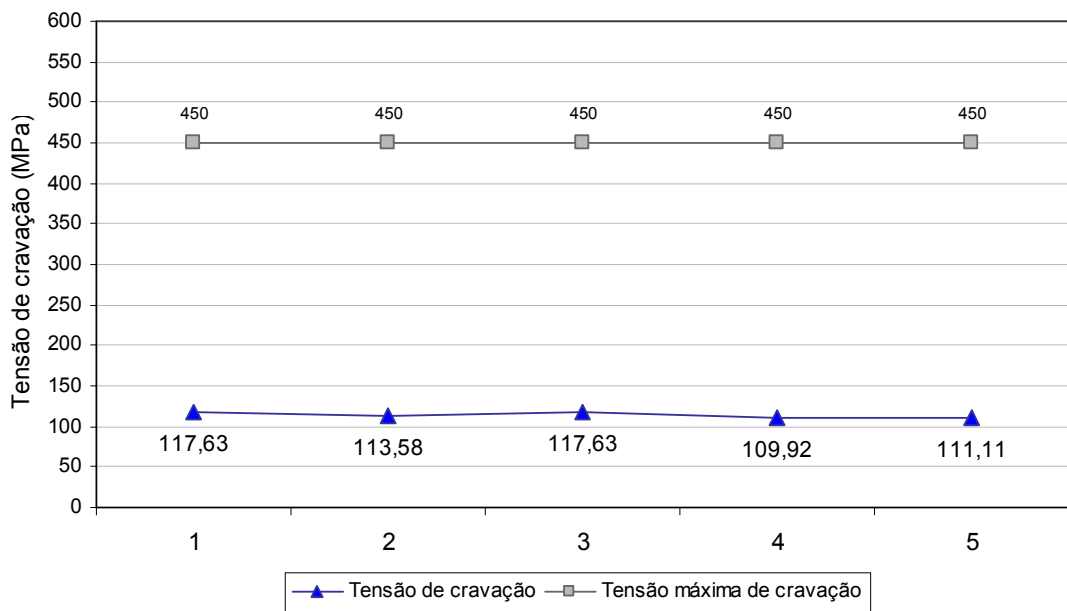


Figura 6.4: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.1.4. Levantamento dos custos por cada trilho TR 32 cravado.

Na tabela 6.3 os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço.

Tabela 6.3: Custo das estacas por metro de cravação para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

	Método	peso da estaca (kg)	Prof. (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	512	16	32,00	2,00	40,00	104,00	1664,00
2	Aoki-Velloso	608	19	32,00	2,00	40,00	104,00	1976,00
3	Décourt-Quaresma	512	16	32,00	2,00	40,00	104,00	1664,00
4	Teixeira	704	22	32,00	2,00	40,00	104,00	2288,00
5	Alonso	672	21	32,00	2,00	40,00	104,00	2184,00

A figura 6.5 demonstra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (4) de "Teixeira" apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. Os métodos (1) e (3), "Décourt-Quaresma" e "P.P.C.Velloso", apresentaram os menores valores de custo e, conseqüentemente, as menores profundidades de cravação.

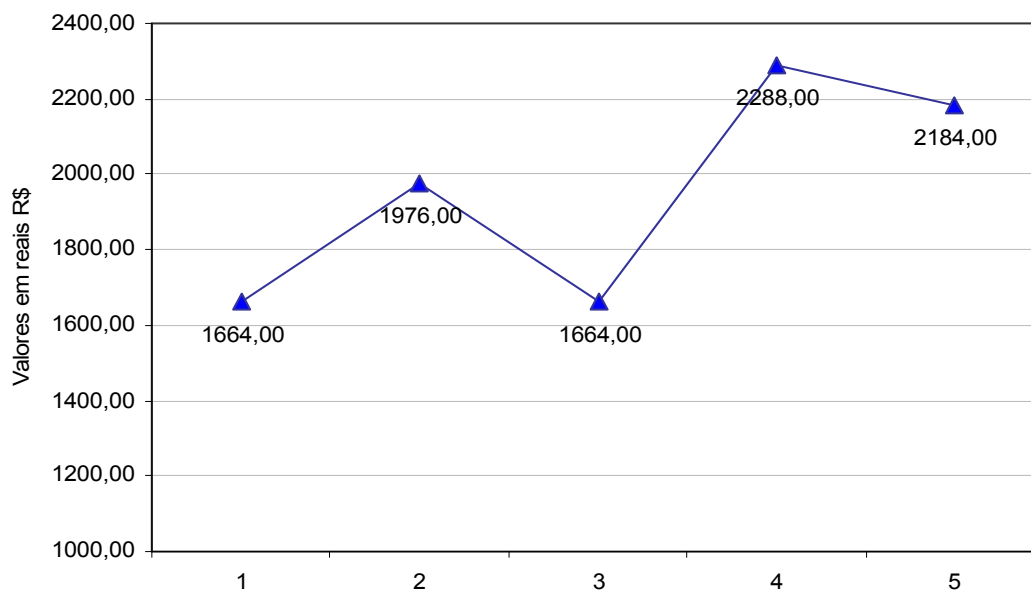


Figura 6.5: Gráfico demonstrando os valores de custos para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.2. Resultados para tubo metálico

6.3.2.1. Resultados obtidos para o tubo metálico “168,3 x 4,8”

Neste item foram apresentados os resultados da carga admissível do tubo de 168,3 mm de diâmetro externo com 4,8 mm de espessura da parede de aço, conforme tabela do catálogo da empresa VALLOUREC & MANNESMANN TUBES (2008) (anexo 2A). A definição das dimensões do tubo que melhor atenderia às exigências foi realizada a partir de cálculos preliminares utilizando o programa desenvolvido para esse fim. Com isto, chegou-se à conclusão que o tubo de diâmetro externo de 168,3 mm atingiu a carga mínima, na relação estaca/solo, de 25 tf. A espessura de 4,8 mm da parede do tubo foi suficiente para que o coeficiente de compressão e tensão de cravação atingisse um valor satisfatório. O mesmo aconteceu com o valor da NEGA, atingindo um valor acima de zero e não muito alto, a partir de um martelo de 2tf com 75 cm de altura.

Na tabela 6.4 observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende as exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2.

Tabela 6.4: Dados do elemento de fundação do tipo tubo “168,3 x 19,35”

Dados da peça:				Dados de cravação		
Tubo	168,3	19,35	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	25	tf		Peso martelo	2	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	75	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	24,66	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	222,46	cm ²				
Perímetro consid.	52,87	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

6.3.2.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo “168,3 x 4,8”

Observa-se na figura 6.6 que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 25 tf foram diversas. Percebe-se uma variação entre os valores de cravação para os métodos utilizados. O método "P.P.C.Velloso", com 13,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto que o método “Teixeira”, apresentou a maior profundidade com 18,0 metros.

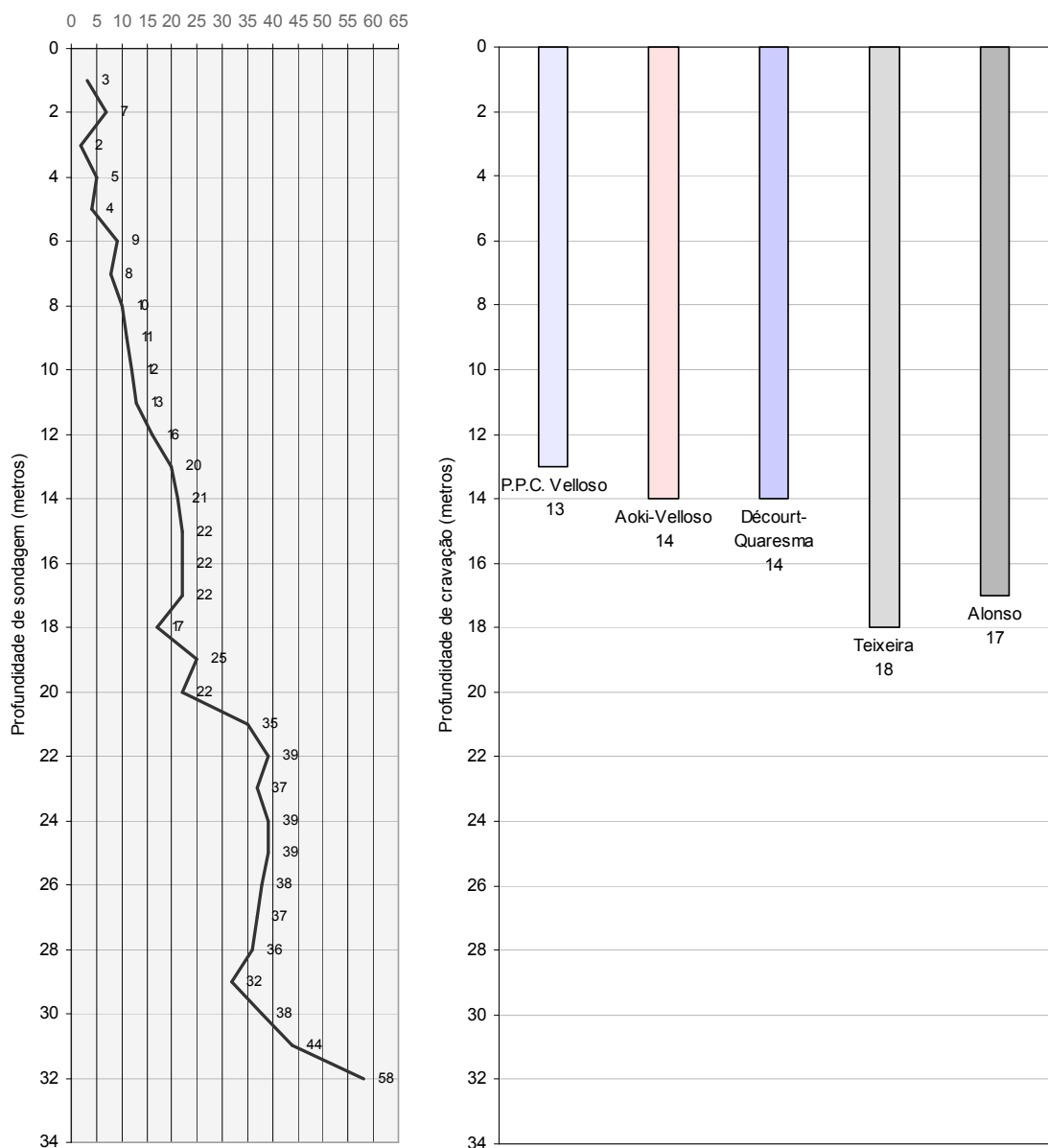


Figura 6.6: ilustração das respectivas profundidades das estacas tipo tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.2.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo “168,3 x 4,8”

Observa-se na tabela 6.5, que os resultados de cravação foram satisfatórios com os valores para NEGA acima de zero e as tensões de cravação não ultrapassaram o limite de escoamento mínimo do aço. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.5, para que se possa verificar a ausência de excessos na cravação.

Tabela 6.5: Dados do elemento de fundação e do bate estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)								
1	Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1	P.P.C. Velloso	13	m	217,30	MPa	4,64	mm/golpe	7,95
2	Aoki-Velloso	14	m	212,00	MPa	4,29	mm/golpe	7,38
3	Décourt-Quaresma	14	m	212,00	MPa	4,29	mm/golpe	7,38
4	Teixeira	18	m	194,10	MPa	3,1	mm/golpe	5,74
5	Alonso	17	m	198,20	MPa	3,37	mm/golpe	6,08

Observa-se na figura 6.7 que os valores da NEGA variaram numa faixa entre 3,1 e 4,64. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é real. A altura do martelo de 2 tf foi de 75 cm em todos os processos.

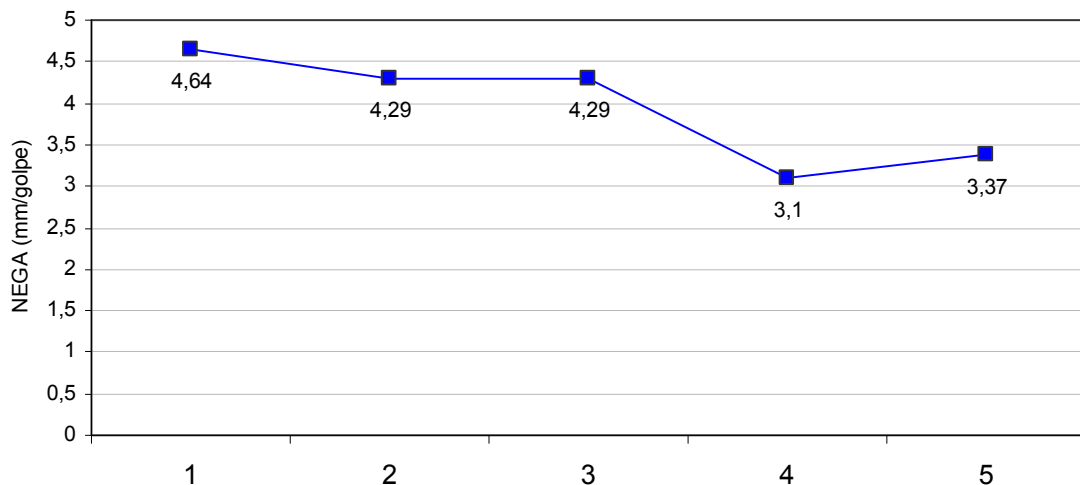


Figura 6.7: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

A tensão de cravação apresentou-se bem uniforme e distante do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no tubo. Os valores variaram entre 194,10 e 217,30 MPa. Normalmente a tensão de cravação varia um pouco em relação ao comprimento da estaca. As perdas de energia ao longo da peça de aço fazem com que a tensão na cabeça da estaca diminua conforme o aumento do comprimento. Observa-se na figura 6.8, que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta.

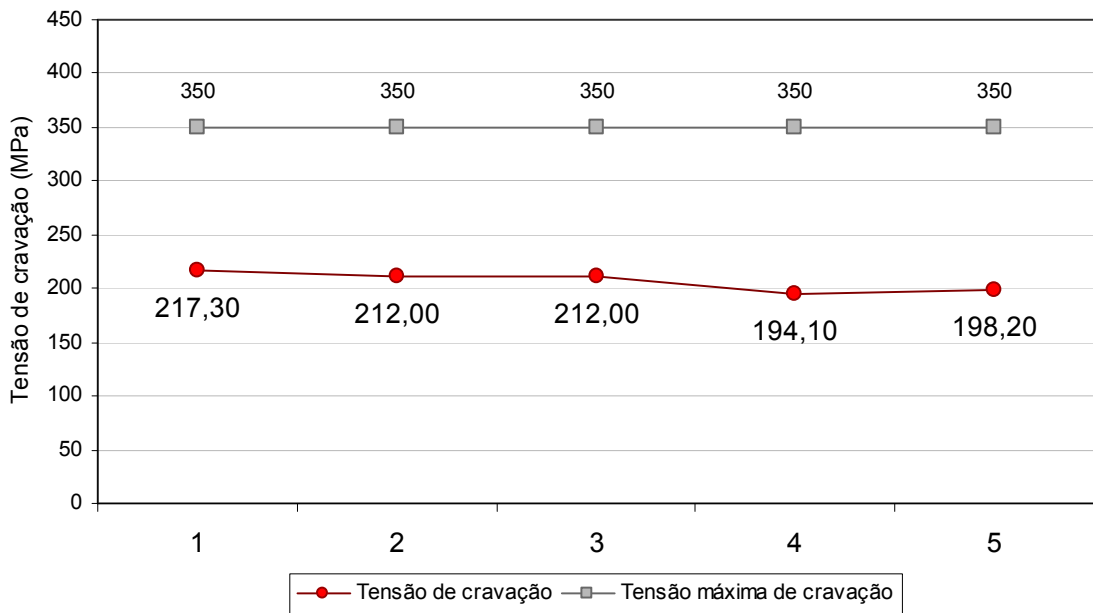


Figura 6.8: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.2.4. Levantamento dos custos por cada tubo “168,3 x 4,8” cravado.

Observa-se na figura 6.6 que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 6.9. Estes valores foram calculados a partir do valor por metro de execução (cravação) e pelo peso do aço por metro de estaca. Com isso, o valor da estaca em relação aos métodos utilizados dependerá da sua profundidade de cravação.

Tabela 6.6: Custo das estacas por metro de cravação para o tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

	Método	peso da estaca (kg)	Prof. (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	251,55	13	19,35	5,16	40,00	139,85	1818,00
2	Aoki-Velloso	270,9	14	19,35	5,16	40,00	139,85	1957,84
3	Décourt-Quaresma	270,9	14	19,35	5,16	40,00	139,85	1957,84
4	Teixeira	348,3	18	19,35	5,16	40,00	139,85	2517,23
5	Alonso	328,95	17	19,35	5,16	40,00	139,85	2377,38

A figura 6.9 ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (4) “Teixeira” apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (1), de "P.P.C.Velloso", apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga de 25 tf e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente arenoso, conforme sondagem do item 6.2.

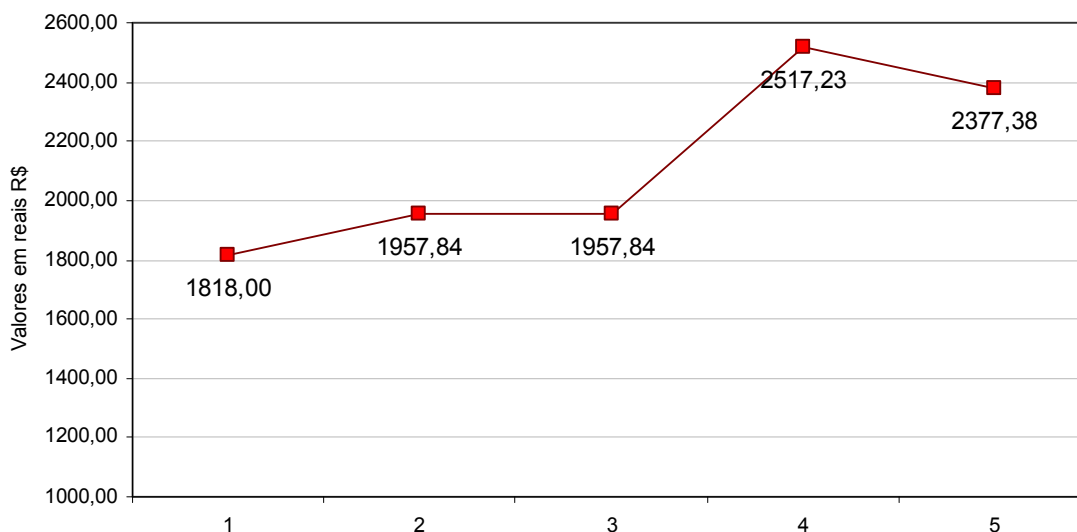


Figura 6.9: Gráfico demonstrando os valores de custos para o tubo “168,3 x 19,35” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.3. Resultados para perfil metálico

6.3.3.1. Resultados obtidos para o perfil metálico “W 200 x 19,3”

A escolha do perfil ideal foi definida após um breve e rápido cálculo com análise do comportamento de vários perfis em relação ao seu custo final. O perfil “W200 x 19,3” de 203mm de altura e 19,3 kg/metro, apresentou condições favoráveis às cargas de compressão e em termos de custo. Neste item foram apresentados os resultados da carga admissível do perfil do tipo laminado, “W 200 x 19,3”. Características obtidas através do catálogo da GERDAU AÇOMINAS (2008) (anexo 2B)

Na tabela 6.7 observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende às exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2.

Tabela 6.7: Dados da peça de cravação e do bate estacas do perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Perfil	W200x19,3	19,3	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	25	tf		Peso martelo	2	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	75	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	24,28	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	207,1	cm ²				
Perímetro consid.	61	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

6.3.3.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”.

Observa-se na figura 6.10 que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 25 tf foram diversas. Os métodos “Décourt-Quaresma” e “P.P.C.Velloso”, com 13,0 metros, apresentaram a menor profundidade de cravação, enquanto o método de “Teixeira” apresentou a maior profundidade, 17,0 metros. Os resultados dos métodos “Aoki-Velloso” e “Alonso”, com 14,0 e 16,0 metros de profundidade, respectivamente foram medianos.

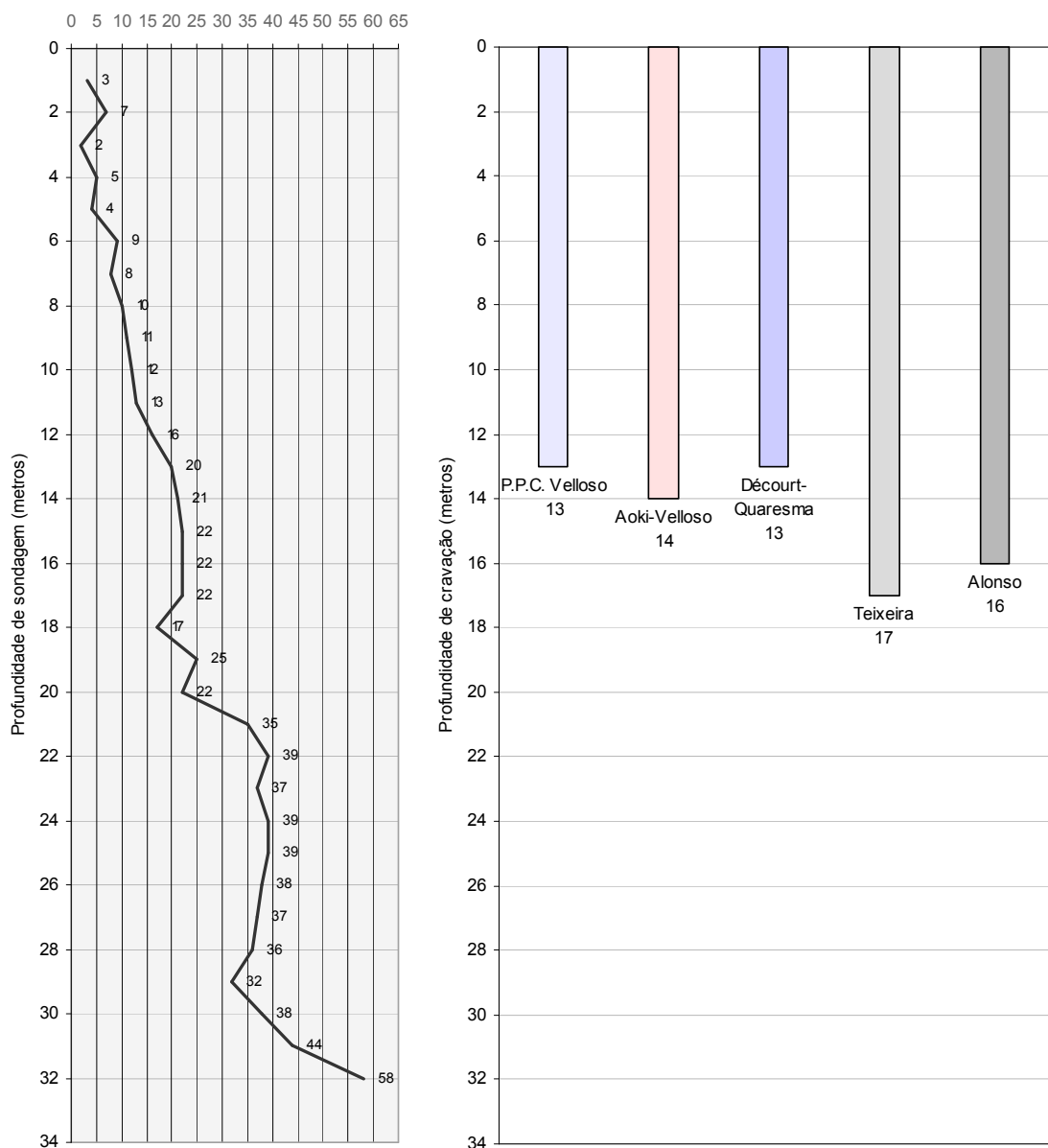


Figura 6.10: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.3.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”

Observa-se na tabela 6.8 que os resultados de NEGA e tensão de cravação foram satisfatórios em relação à execução do elemento de aço. Os valores de NEGA foram acima de zero e demonstram que as estacas favorecem cravações mais profundas. Através dos resultados da NEGA e pelos resultados das tensões de cravações apresentados para cada estaca, percebe-se que as cravações podem atingir profundidades maiores e sugerir novas cargas admissíveis de projeto.

A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.8, para que se possa verificar a ausência de excessos na cravação.

Tabela 6.8: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)								
	Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1	P.P.C. Velloso	13	m	216,80	MPa	6,75	mm/golpe	7,97
2	Aoki-Velloso	14	m	211,60	MPa	6,40	mm/golpe	7,40
3	Décourt-Quaresma	13	m	216,80	MPa	6,75	mm/golpe	7,97
4	Teixeira	17	m	198,10	MPa	5,46	mm/golpe	6,10
5	Alonso	16	m	202,30	MPa	5,75	mm/golpe	6,48

Observa-se na figura 6.11 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 5,46 e 6,75. No ato da cravação, tendo-se valores relativamente altos para NEGA, como demonstrados para os processos (1) e (3), estes podem ser valiosos aliados em relação a uma cravação mais profunda e, conseqüentemente, com maiores capacidade de cargas. Conforme a figura 6.11, percebe-se pouca variação entre os valores apresentados para cada processo estudado. A altura do martelo de 2 tf foi de 75 cm em todos os processos.

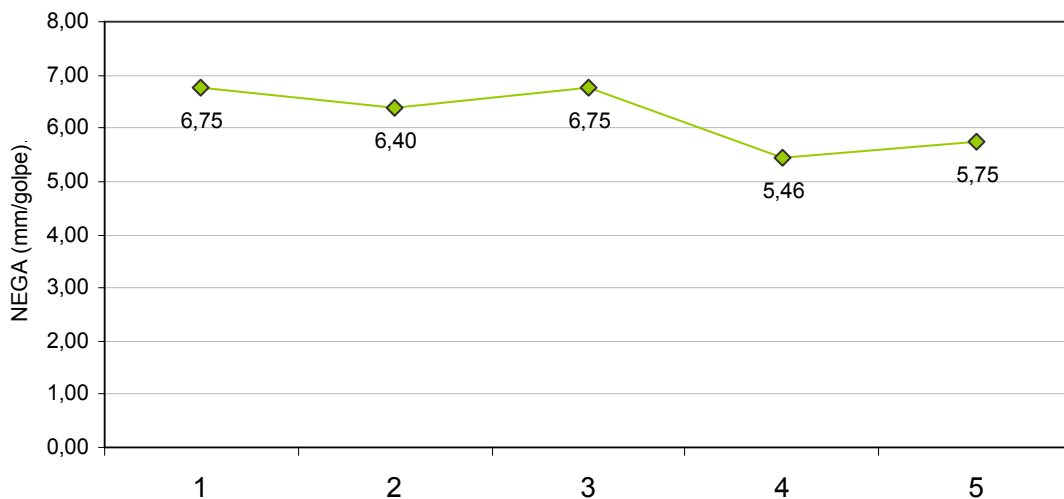


Figura 6.11 Gráfico demonstrando os valores da NEGA para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

A tensão de cravação, figura 6.12, apresentou-se bem uniforme e abaixo do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no perfil, neste caso 350 MPa. Os valores variaram entre 198,10 e 216,80 MPa. A perda de tensão de cravação foi menos relevante, neste caso, nos métodos “Décourt-Quaresma” e “P.P.C.Velloso”. Embora haja diferenças, todas as tensões mostraram-se satisfatórias.

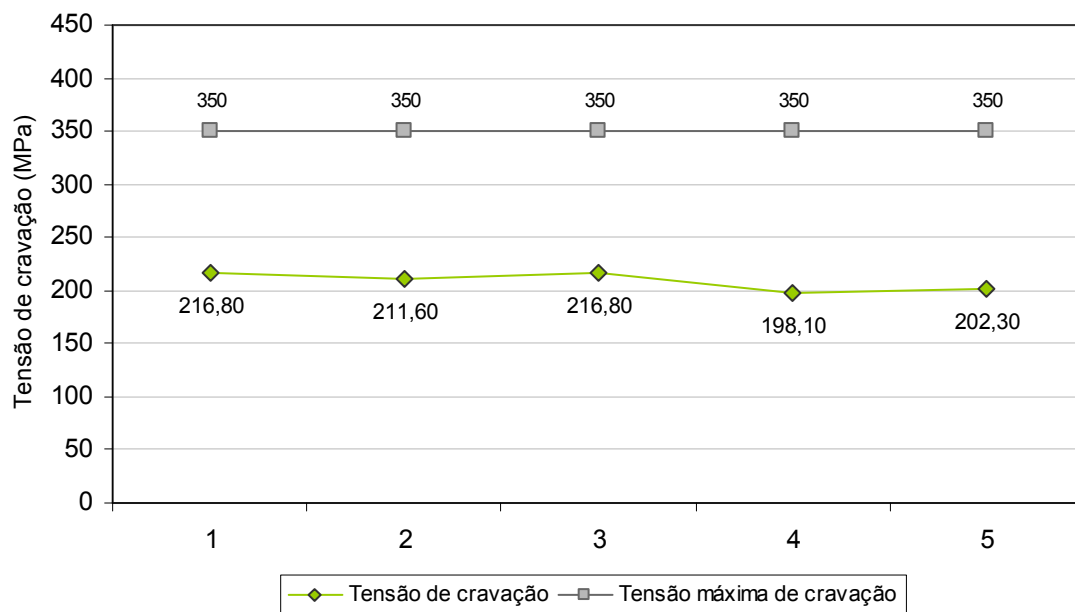


Figura 6.12: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.3.4. Levantamento dos custos para cada perfil “W200 x 19,3” cravado

Na tabela 6.9 os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 6.13.

Tabela 6.9: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

	Método	peso da estaca (kg)	Prof. (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	250,9	13	19,30	3,30	40,00	103,69	1347,97
2	Aoki-Velloso	270,2	14	19,30	3,30	40,00	103,69	1451,66
3	Décourt-Quaresma	250,9	13	19,30	3,30	40,00	103,69	1347,97
4	Teixeira	328,1	17	19,30	3,30	40,00	103,69	1762,73
5	Alonso	308,8	16	19,30	3,30	40,00	103,69	1659,04

A figura 6.13, ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (4), “Teixeira”, apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. Os métodos (1) e (3), “P.P.C.Velloso” e “Décourt-Quaresma”, apresentaram os menores valores de custo e, conseqüentemente, as menores profundidades de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga admissível de 25 tf e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente arenoso, conforme sondagem do item 6.2.

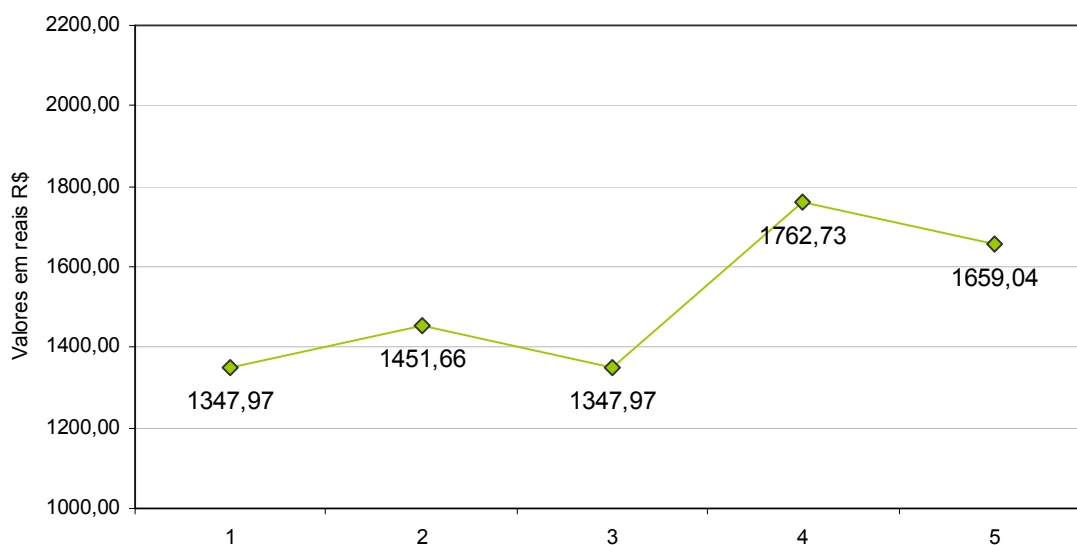


Figura 6.13: Gráfico demonstrando os valores de custo para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.4. Comparativo entre os elementos estudados

6.3.4.1. Profundidades obtidas para o solo tipo arenoso sob a carga de 25 tf

Observa-se na figura 6.14 as profundidades obtidas para carga admissível de 25 tf em cada elemento.

Os perfis “W200 x 19,3”, conforme a figura 6.14, representado pelas colunas verdes, apresentou as menores profundidades entre os elementos estudados. Apesar de não representar o valor definitivo de uma fundação, a profundidade é um dos indicativos do custo final da fundação. Além das diferentes profundidades encontradas em relação ao processo, temos também as diferenças de profundidades quanto ao elemento de fundação. Normalmente o trilho ferroviário necessita de maiores profundidades de cravação para obter a mesma capacidade de carga que outros elementos que possuem áreas de seção maiores. O baixo perímetro da seção do trilho em relação aos demais é outro fator que contribui para aumentar a necessidade de maior profundidade de cravação. Isso pode ser explicado observando-se os dados necessários de cálculos exigidos pelos autores dos métodos estáticos, item 3.8.5. O perfil apresenta área de ponta satisfatoriamente alta em relação aos trilhos e, por este motivo, menores profundidades.

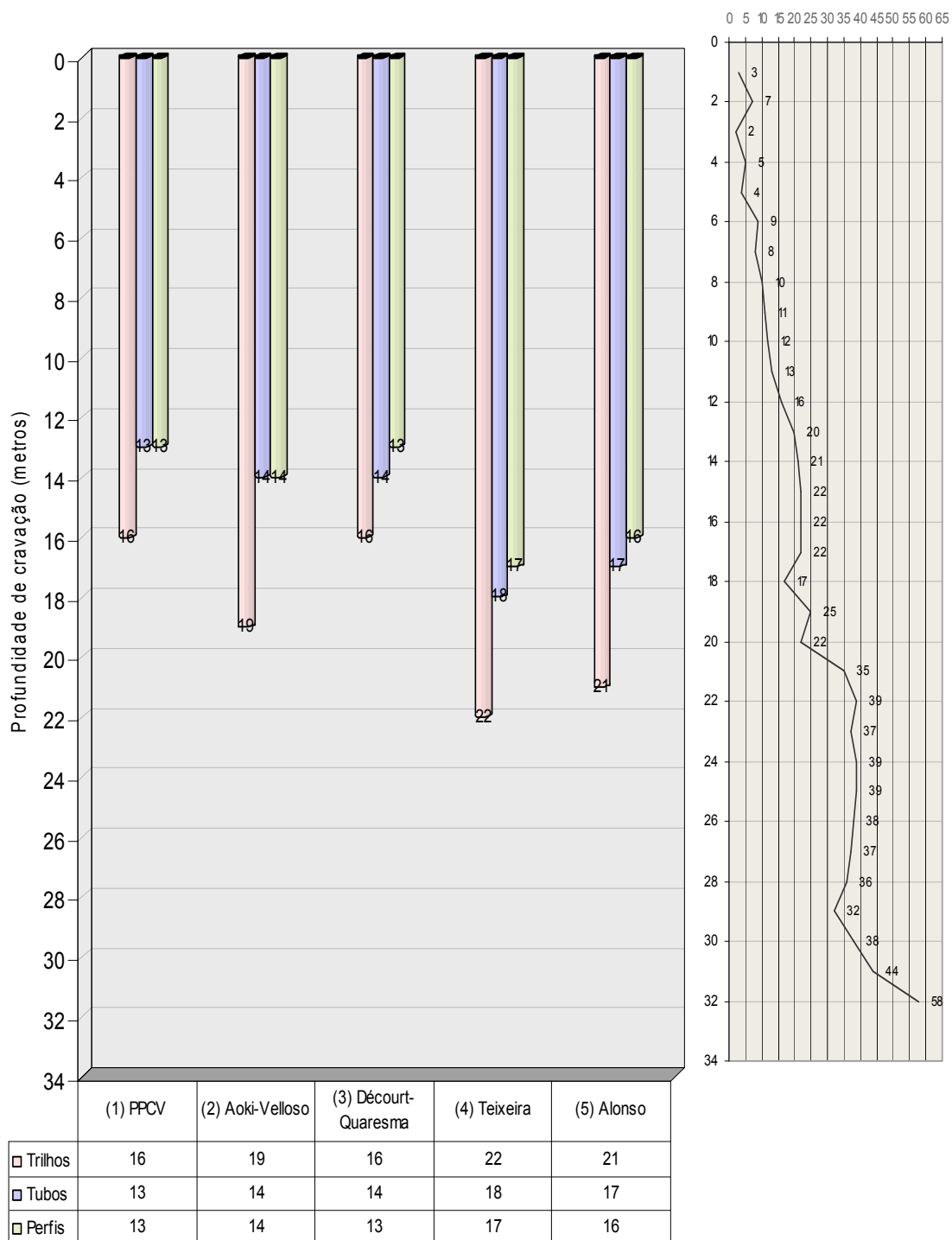


Figura 6.14: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

Conforme a figura 6.15 em todos os processos o trilho obteve maior profundidade, enquanto que o perfil apresentou os menores. Os resultados do perfil “W200 x 19,3” comparados aos

resultados do tubo “168,3 x 4,8”, apresentaram poucas diferenças. A área de ponta do perfil, de 207,1 cm², mostrou-se compatível com a área de ponta do tubo, com 222,46 cm². Este pode ser um dos fatores que contribuíram para que estes elementos apresentassem proximidades em suas profundidades.

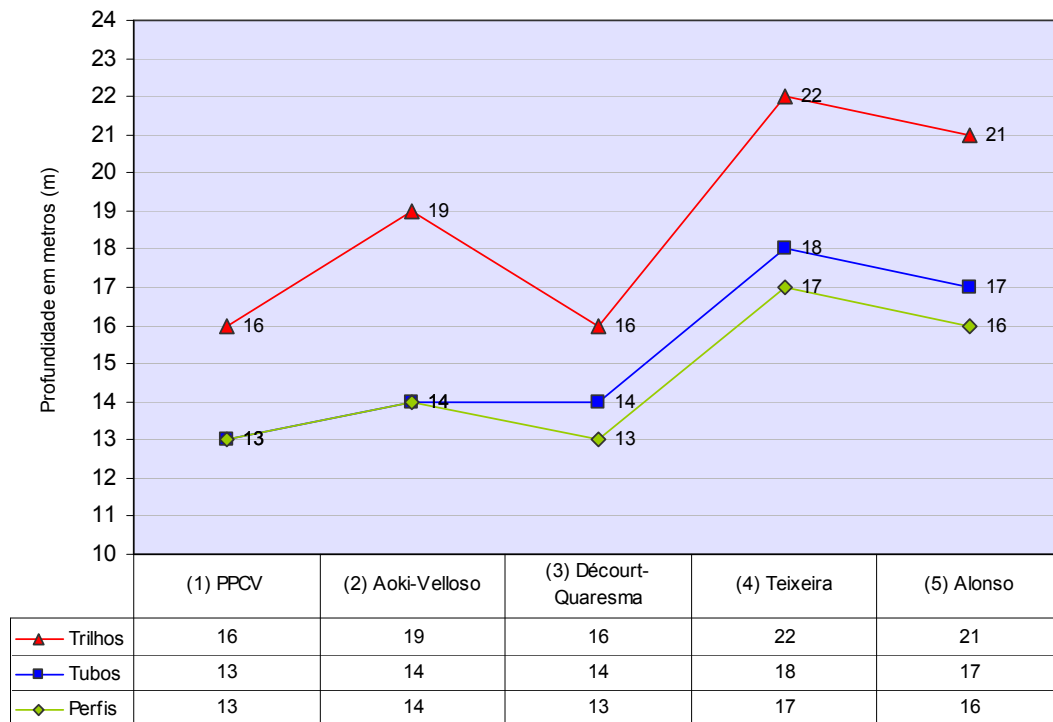
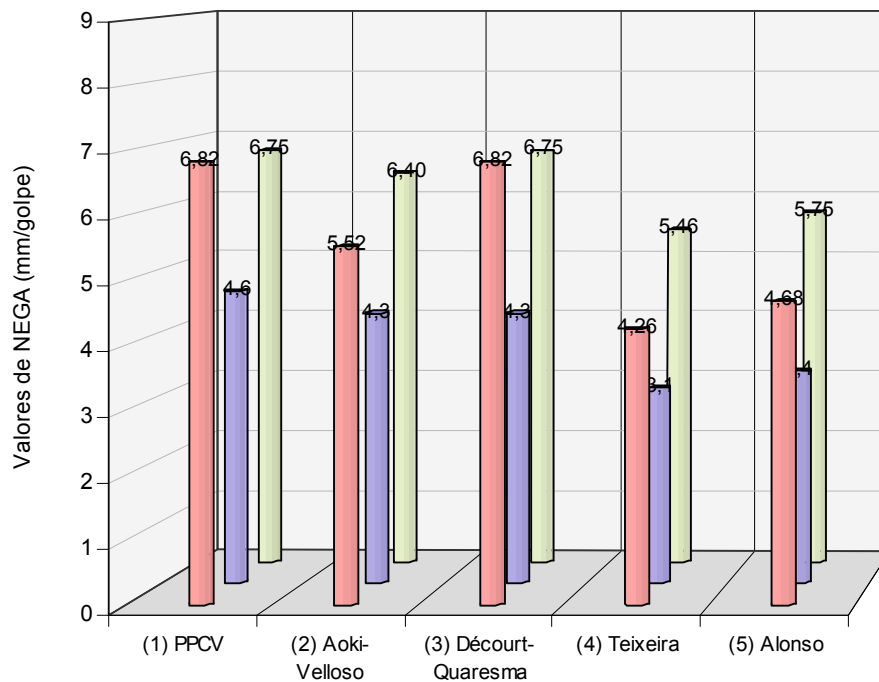


Figura 6.15: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas por estacas sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.3.4.2. Comparativo dos resultados geotécnicos dinâmicos para o solo tipo arenoso sob a carga de 25 tf

Observando o gráfico da figura 6.16 percebe-se que o elemento de fundação “tubo”, apresentou os menores valores de NEGA. Os valores de NEGA em dois processos e em dois elementos de fundações, trilhos e perfis, se igualaram tecnicamente. No geral, o perfil metálico apresentou os maiores valores de NEGA. Altos valores de NEGA representam maiores capacidades de cravação. Neste caso, o perfil apresenta maiores condições para maiores profundidades e, conseqüentemente, maiores capacidades de carga. A NEGA, além disto, facilita a visualização das condições de execução diante de elementos diferentes e ilustra a real condição do elemento de fundação atingir a profundidade calculada.



	(1) PPCV	(2) Aoki-Veloso	(3) Décourt-Quaresma	(4) Teixeira	(5) Alonso
■ Trilhos	6,82	5,52	6,82	4,26	4,68
■ Tubos	4,6	4,3	4,3	3,1	3,4
■ Perfis	6,75	6,40	6,75	5,46	5,75

Figura 6.16: Gráfico demonstrando os valores de NEGA por estacas sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

Conforme a figura 6.17 observa-se que a tensão de cravação dos trilhos foram inferiores aos dos perfis e tubos. Os tubos e trilhos, que obtiveram valores de tensão de cravação muito próximos, apresentam profundidades de cravação próximas ou tecnicamente iguais. Os cálculos da tensão de cravação reforçam a importância dos estudos relacionados à resistência dos materiais em casos como este. Em todos os processos foram utilizados martelos de 2 tf a 75 cm de altura.

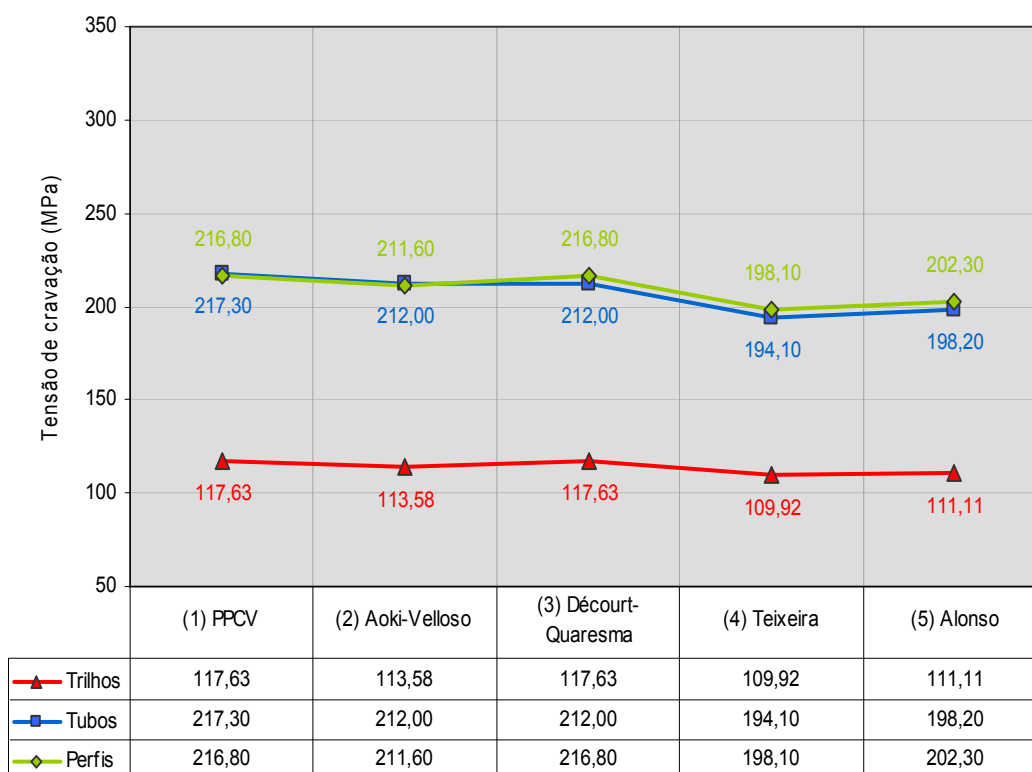


Figura 6.17: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas

6.3.4.3. Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos para o solo tipo arenoso sob a carga de 25 tf

Através da ilustração da figura 6.18, observa-se que os perfis dimensionados através dos métodos “Décourt-Quaresma” e “P.P.C.Velloso”, apresentaram os menores custos entre os demais. O mesmo aconteceu para o trilho ferroviário, apresentou os menores custos para os mesmos métodos.

No geral, o tubo “168,0 x 4,8” apresentou os maiores valores de custos em todos os processos. Ao contrário do elemento metálico perfil, que em todos os processos manteve-se com os menores valores.

Os trilhos ferroviários por serem reutilizados, apresentam baixos valores de mercado e com isso facilitam o seu reuso como fundações profundas. Através da figura 6.18 observa-se que o trilho ferroviário não atingiu o menor valor, mas conseguiu permanecer com custo mediano entre os elementos comuns em fundações metálicas.

Conforme os dados apresentados na figura 6,18, o perfil “W200 x 19,3” dimensionado através dos processos (1) e (3), “P.P.C.Velloso” e “Décourt-Quaresma”, demonstrou ser a melhor opção de custo para a fundação estudada.

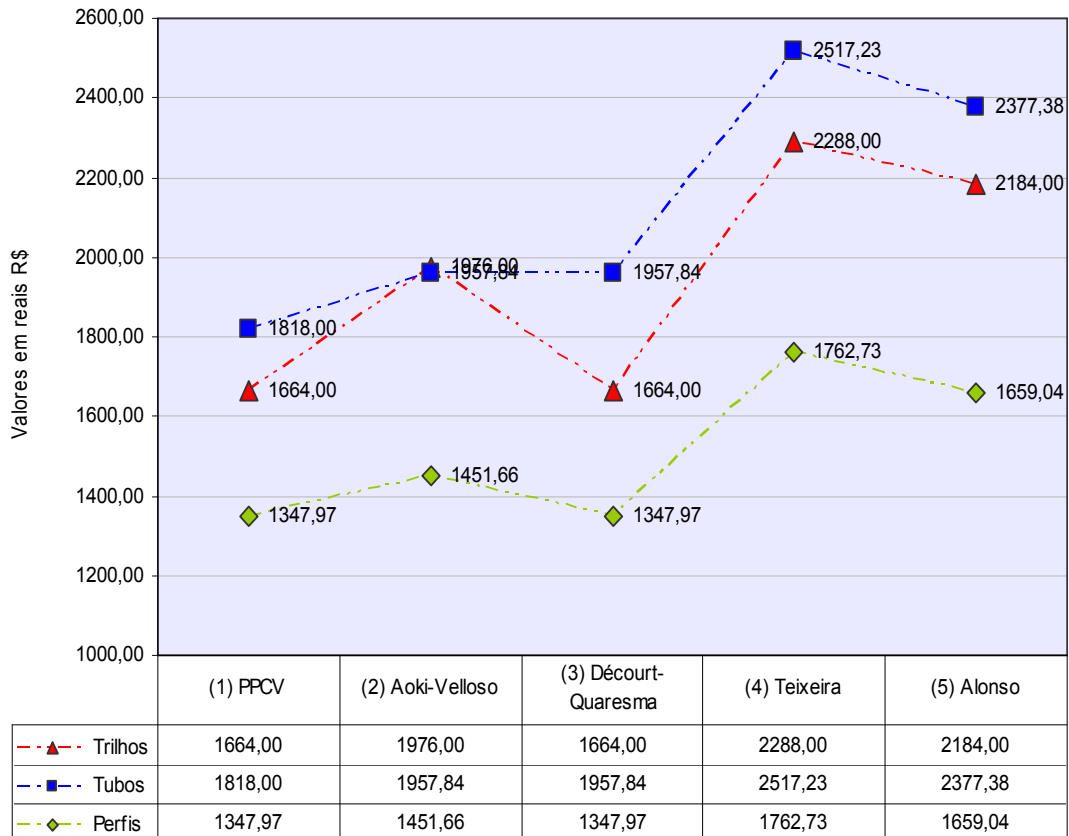


Figura 6.18: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca por estacas sob a carga de 25 tf no solo tipo arenoso

6.4. Resultados obtidos a partir da sondagem com solo do tipo arenoso sob a carga de 75 toneladas

6.4.1. Resultados para trilho ferroviário

6.4.1.1. Resultados obtidos para o trilho do tipo simples TR 57

Neste item mostra-se a tabela 6.10 com os dados referentes ao trilho TR57 simples. Após alguns cálculos utilizando o programa para carga admissível para trilhos ferroviários, o trilho TR57 demonstrou menor custo em relação aos demais.

Foi utilizado martelo de 6 tf para que a tensão de cravação fosse suficiente para execução da estaca. O limite de escoamento mínimo, conforme o item 4.3, foi de 450 MPa. O desgaste da peça em 3%, conforme descrito no item 4.4.1.3, representa o desgaste do boleto. A área de ponta é determinada pelo polígono circunscrito à seção do trilho, conforme descrito no item 3.5.3 da revisão bibliográfica. A altura de queda do martelo em 120 cm foi determinada por apresentar uma tensão de cravação compatível à profundidade necessária. O tamanho do capacete utilizado é definido, primeiramente, pelas dimensões da seção da peça e em segundo pela disponibilidade existente

Tabela 6.10: Dados do elemento de fundação e de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Trilho simples	TR57	56,91	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	75	tf		Peso martelo	6	tf
Lim. Escoamento	450	MPa		Altura de queda	120	cm
Desgaste	3	%		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	40	cm
Área da seção	70,32	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	175,65	cm ²				
Perímetro consid.	55,27	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	270	MPa				

6.4.1.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR 57

Observa-se na figura 6.19, que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 75 tf foram diversas. Percebem-se grandes diferenças entre os valores de cravação para os métodos utilizados. O método "P.P.C.Velloso", com 23,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação. O método de "Teixeira" apresentou a maior profundidade com 31,0 metros.

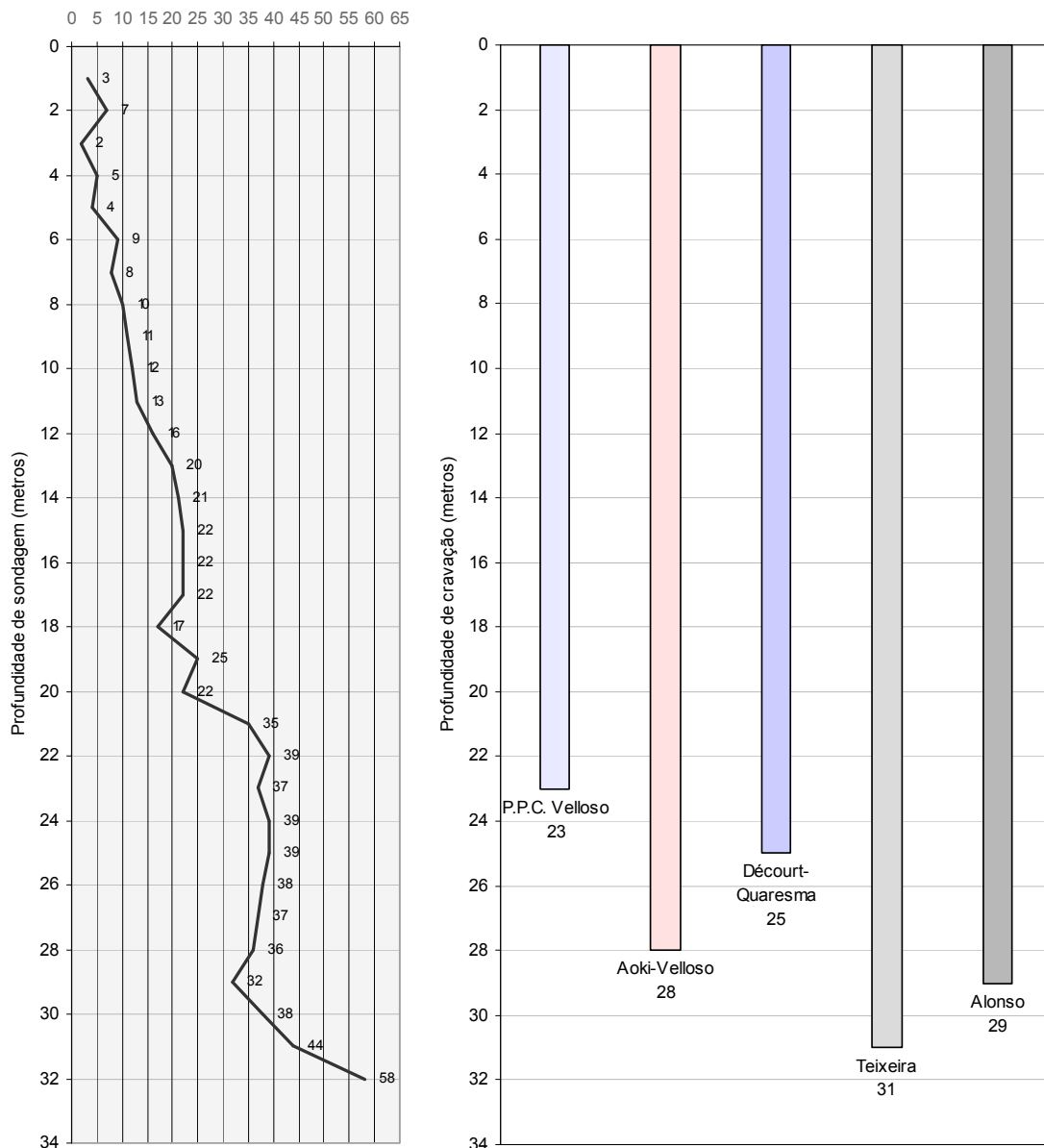


Figura 6.19: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.1.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR57

Observa-se na tabela 6.11, que os resultados de NEGA e tensão de cravação foram satisfatórios. Os valores para tensão de cravação, apresentaram-se abaixo do limite mínimo de escoamento do aço utilizado. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.11 para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Alguns parâmetros utilizados como o tamanho do capacete, mesmo este não apresentando uma das melhores condições de cravação, foi mantido em todos os cálculos para este perfil geológico. Desta forma, obtiveram-se resultados significantes para comparativos apresentados na tabela 6.11.

Tabela 6.11: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)								
	Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1	P.P.C. Velloso	23	m	181,81	MPa	10,44	mm/golpe	4,58
2	Aoki-Velloso	28	m	172,95	MPa	7,29	mm/golpe	3,77
3	Décourt-Quaresma	25	m	178,11	MPa	9,17	mm/golpe	9,17
4	Teixeira	31	m	168,23	MPa	5,43	mm/golpe	3,40
5	Alonso	29	m	171,33	MPa	6,67	mm/golpe	3,64

Observa-se na figura 6.20 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 5,43 e 10,44. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é real.

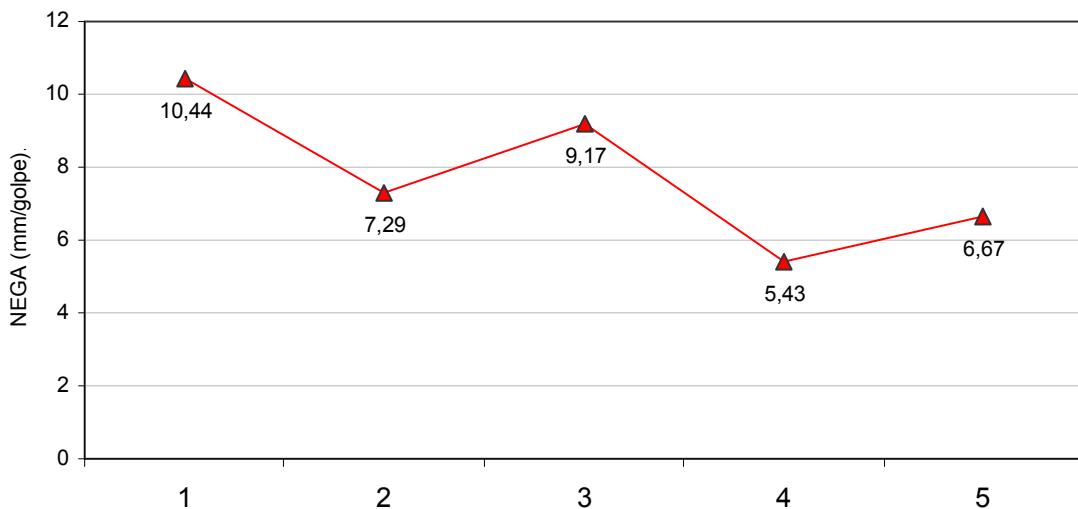


Figura 6.20: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Normalmente a tensão de cravação varia um pouco em relação ao comprimento da estaca. As perdas de energia ao longo da peça de aço fazem com que a tensão na cabeça da estaca diminua conforme o aumento do comprimento. Neste caso, a tensão de cravação, em todos os processos, apresentou-se bem uniforme e distante do limite de escoamento adotado para o trilho. Os valores variaram entre 168,23 e 181,81 MPa. Observa-se na figura 6.21 que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta. A altura do martelo de 6 tf foi de 120 cm em todos os processos.

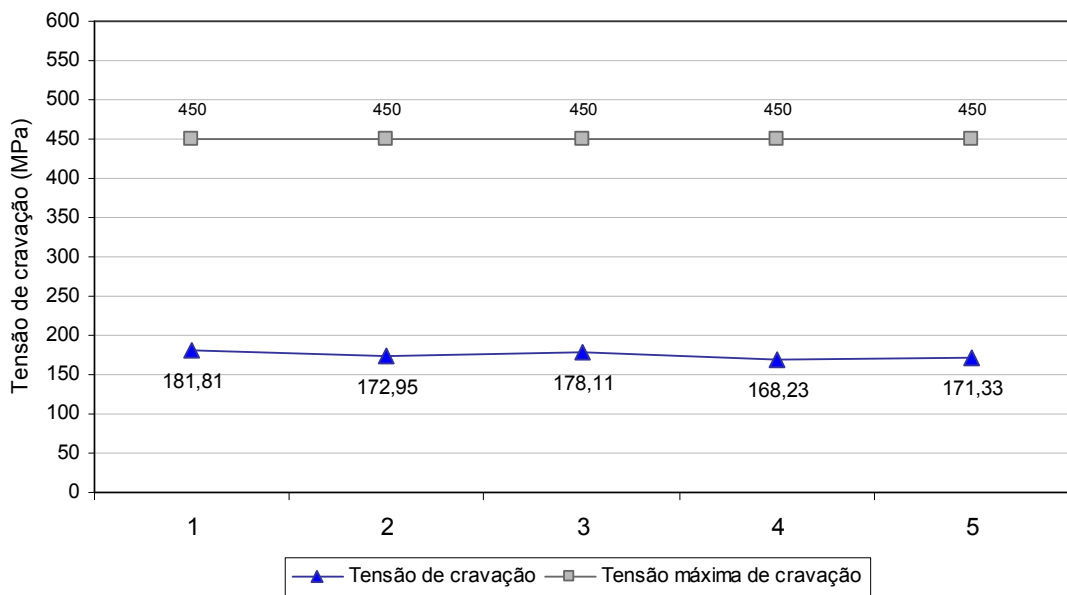


Figura 6.21: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.1.4. Levantamento dos custos por cada trilho TR 57 cravado.

Na tabela 6.12, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. O valor da fundação pode ser relacionado com a proporcionalidade de sua profundidade. Comparando-se as profundidades atingidas por cada trilho cravado, observa-se que o valor é diretamente proporcional. Segundo a tabela 6.12, o valor de custo da fundação para 31 metros de profundidade, processo número (4), supera os demais.

Tabela 6.12: Custo das estacas por metro de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	1308,93	23	56,91	2,00	40,00	153,82	3537,86
2	Aoki-Velloso	1593,48	28	56,91	2,00	40,00	153,82	4306,96
3	Décourt-Quaresma	1422,75	25	56,91	2,00	40,00	153,82	3845,50
4	Teixeira	1764,21	31	56,91	2,00	40,00	153,82	4768,42
5	Alonso	1650,39	29	56,91	2,00	40,00	153,82	4460,78

A figura 6.22 demonstra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (4), "Teixeira", apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (1), "P.P.C.Velloso", apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação.

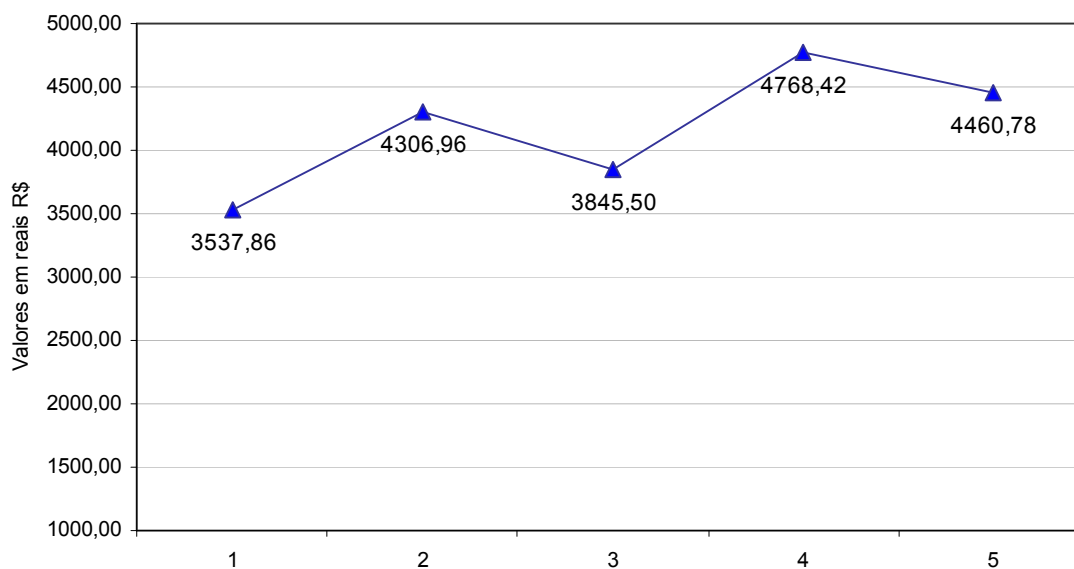


Figura 6.22: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada utilizando trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.2. Resultados para tubo metálico sob a carga de 75 toneladas

6.4.2.1. Resultados obtidos para o tubo metálico “219,1 x 7,9”

Neste item foram apresentados os resultados da carga admissível do tubo de 219,1 mm de diâmetro externo com 7,9 mm de espessura da parede de aço, conforme tabela do catálogo da empresa VALLOUREC & MANNESMANN TUBES (2008) (anexo 1). O tubo fora escolhido após a realização de cálculos preliminares que apontaram este como melhor opção de custo para a carga atuante de 75 tf. A espessura de 7,9 mm da chapa de aço do tubo foi suficiente para que o coeficiente de compressão atingisse um valor positivo e não ultrapassasse o limite de escoamento em relação à tensão dinâmica. O mesmo aconteceu com o valor da NEGA, atingindo um valor acima de zero e não muito alto, a partir de um martelo de 6 tf a 120 cm de altura.

Na tabela 6.13 observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende as exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2.

Tabela 6.13: Dados do elemento de fundação e de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Tubo	219,1 x 7,9	41,2	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	75	tf		Peso martelo	6	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	120	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	40	cm
Área da seção	52,42	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	222,46	cm ²				
Perímetro consid.	68,83	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

6.4.2.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo “219,1 x 7,9”

Observa-se na figura 6.23, que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 75 tf foram variadas. Percebe-se uma variação entre os valores de cravação para os métodos utilizados. O método "P.P.C.Velloso", com 21,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto o método de “Teixeira” apresentou a maior profundidade, com 26,0 metros.

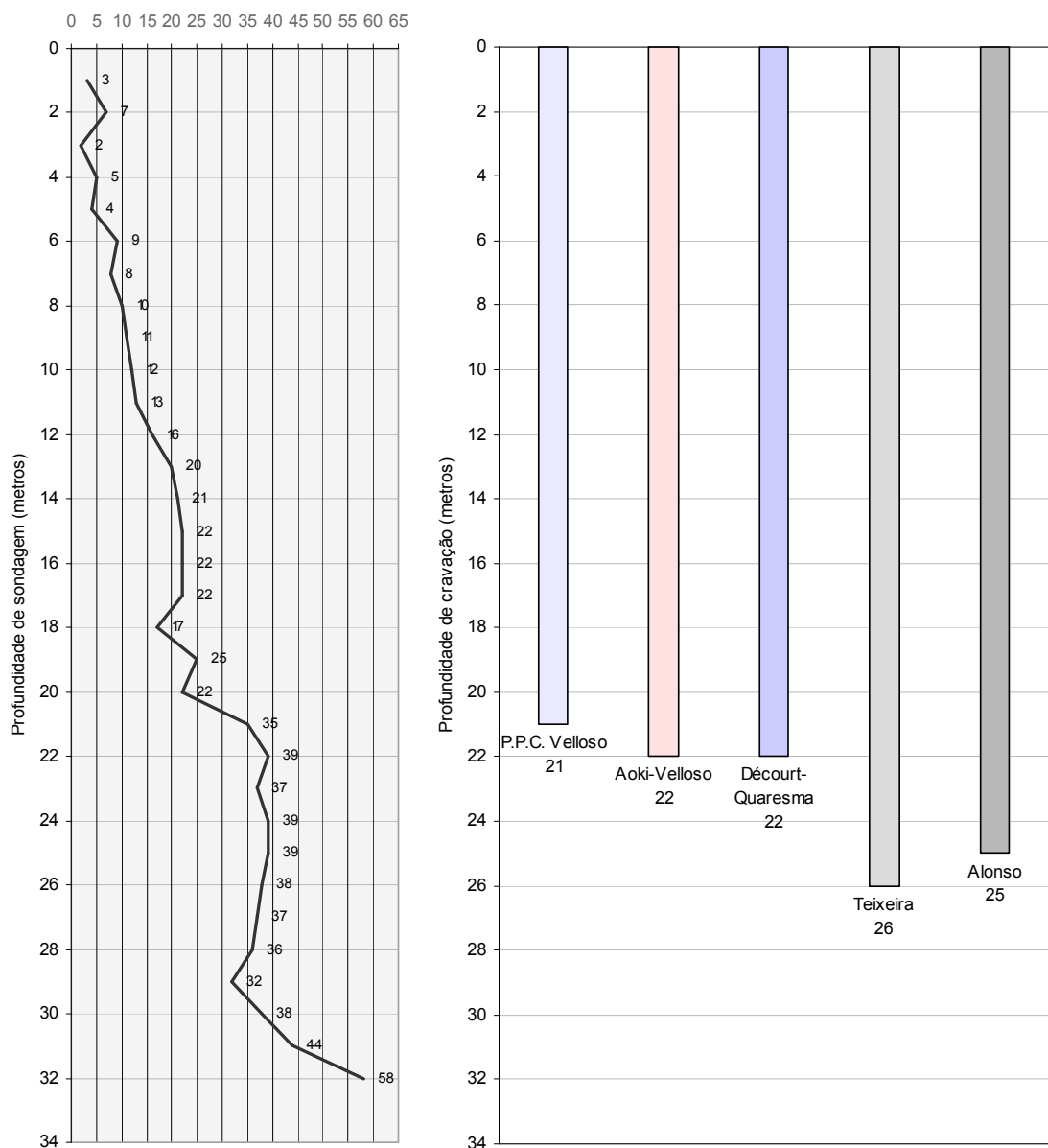


Figura 6.23: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.2.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo “219,1 x 7,9”

Observa-se na tabela 6.14, que os resultados de cravação foram satisfatórios com os valores para NEGA acima de zero e as tensões de cravação não ultrapassaram o limite de escoamento mínimo do aço. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.14 para que se possa verificar que não houve excessos na cravação. Alguns parâmetros utilizados como o tamanho do capacete, mesmo este não apresentando uma das melhores condições de cravação, foi mantido em todos os cálculos para este perfil geológico. Desta forma, obtiveram-se resultados significantes para comparativos apresentados.

Tabela 6.14: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)							
Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1 P.P.C. Velloso	21	m	267,30	MPa	10,38	mm/golpe	6,93
2 Aoki-Velloso	22	m	262,90	MPa	10	mm/golpe	6,62
3 Décourt-Quaresma	22	m	262,90	MPa	10	mm/golpe	6,62
4 Teixeira	26	m	247,20	MPa	8,57	mm/golpe	5,60
5 Alonso	25	m	250,90	MPa	8,91	mm/golpe	5,83

Observa-se na figura 6.24 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 8,57 e 10,38. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é real. A altura do martelo de 6 tf foi de 120 cm em todos os processos.

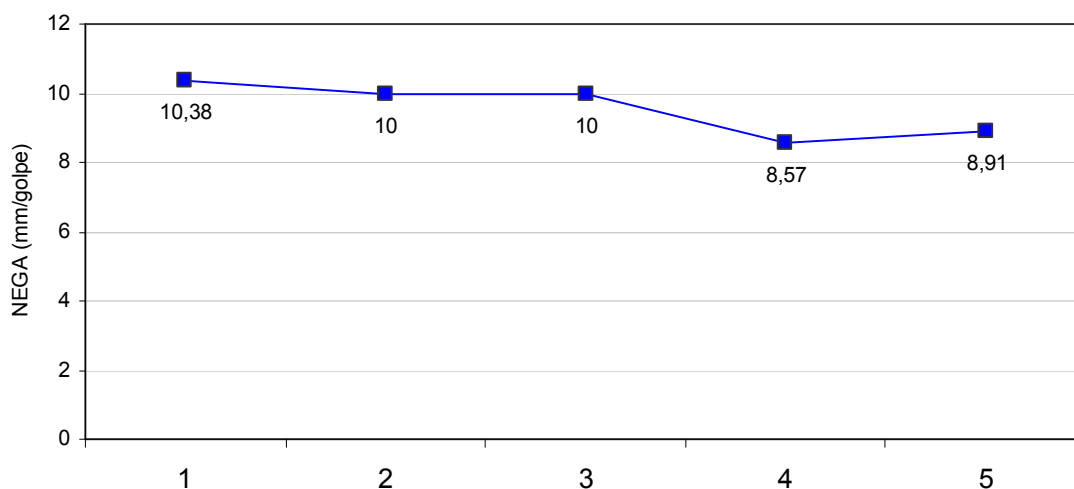


Figura 6.24: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o tubo "219,1 x 7,9" sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

A tensão de cravação apresentou-se bem uniforme e distante do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no tubo. Os valores variaram entre 247,20 e 267,30 MPa. Normalmente a tensão de cravação varia um pouco em relação ao comprimento da estaca. As perdas de energia ao longo da peça de aço fazem com que a tensão na cabeça da estaca diminua conforme o aumento do comprimento. Observa-se na figura 6.25, que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta.

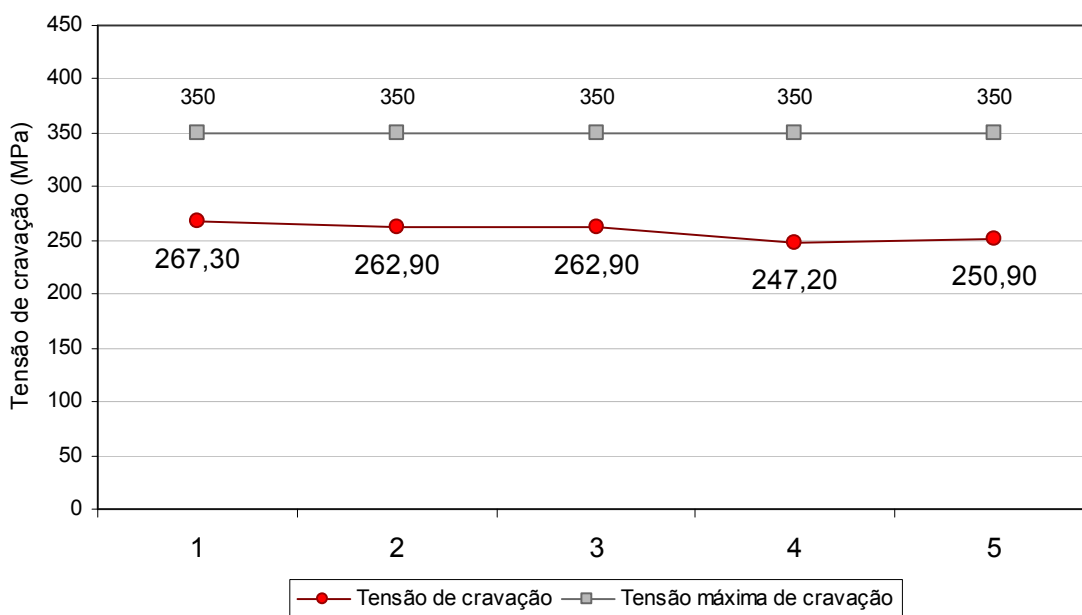


Figura 6.25: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o tubo "219,1 x 7,9" sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.2.4. Levantamento dos custos por cada tubo “219,1 x 7,9” cravado

Na tabela 6.15, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 6.26.

Tabela 6.15: Custo das estacas por metro de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	865,2	21	41,20	5,16	40,00	252,59	5304,43
2	Aoki-Velloso	906,4	22	41,20	5,16	40,00	252,59	5557,02
3	Décourt-Quaresma	906,4	22	41,20	5,16	40,00	252,59	5557,02
4	Teixeira	1071,2	26	41,20	5,16	40,00	252,59	6567,39
5	Alonso	1030	25	41,20	5,16	40,00	252,59	6314,80

A figura 6.26 ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (4) “Teixeira” apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (1), "P.P.C.Velloso", apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga admissível, 75 tf, e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente arenoso, conforme sondagem do item 6.2.

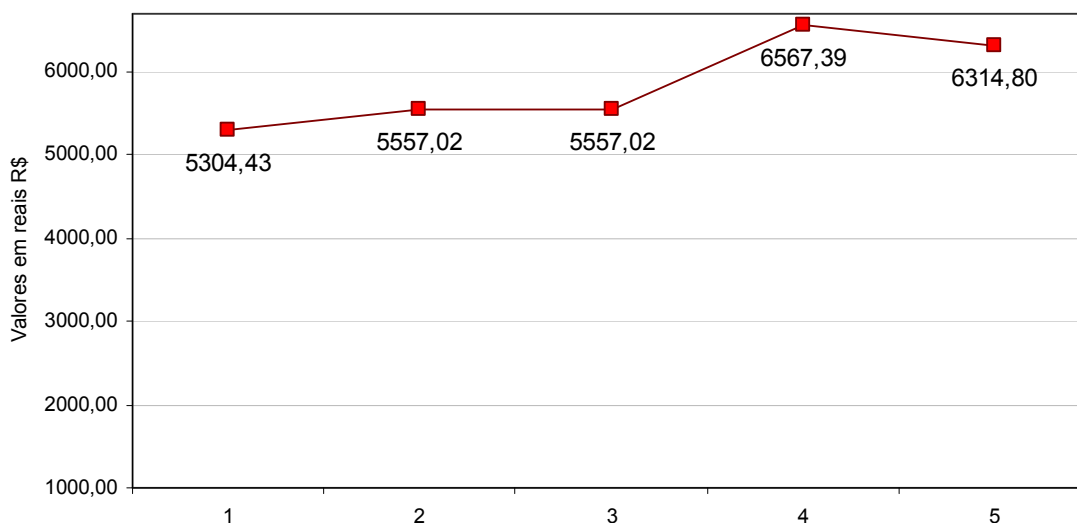


Figura 6.26: Gráfico demonstrando os valores de custo para cada estaca cravada para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.3. Resultados para perfil metálico sob a carga de 75 toneladas

6.4.3.1. Resultados obtidos para o perfil metálico “W360 x 44”

Após um breve e rápido cálculo com análise do comportamento de vários perfis em relação ao seu custo final, o perfil “W360 x 44”, de 352 mm de altura e 44 kg/m (anexo 2B), foi escolhido como melhor opção. Neste item foram apresentados os resultados da carga admissível do perfil “W360 x 44”. Características obtidas através do catálogo da GERDAU AÇOMINAS (2008).

Na tabela 6.16 observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende às exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2.

Tabela 6.16: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Perfil	W360 x 44	44,31	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	75	tf		Peso martelo	6	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	120	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	40	cm
Área da seção	56,45	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	601,9	cm ²				
Perímetro consid.	104,6	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

6.4.3.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W360 x 44”

Observa-se na figura 6.27, que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 75 tf foram diversas. O método “P.P.C.Velloso”, com 16,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto o método de “Teixeira” apresentou a maior profundidade, com 22,0 metros.

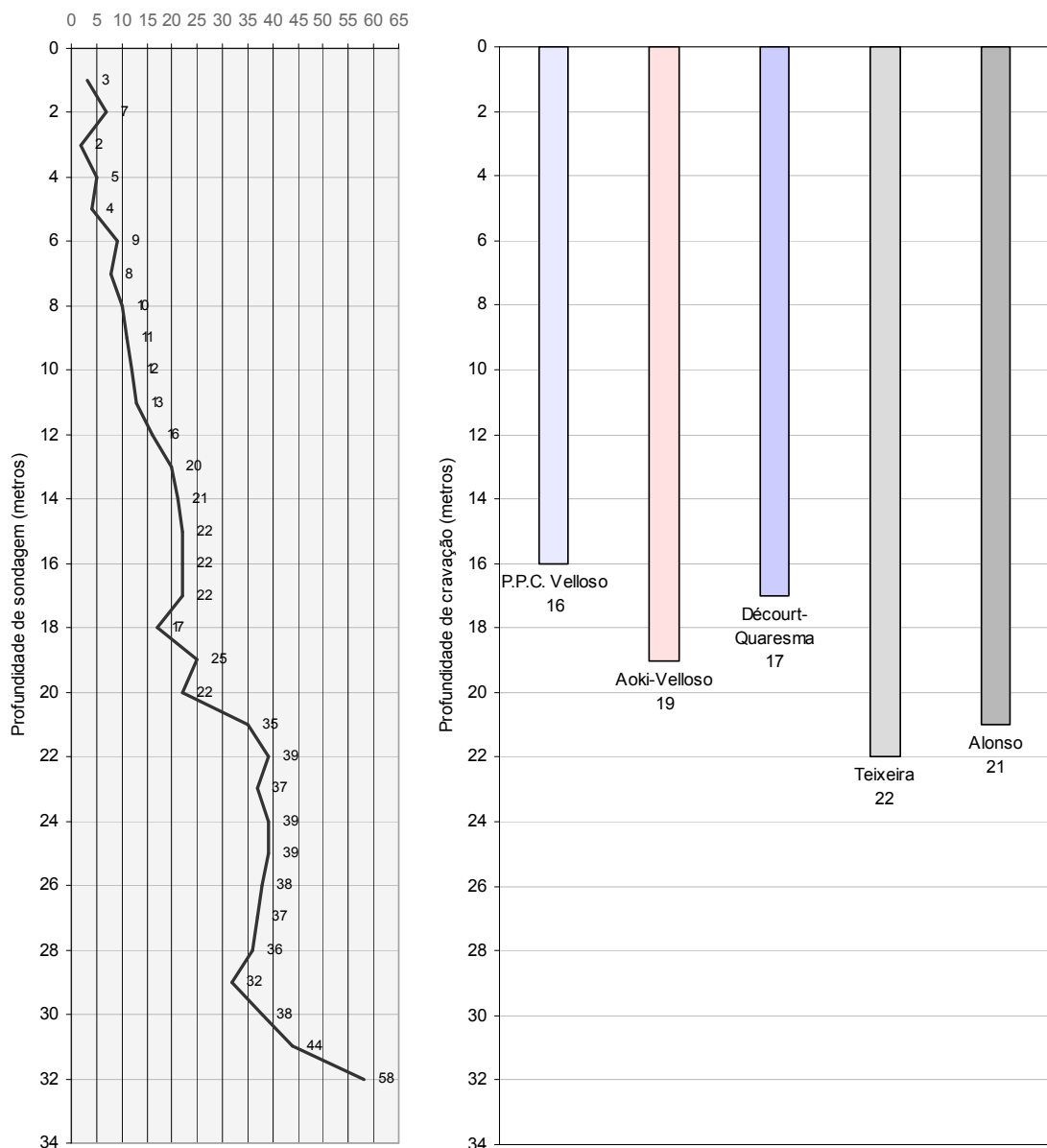


Figura 6.27: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.3.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W360 x 44”

Observa-se na tabela 6.17, que os valores das tensões de cravação e NEGAs, foram satisfatórias. Os valores de NEGA foram acima de zero e demonstram que as estacas favorecem cravações mais profundas. Através dos resultados da NEGA e pelos resultados das tensões de cravações apresentados para cada estaca, percebe-se que as cravações podem

atingir profundidades maiores e sugerir novas cargas admissíveis de projeto. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.17 para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Tabela 6.17: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)							
Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1 P.P.C. Velloso	16	m	300,10	MPa	10,56	mm/golpe	8,46
2 Aoki-Velloso	19	m	281,40	MPa	9,31	mm/golpe	7,13
3 Décourt-Quaresma	17	m	293,50	MPa	10,12	mm/golpe	7,97
4 Teixeira	22	m	265,70	MPa	8,25	mm/golpe	6,15
5 Alonso	21	m	270,70	MPa	8,58	mm/golpe	6,45

Observa-se na figura 6.28 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 8,25 e 10,56. Quanto maior o valor da NEGA, maior é a capacidade de se alcançá-la no ato da cravação e, conseqüentemente, maiores serão as chances em se obter maiores profundidade, e assim, maiores as capacidade de cargas. A altura do martelo de 6 tf foi de 120 cm em todos os processos.

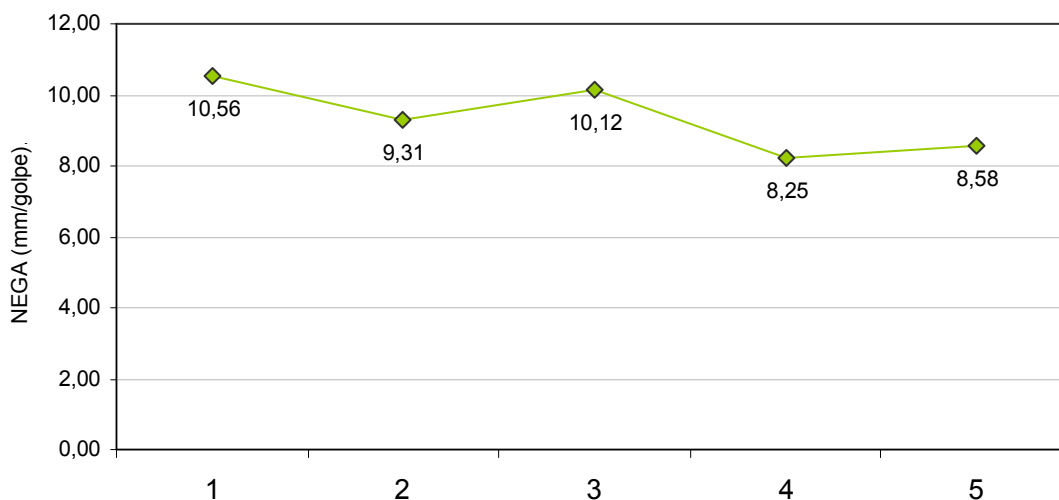


Figura 6.28: Gráfico demonstrando os valores da NEGA para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

A tensão de cravação, figura 6.29, apresentou-se bem uniforme e abaixo do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no perfil, neste caso 350 MPa. Os valores variaram entre 265,70 e 300,10 MPa. No processo (4), “Teixeira”, o valor da tensão de cravação foi abaixo da média, deduzindo-se que a profundidade de cravação fora maior que nos demais processos. Ao contrário pode-se conferir no processo (1), “P.P.C.Veloso”, que apresentou o maior valor de tensão de cravação e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Embora haja diferenças, todas as tensões comportaram-se satisfatórias.

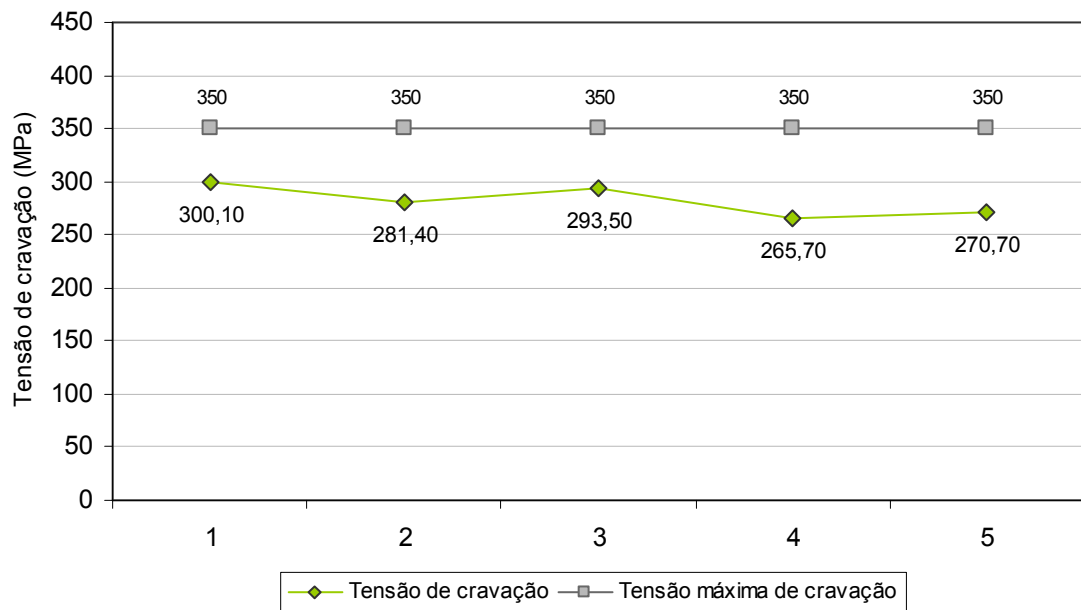


Figura 6.29: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.3.4. Levantamento dos custos para cada perfil “W360 x 44” cravado

Na tabela 6.18, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 6.28.

Tabela 6.18: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	708,96	16	44,31	3,30	40,00	186,22	2979,57
2	Aoki-Velloso	841,89	19	44,31	3,30	40,00	186,22	3538,24
3	Décourt-Quaresma	753,27	17	44,31	3,30	40,00	186,22	3165,79
4	Teixeira	974,82	22	44,31	3,30	40,00	186,22	4096,91
5	Alonso	930,51	21	44,31	3,30	40,00	186,22	3910,68

A figura 6.30 ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (4), “Teixeira”, apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. Os métodos (1) e (3), “P.P.C.Velloso” e “Décourt-Quaresma”, apresentaram os menores valores de custo e, conseqüentemente, menores profundidades de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga admissível, 75 tf, e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente arenoso, conforme sondagem do item 6.2.

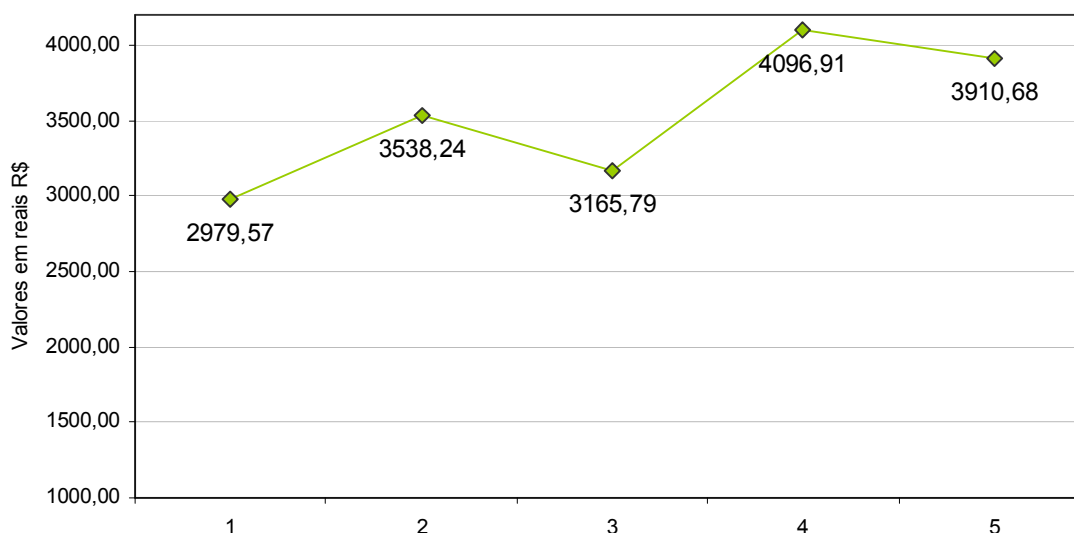


Figura 6.30: Gráfico demonstrando os valores de custo para cada estaca do perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.4. Comparativo entre os elementos estudados

6.4.4.1. Profundidades obtido para o solo tipo arenoso sob a carga de 75 tf

Neste item será apresentado um comparativo entre as profundidades das fundações estudadas dos três elementos de fundações sob condições de cargas e processos de cálculos estáticos diferentes. Os perfis, conforme a figura 6.31, representado pelas colunas verdes, apresentou as menores profundidades entre os elementos estudados para 75 tf. A profundidade da fundação não representa totalmente o custo final, mas é um dos indicativos.

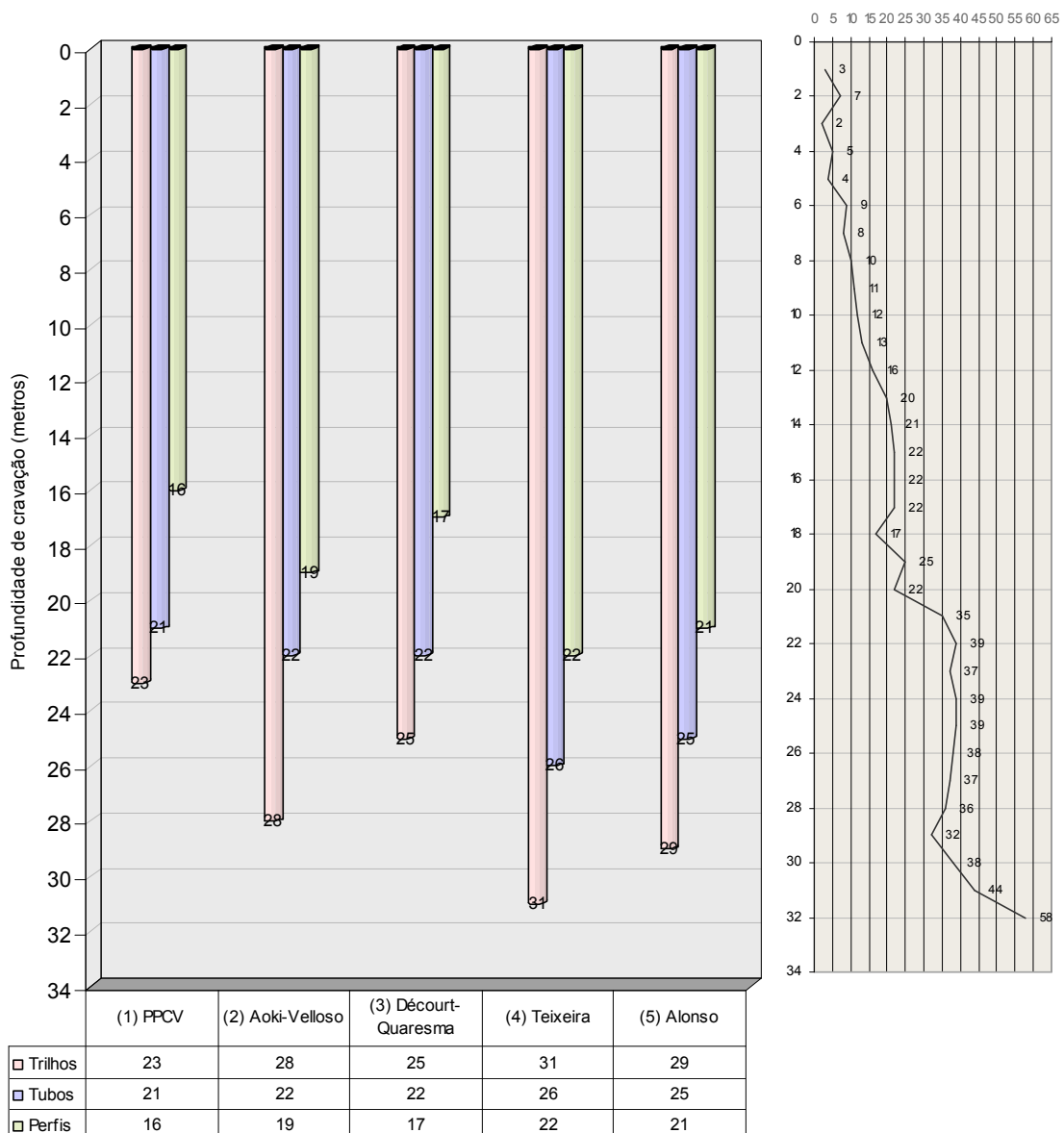


Figura 6.31: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Na figura 6.32 percebe-se que em todos os processos o trilho foi o mais profundo, enquanto que o perfil apresentou as menores profundidades em todos os processos.

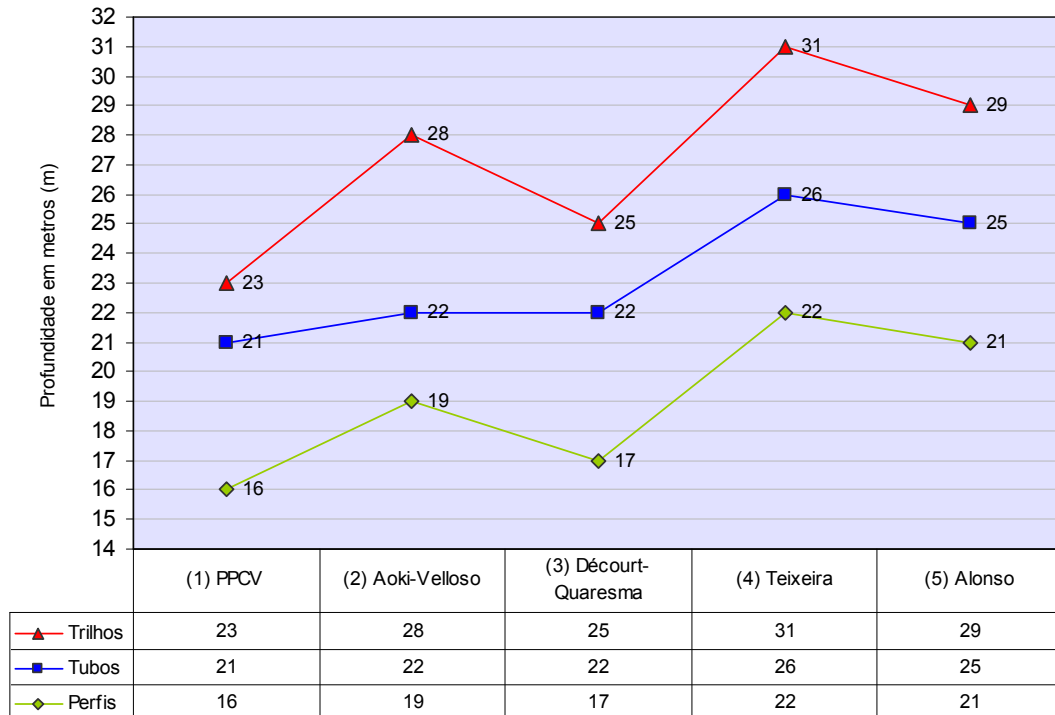
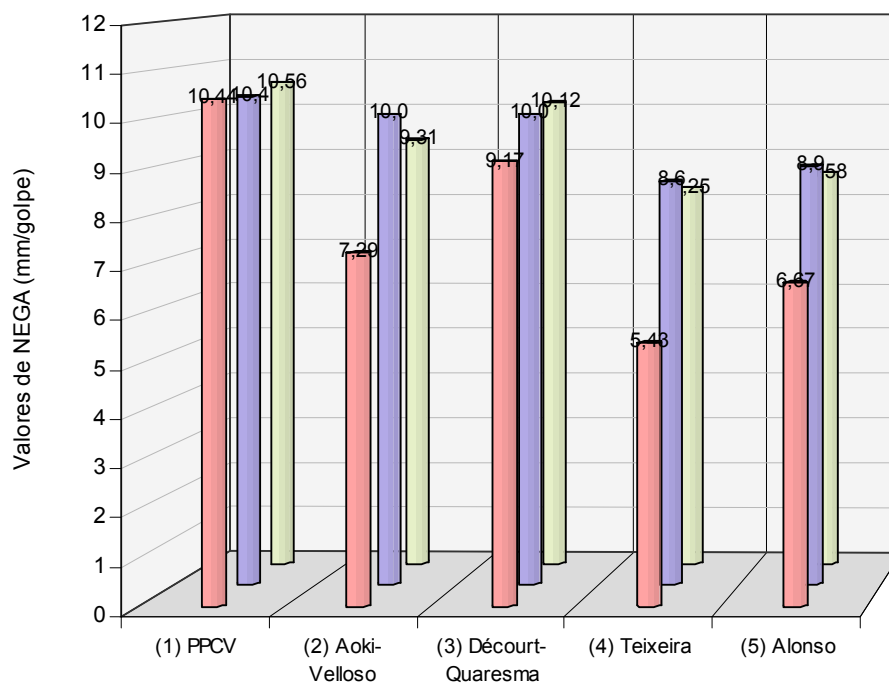


Figura 6.32: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.4.2. Comparação dos resultados geotécnicos dinâmicos para a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Observando o gráfico da figura 6.33, os valores de NEGA apresentaram grandes diferenças. O peso do martelo e a altura de queda foram mantidos em igualdades em todos os cálculos, 6 tf e 120 cm, respectivamente. Os valores de NEGA, entre os elementos estudados, apresentaram poucas distorções em relação à média. O elemento trilho se destacou com os menores valores por apresentarem maiores profundidade. Já o tubo e o trilho, apresentaram equilíbrio em praticamente todos os processos estudados.



	(1) PPCV	(2) Aoki-Velloso	(3) Décourt-Quaresma	(4) Teixeira	(5) Alonso
■ Trilhos	10,44	7,29	9,17	5,43	6,67
■ Tubos	10,4	10,0	10,0	8,6	8,9
■ Perfis	10,56	9,31	10,12	8,25	8,58

Figura 6.33: Gráfico demonstrando os valores de NEGA sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

Conforme a figura 6.34 observa-se que as tensões de cravação dos trilhos foram inferiores aos dos perfis e tubos. Estes apresentaram altas profundidades de cravação em relação aos demais elementos e limite mínimo de escoamento maior. Os tubos obtiveram valores de tensão de cravação medianos.

Em todos os processos foram utilizados martelos de 6 tf a 120 cm de altura. Neste caso, todos os cálculos partiram de dados comuns de cravação. A altura de cravação, peso do martelo e tamanho do capacete, na maioria dos casos estudados não apresentam as melhores condições de cravação, mas foram mantidos para que os processos estudados apresentassem resultados significativos para a realização de comparativos. A tensão de cravação para os tubos e perfis, por exemplo, ainda que admissível pelo elemento de aço e, ainda, mesmo por não apresentar risco à cravação, poderia ser dimensionado com menor intenção. O sentido deste trabalho é realizar comparativos a partir de números significativos a respeito da cravação de fundações

metálicas e estes reforçam a importância dos estudos relacionados à resistência dos materiais em casos como este.

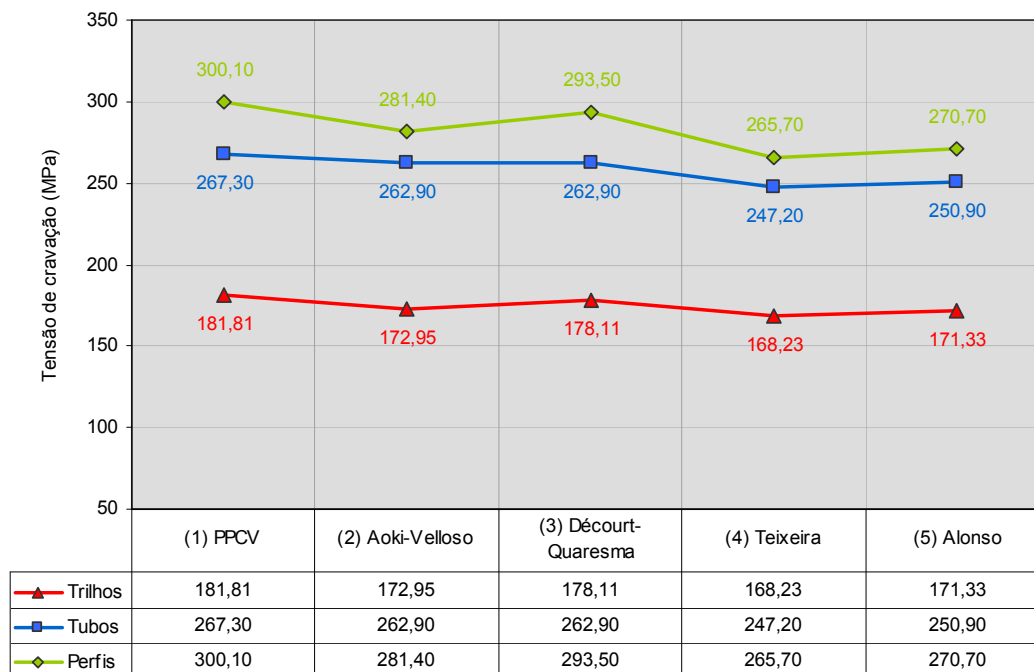


Figura 6.34: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.4.4.3 Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Através da ilustração da figura 6.35 observa-se que o perfil “W360 x 44”, dimensionado através dos métodos “Décourt-Quaresma” e “P.P.C.Velloso”, apresentaram os menores valores de custos e profundidades de cravação entre todos os elementos estudados. Já o tubo “219,1 x 7,9” apresentou os valores mais elevados em relação aos demais.

Os trilhos, apesar de não serem fabricados para tal finalidade, mostraram que podem competir com os demais elementos de fundações metálicas.

Conforme a figura 6.35, o perfil “W360 x 44” estudado no processo (1), “P.P.C.Velloso”, apresentou a melhor opção para a fundação estudada.

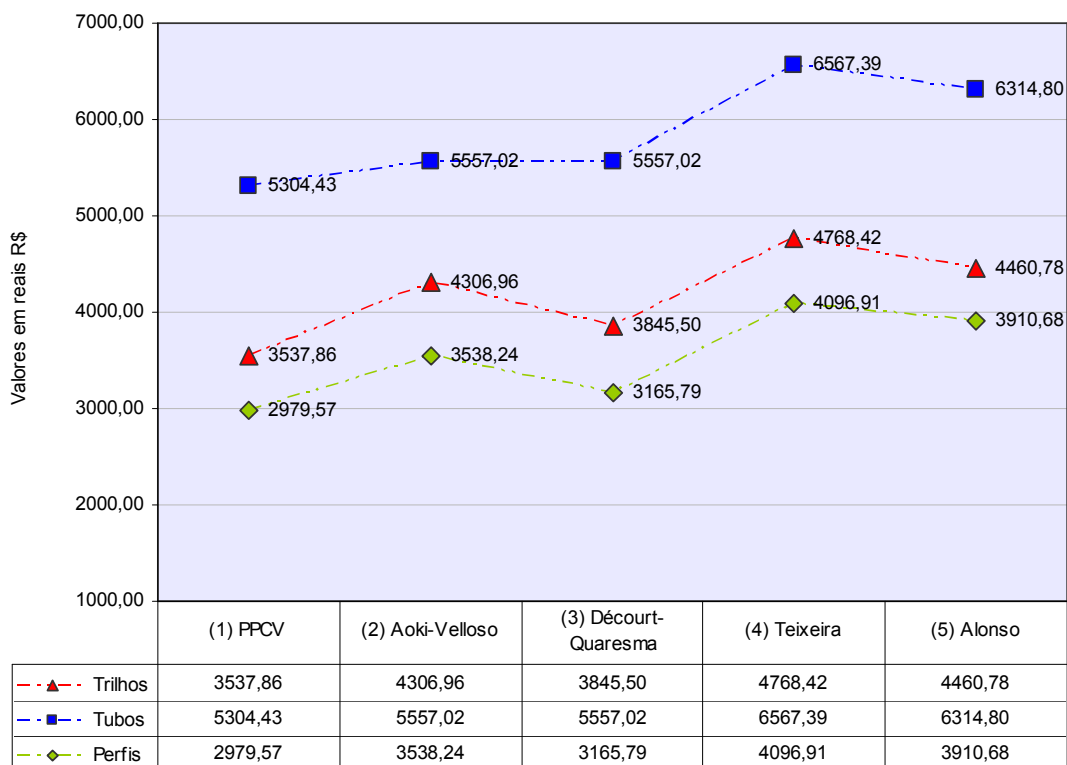


Figura 6.35: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo arenoso

6.5. Resultados obtidos a partir da sondagem com solo do tipo argiloso sob a carga de 25 toneladas

Neste item serão apresentados os resultados das fundações metálicas utilizando o mesmo perfil de sondagem dos itens 6.3 e 6.4, porém, com o tipo de solo modificado para argiloso. Conforme o item 4.2, a sondagem à percussão apresentada teve seus índices de SPT mantidos para que os resultados obtidos possam revelar diferenças nas profundidades de cada elemento estudado.

6.5.1. Resultados para trilho ferroviário

6.5.1.1. Resultados obtidos para o trilho do tipo simples TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Neste item mostra-se a tabela 6.19 com os dados referentes ao trilho TR32 simples.

O martelo de 2 tf com 75 cm de altura foi suficiente para atender à cravação sem ultrapassar o limite de escoamento mínimo do aço, conforme o item 4.3, foi de 450 MPa. O desgaste da peça em 3%, conforme descrito no item 4.4.1.3, representa o desgaste do boleto. A área de ponta é determinada pelo polígono circunscrito à seção do trilho, conforme descrito no item 3.5.3 da revisão bibliográfica. A altura de queda do martelo em 75 cm foi determinada por apresentar uma tensão de cravação compatível à seção da peça.

Tabela 6.19: Dados do elemento de fundação e de cravação para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Trilho simples	TR32	32	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	25	tf		Peso martelo	2	tf
Lim. Escoamento	450	MPa		Altura de queda	75	cm
Desgaste	3	%		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	40,33	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	97,94	cm ²				
Perímetro consid.	40,5	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	270	MPa				

6.5.1.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR 32

Observa-se na figura 6.36 que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 25 tf foram diversas. Percebe-se uma discrepância entre os valores de cravação para os métodos utilizados. O método “Décourt-Quaresma”, com 17,0 metros apresentou a menor profundidade de cravação. Já o método “Aoki-Velloso”, apresentou a maior profundidade com 26 metros.

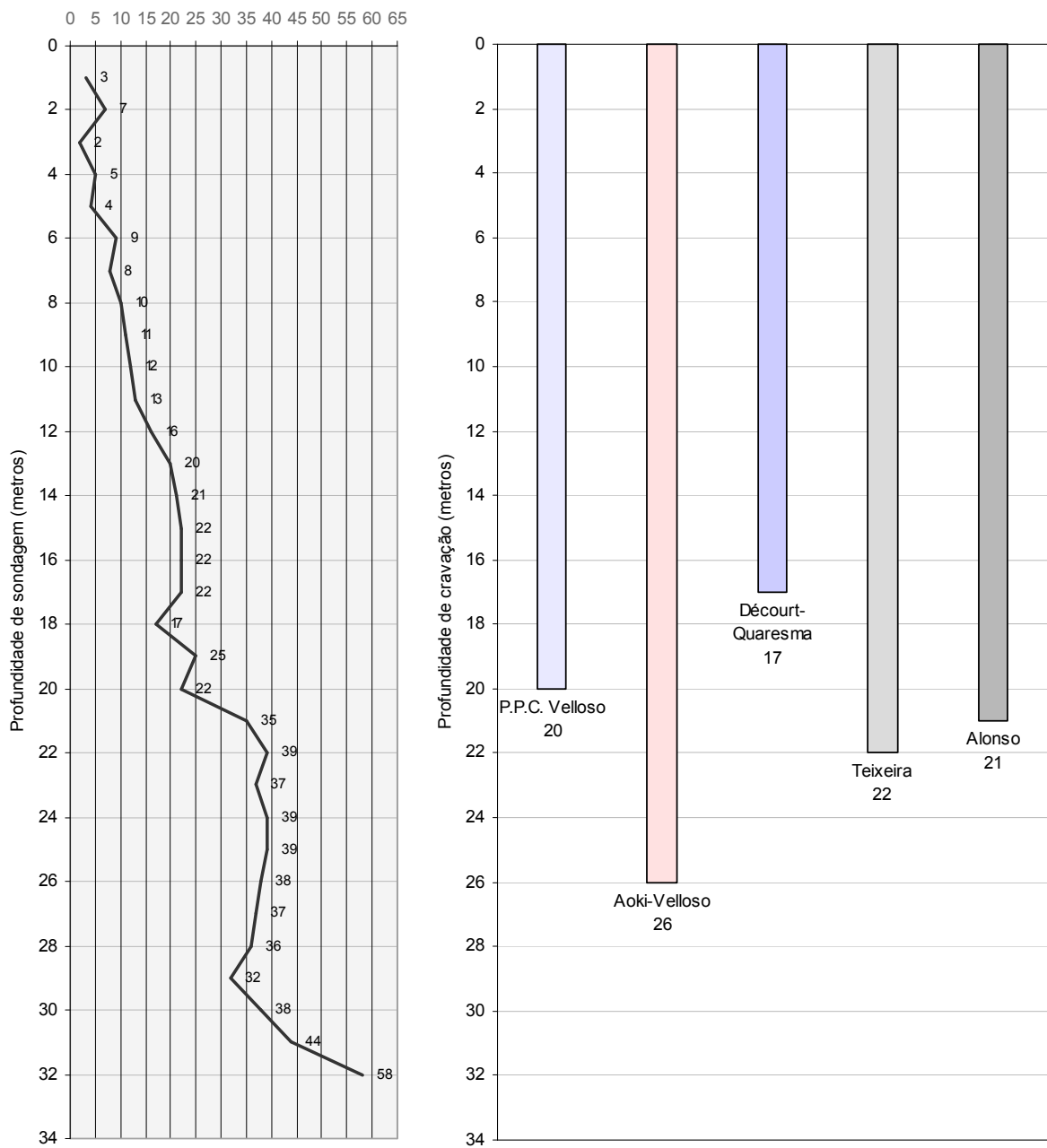


Figura 6.36: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.1.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR32

Observa-se na tabela 6.20 que os resultados de cravação foram satisfatórios com os valores para NEGA acima de zero e as tensões de cravação não ultrapassaram o limite de escoamento

mínimo do aço. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.2 para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Tabela 6.20: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)							
Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1 P.P.C. Velloso	20	m	112,32	MPa	5,10	mm/golpe	3,13
2 Aoki-Velloso	26	m	105,55	MPa	2,62	mm/golpe	2,40
3 Décourt-Quaresma	17	m	116,23	MPa	6,38	mm/golpe	3,68
4 Teixeira	22	m	109,92	MPa	4,26	mm/golpe	2,84
5 Alonso	21	m	111,11	MPa	4,68	mm/golpe	2,98

Observa-se na figura 6.37 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 2,62 e 6,38. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é real.

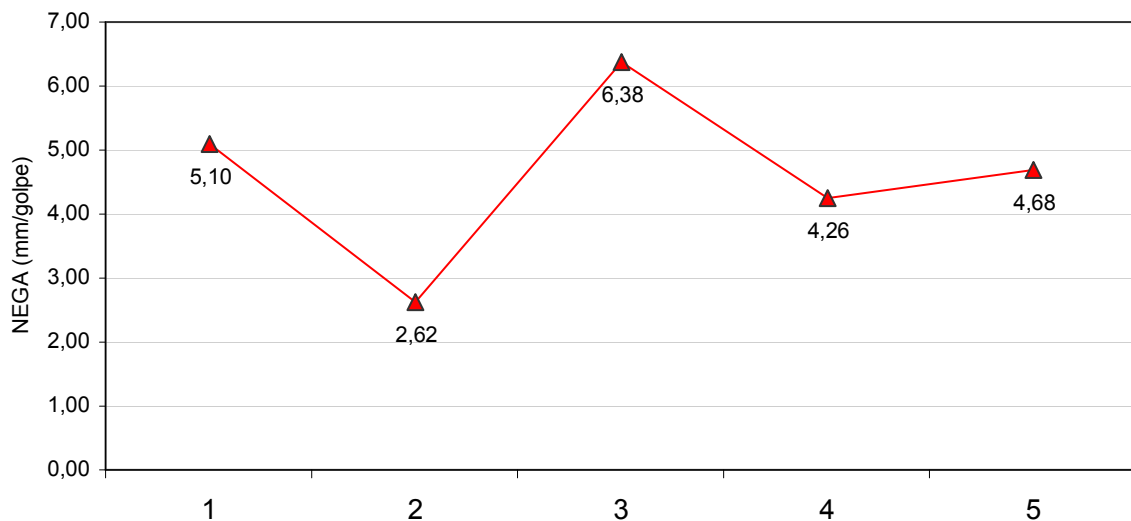


Figura 6.37: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

A tensão de cravação apresentou-se bem uniforme e distante do limite de escoamento adotado para o trilho. Os valores variaram entre 105,55 e 116,23 MPa. Normalmente a tensão de cravação varia um pouco em relação ao comprimento da estaca. As perdas de energia ao longo da peça de aço fazem com que a tensão na cabeça da estaca diminua conforme o aumento do comprimento. Observa-se na figura 6.36, que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta. A altura do martelo de 2 tf foi de 75 cm em todos os processos.

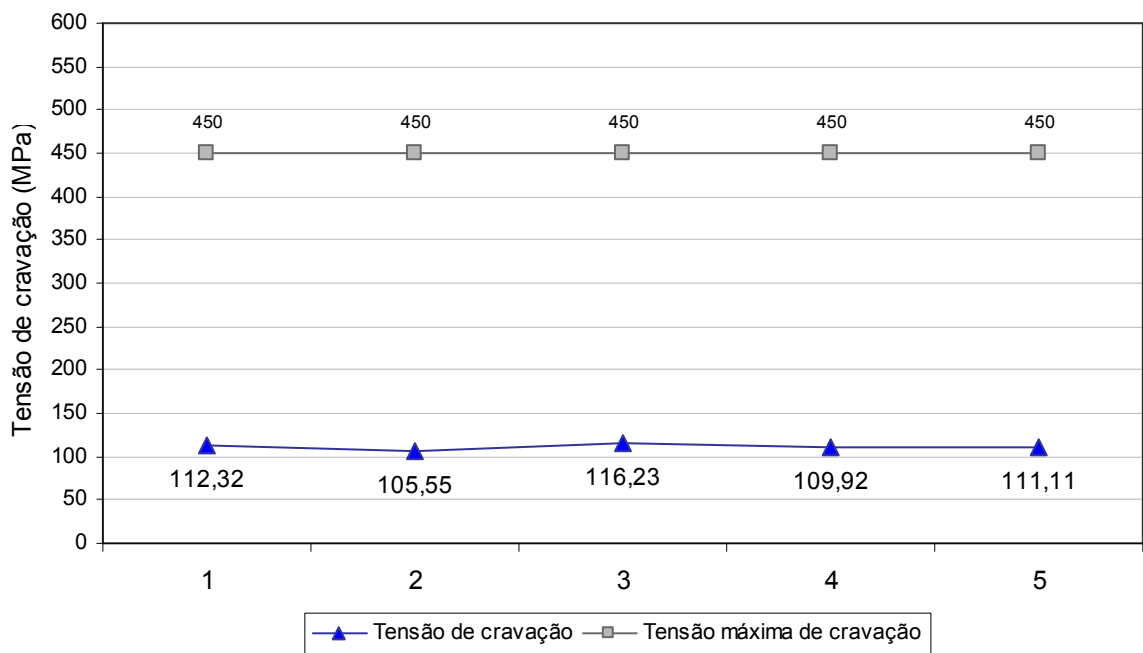


Figura 6.38: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.1.4. Levantamento dos custos por cada trilho TR 32 cravado

Na tabela 6.21, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço.

Tabela 6.21: Custo das estacas por metro de cravação para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	640	20	32,00	2,00	40,00	104,00	2080,00
2	Aoki-Velloso	832	26	32,00	2,00	40,00	104,00	2704,00
3	Décourt-Quaresma	544	17	32,00	2,00	40,00	104,00	1768,00
4	Teixeira	704	22	32,00	2,00	40,00	104,00	2288,00
5	Alonso	672	21	32,00	2,00	40,00	104,00	2184,00

Através da figura 6.39, em forma de gráfico, observa-se as variações dos valores finais. O método (2), "Aoki-Velloso", apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. Os métodos (3), "Décourt-Quaresma", apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação.

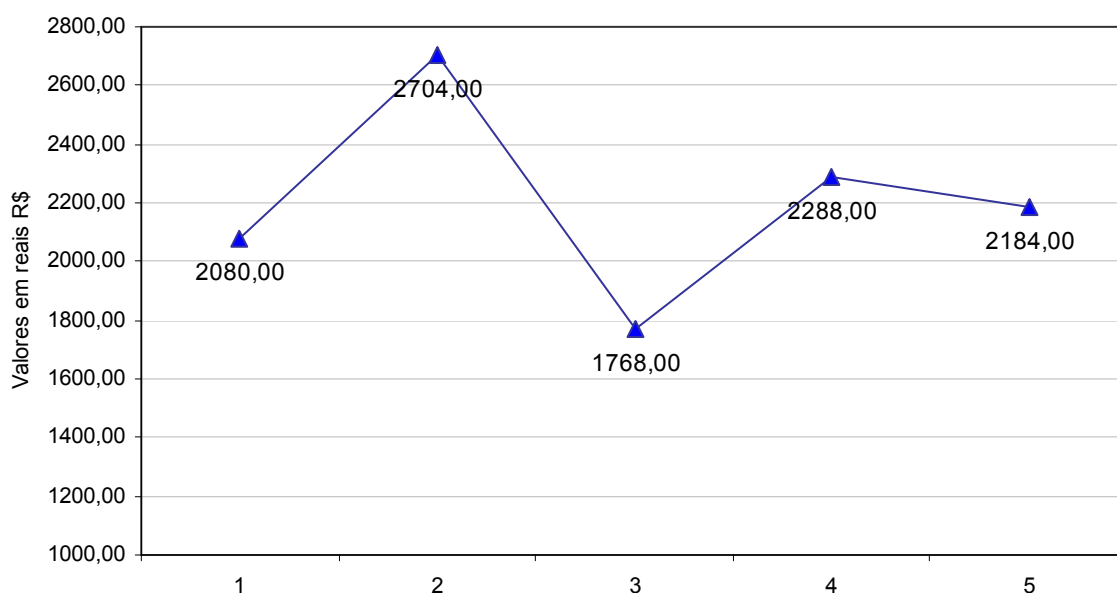


Figura 6.39: Gráfico demonstrando os valores de custo para o trilho TR32 sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.2. Resultados para tubo metálico

6.5.2.1. Resultados obtidos para o tubo metálico “168,3 x 4,8”

Neste item foram apresentados os resultados da carga admissível do tubo de 168,3 mm de diâmetro externo com 4,8 mm de espessura da parede de aço, conforme tabela do catálogo da empresa VALLOUREC & MANNESMANN TUBES (2008) (anexo 2). O tipo de tubo e os dados de cravação foram mantidos conforme o item 6.3.2 para que os resultados estudados possam revelar o comportamento do tipo de solo em relação às novas profundidades. A espessura de 4,8 mm da parede de aço do tubo foi suficiente para que o coeficiente de compressão e tensão de cravação atingisse um valor satisfatório. O mesmo aconteceu com o valor da NEGA, atingindo um valor acima de zero e não muito alto a partir de um martelo de 2tf a 75 cm de altura.

Na tabela 6.22 observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende as exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2.

Tabela 6.22: Dados do elemento de fundação e de cravação para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Tubo	168,3	19,35	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	25	tf		Peso martelo	2	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	75	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	24,66	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	222,46	cm ²				
Perímetro consid.	52,87	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

6.5.2.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo “168,3 x 4,8”

Observa-se na figura 6.40 que as profundidades obtidas foram diversas. O método "Décourt-Quaresma", com 15,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto que o método “Aoki-Velloso”, apresentou a maior profundidade com 22,0 metros.

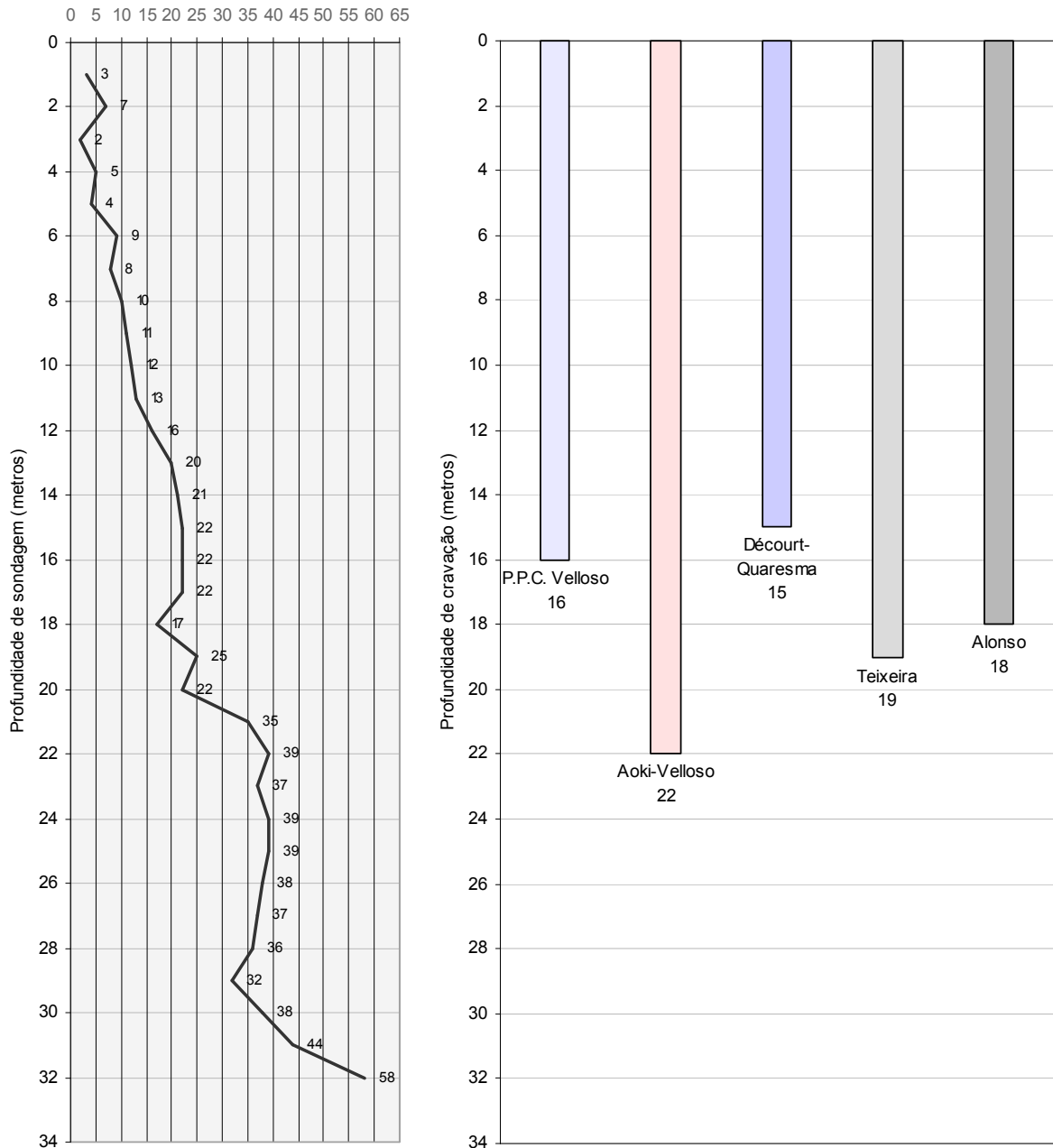


Figura 6.40: ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.2.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo “168,3 x 4,8”

Observa-se na tabela 6.23, que os resultados de cravação foram satisfatórios para NEGA e tensões de cravação. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.23 para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Tabela 6.23: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)							
Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1 P.P.C. Velloso	16	m	202,50	MPa	3,66	mm/golpe	6,46
2 Aoki-Velloso	22	m	180,20	MPa	2,15	mm/golpe	4,70
3 Décourt-Quaresma	15	m	207,10	MPa	3,96	mm/golpe	6,89
4 Teixeira	19	m	190,40	MPa	2,85	mm/golpe	5,44
5 Alonso	18	m	194,10	MPa	3,10	mm/golpe	5,74

Observa-se na figura 6.41 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 2,15 e 3,96. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é real. A altura do martelo de 2 tf foi de 75 cm em todos os processos.

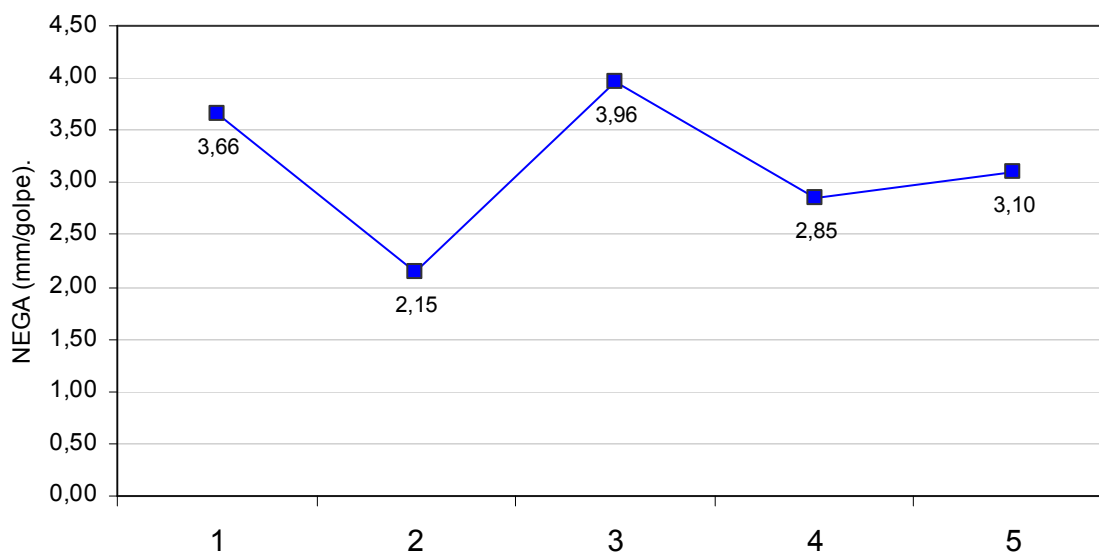


Figura 6.41: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Os valores das tensões de cravação variaram entre 180,20 e 207,10 MPa. A dissipação da tensão de cravação foi maior para o método (2), “Aoki-Velloso”. Isso ocorre normalmente devido ao maior comprimento da estaca. Observa-se na figura 6.42 que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta.

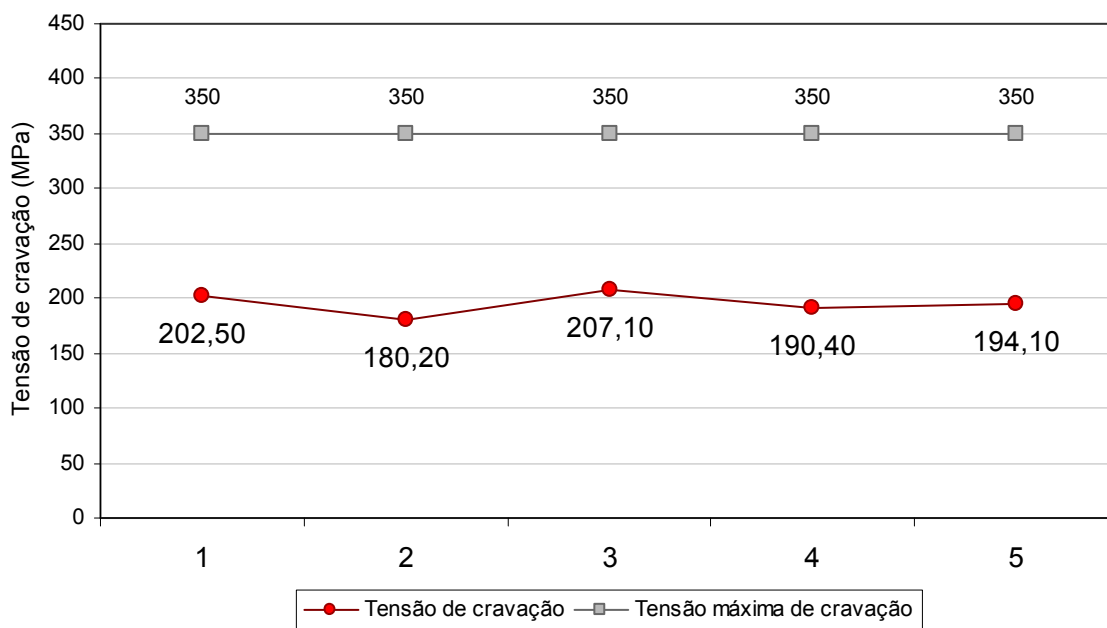


Figura 6.42: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.2.4. Levantamento dos custos por cada tubo “168,3 x 4,8” cravado

Observa-se na tabela 6.24 que as profundidades de cravação variaram de 15 a 22 metros. Essa diferença é relativa à modificação do tipo de solo. Neste caso as diferenças de custos das fundações também serão significativas. Estes valores foram calculados a partir do valor por metro de execução, cravação, e pelo peso do aço por metro de estaca. Com isso, o valor da estaca em relação aos métodos utilizados dependerá da sua profundidade de cravação.

Tabela 6.24: Custo das estacas por metro de cravação para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	309,6	16	19,35	5,16	40,00	139,85	2237,54
2	Aoki-Velloso	425,7	22	19,35	5,16	40,00	139,85	3076,61
3	Décourt-Quaresma	290,25	15	19,35	5,16	40,00	139,85	2097,69
4	Teixeira	367,65	19	19,35	5,16	40,00	139,85	2657,07
5	Alonso	348,3	18	19,35	5,16	40,00	139,85	2517,23

A figura 6.43, ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (2) “Aoki-Velloso”, apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (3), de "Décourt-Quaresma", apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga de 25 tf e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente arenoso, conforme sondagem do item 6.2.

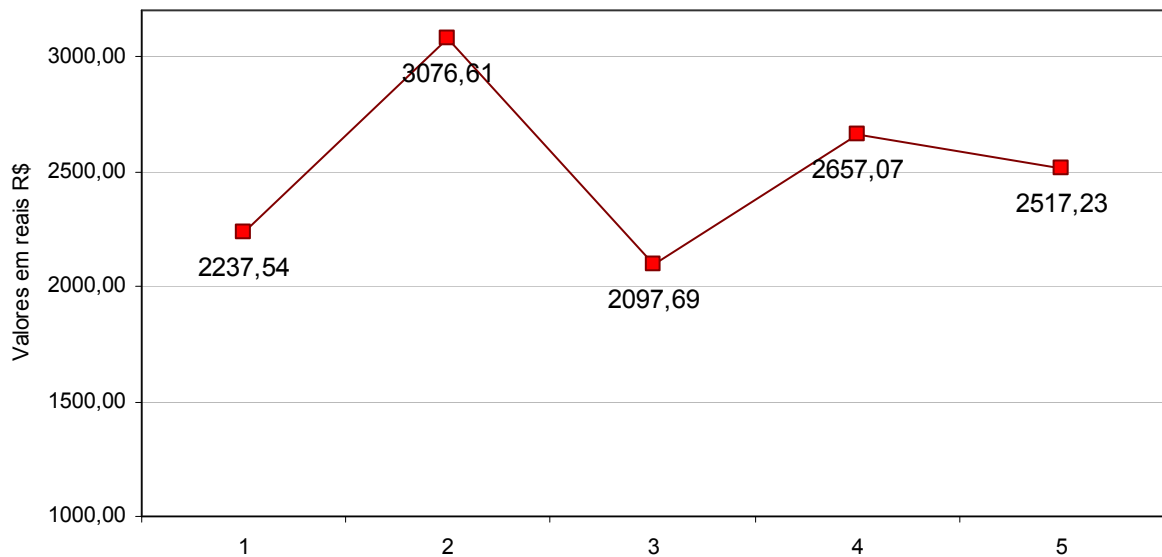


Figura 6.43: Gráfico demonstrando os valores de custo para o tubo “168,3 x 4,8” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.3. Resultados para perfil metálico

6.5.3.1. Resultados obtidos para o perfil metálico “W 200 x 19,3”

Neste item, o perfil “W200 x 19,3” (anexo 2B), de 200 mm de altura e 19,3 kg/metro e os dados de cravação, foram mantidos conforme o item 6.3.3 para que os resultados obtidos permitam a realização de comparativos das profundidades das fundações em relação ao comportamento do tipo de solo. O perfil apresentou condições favoráveis no item 6.3.3, com solo tipo arenoso, e o mesmo aconteceu com o solo tipo argiloso. As características do perfil foram obtidas através do catálogo da GERDAU AÇOMINAS (2008).

Na tabela 6.25, observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende às exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2.

Tabela 6.25: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Perfil	W200x19,3	19,3	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	25	tf		Peso martelo	2	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	75	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	20	cm
Área da seção	24,28	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	207,1	cm ²				
Perímetro consid.	61	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

6.5.3.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”

Observa-se na figura 6.44 que os métodos “Décourt-Quaresma” e “Aoki-Velloso” apresentaram as maiores diferenças. Com 14,0 metros, o método “Décourt-Quaresma” apresentou a menor profundidade de cravação. Já o método “Aoki-Velloso”, apresentou a maior profundidade, 21,0 metros.

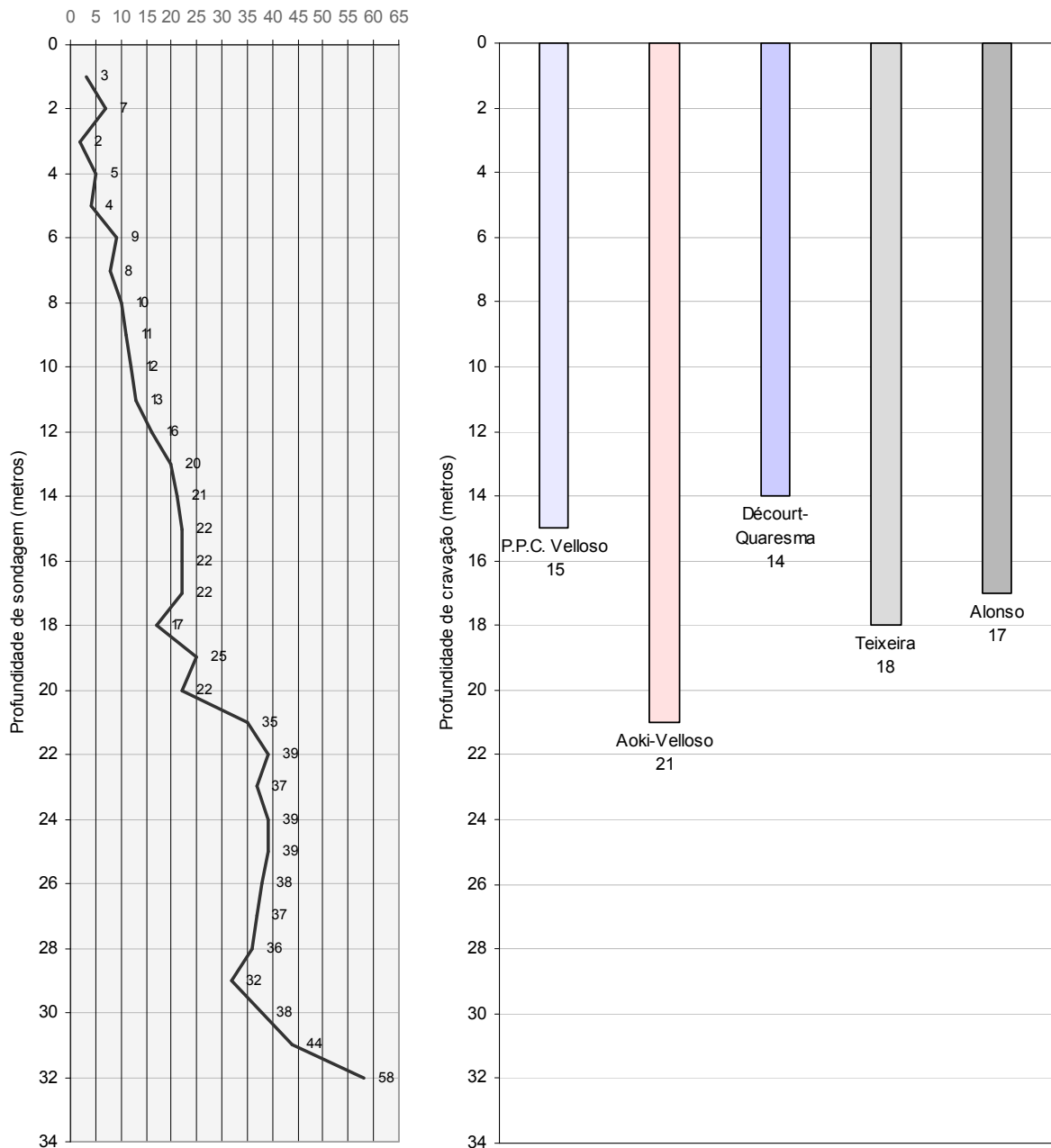


Figura 6.44: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.3.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W200 x 19,3”

Observa-se na tabela 6.26, que os resultados de NEGA e tensão de cravação foram satisfatórios em relação à execução do elemento de aço. Os valores de NEGA foram positivos e demonstram que as estacas favorecem cravações mais profundas. Através dos resultados da NEGA e pelos resultados das tensões de cravações apresentados para cada estaca, percebe-se que as cravações podem atingir profundidades maiores e sugerir novas cargas admissíveis de projeto.

A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.26 para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Tabela 6.26: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)								
	Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1	P.P.C. Velloso	15	m	206,80	MPa	6,07	mm/golpe	6,91
2	Aoki-Velloso	21	m	183,50	MPa	4,43	mm/golpe	4,93
3	Décourt-Quaresma	14	m	211,60	MPa	6,40	mm/golpe	7,40
4	Teixeira	18	m	194,10	MPa	5,18	mm/golpe	5,76
5	Alonso	17	m	198,10	MPa	5,46	mm/golpe	6,10

Observa-se na figura 6.45 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 4,43 e 6,40. Através do gráfico, observa-se que as profundidades em relação a estes valores, modificaram-se conforme as variações das profundidades. O processo (3), que obteve maior valor de NEGA, apresentou a menor profundidade de cravação. Conforme a figura 6.43, percebe-se pouca variação entre os valores apresentados para cada processo estudado. A altura do martelo de 2 tf foi de 75 cm em todos os processos.

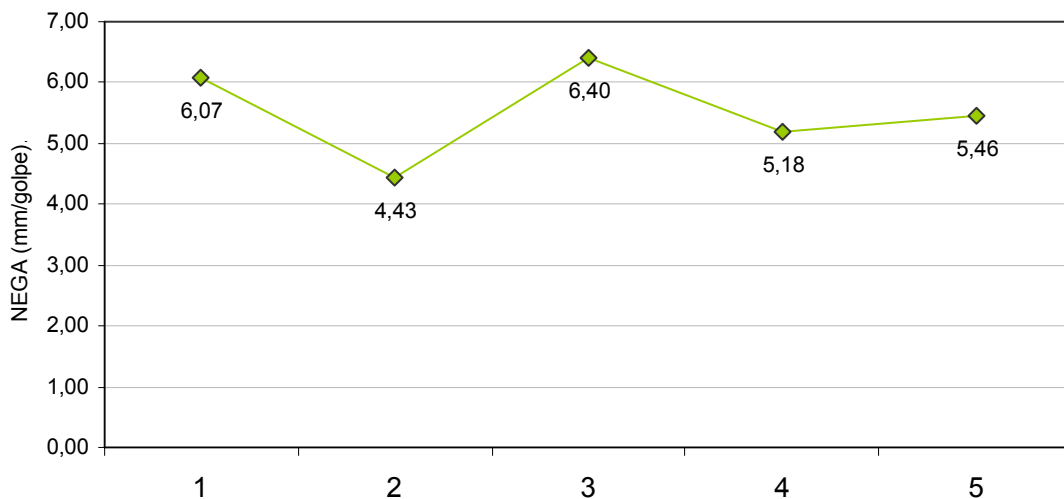


Figura 6.45: Gráfico demonstrando os valores da NEGA para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

A tensão de cravação, figura 6.46, apresentou-se bem uniforme e abaixo do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no perfil, neste caso 350 MPa. Os valores variaram entre 183,50 e 211,60 MPa. Observando-se a figura 6.46, percebe-se que a tensão de cravação varia conforme a profundidade de cravação. Da mesma forma como acontece com os valores de NEGA, a tensão de cravação também é indiretamente proporcional à profundidade da estaca.

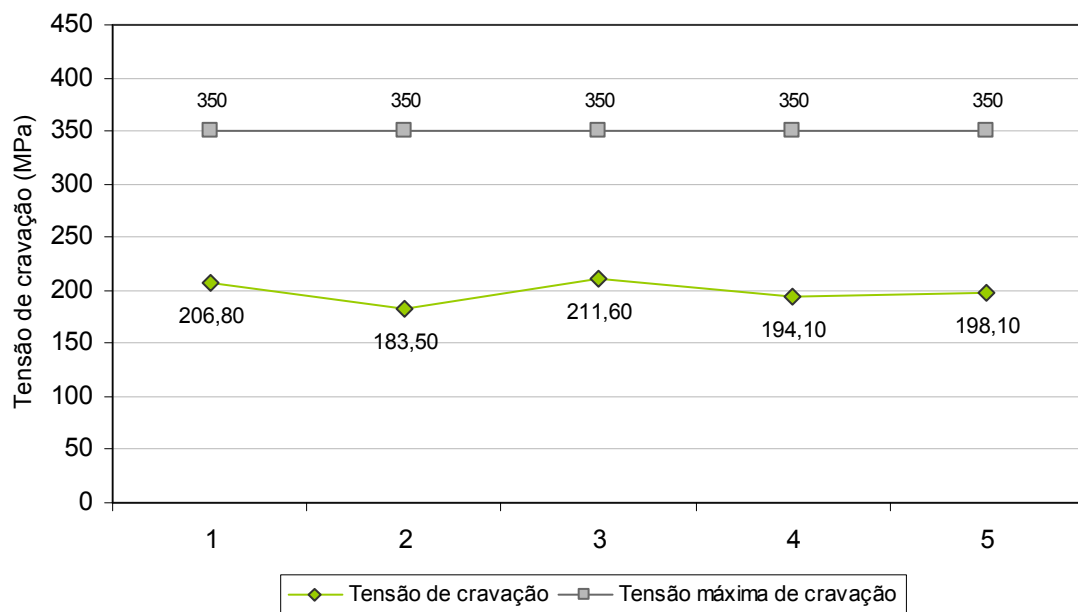


Figura 6.46: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.3.4. Levantamento dos custos para cada perfil “W200 x 19,3” cravado

Na tabela 6.27, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 6.47.

Tabela 6.27: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	289,5	15	19,30	3,30	40,00	103,69	1555,35
2	Aoki-Velloso	405,3	21	19,30	3,30	40,00	103,69	2177,49
3	Décourt-Quaresma	270,2	14	19,30	3,30	40,00	103,69	1451,66
4	Teixeira	347,4	18	19,30	3,30	40,00	103,69	1866,42
5	Alonso	328,1	17	19,30	3,30	40,00	103,69	1762,73

A figura 6.47 ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (2), “Aoki-Velloso”, apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (3), “Décourt-Quaresma”, apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, a menor profundidade de cravação. Todos foram calculados para a mesma carga admissível de 25 tf e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente argiloso.

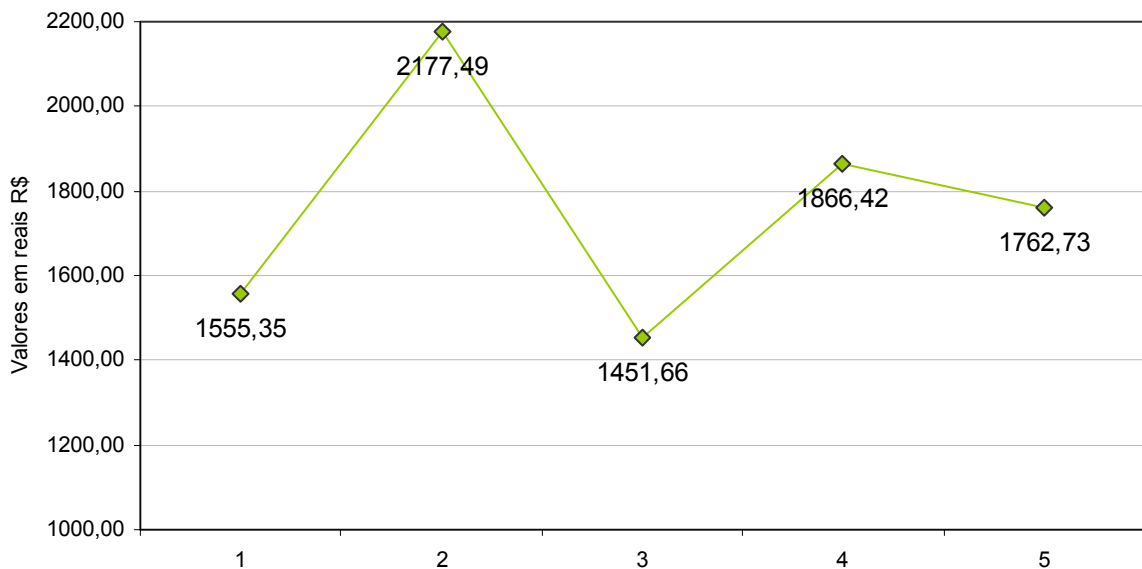


Figura 6.47: Gráfico demonstrando os valores de custo para uma estaca cravada para o perfil “W200 x 19,3” sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.4. Comparativo entre os elementos estudados

6.5.4.1. Profundidades obtido para o solo tipo argiloso sob a carga de 25 tf

Neste item serão apresentados os comparativos entre os elementos estudados para a carga de 25 tf. As profundidades e os custos de cada elemento serão estudados a seguir. Para a apresentação destes resultados, foram fixados alguns dados de cálculo. O tipo do solo foi modificado de arenoso para argiloso, mas mantido os índices de SPT. Os dados de cravação e os elementos de fundações também foram mantidos para que os comparativos possam surgir efeitos.

As profundidades dos perfis “W200 x 19,3”, conforme a figura 6.48, representado pelas colunas verdes, representa as menores profundidades entre todos os elementos estudados. Já os trilhos, neste caso o TR32, representados pelas colunas de cor rosa, demonstraram que necessitam de profundidades mais elevadas para obter a mesma condição de capacidade de carga. Estes apresentaram as maiores profundidades. O baixo perímetro da seção do trilho em relação aos demais é um dos fatores que contribuem para o aumento da profundidade de cravação. Isso pode ser explicado observando-se os dados necessários de cálculos exigidos pelos autores dos métodos estáticos, item 3.8.5. O perfil apresenta área de ponta satisfatoriamente alta em relação aos trilhos e por este motivo, menores profundidades.

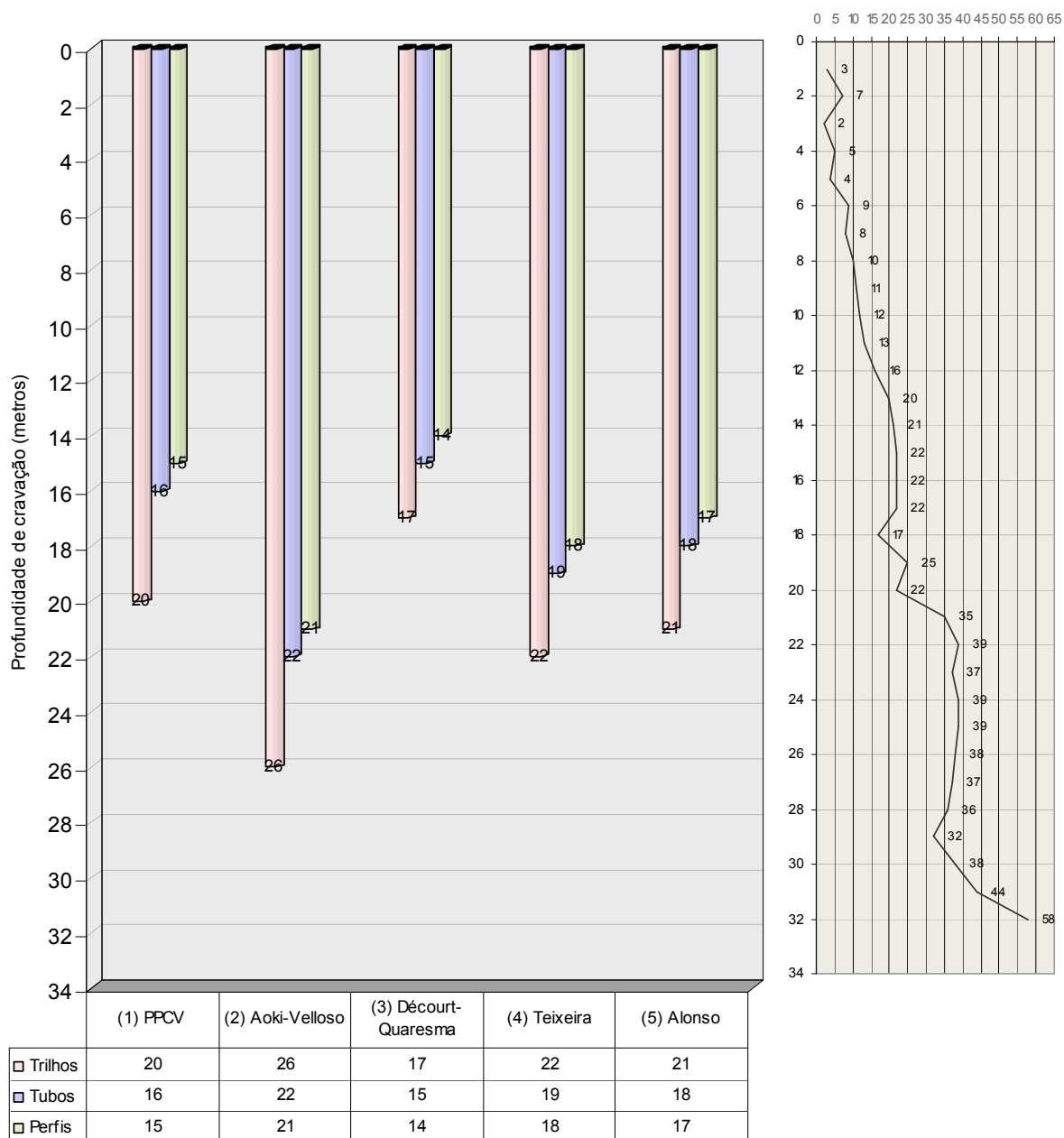


Figura 6.48: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Conforme a figura 6.49, em todos os processos o trilho obteve maior profundidade, enquanto que o perfil apresentou os menores. Os resultados do perfil “W200 x 19,3” comparados aos resultados do tubo “168,3 x 4,8” apresentaram poucas diferenças. A área de ponta do perfil, de 207,1 cm², mostrou-se compatível com a área de ponta do tubo, com 222,46 cm². A capacidade de carga de ponta é um dos pontos mais importantes para o cálculo das

profundidades das fundações e através da área da seção define-se parte dessa capacidade de carga.

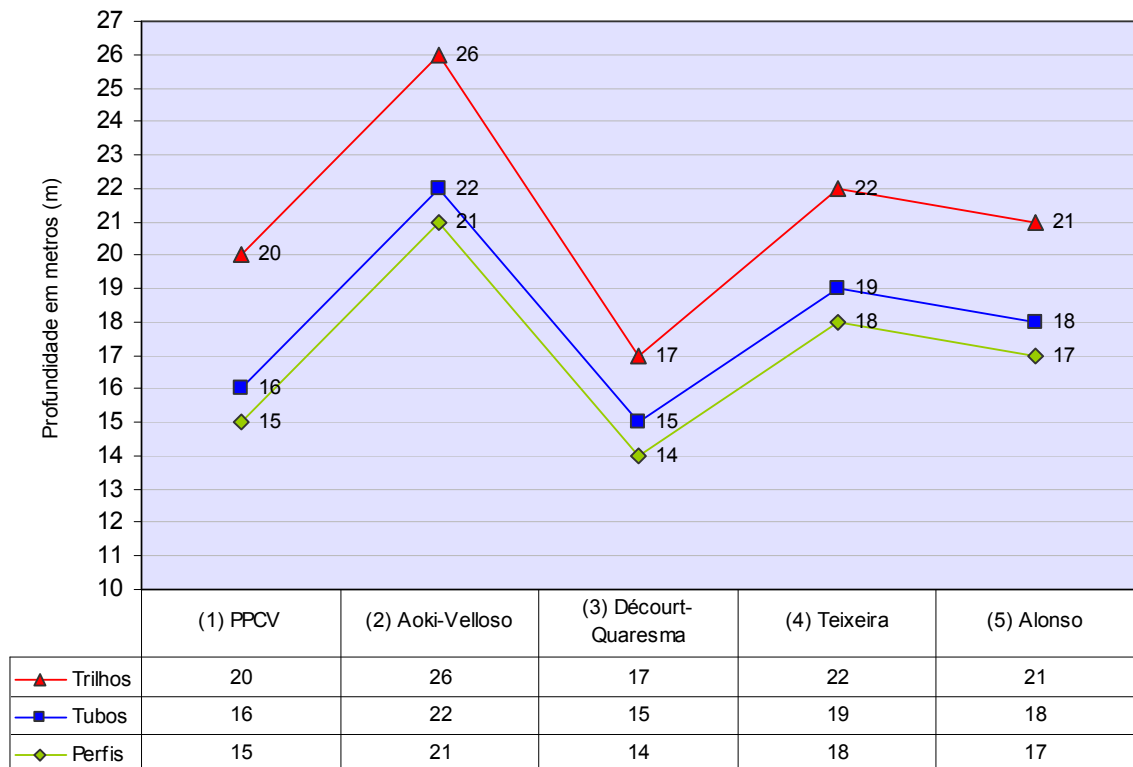


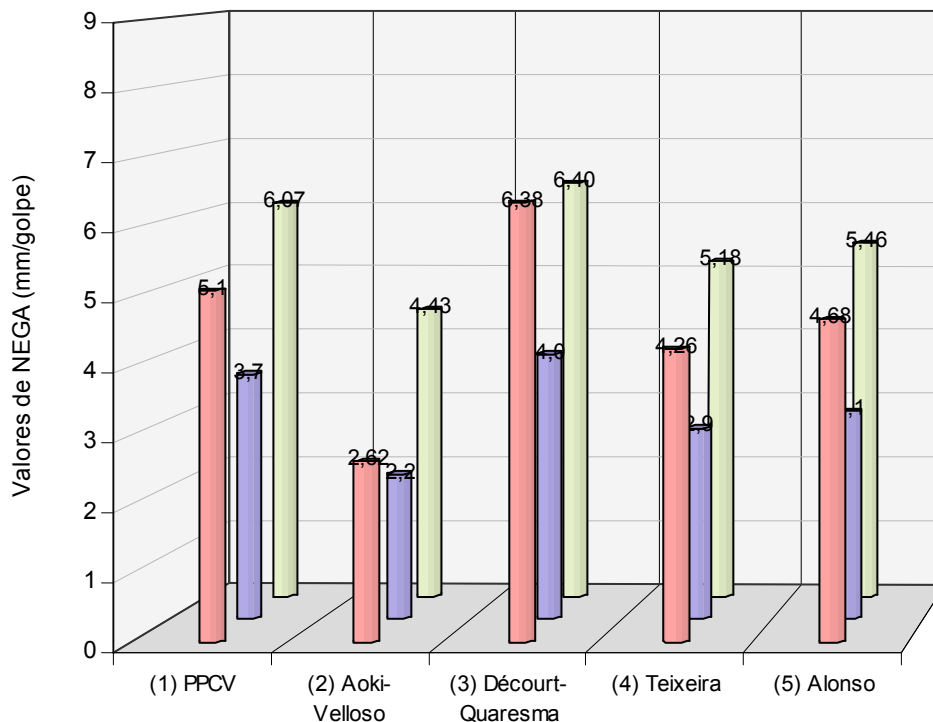
Figura 6.49: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.4.2. Comparativo dos resultados geotécnicos dinâmicos sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Observando o gráfico da figura 6.50, percebe-se que o elemento de fundação “tubo”, apresentou os menores valores de NEGA. Os valores de NEGA são importantes para se verificar as dificuldades ou a impossibilidade de cravação do elemento de fundação. Neste estudo, os valores para os cálculos de 25 tf em solo tipo argiloso, apresentou em todos os processos, para todos os elementos valores positivos e não muito próximos a zero.

Através da figura 6,48, percebe-se que o perfil metálico apresentou os maiores valores de NEGA. Altos valores de NEGA representam maiores capacidades de cravação. Neste caso, o perfil apresentou as melhores condições de NEGA para apresentar altas profundidades e, conseqüentemente, maiores capacidades de carga. A NEGA, além disto, facilita a visualização

das condições de execução diante de elementos diferentes e ilustra a real condição do elemento de fundação atingir a profundidade calculada.



	(1) PPCV	(2) Aoki-Velloso	(3) Décourt-Quaresma	(4) Teixeira	(5) Alonso
■ Trilhos	5,1	2,62	6,38	4,26	4,68
■ Tubos	3,7	2,2	4,0	2,9	3,1
■ Perfis	6,07	4,43	6,40	5,18	5,46

Figura 6.50: Gráfico demonstrando os valores de NEGA sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Conforme a figura 6.51, observa-se que a tensão de cravação dos trilhos foram inferiores aos dos perfis e tubos. Os tubos e trilhos, que obtiveram valores de tensão de cravação muito próximos, apresentam profundidades de cravação próximas ou tecnicamente iguais. Os cálculos da tensão de cravação reforçam a importância dos estudos relacionados à resistência dos materiais em casos como este. Em todos os processos foram utilizados martelos de 2 tf a 75 cm de altura.

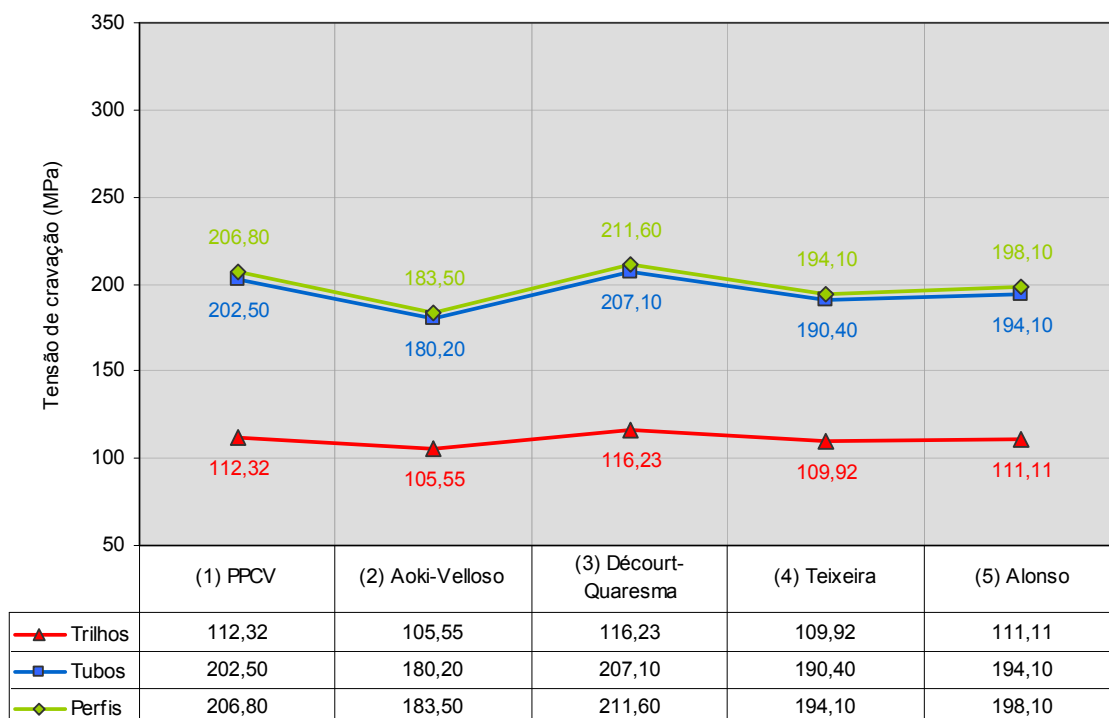


Figura 6.51: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.5.4.3. Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

Através da ilustração da figura 6.52, observa-se que os perfis dimensionados através dos métodos “Décourt-Quaresma” e “P.P.C.Velloso”, apresentaram os menores custos entre os demais. O mesmo aconteceu para o trilho ferroviário, apresentou os menores custos para os mesmos métodos.

No geral, o tubo “168,0 x 4,8” apresentou os maiores valores de custos em todos os processos. Ao contrário do elemento metálico perfil, que em todos os processos manteve-se com os menores valores.

Os trilhos ferroviários por serem reutilizados, apresentam baixos valores de mercado e com isso facilitam o seu reuso como fundações profundas.

Conforme os dados apresentados na figura 6,18, o perfil “W200 x 19,3” dimensionado através do processo (3), “Décourt-Quaresma”, demonstrou a melhor opção de custo para a fundação estudada.

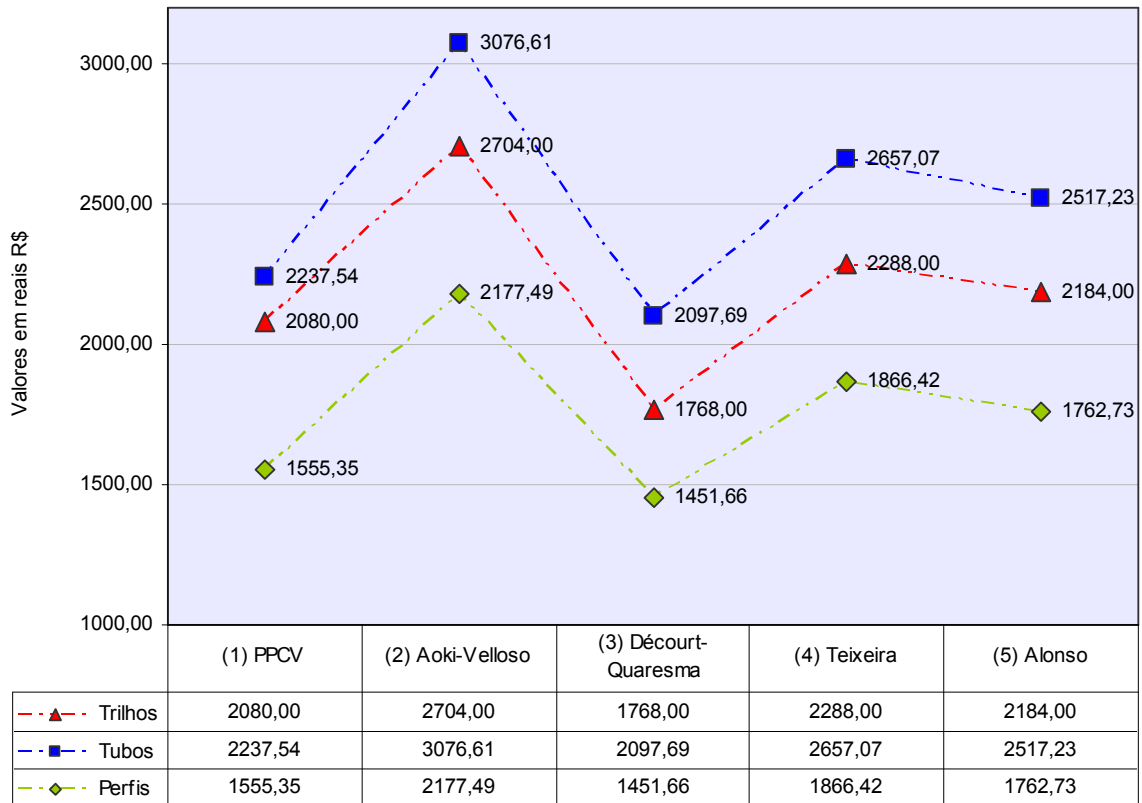


Figura 6.52: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca sob a carga de 25 tf no solo tipo argiloso

6.6. Resultados obtidos a partir da sondagem com solo do tipo argiloso sob a carga de 75 toneladas

Neste item serão apresentados os resultados das fundações metálicas utilizando o mesmo perfil de sondagem dos itens 6.3 e 6.4, porém, com o tipo de solo modificado para argiloso.

Conforme o item 4.2, a sondagem à percussão teve seus índices de SPT mantidos para que os resultados obtidos possam revelar diferenças nas profundidades de cada elemento estudado. Para que essas diferenças em relação ao tipo de solo possam permitir comparativos reais, os elementos de fundações metálicas e os dados de cravação também foram mantidos conforme o item 6.3 e 6.4

6.6.1. Resultados para trilho ferroviário

6.6.1.1. Resultados obtidos para o trilho do tipo simples TR 57

Neste item serão apresentados as características do elemento de fundação e os dados de cravação. O limite de escoamento mínimo, conforme o item 4.3, foi de 450 MPa. O desgaste da peça em 3%, conforme descrito no item 4.4.1.3, representa o desgaste do boleto. A área de ponta é determinada pelo polígono circunscrito à seção do trilho, conforme descrito no item 3.5.3 da revisão bibliográfica. A altura de queda do martelo em 120 cm foi determinada por apresentar uma tensão de cravação compatível à profundidade necessária.

Tabela 6.28: Dados do elemento de fundação e de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Trilho simples	TR57	56,91	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	75	tf		Peso martelo	6	tf
Lim. Escoamento	450	MPa		Altura de queda	120	cm
Desgaste	3	%		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	40	cm
Área da seção	70,32	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	175,65	cm ²				
Perímetro consid.	55,27	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	270	MPa				

6.6.1.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o trilho TR 57

Neste item serão apresentadas as profundidades relativas aos cálculos dos processos com o trilho TR57 para cada método sob a carga de 75 tf num perfil geológico tipo argiloso. Nos processos “Aoki-Velloso” e “Teixeira” a capacidade de carga mínima de 75 tf não foi alcançado com o trilho TR 57 simples. Por este motivo os dois métodos não foram inseridos nos estudos.

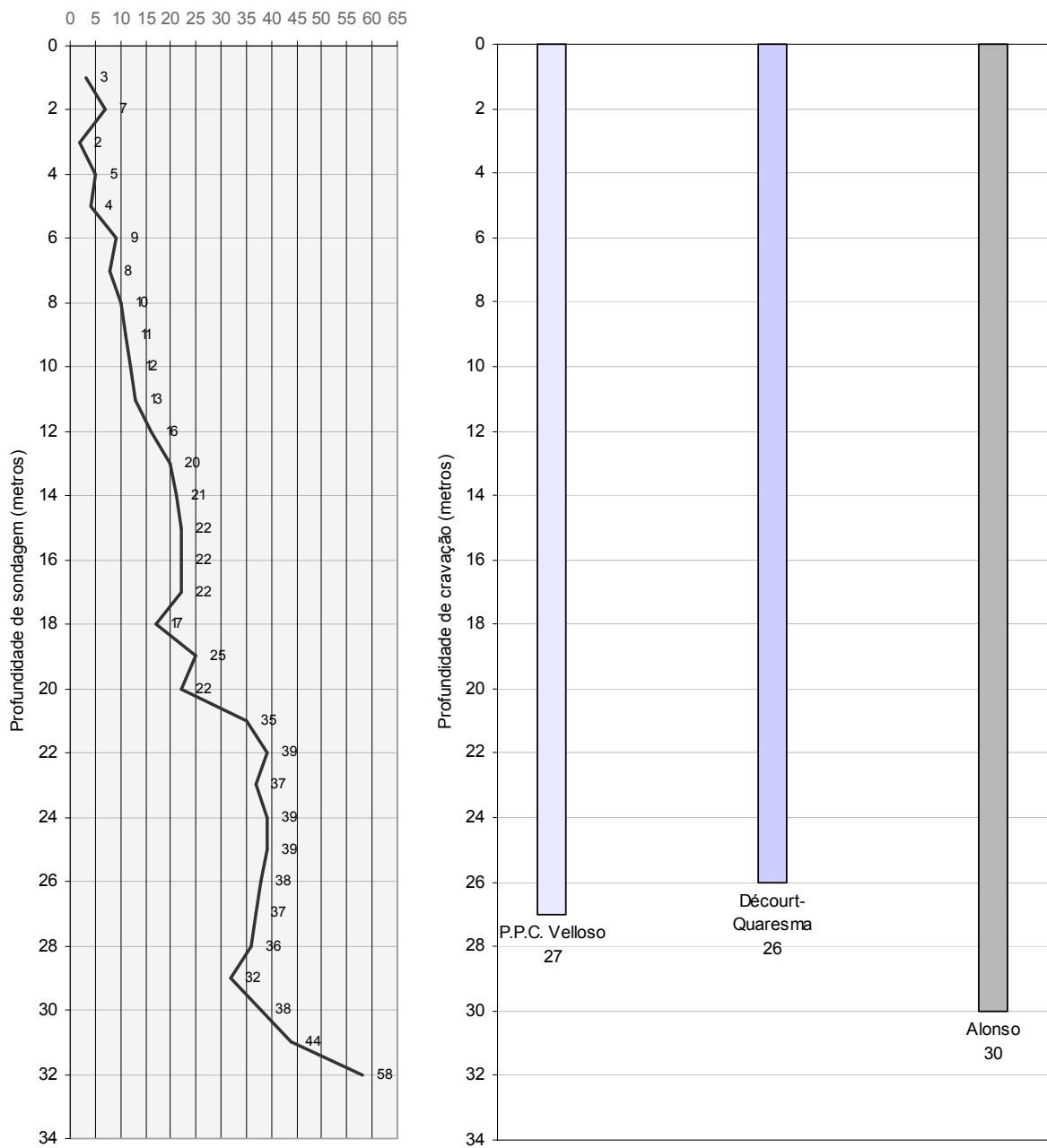


Figura 6.53: Ilustração das respectivas profundidades das estacas para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Observa-se na figura 6.53 que as profundidades foram diversas. Os métodos “Aoki-Velloso” e “Teixeira” não apresentaram resultados para a profundidade da sondagem de até 32 metros.

6.6.1.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o trilho TR57

Observa-se na tabela 6.29, que os resultados de NEGA e tensão de cravação foram satisfatórios. Os valores para tensão de cravação apresentaram-se abaixo do limite mínimo de escoamento do aço utilizado. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.29, para que se possa verificar que não houve excessos na cravação. Alguns parâmetros utilizados como o tamanho do capacete, mesmo este não apresentando uma das melhores condições de cravação, foi mantido em todos os cálculos para este perfil geológico. Desta forma, obtiveram-se resultados significantes para comparativos apresentados.

Tabela 6.29: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)							
Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1 P.P.C. Velloso	27	m	174,62	MPa	7,91	mm/golpe	3,90
2 Aoki-Velloso							
3 Décourt-Quaresma	26	m	176,34	MPa	8,54	mm/golpe	9,17
4 Teixeira							
5 Alonso	30	m	169,76	MPa	6,04	mm/golpe	3,51

Observa-se na figura 6.54 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 6,04 e 11,33. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é real. Os valores de cravação foram mantidos para que se possam observar as diferenças em relação ao mesmo elemento calculado sob diferente tipo de solo e carga

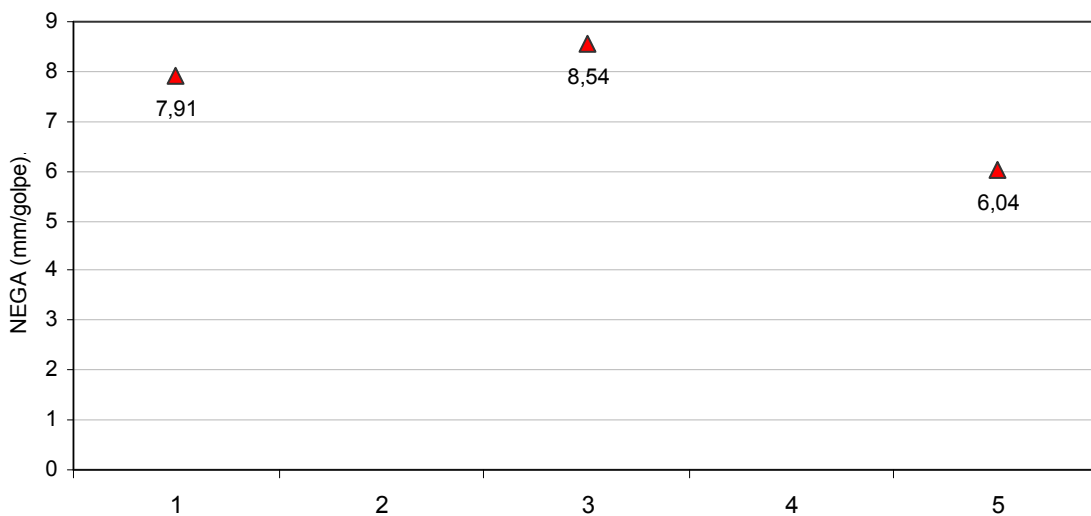


Figura 6.54: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Observa-se na figura 6.55 que os valores variaram entre 120,04 e 176,34 MPa. O valor da tensão de cravação diminuiu conforme o comprimento da estaca aumenta. A altura do martelo de 6 tf foi de 120 cm em todos os processos. Neste caso, as tensões de cravação apresentaram-se bem uniforme e distante do limite de escoamento adotado para o trilho. Os valores de cravação, peso do martelo e altura de queda, talvez não representem, neste caso, as melhores condições para cravação. Mantendo-se estes valores, foram possíveis comparativos aos demais resultados.

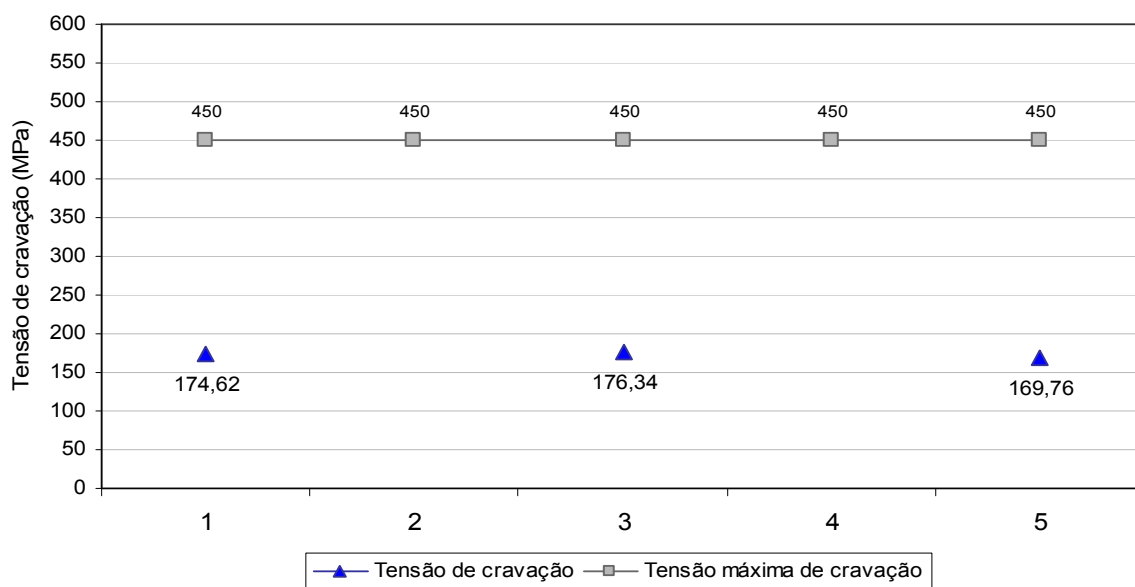


Figura 6.55: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.1.4. Levantamento dos custos por cada trilho TR 57 cravado

Na tabela 6.30, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas e pesos por metro de elemento, definidos pelos respectivos métodos. O valor da fundação pode ser relacionado com a proporcionalidade de sua profundidade, porém, neste caso, em dois processos, “Aoki-Velloso” e “Teixeira”, o elemento TR 57 estudado não alcançou a capacidade de carga mínima de 75 tf para a sondagem de 32 metros de profundidade. O método “Décourt-Quaresma”, apresentou a menor profundidade com elemento simples e, conseqüentemente, menor valor de custo.

Tabela 6.30: Custo das estacas por metro de cravação para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	1536,57	27	56,91	2,00	40,00	153,82	4153,14
2	Aoki-Velloso							
3	Décourt-Quaresma	1479,66	26	56,91	2,00	40,00	153,82	3999,32
4	Teixeira							
5	Alonso	1707,3	30	56,91	2,00	40,00	153,82	4614,60

Através da figura 6.56, em forma de gráfico, pode-se observar as diferenças entre os valores de custos. O método (3), “Décourt-Quaresma”, apresentou o menor valor, enquanto que o método (5), “Alonso”, apresentou o maior valor de custo, conseqüentemente, maior profundidade de cravação. Apesar das diferenças, os valores em relação à média se comportaram pouco variável.

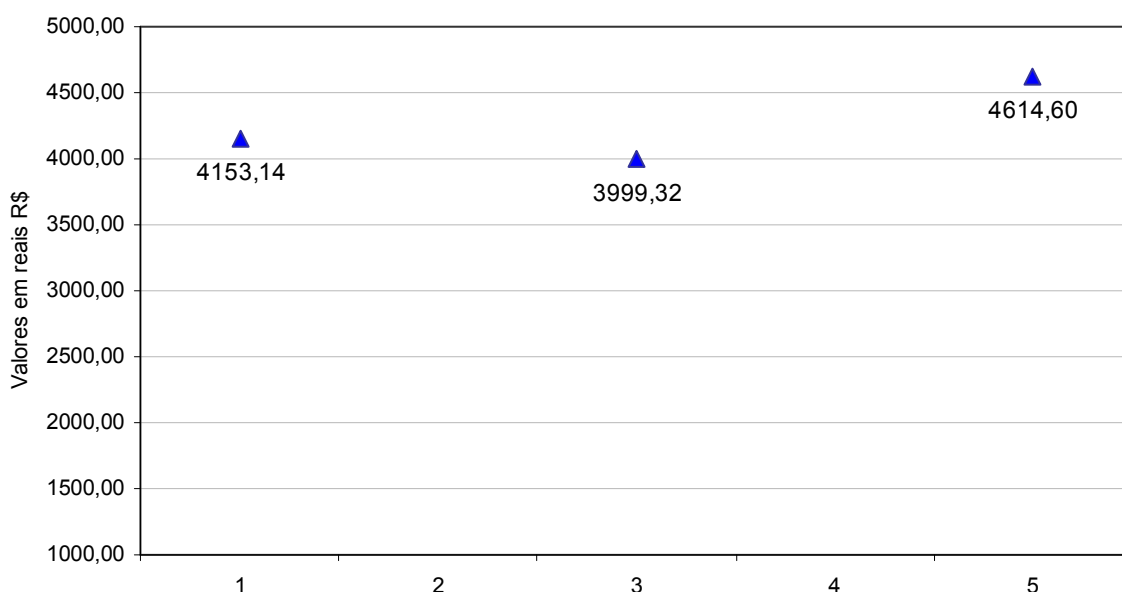


Figura 6.56: Gráfico demonstrando os valores de custo para o trilho TR57 sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.2. Resultados para tubo metálico sob a carga de 75 toneladas

6.6.2.1. Resultados obtidos para o tubo metálico “219,1 x 7,9”

Neste item foram apresentados os resultados da carga admissível do tubo de 219,1 mm de diâmetro externo com 7,9 mm de espessura da parede de aço, conforme tabela do catálogo da empresa VALLOUREC & MANNESMANN TUBES (2008) (anexo 1). O tubo utilizado neste item foi o mesmo estudado para o solo tipo arenoso, item 6.4.2. A intenção deste estudo, mantendo-se as mesmas características do elemento de fundação, é realizar comparativos de custos entre os métodos estudados em condições de solos diferentes.

Na tabela 6.31 observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão de 1,5 mm atende as exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2.

Tabela 6.31: Dados do elemento de fundação e de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Tubo	219,1 x 7,9	41,2	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	75	tf		Peso martelo	6	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	120	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	40	cm
Área da seção	52,42	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	222,46	cm ²				
Perímetro consid.	68,83	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

6.6.2.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o tubo “219,1 x 7,9”

Neste item serão apresentados as profundidades estudadas para cada método. “Neste caso, o método ‘Aoki-Velloso’ não obteve capacidade de carga mínima de 75 tf para o elemento de fundação em tubo “219,1 x 7,9”. A sondagem com 32 metros de profundidade não foi suficiente para que o método pudesse apresentar a carga mínima de 75 tf e por este motivo não será apresentado na figura 6.55.

Observa-se na figura 6.57, que os métodos que obtiveram capacidade de carga mínima de 75 tf, dentro da profundidade da sondagem, foram variadas. O método “Décourt-Quaresma”, com 23,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto o método de “Teixeira”, apresentou a maior profundidade, com 27,0 metros.

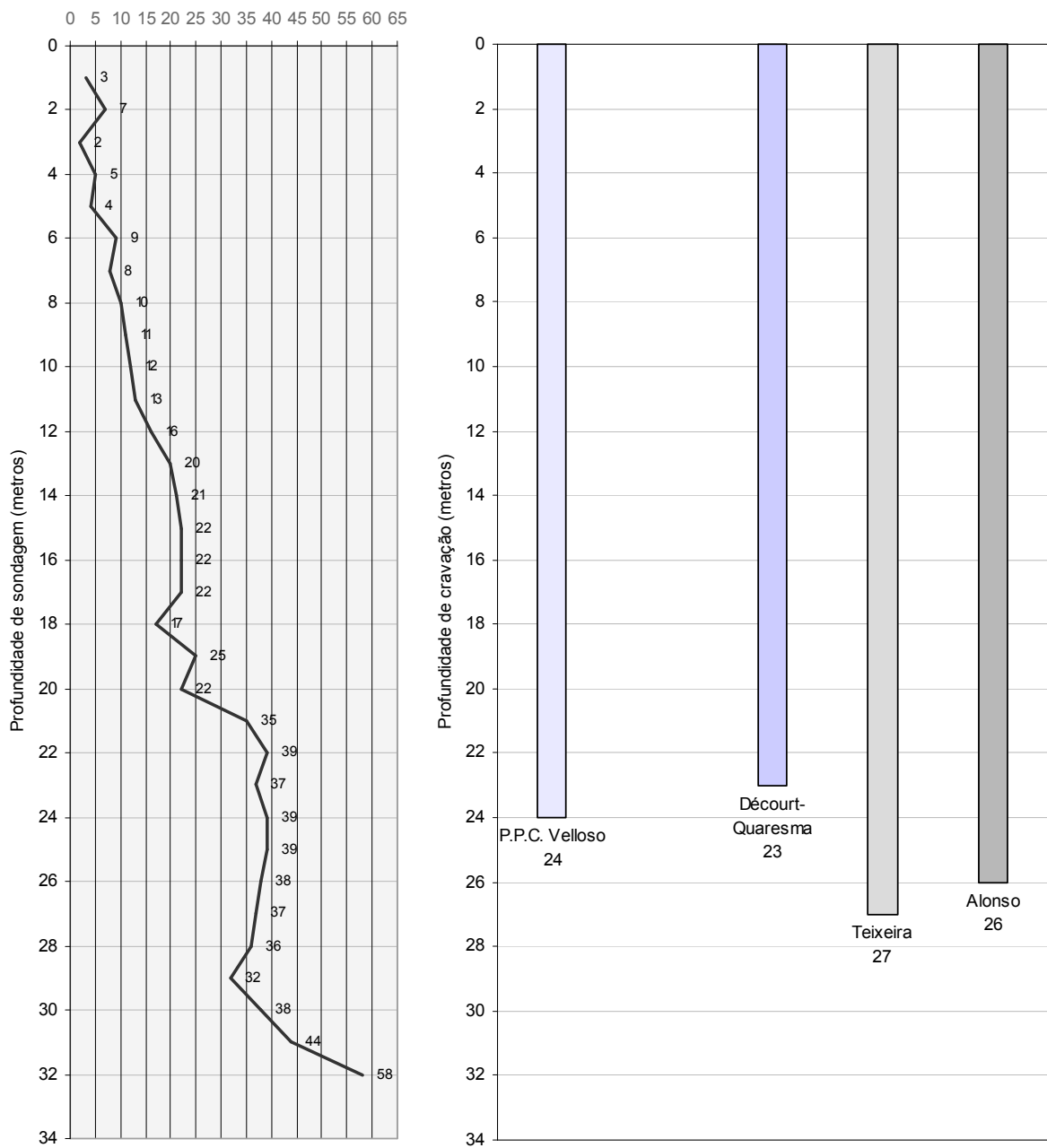


Figura 6.57: Ilustração das respectivas profundidades das estacas calculadas para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.2.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o tubo “219,1 x 7,9”

Observa-se na tabela 6.32, que os resultados de cravação foram satisfatórios com os valores para NEGA acima de zero e as tensões de cravação não ultrapassaram o limite de escoamento mínimo do aço. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela

6.32, para que se possa verificar que não houve excessos na cravação. Alguns parâmetros utilizados como o tamanho do capacete, mesmo este não apresentando uma das melhores condições de cravação, foi mantido em todos os cálculos para este perfil geológico. Desta forma, obtiveram-se resultados significantes para comparativos apresentados. O método “Aoki-Velloso” por não apresentar capacidade de carga mínima de 75 tf dentro da profundidade da sondagem, também não apresentou resultados para NEGA e tensão de cravação.

Tabela 6.32: Dados do elemento de fundação e do bate estaca para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)							
Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1 P.P.C. Velloso	24	m	254,70	MPa	9,26	mm/golpe	6,07
2 Aoki-Velloso							
3 Décourt-Quaresma	23	m	258,70	MPa	9,62	mm/golpe	6,33
4 Teixeira	27	m	243,70	MPa	8,24	mm/golpe	5,39
5 Alonso	26	m	247,20	MPa	8,57	mm/golpe	5,60

Observa-se na figura 6.58 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 8,24 e 9,62. Isto significa que a probabilidade das estacas atingirem as profundidades determinadas pelos cálculos estáticos é real. A altura do martelo de 6 tf foi de 120 cm em todos os processos.

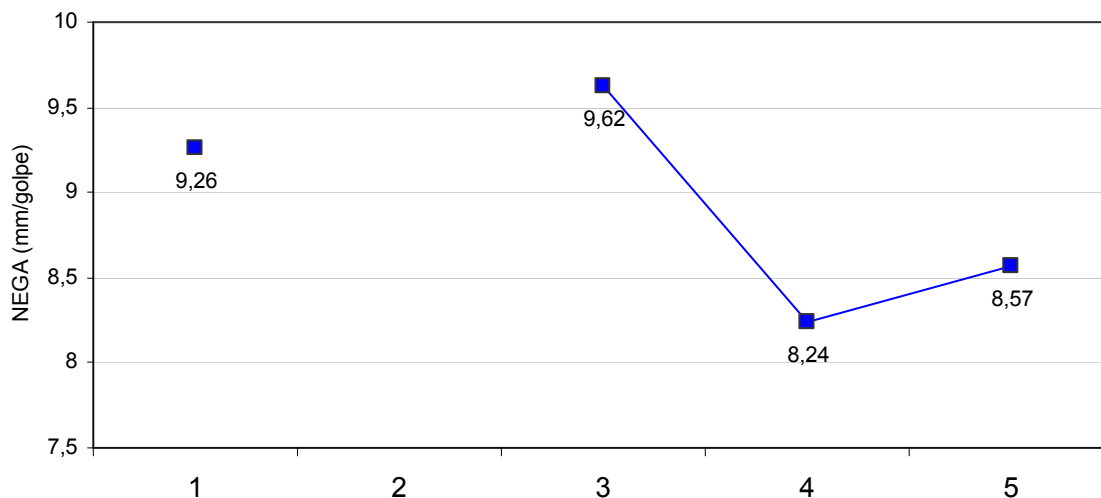


Figura 6.58: Gráfico demonstrando os valores de "NEGA" para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

A tensão de cravação apresentou-se bem uniforme e distante do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no tubo. Os valores variaram entre 243,70 e 258,70 MPa. Normalmente a tensão de cravação varia um pouco em relação ao comprimento da estaca. As perdas de energia ao longo da peça de aço fazem com que a tensão na cabeça da estaca diminua conforme o aumento do comprimento. Observa-se na figura 6.59, que o valor da tensão de cravação diminui conforme o comprimento da estaca aumenta.

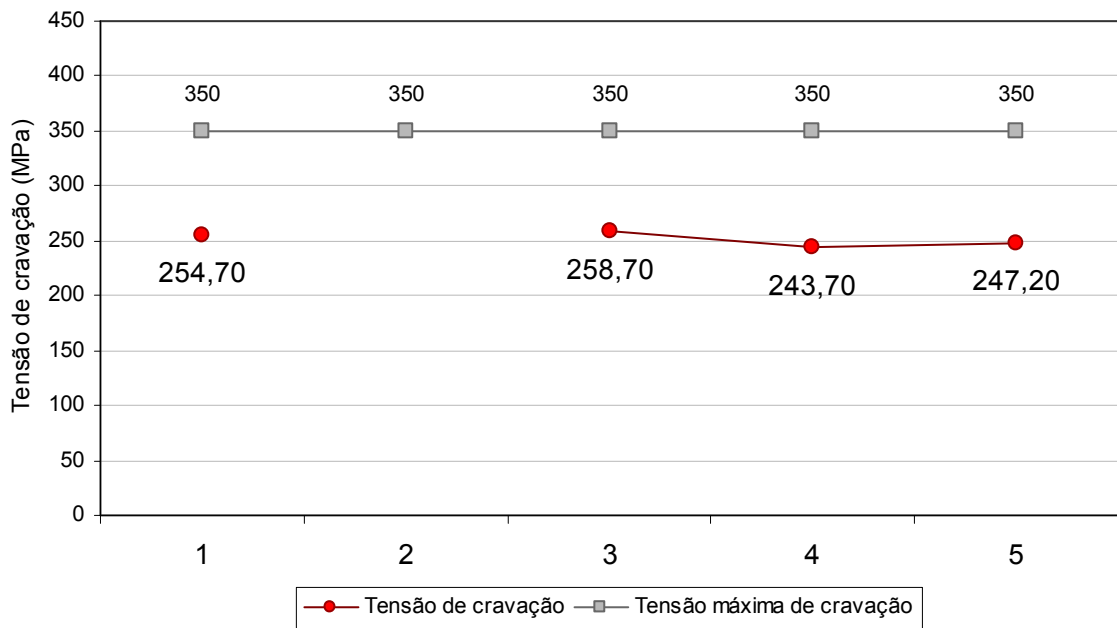


Figura 6.59: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o tubo "219,1 x 7,9" sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.2.4. Levantamento dos custos por cada tubo "219,1 x 7,9" cravado

Na tabela 6.33, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Os resultados do método (2), "Aoki-Velloso", não foram apresentados pelo fato do cálculo não apresentar capacidade de carga mínima de 75 tf para a profundidade da sondagem. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 6.33.

Tabela 6.33: Custo das estacas por metro de cravação para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	988,8	24	41,20	5,16	40,00	252,59	6062,21
2	Aoki-Velloso							
3	Décourt-Quaresma	947,6	23	41,20	5,16	40,00	252,59	5809,62
4	Teixeira	1112,4	27	41,20	5,16	40,00	252,59	6819,98
5	Alonso	1071,2	26	41,20	5,16	40,00	252,59	6567,39

A figura 6.60 ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (4) “Teixeira”, apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (3), "Décourt-Quaresma", apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga admissível, 75 tf, e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente argiloso, conforme sondagem do item 6.2 e considerações do item 6.6. Pelo fato do método (2), “Aoki-Velloso”, não ter apresentado capacidade de carga mínima de 75 tf até a profundidade da sondagem (32 m), os valores aqui também não serão apresentados.

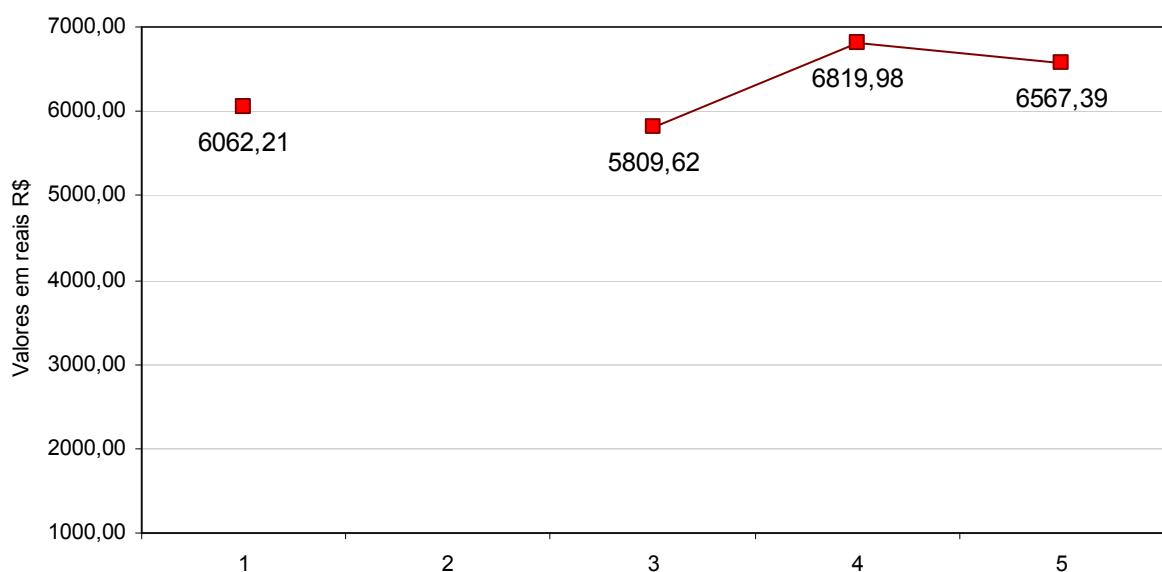


Figura 6.60: Gráfico demonstrando os valores de custo para o tubo “219,1 x 7,9” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.3. Resultados para perfil metálico sob a carga de 75 toneladas

6.6.3.1. Resultados obtidos para o perfil metálico “W360 x 44”

Neste item foram apresentados os resultados para capacidade de carga de 75 tf para o perfil metálico “W360 x 44” de 352 mm de altura e 44 kg/metro (anexo 2B), o mesmo utilizado no item 6.4.3. A sondagem utilizada é a mesma do item 6.2, porém, com tipo de solo modificado de arenoso para argiloso. As características do elemento metálico e os dados de cravação foram mantidos para se obter resultados significativos para a realização dos comparativos. As características do perfil foram obtidas através do catálogo da GERDAU AÇOMINAS (2008).

Na tabela 6.34, observa-se que os dados da peça foram inseridos conforme suas características de fabricação. A espessura de corrosão, 1,5 mm, atende às exigências da Norma 6122/96, item 7.8.2.3.2.

Tabela 6.34: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Dados da peça:				Dados de cravação		
Perfil	W360 x 44	44,31	kg/m	Tipo	queda livre	
Carga	75	tf		Peso martelo	6	tf
Lim. Escoamento	350	MPa		Altura de queda	120	cm
Espessura corrosão	1,5	mm		Coxim madeira	presente	
Massa específica	7850	kg/cm ²		Tamanho capacete	40	cm
Área da seção	56,45	cm ²		Módulo de elasticidade longit.	2050000	kg/cm ²
Área de ponta	601,9	cm ²				
Perímetro consid.	104,6	cm		Perda elástica do solo	2,5	mm
Tensão máx sup.	210	MPa				

6.6.3.2. Resultados geotécnicos estáticos da carga admissível obtidos para o perfil “W360 x 44”

Observa-se na figura 6.61, que as profundidades das estacas calculadas para a carga de 75 tf foram diversas. O método “Décourt-Quaresma”, com 18,0 metros, apresentou a menor profundidade de cravação, enquanto o método de “Aoki-Velloso” apresentou a maior profundidade, 26,0 metros.

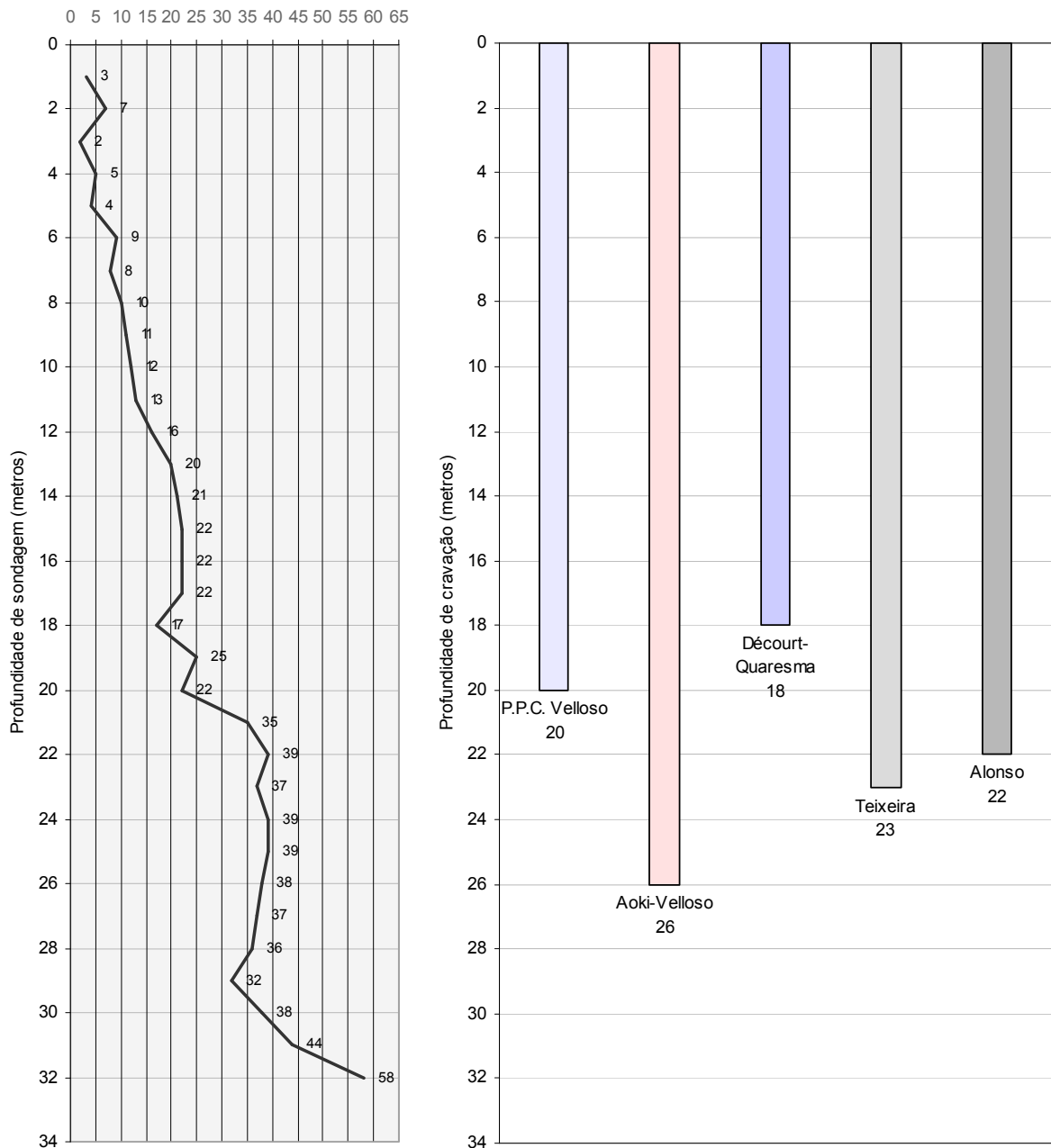


Figura 6.61: Ilustração das profundidades das estacas referentes a cada método para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.3.3. Resultados geotécnicos dinâmicos da carga admissível obtidos para o perfil “W360 x 44”

Observa-se na tabela 6.35, que os valores das tensões de cravação e NEGAs, foram satisfatórias. Os valores de NEGA foram acima de zero e demonstram que as estacas favorecem cravações mais profundas. Apesar dos dados de cravação não apresentarem as melhores condições e mesmo ainda que os valores da NEGA se apresentem altos, estes dados são necessários para a realização de comparativos. Através dos resultados da NEGA e pelos resultados das tensões de cravações apresentados para cada estaca, percebe-se que as cravações podem atingir profundidades maiores e sugerir novas cargas admissíveis de projeto. A relação entre o peso do martelo e o peso da estaca foi apresentada na tabela 6.35, para que se possa verificar que não houve excessos na cravação.

Tabela 6.35: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Dimensionamento geotécnico dinâmico - processo HILEY (1925)								
	Método	Profund.		Tensão de cravação		NEGA		Relação martelo/estaca
1	P.P.C. Velloso	20	m	275,90	MPa	8,94	mm/golpe	6,77
2	Aoki-Velloso	26	m	248,50	MPa	7,05	mm/golpe	5,21
3	Décourt-Quaresma	18	m	287,20	MPa	9,70	mm/golpe	7,52
4	Teixeira	23	m	261,10	MPa	7,93	mm/golpe	5,89
5	Alonso	22	m	265,70	MPa	8,25	mm/golpe	6,15

Observa-se na figura 6.62 que os valores da NEGA variaram numa margem entre 7,05 e 9,70. Quanto maior o valor da NEGA, maior é a capacidade de se alcançá-la no ato da cravação e, conseqüentemente, maiores serão as chances em se obter maiores profundidade, e assim, maiores as capacidade de cargas. A altura de queda do martelo e o peso do martelo, não representam as melhores condições de cravação para este caso. Além da tensão de cravação, a NEGA se apresentou alta, porém, os resultados foram significativos para posteriores comparações. A altura do martelo de 6 tf foi de 120 cm em todos os processos.

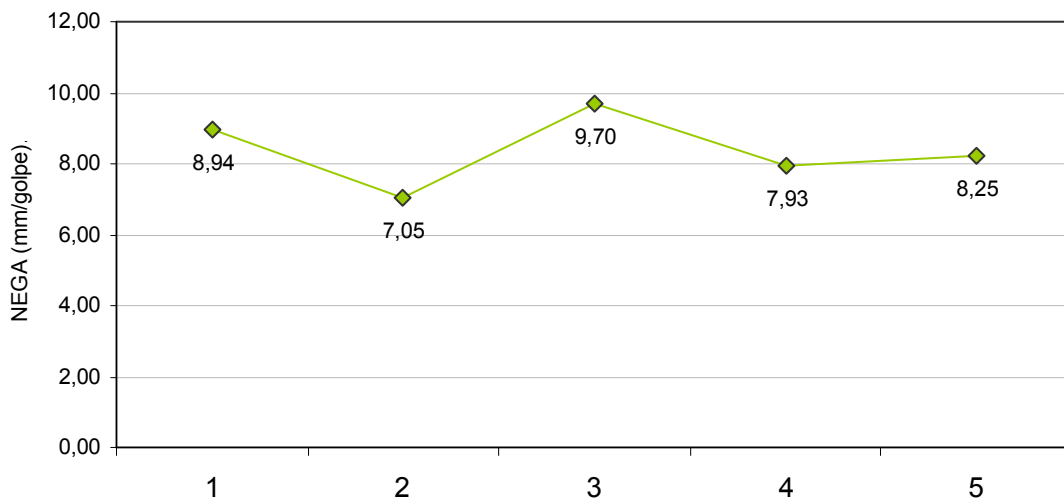


Figura 6.62: Gráfico demonstrando os valores da NEGA para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

A tensão de cravação, figura 6.63, apresentou-se bem uniforme e abaixo do limite de escoamento mínimo do aço utilizado no perfil, neste caso 350 MPa. Os valores variaram entre 248,50 e 287,20 MPa. No processo (2), “Aoki-Velloso”, o valor da tensão de cravação foi abaixo da média, deduzindo-se que a profundidade de cravação fora maior que nos demais processos. Ao contrário pode-se conferir no processo (3), “Décourt-Quaresma”, que apresentou o maior valor de tensão de cravação e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Embora haja diferenças, todas as tensões comportaram-se satisfatórias.

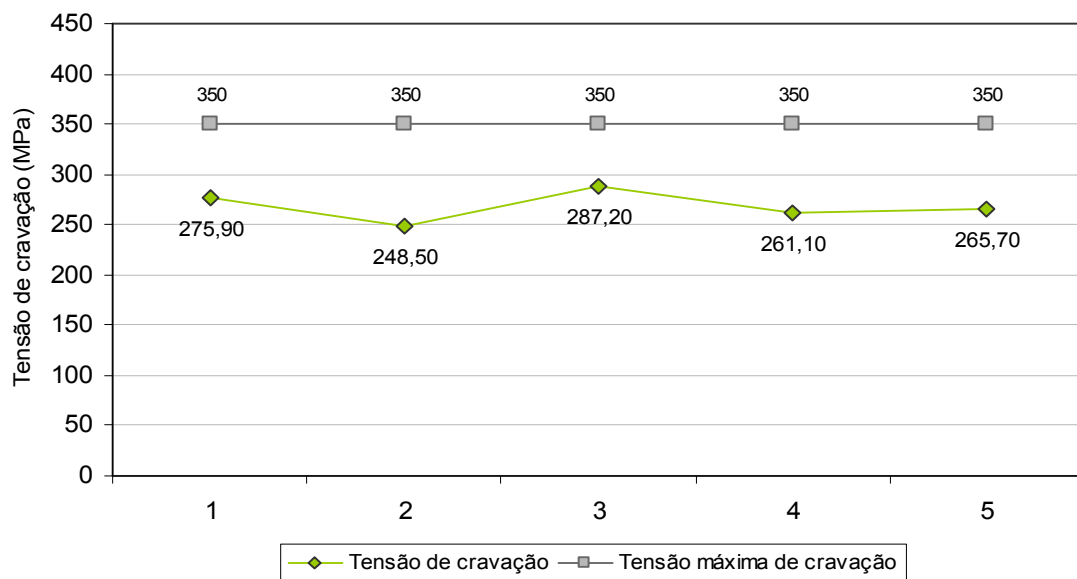


Figura 6.63: Gráfico demonstrando os valores de tensão de cravação para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.3.4. Levantamento dos custos para cada perfil “W360 x 44” cravado

Na tabela 6.36, os valores foram dispostos conforme os comprimentos das estacas, definidos pelos respectivos métodos. Observa-se que o valor de custo final da fundação é diretamente proporcional ao comprimento cravado da estaca e ao peso da peça de aço, ver figura 6.64.

Tabela 6.36: Dados da peça de cravação e do bate estacas para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

	Método	peso da estaca (kg)	Profundidade (m)	Peso por metro kg/m	Preço/kg do elemento	Preço por metro execução	Preço total por metro cravado	Total (R\$)
1	P.P.C. Velloso	886,2	20	44,31	3,30	40,00	186,22	3724,46
2	Aoki-Velloso	1152,06	26	44,31	3,30	40,00	186,22	4841,80
3	Décourt-Quaresma	797,58	18	44,31	3,30	40,00	186,22	3352,01
4	Teixeira	1019,13	23	44,31	3,30	40,00	186,22	4283,13
5	Alonso	974,82	22	44,31	3,30	40,00	186,22	4096,91

A figura 6.64 ilustra em forma de gráfico as variações dos valores finais. O método (1), “Aoki-Velloso”, apresentou maior valor de custo e, conseqüentemente, maior profundidade. O método (3), “Décourt-Quaresma”, apresentou o menor valor de custo e, conseqüentemente, menor profundidade de cravação. Ambos foram calculados para a mesma carga admissível, 75 tf, e para o mesmo tipo de solo, neste caso, predominantemente argiloso, conforme sondagem do item 6.2 e considerações do item 6.6.

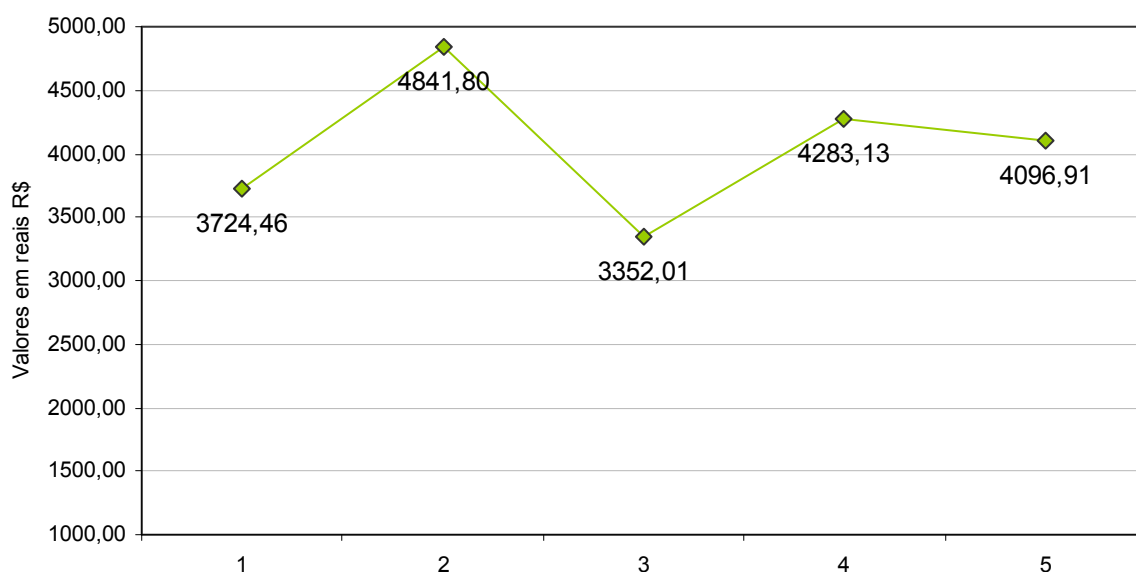


Figura 6.64: Gráfico demonstrando os valores de custo para o perfil “W360 x 44” sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.4. Comparativo entre os elementos estudados

6.6.4.1. Profundidades obtido para o solo tipo argiloso sob a carga de 75 tf

Neste item foram apresentados comparativos entre as profundidades das fundações estudadas, NEGAs apresentadas, tensões de cravação e custos finais. Estes comparativos serão realizados através dos resultados apresentados nos itens 6.6, entre os três elementos de fundações sob condições de cargas e processos de cálculos estáticos diferentes.

Conforme a figura 6.65, os perfis metálicos em quatro métodos, representados pelas colunas verdes, apresentaram as menores profundidades entre os elementos estudados para 75 tf. No método “Aoki-Velloso”, o perfil apresentou alta profundidade e para os demais elementos, tudo e trilhos, a capacidade de carga mínima de 75 tf não fora alcançada dentro das condições da sondagem. No método “Teixeira”, a capacidade de carga para trilhos também não fora alcançado. O método “Alonso” utilizando o elemento trilho, apresentou a maior profundidade entre todos os estudos. O perfil metálico calculado através do método “Décourt-Quaresma” apresentou a menor profundidade de cravação.

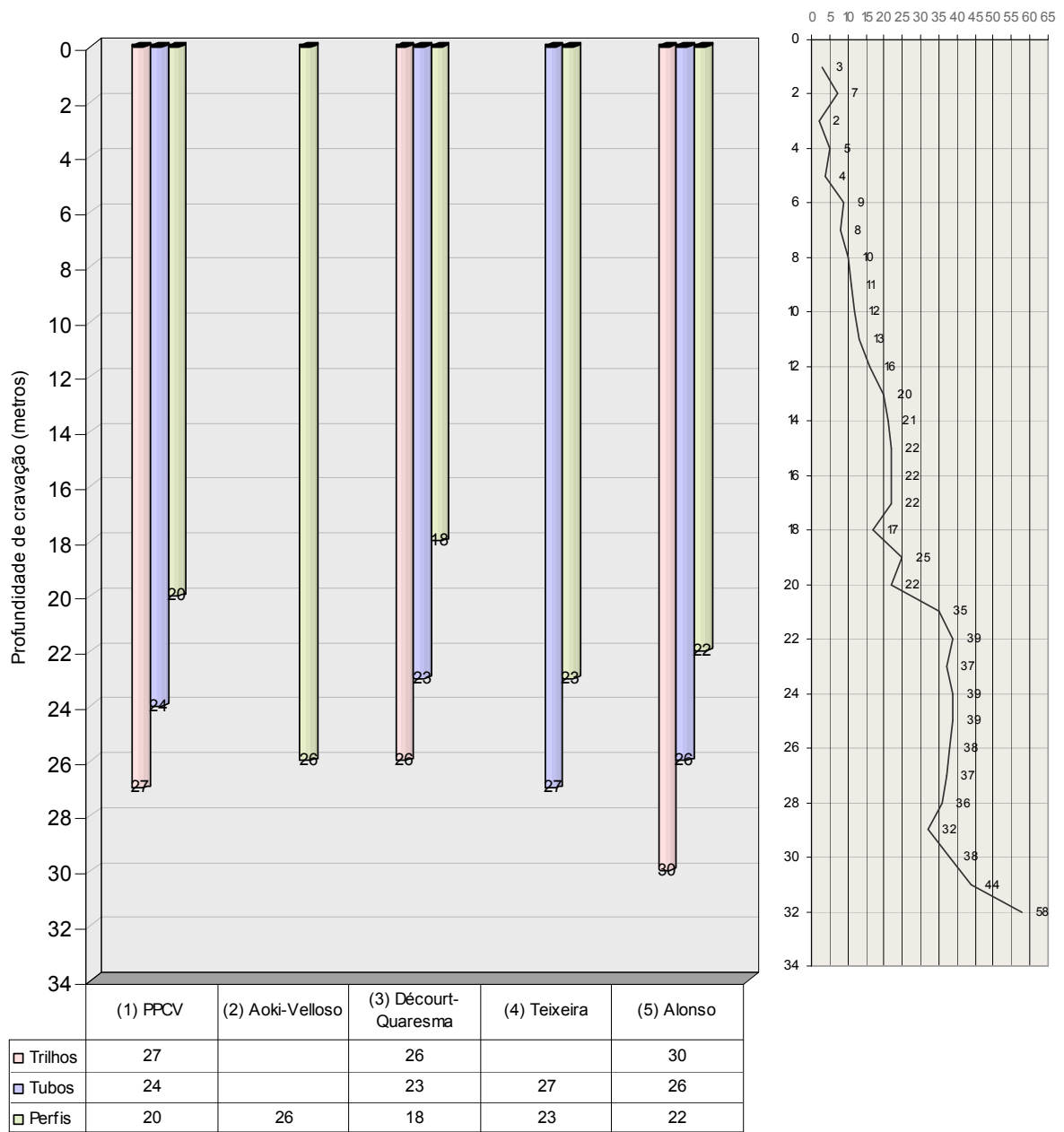


Figura 6.65: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Através da figura 6.66, sob a forma de gráfico, percebe-se que em todos os processos possíveis, o trilho foi mais profundo, enquanto que o perfil apresentou as menores profundidades em quatro processos. Conforme fora dito anteriormente, o perfil calculado pelo método (3), “Décourt-Quaresma”, apresentou 18 metros de profundidade, a menor entre todos. O trilho calculado através do método (5), “Alonso”, com 30 metros, apresentou a maior profundidade.

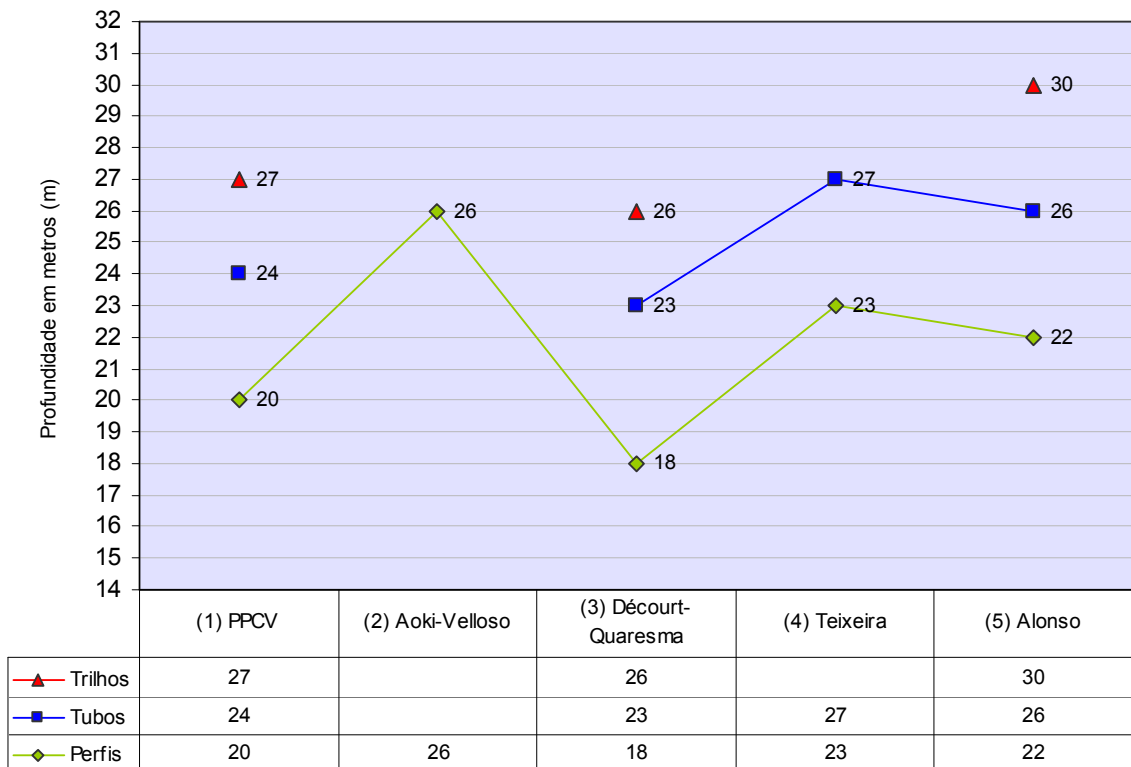
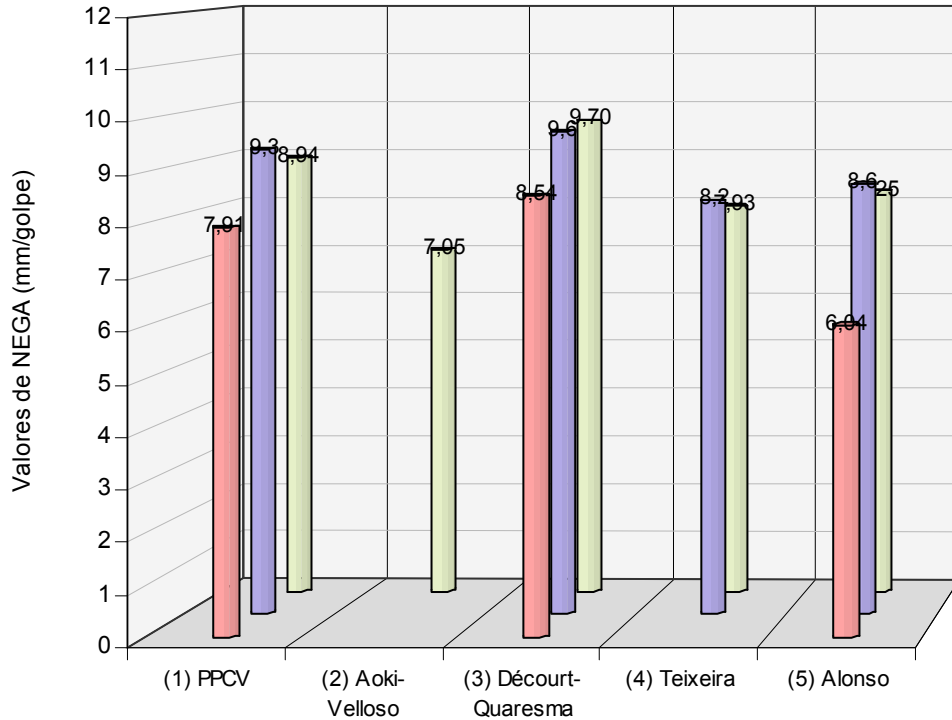


Figura 6.66: Gráfico demonstrando as profundidades obtidas para cada estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.4.2. Comparação dos resultados geotécnicos dinâmicos sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Observando o gráfico da figura 6.67, percebe-se que os valores de NEGA apresentaram grandes diferenças. O peso do martelo e a altura de queda foram mantidos em igualdades em todos os cálculos, 6 tf e 120 cm, respectivamente. Observa-se na figura 6.65, que os valores de NEGA entre os elementos estudados, apresentaram poucas distorções em relação à média. O elemento trilho se destacou com os menores valores de NEGA, isso por apresentarem maiores

profundidade. Já o tubo e o trilho, apresentaram equilíbrio em praticamente todos os processos estudados.



	(1) PPCV	(2) Aoki-Veloso	(3) Décourt-Quaresma	(4) Teixeira	(5) Alonso
■ Trilhos	7,91		8,54		6,04
■ Tubos	9,3		9,6	8,2	8,6
■ Perfis	8,94	7,05	9,70	7,93	8,25

Figura 6.67: Gráfico demonstrando os valores de NEGA sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Conforme a figura 6.68, observa-se que as tensões de cravação dos trilhos foram inferiores aos dos perfis e tubos. Estes apresentaram altas profundidades de cravação em relação aos demais elementos, mas apesar disso, o limite mínimo de escoamento também é elevado. Os tubos obtiveram valores de tensão de cravação medianos.

Em todos os processos foram utilizados martelos de 6 tf a 120 cm de altura. Neste caso, todos os cálculos partiram de dados comuns de cravação. A altura de cravação, peso do martelo e tamanho do capacete, na maioria dos casos estudados não apresentam as melhores condições de cravação, mas foram mantidos para que os processos estudados apresentassem resultados significativos para a realização de comparativos. A tensão de cravação para os tubos e perfis,

por exemplo, ainda que admissível pelo elemento de aço e, ainda, mesmo por não apresentar risco à cravação, poderia ser dimensionado com menor intenção. O sentido deste trabalho é realizar comparativos a partir de números significativos a respeito da cravação de fundações metálicas e estes reforçam a importância dos estudos relacionados à resistência dos materiais em casos como este.

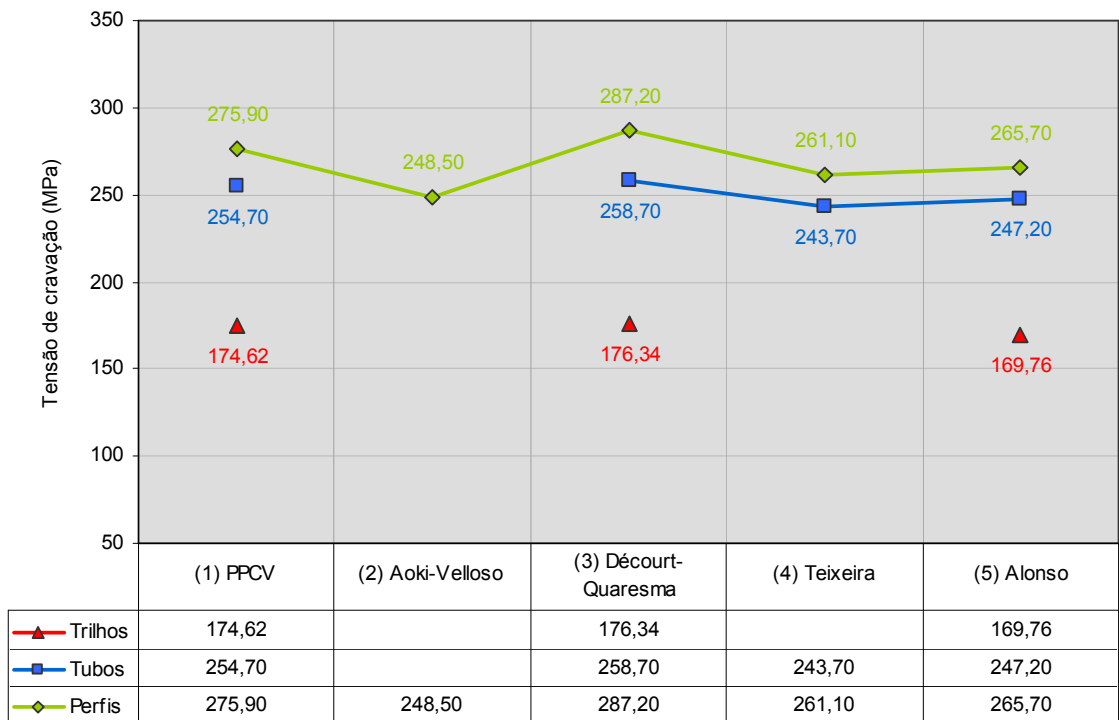


Figura 6.68: Gráfico demonstrando os valores das tensões de cravações das estacas sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

6.6.4.3 Comparativo de custos entre os diferentes métodos e elementos sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

Através da ilustração da figura 6.69, observa-se que o perfil “W360 x 44”, dimensionado através do método “Décourt-Quaresma”, apresentou o menor valor de custo e profundidade de cravação entre todos os elementos estudados. Já o tubo “219,1 x 7,9” apresentou os valores mais elevados em relação aos demais.

Os trilhos, apesar de não serem fabricados pra tal finalidade, mostraram que podem competir com os demais elementos de fundações metálicas.

Conforme a figura 6.69, o perfil “W360 x 44” estudado no processo (3), “Décourt-Quaresma”, apresentou a melhor opção de custo para a fundação estudada.

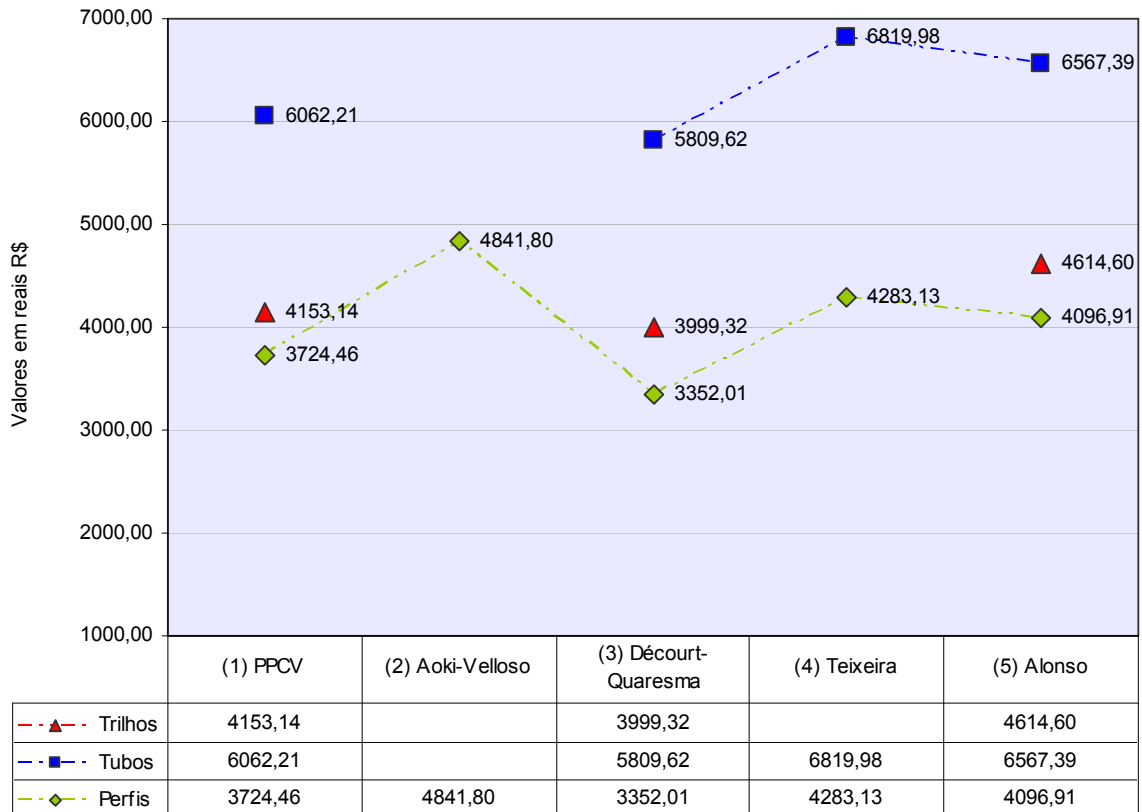


Figura 6.69: Gráfico demonstrando os valores de custo por estaca sob a carga de 75 tf no solo tipo argiloso

7. ANÁLISE COMPARATIVA GLOBAL

7.1. Resultados comparativos de profundidades obtidos para a carga de 25 tf nos solos arenoso e argiloso

A profundidade de uma fundação é um dos indicadores de custos, entretanto, quando a comparação é promovida para um mesmo elemento estrutural. Neste item serão apresentados os resultados referentes às profundidades necessárias de cada elemento para suportar a carga de compressão simples de 25 tf.

Conforme a figura 7.1, observa-se que os métodos estudados apresentaram variações de profundidades significativas para um mesmo elemento estrutural de fundação. O trilho ferroviário, calculado através do método “Aoki-Velloso” sob solo tipo argiloso, apresentou profundidade de 26 metros. Comparando-se o trilho aos resultados do perfil metálico sob solo tipo arenoso, através dos métodos “Décourt-Quaresma” e “P.P.C.Velloso” (que apresentaram 13 metros de profundidade) observou-se uma diferença de 100%.

As diferenças de profundidades podem representar menores custos se calculado através de métodos diferentes para um mesmo elemento de fundação. No exemplo demonstrado pela figura 7.1, observa-se que o método “Aoki-Velloso” apresentou profundidades mais elevadas quando utilizado o tipo de solo arenoso. Através dos resultados obtidos pelo método “Décourt-Quaresma”, observa-se menores diferenças entre as profundidades das estacas calculadas para elementos e tipos de solos diferentes.

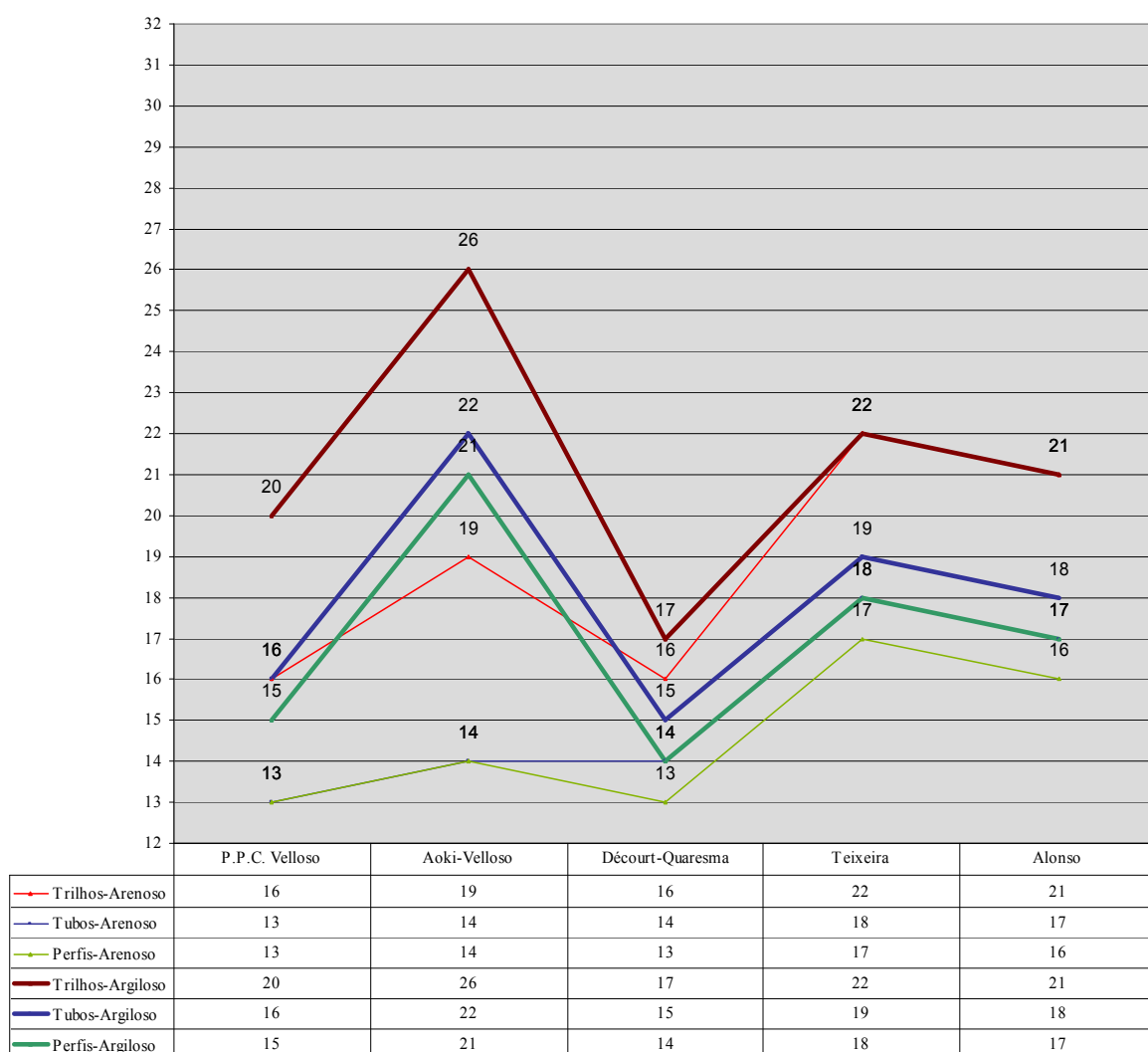


Figura 7.1: Gráfico demonstrando as profundidades das estacas para 25 tf

7.2. Resultados de custos obtidos para a carga de 25 tf nos solos arenoso e argiloso

Os custos unitários (por estaca) dos elementos estudados para 25 tf, tanto para o perfil geológico tipo arenoso quanto argiloso, são apresentados na figura 7.2. O perfil metálico dimensionado através do solo tipo arenoso apresentou os menores valores de custo em todos os processos. Mesmo calculado para o solo tipo argiloso, o perfil metálico apresentou os menores valores de custo em quatro situações de cálculos.

Segundo os resultados apresentados na figura 7.2, os métodos “P.P.C.Velloso” e “Décourt-Quaresma” apresentaram os menores valores de custo unitário (por estaca) para ambos os tipos de solos e para a maioria dos elementos calculados.

O elemento de fundação, tubo metálico, apresentou na maioria dos casos estudados, os maiores valores de custos.

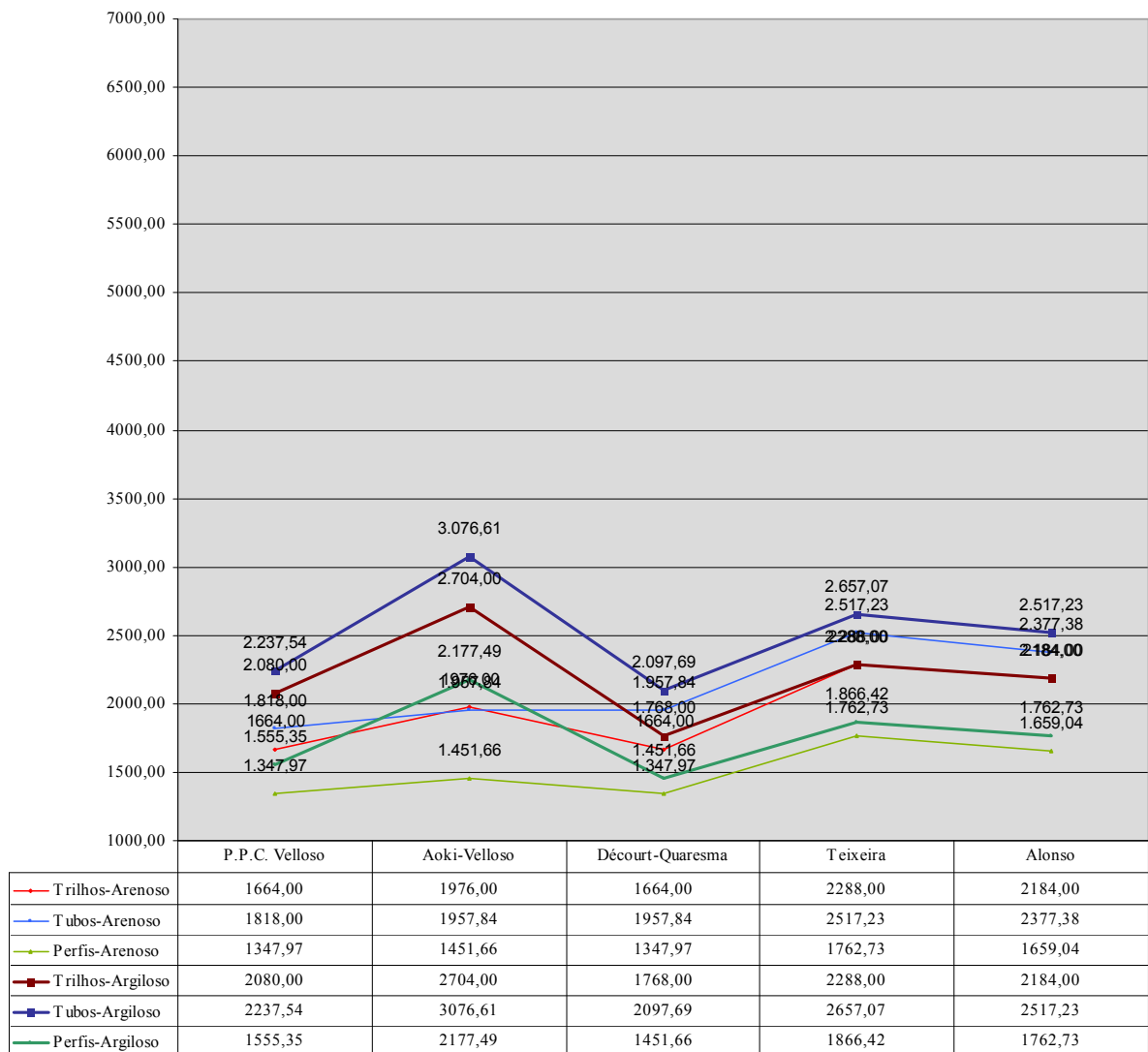


Figura 7.2: Gráfico demonstrando valores de custo das estacas para 25 tf

7.3. Resultados de profundidades obtidos para 75 tf nos solos arenoso e argiloso

Em ambos os dimensionamentos, tanto para o solo tipo arenoso quanto argiloso, o perfil metálico obteve as menores profundidades em todos os processos estudados. Isoladamente, o perfil calculado através do método de “Pedro Paulo Costa Velloso”, demonstrou a situação de menor profundidade entre todos os elementos e métodos.

Conforme figura 7.2, observa-se que os métodos estudados apresentaram variações de profundidades significativas para um mesmo elemento estrutural. O trilho ferroviário calculado através do método “Teixeira” sob solo tipo arenoso, com 31 metros de profundidade, apresentou diferença de 93,7% em relação ao perfil metálico, calculado também sob solo tipo arenoso e através do método “P.P.C.Velloso”, com 16 metros de profundidade.

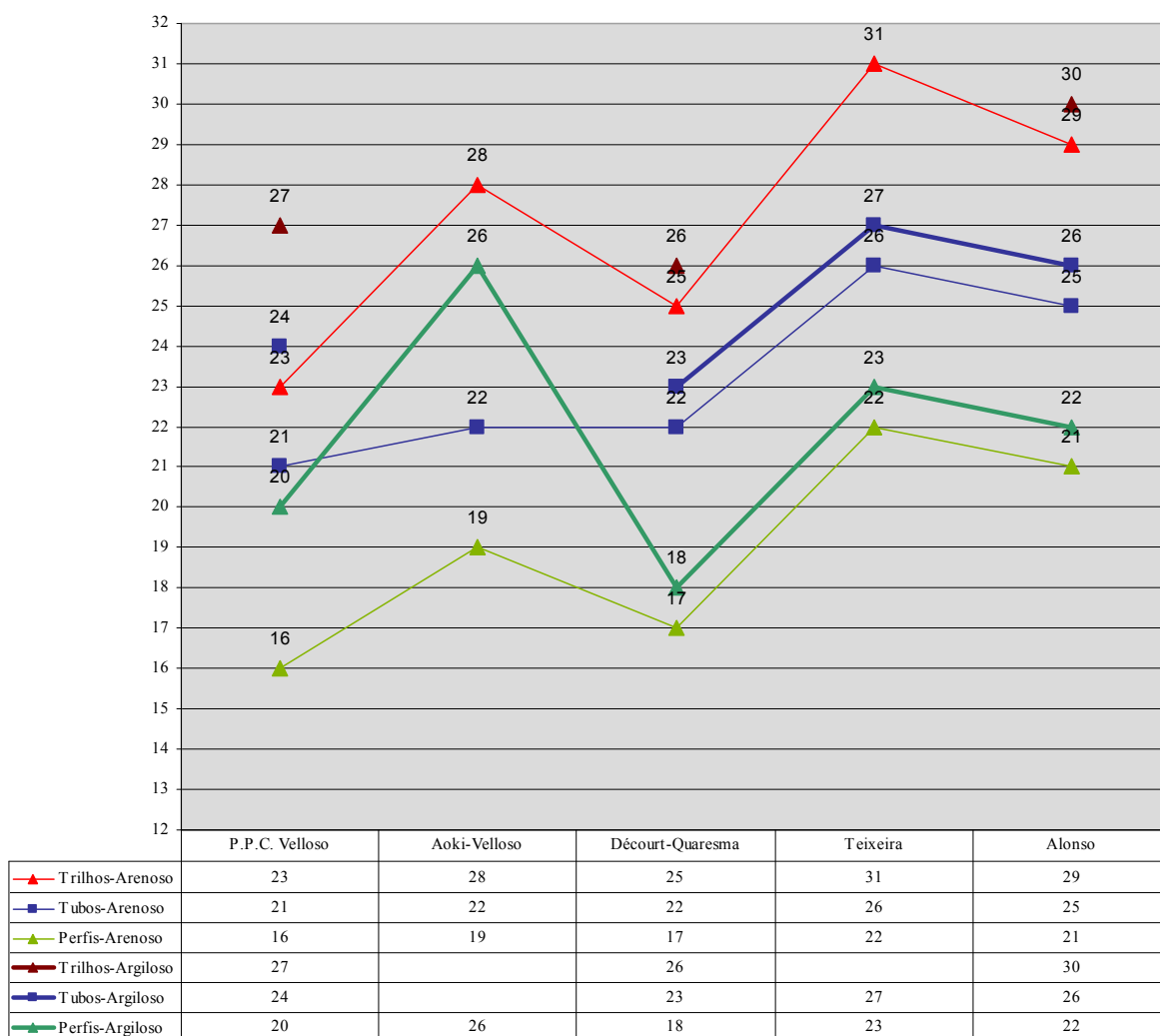


Figura 7.3: Gráfico demonstrando as profundidades das estacas para 75 tf

7.4. Resultados de custos obtidos para 75 tf nos solos arenoso e argiloso

Os custos unitários dos elementos estudados para 75 tf, tanto para os solos tipo arenoso quanto argiloso, são apresentados na figura 7.3.

O perfil metálico, além de apresentar os menores valores entre todos os métodos calculados para o solo tipo arenoso, também demonstrou ser o de menor custo através do método “P.P.C.Velloso”.

O tubo metálico apresentou os maiores valores orçamentário entre todos os elementos estudados e em todos os métodos de cálculo. O método “Teixeira” calculado para o tubo metálico, tanto para o solo tipo arenoso quanto argiloso, apresentou os maiores valores.

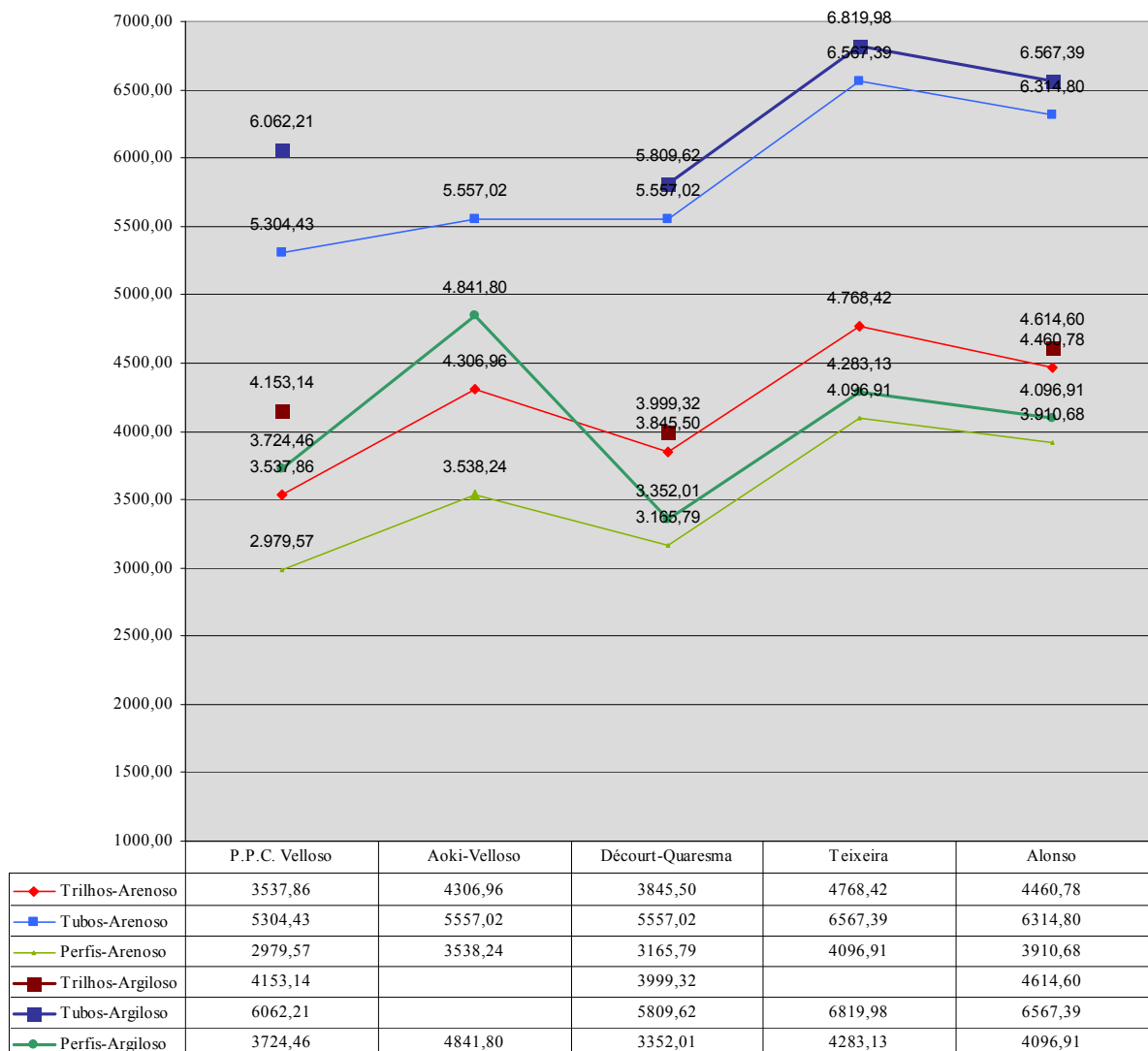


Figura 7.4: Gráfico demonstrando valores de custo das estacas para 75 tf

7.5. Resultados de custos para 100 unidades de estacas

Neste trabalho foram utilizadas algumas considerações para ilustrar com maior realidade uma suposta fundação.

Considerou-se arbitrariamente a utilização de 100 unidades de estacas (50 para 25tf e 50 para 75tf) para uma aproximação com maior intensidade de uma situação real de fundação. Assim, pôde-se melhor compreender como as variações de valores influenciam no custo final da fundação.

Para se evitar perdas de materiais (pontas de estacas) durante a execução, é importante que a fundação esteja projetada prevendo o mínimo de variação de seções dos elementos de fundação. Desta forma, consegue-se destino para as “pontas de estacas” que foram cortadas. Assim, como descrito na metodologia optou-se pela utilização de somente duas cargas distintas neste trabalho (25 e 75 tf), pretendendo extinguir ao máximo as perdas de materiais.

Na figura 7.4 foram apresentados todos os resultados dos dimensionamentos das estacas com seus respectivos valores globais. A partir dos resultados, percebe-se que o perfil metálico apresentou, através dos métodos “P.P.C.Velloso” e “Décourt-Quaresma”, os menores valores orçamentários em relação aos demais elementos estruturais.

Observa-se que as diferenças entre os resultados de maiores e menores valores apresentados, foram discrepantes. Isso demonstra que a escolha do método de dimensionamento, o tipo de elemento de fundação e o tipo de solo podem modificar significativamente os valores finais da fundação de uma obra. Essa diferença pode ser conferida entre o perfil metálico calculado pelo método “P.P.C.Velloso” (R\$ 216.376,90) no solo tipo arenoso e o tubo metálico calculado pelo método “Teixeira” (R\$ 473.85,90) no solo tipo argiloso.

Os custos das fundações calculadas para o solo tipo arenoso apresentaram-se, em média geral, 11,38% acima dos custos calculados para o solo tipo argiloso. Isso demonstra, neste caso, menores capacidades de cargas em relação ao solo tipo argiloso.

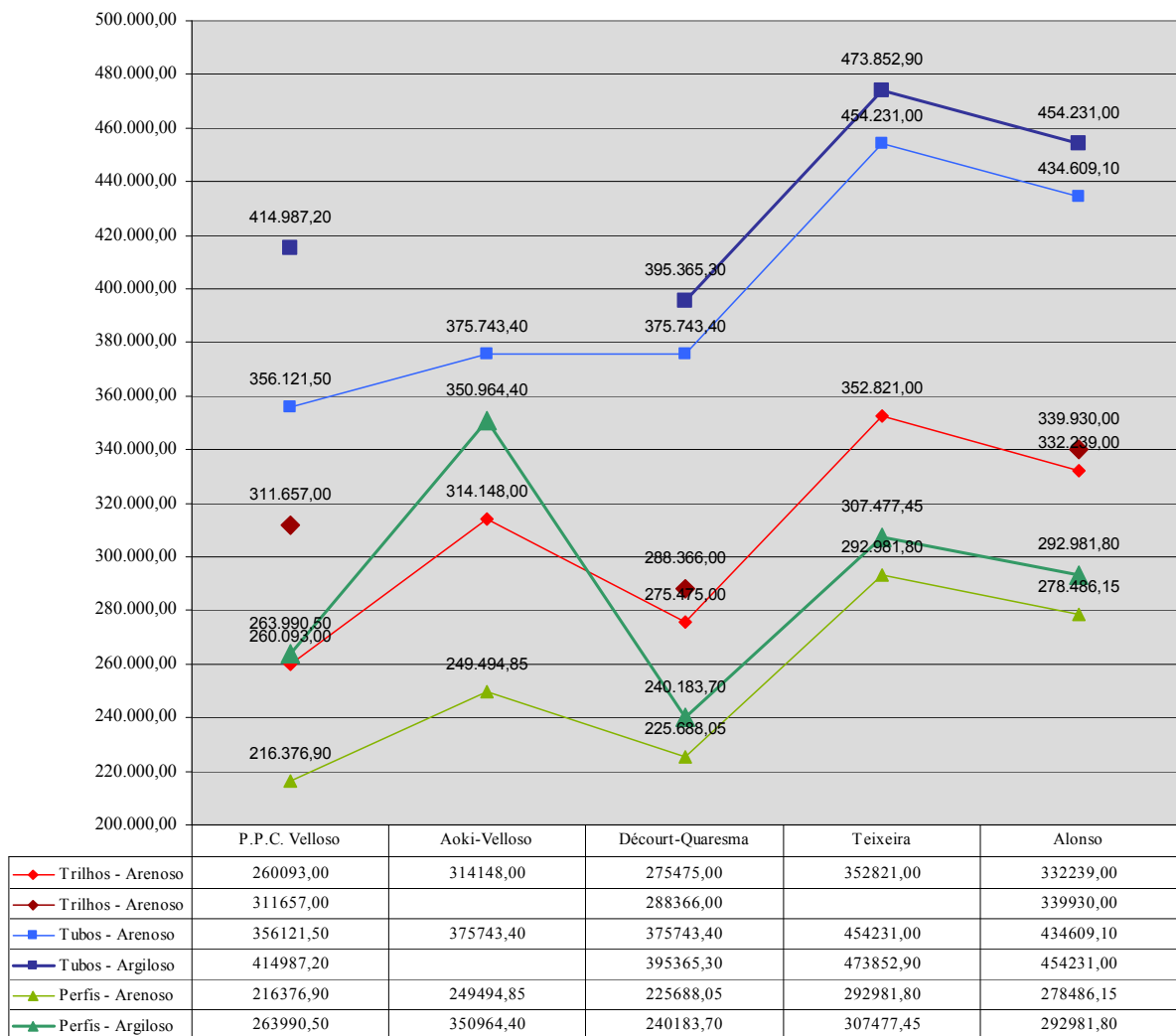


Figura 7.5: Gráfico demonstrando valores de custo das estacas para 100 unidades

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

8.1 Considerações iniciais

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas através das análises realizadas a respeito das fundações constituídas por diferentes elementos em aço (trilhos, tubos e perfis). Para estes cálculos foram utilizados cinco processos de dimensionamento semi-empíricos estáticos e um processo semi-empírico dinâmico.

No dimensionamento das fundações foram utilizados trilhos do tipo TR32 e TR57, tubos “W 200 x 19,3” e “219,1 x 7,9” e perfis “W 200 x 19,3” e “W360 x 44”. As cargas de 25 e 75 tf utilizadas, escolhidas por serem valores múltiplos e de fácil combinação, proporcionam condições favoráveis para menores perdas de material. Os elementos de fundações podem ser agrupados sob um bloco de coroamento a fim de proporcionar sustentação de um ou mais pilares e, com isso, formarem-se em grupos de estacas pré-dimensionadas para cargas já definidas.

A partir dos resultados foram analisados os comportamentos das fundações em relação aos perfis geológicos de diferentes tipos de solos. A mudança da predominância do tipo solo de arenoso para argiloso proporcionou dados significantes de mudanças nas profundidades das fundações e conseqüentemente nos seus custos.

Foram realizados estudos e discussões sobre a tensão de cravação, visando assim uma melhor avaliação das resistências dos materiais utilizados. Este raciocínio descreve a importância que a tensão máxima de cravação em fundações metálicas esteja prevista em projeto.

Os perfis e tubos foram dimensionados com aço ASTM 572 de grau 50 com limite de escoamento mínimo característico de 350 MPa. O aço A36 (com limite de escoamento mínimo característico de 250 MPa) não foi utilizado pelo fato de não apresentar um custo significativamente distinto daquele do ASTM 572 de grau 50.

8.2. Conclusões

A partir dos dados obtidos pode-se concluir que os resultados apresentados nas simulações, apontam o elemento “perfil metálico” como a opção de menor custo. Nesse caso, os valores obtidos nas duas situações de solos (arenoso e argiloso, de R\$ 216.376,90 e R\$ 240.183,70, respectivamente) foram os menores entre os demais elementos. Em todas as simulações, o solo tipo arenoso demonstrou maior capacidade de carga em relação ao solo tipo argiloso. Desta forma, conclui-se também que o tipo de solo pode vir a influenciar na profundidade de cravação.

Conclui-se também que o trilho possui elevada capacidade de penetração, mas devido a sua menor área de ponta e perímetro de seção, este passa a ter o custo comprometido em relação aos demais elementos (perfis e tubos) que apresentam maior diversidade de seções.

Chega-se também à conclusão que os tubos, apesar da elevada capacidade de carga, apresentaram maiores custos, ultrapassando todos os demais elementos para os dois tipos de solos estudados. Ressalta-se que os valores unitários utilizados como base de cálculo foram coletados diretamente das principais fontes de fornecimento de materiais e serviços na região metropolitana de Belo Horizonte.

Já os perfis metálicos (que apresentaram os menores custos globais para fundação) dispõem de uma diversidade elevada de geometrias e dimensões. Desta forma, obtêm-se inúmeras combinações que propiciam às fundações profundidades e capacidade de cargas desejadas com custos que viabilizam o seu uso em relação aos demais elementos de mesma origem (metálicos).

Outro fator observado é que todos os resultados obtidos para as tensões de cravação demonstraram que o aço ASTM A572 de grau 50 (com limite mínimo de escoamento de 350MPa) possui resistência suficiente para atender às exigências de cravação das estacas estudadas. Já o aço tipo ASTM A36 (com limite mínimo de escoamento de 250 MPa) não apresentou valores de custo de aquisição que justificassem o seu uso dentro dos parâmetros do presente trabalho. Os resultados da tensão de cravação dos trilhos (que são elementos

fabricados com aço de maior resistência, neste trabalho considerado como tendo limite de escoamento mínimo de 450 MPa) apresentaram resultados que viabilizam a sua utilização.

Os valores apresentados para NEGA foram satisfatórios, dentro das especificações mínimas, acima de zero. Em todas as simulações realizadas não houve problemas com resultados abaixo ou próximo de “zero”. Conclui-se, assim, que em todas as situações as estacas atingiriam suas respectivas profundidades e capacidades de cargas.

O método semi-empírico “Décourt-Quaresma”, calculado para o solo tipo argiloso, apresentou o menor custo para 100 unidades de estacas (R\$ 240.183,70). Já para o solo tipo arenoso o método “P.P.C.Velloso” apresentou o menor valor de custo para 100 unidades de estacas (R\$ 216.376,90). Ambos os resultados foram obtidos para o mesmo elemento de fundação metálica, “perfil”. Conclui-se assim que, além do tipo predominante de solo ser um fator importante na definição da profundidade da fundação, a mudança no tipo de solo contribui para a inversão dos resultados originários desses dois métodos de cálculo.

O trabalho apresentado demonstra que o dimensionamento de fundações metálicas direciona os resultados às melhores condições estruturais e, conseqüentemente, orçamentárias. Dentro desse raciocínio, o trabalho demonstrou também a importância dos cálculos das tensões máximas (tanto estáticas quanto dinâmicas) em relação à resistência do material e também ao seu uso e aplicação.

Através de diferentes informações de dados (como tipos de solo e cargas) foi possível obter resultados que demonstraram comportamentos diversos em relação ao custo global da fundação. Outro fator importante foi a divergência nos resultados entre os métodos estáticos estudados. Com isso, através destes métodos, pôde-se analisar, por exemplo, que para um determinado elemento metálico e sob condições diferentes de tipo de solo é possível determinar o melhor resultado a ser utilizado.

8.3. Sugestões para trabalhos futuros

Neste trabalho foram apresentados diferentes dimensionamentos geotécnicos para três tipos de fundações metálicas em situações de tipos de solos distintos sob cargas diferentes. Através dos resultados e com auxílio de gráficos, pôde-se realizar uma análise dos custos aproximados em que uma fundação pode oferecer. Através das análises realizadas, pôde-se apontar o elemento de fundação e o Método semi-empírico que apresentou a melhor opção de custo. Apesar dos inúmeros resultados analisados e convicções teóricas demonstrando as melhores condições de custo, é importante que a verificação dos desempenhos das fundações seja analisada. Desta forma, pode ser determinado com maior precisão o método de cálculo e o elemento de fundação metálico que melhor se aproximam dos cálculos realizados. Uma das formas de comprovação do desempenho das estacas metálicas cravadas é a aplicação da “Prova de carga estática”. A prova de carga estática consiste na aplicação de cargas sobre a estaca que através dos deslocamentos obtêm-se resultados que comprovam sua eficiência. Outra forma para se obter resultados em campo é a aplicação da prova de carga dinâmica, apropriado para fundações cravadas. A sugestão para trabalhos futuros é a realização de testes em campo de prova de carga, como os descrito acima, para a comprovação da eficiência dos elementos de fundação metálica e os métodos de cálculo semi-empíricos estáticos que melhor se aproximam dos resultados gerados por este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Projeto e execução de fundações.** NBR 6122. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Abr., 1996. 33 p.

ABNT. **Projeto e execução de estruturas de aço e estruturas mistas aço-concreto de edifícios.** NBR 8800. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, ago. 2003, 289 p.

ABNT. **Perfil tubular, de aço-carbono, formado à frio, com e sem costura, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais.** NBR 8261. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, abr. 1981

ABNT. **Tubos de aço carbono com costura de seção circular, quadrada, retangular e especiais para fins industriais.** NBR 6591. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, nov. 1983, 7 p.

ABNT. **Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – Requisitos gerais.** NBR 5884. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, set. 2005.

ABNT. **Perfis estruturais de aço soldados por alta frequência (eletrofusão) – Perfis I, H e T - Requisitos.** NBR 15279. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, dez.. 2005.

AÇOMINAS. **Estacas em perfis de aço.** Coletânea do uso do aço. Ed. Lemi S.A. vol. 4. Belo Horizonte. 1981. 83 p.

ALONSO, U. R. **Exercícios de fundações.** Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 1983. 202 p.

ALONSO, U. R. **Estimativa da transferência de carga de estacas escavadas a partir do SPT.** Revista Solos e Rochas. Vol. 6 nº 1. 1983.

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações.** Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 1991. 142 p.

ALONSO, U. R. **Estacas hélice contínua com monitoração eletrônica. Previsão da capacidade de carga através do ensaio SPTT.** SEFE III. vol 2. São Paulo, 1996.p.141-151.

ALONSO, U. R. **Estimativa de adesão em estacas a partir do atrito lateral medido com torque no ensaio SPTT**. Revista Solos e Rochas - ABMS. Vol 19. nº 1. 1996. pp. 81-84.

ALONSO, U. R. **Dimensionamento de fundações profundas**. Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 2003. 169 p.

ALONSO, U. R. **Projeto e desempenho das fundações (retrospectiva da experiência brasileira)**. SEFE V. V seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia. Vol 2 São Paulo. 2004. pp 01-34.

ALVES, A. M. L.; LOPES, F. R.; DANZIGER, B. R. **Métodos dinâmicos para previsão e controle do comportamento de estacas cravadas**. Teoria e prática na engenharia civil, n.4, pp 12-21, Abril, 2004. Disponível em: <http://200.132.213.2/jmaraujo/art2_n4.zip> Acesso em: 13 fev 2009.

AOKI, N. **Reflexões sobre a pratica de fundações no Brasil**. Palestra Associação Brasileira de Mecânica dos solos e Engenharia Geotécnica PR, SC. 2000.16 p.

AOKI, N. VELLOSO, D. A. **An approximate method to estimate the bearing capacity of piles**. In: V PCSMF, Buenos Aires,. v. 1, 1975. pp. 367-376.

AOKI, N. **Proceedings of the First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils**. ABMS, v. 4, 1985. pp. 33-38.

AOKI, N. **Controle in situ da capacidade de carga de estacas pré-fabricadas via repique elástico da cravação**. Publicação ABMS/ABEF/IESP. 1986. 48 p.

AOKI, N.; ALONSO, U. R. **Provas de carga em estacas pré-fabricadas de concreto centrifugado**. In: VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia de Fundações. Porto Alegre, v. 6, 1986. pp. 287-295.

AOKI, N. **Prediction of the behavior of vertical driven piles under static and dynamic conditions**. XII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Driveability of Piles. Rio de Janeiro, v. 2, 1989. pp. 56-61.

AOKI, N.; MELLO, V. F. B. **Dinamic loading test curves**. Fourth International Conference on Application of Stress-Wave Theory to Piles. The Hague, Barends, 1992. pp. 525-530.

AOKI, N. **Carga admissível de estacas através de ensaios dinâmicos**. SEFE II - Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, São Paulo, vol.2, 269-292.

AOKI, N. (1997). **Determinação da capacidade de carga última de estaca cravada em ensaio de carregamento dinâmico de energia crescente**. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: 1991. 110p.

AOKI, N.; MENEGOTTO, M. L.; CINTRA, J. C. A. **Probabilidade de ruína como critério para definir o coeficiente de segurança a ser usado na previsão da carga admissível de fundações por estacas**. In: XII COBRAMSEG - Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica, São Paulo, 2002. Anais, São Paulo, 2002. v.3.

AOKI, N.; NETO, C. A. **Fundações profundas na Baixada Santista**. ABMS, cap. 7, 1994 pp. 155-177.

AOKI, N.; CINTRA, J. A. **Carga admissível e carga característica de fundações por estacas**. Solos e Rochas, São Paulo, 23, (2), 2000. pp. 137-142.

AOKI, N.; CINTRA, J. A.; MENEGOTTO, M. L. **Segurança e confiabilidade de fundações profundas**. 8º Congresso Nacional de Geotecnia. A Geotecnia Portuguesa e os Desafios do Futuro. Lisboa, Portugal. v.2, 2002. pp. 797-806.

BRASIL TRILHOS. **“Comunicação privada”**. Belo Horizonte, 2009. Enviada por: Administração - Brasil Trilhos administracao@brasiltrilhos.com.br. Recebida em: mar. de 2009.

BENEGAS, H. Q.; Previsões para a curva carga-recalque de estacas a partir do SPT. COPPE-UFRJ. Mestrado (dissertação). Rio de Janeiro, 1993

BRINA, H. L. **Estradas de ferro**. 2 ed. Editora: UFMG. Belo Horizonte. 1988.

BRITISH STANDARD, BS 8004:1986. **Code of practice for foundations**. British Standard. Nov. 2002. 188p.

CARNAÚBA, M. **Blocos de coroamento - estacas metálicas (trilhos)**. Artigo. Mensagem recebida por: <marcarnauba@gmail.com> em 27 jan. 2009.

CARDOSO, R. R. **Fundações: engenharia aplicada**. Editora Nobel São Paulo. 1986. 50 p.

CASTELLO, R. R. **Bearing capacity of driven in sand**, Tese de doutorado. Texas A&M University, EUA, 1979. 139 p.

CAVASSANI, M. R. P. **Avaliação da capacidade de carga de estacas metálicas tubulares de alta resistência através de provas de carga dinâmica de energia crescente**. 2005. Mestrado (dissertação) - Universidade Federal do Espírito Santo - Centro tecnológico. 177 p. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <afonso@vmtubes.com.br> em 26 mai 2008.

CELSO GONTIJO. **Comunicação privada**. Belo Horizonte, 2009. Enviada por: Alexandre Henriques Gontijo de Paula <alexandrehg@gmail.com>. Recebida em mar. 2009.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**. 7. ed. ampl. e rev., São Paulo, Brasil. 1996. 600 p.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Tensão admissível em fundações diretas**. São Carlos: RiMa, 2003. 134 p.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Carga admissível em fundações Profundas - EESC- USP**. São Carlos. 1999.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL (CSN). **Laminados a quente**. Catálogo. Disponível

em:<http://www.csn.com.br/pls/portal/docs/PAGE/CSN_10G_CT/CSN_PRODUTOS_QUE_NTE_CT_PT/CATALOGO%20LQ.PDF> Acesso em: ago 2008.

CONSTANCIO, L. A. **Estacas metálicas** - Universidade estadual de Campinas - Faculdade de engenharia civil, arquitetura e urbanismo - Departamento de Geotecnia e Transporte. Trabalho (mestrado) - Disciplina IC 532C – Patologias e reforço de fundação. 2006. Mensagem recebida por: <clucasa99@yahoo.com.br> em 30 mai. 2008.

COSTA, F. V. **Estacas para fundações**. Publicação do Departamento de Publicações do C.A. Horácio Lane. Lisboa. 1956. 66 p.

DANZIGER, F. A. B.; **Estudo de correlações entre os ensaios de penetração estática e dinâmica e suas aplicações ao projeto de fundações profundas**. COPPE-UFRJ. Mestrado (dissertação), Rio de Janeiro, 1982.

DANZIGER, F. A. B.; **Capacidade de carga de fundações submetidas a esforços verticais de tração**. COPPE-UFRJ. Mestrado (dissertação), Rio de Janeiro, 1983.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. **Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT**. 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Rio de Janeiro, v. 1, 1978. pp. 45-53.

DÉCOURT, L. **Prediction of the bearing capacity of piles based exclusively on N values of the SPT**. Proceedings, 2nd European Symposium on Penetration Testing. Amsterdam. v1,1982. pp. 29-34.

DÉCOURT, L.; ALBIERO, J. H.; CINTRA, J. C. A. **Análise e projeto de fundações profundas**. Livro Fundações: Teoria e Prática. 2 ed. Editora PINI, São Paulo.1998. pp. 265-228.

EUROCODE 7. **Projeto geotécnico - Part 1: Regras gerais**. ENV 1997-1. 1999. 160 p.

FARAH, B. G. **Comunicação privada**. Açomar – Relacionamento comercial. Belo Horizonte, 2009. Mensagem recebida por: <bernardo@acomar.com.br > em 03 de mar. 2009.

FIGUEIREDO FERRAZ. **2ª Ponte sobre o Rio Orinoco**. Consórcio Brave. Catálogo. Disponível em: <<http://www.figueiredoferraz-eng.com.br/download/materiaisimpresos/2ponteorinoco.pdf>> Acesso em: 19 out 2008.

GERDAU AÇOMINAS. **Comunicação privada**. Orçamento. Belo Horizonte, 2009. Mensagem recebida por: Daniel Felipe Martins Passos <passos@gerdau.com.br> em 05 de mar. 2009.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis Gerdau Açominas**. Catálogo. Disposto em: <http://www.gerdau.com.br/GerdauAcominas/br/produtos/perfil/htmlperfis/pdfs/tabela_bitola_s.pdf>. Acesso em: dez 2008.

GERDAU AÇOMINAS. **Estacas metálicas Gerdau**. Coletânea do uso do aço. Catálogo. Disposto em: <http://www.gerdau.com.br/GerdauAcominas/br/produtos/pdfs/5_Fundacao.pdf> Acesso em: fev. 2009.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis Soldados - Série CS (NBR 5884)**. Catálogo. Disposto em: http://www.gerdau.com.br/GerdauAcominas/br/produtos/pdfs/Tab_referencia/Perfis_Soldados_Serie_CS_NBR5884.pdf. Acesso em: fev. 2009.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis Soldados - Série CVS (NBR 5884)**. Catálogo. Disposto em: http://www.gerdau.com.br/GerdauAcominas/br/produtos/pdfs/Tab_referencia/Perfis_Soldados_Serie_CVS_NBR5884.pdf. Acesso em: fev. 2009.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis Eletro-Soldados (NBR 15279)**. Catálogo. Disposto em: http://www.gerdau.com.br/GerdauAcominas/br/produtos/pdfs/Tab_referencia/Perfis_eletro_soldados_NBR15279.pdf. Acesso em: fev. 2009.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis Perfis H Laminados Euronorm 53-62(DIN 1025-2/3)**. Catálogo. Disposto em: http://www.gerdau.com.br/GerdauAcominas/br/produtos/pdfs/Tab_referencia/Perfis_H_Laminados_Euronorm_53_62.pdf. Acesso em: fev. 2009.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis Perfis I Laminados Euronorm 19-57 (DIN 1025-5)**. Catálogo. Disposto em: http://www.gerdau.com.br/GerdauAcominas/br/produtos/pdfs/Tab_referencia/Perfis_I_Laminados_Euronorm_19_57.pdf. Acesso em: fev. 2009.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis Gerdau Açominas: Disponibilidade, Economia e Qualidade para a Indústria Naval e Petrolífera**. Catálogo. Disposto em: http://www.prominp.com.br/objects/files/200502/453_Gerdau%20A%C3%A7ominas%2027jan2005.pdf. Acesso em: out. 2008.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis laminados aplicados como estacas metálicas**. Catálogo. Disposto em: http://www.gerdau.com.br/GerdauAcominas/br/produtos/pdfs/Folder_Fundacao.pdf. Acesso em: out. 2008.

JOPPERT JÚNIOR, I. **Fundações e contenções com perfis metálicos**. Escola de Engenharia Mackenzie. 5 p. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/128/artigo66602-1.asp>. Acesso em 19 out. 2008.

JOPPERT JÚNIOR, I. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. Editora PINI, São Paulo. 2007. 221 p.

LAPROVITERA, H. **Reavaliação do método semi-empírico de previsão de capacidade de carga de estacas a partir de banco de dados**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1988. 213p.

LEAL, V. S.; FIGUEIREDO, K. M. **Soldagem aluminotérmica**. Centro Federal de Educação tecnológica do Maranhão - departamento de mecânica e materiais. São Luís. 2006. 50 p.

LAMBE, T.W.; WHITMAN, R.V.; *Soil Mechanics*; John Wiley e Sons, Nova York, 1969. 20 p.

MACEDO, M. L. K; *et al.* **Avaliação mecânica e metalúrgica em trilho ferroviário utilizado em via contínua**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Laboratório de Metalurgia Física. Porto Alegre. 2001 pp. 519-526

MAGALHÃES, C. M. **O aço como elemento estrutural de fundação**. Universidade Federal de Minas Gerais – seminário (mestrado). 2008. Disciplina: Materiais metálicos para construção civil. 2008.

MAIA, C. M. M.; *et al.* **Execução de fundações profundas**. Livro Fundações: Teoria e Prática. 2. ed. Editora PINI, São Paulo. 1998. pp. 329-408.

MEYERHOF, G. G.; **The ultimate bearing capacity of foundations**. *Geotechnique*, vol 2. 1951. pp. 301-332.

MEYERHOF, G. G.; **Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils**. *JSMFD, ASCE*, vol 82, SM1. 1956. pp. 866-1.

MEYERHOF, G. G.; **Bearing capacity and settlement of pile foundations**. (Terzaghi lecture), *JGED, ASCE*, vol 102, SM1. 1976. pp. 197-228.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. Ed. Oficina de Textos. São Paulo 2005. 207 p.

MONTEIRO, P. F.; **Capacidade de carga de estacas – Método Aoki-Velloso**. Estacas Franki – Relatório, 1997.

MORAES, M. C. **Estruturas de fundações**. 3. ed. Editora McGraw-Hill do Brasil. São Paulo. 1976. 172p.

NIYAMA, S.; AOKI, N.; CHAMEKI, P. R. **Verificação de desempenho**. Livro Fundações: Teoria e Prática. 2. ed. Editora PINI, São Paulo. 1998. pp. 723-751.

NIENOV, F. A. **Comportamento à compressão de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solo sedimentar na região de Santa Maria**. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. Dissertação de mestrado. Santa Maria 2006. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/diss/diss_fabiano_alexandre.pdf?PHPSESSID=03f4ade7ab3efb0126639b5d4bd1966a>. Acesso em: set. 2008.

OLIVEIRA FILHO, U. M. **Fundações profundas: estudos**. 3. ed. rer. e ampl. Editora D.C. Luzzatto. Porto Alegre. 1988. 283p.

PEDRO, P. **Estacas cravadas**. Tecnologia da construção de edifícios – Trabalho acadêmico (licenciatura) 2007. Licenciatura em Engenharia civil - DECIVIL. Lisboa. 2007. 48 p.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço: Dimensionamento prático**. Livros técnicos e Científicos Editora S.A. 7.ed. Rio de Janeiro. 2000. 336 p.

QUARESMA, A. R.; *et al.* **Investigações geotécnicas**. Livro Fundações: Teoria e Prática. Editora PINI. 2. ed. São Paulo. 1998. pp. 119-162.

RODRIGUES, J. M. A. **Fundações profundas**. (Programa de apoio acadêmico) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de engenharia. 2008. 133 p.

SILVEIRA, J. E. S. **Fundações em estacas: Aspectos executivos - dimensionamento geotécnico**. Curso de fundações (apostila) – 1999A.

SILVEIRA, J. E. S. **Investigações geotécnicas do subsolo para fundações**. Curso de estruturas de fundação – Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia – Departamento de engenharia de estruturas. (apostila) (curso de extensão) – 1999B.

SILVEIRA, J. E. S. **Dimensionamento geotécnico de fundação: conceitos básicos fundações diretas**. 1º parte - Curso de estruturas de fundação – Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia – Departamento de engenharia de estruturas. (apostila) (curso de extensão) – 1999C.

SILVEIRA, J. E. S. **Dimensionamento geotécnico de fundação: fundações profundas**. 2º parte - Curso de estruturas de fundação – Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia – Departamento de engenharia de estruturas. (apostila) (curso de extensão) – 1999C.

SIMONS, N. E.; MENZIES, B. K. **Introdução à engenharia de Fundações**. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 1981. 199 p.

SOLOCON. **Comunicação privada**. Belo Horizonte, 2009. Enviada por: Thales <thales@solocon.com.br>. Recebida em nov. 2009.

SPECHT, L. P. **Estacas**. Departamento de tecnologia - Curso de Engenharia civil -Disciplina Fundações. 2006. 25 p. Disponível em: <<http://www2.unijui.tche.br/~specht/fund/aula9.pdf>> Acesso em: 03 dez 2008

TEIXEIRA, A. H. **Projeto e execução de fundações**. SEFE III. III Seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia. v.1 São Paulo. 1996. pp. 33-50.

TSCHEBOTARIOFF, G. P. **Fundações, estruturas de arrimo e obras de terra - A arte de projetar e construir e suas bases científicas na mecânica dos solos**. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 1978. 511 p.

VALLOUREC & MANNESMANN TUBES. **Tubos estruturais. Seção circular, quadrada e retangular**. Catálogo. Disponível em: <[http://www.vmtubes.com.br/vmbInternet/filesmng.nsf/EDD4D048ED1DEFEC032572A60051972C/\\$File/Cat%E1logo%20de%20Tubos%20Estruturais%20VMB%202007.pdf](http://www.vmtubes.com.br/vmbInternet/filesmng.nsf/EDD4D048ED1DEFEC032572A60051972C/$File/Cat%E1logo%20de%20Tubos%20Estruturais%20VMB%202007.pdf)> Acesso em set. 2008.

VALLOUREC & MANNESMANN. **Dimensões e propriedades geométricas de tubos estruturais**. Catálogo. Disponível em: <[http://www.vmtubes.com.br/vmbInternet/filesmng.nsf/VMB/catalogos/Circular.pdf/\\$File/Circular.pdf](http://www.vmtubes.com.br/vmbInternet/filesmng.nsf/VMB/catalogos/Circular.pdf/$File/Circular.pdf)> Acesso em: 20/09/2008

VALLOUREC & MANNESMANN. **Comunicação privada**. Orçamento. Vallourec & Mannesmann Tubes - V & M do BRASIL S.A. Gerencia de Vendas e Marketing de Tubos Estruturais – PET. Belo Horizonte, 2009. Mensagem recebida por: <estrutural@vmtubes.com.br> em 26 de fev. 2009.

VARGAS, M. **História da engenharia de fundações no Brasil**. Livro Fundações: Teoria e Prática. Ed. PINI. 2. ed. São Paulo. 1998. pp. 34-48

VELLOSO, D. A.; SANTA MARIA, P. E. L.; LOPES, F. R. **Investigações geotécnicas**. Livro Fundações: Teoria e Prática. Editora PINI. 2. ed. São Paulo. 1998. pp. 163-196.

VELLOSO, D. A.; ALONSO, U. R. **Previsão, controle e desempenho de fundações. Previsão de desempenho x comportamento real**. Publicação ABMS. São Paulo. 2000. pp. 95-139.

VELLOSO, D. A. **Capacidade de carga por meio do SPT**. SEFE II. Seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia. vol 2. São Paulo 1991. pp. 293-3120.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações profundas**. Publicação da COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro. v.2, 2002. 472 p.

VELLOSO, P. P. C. **Fundações – aspectos geotécnicos**. PUC/DEC. 5 ed. v. 3. Rio de Janeiro. 1987

WOLLE, C. M.; HACHICH, V. F. **Requisitos da qualidade das fundações**. Livro Fundações: Teoria e Prática. 2. ed. Editora PINI, São Paulo. 1998. pp. 693-721.
CAPÍTULO 8

ZATTONI, C. C. **Perfis metálicos e laminados planos**. FATEC-SP faculdade de tecnologia de São Paulo. Departamento de hidráulica e saneamento. Maio 2008. Disponível em:<http://www1.fatecsp.br/celio/081/perfis_metalicos.pdf> Acesso em out 2008.

BIBLIOGRAFIA

ALCANTARA JÚNIOR, A. P.; et al. **Comparação entre resultados de provas de cargas e previsões com métodos empíricos e teóricos**. SEFE V. V seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia. Vol 2 São Paulo. 2004. pp 37-47.

ALBUQUERQUE E CARVALHO (1998). **Previsão da capacidade de carga de estaca pré-moldada através de prova de carga dinâmica e controle pelo repique**. 11º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – XI COBRAMSEG. v.3, pp. 1345-1349.

AVELINO, J. D. **Análise de desempenho de estacas de fundação em um terreno com presença de solos moles**. 2006. dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 119 p. Disponível em: <http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/geotecnia/2006/Teses/AVELINO_JD_06_t_M_geo.pdf>. Acesso em: 13 fev 2009.

AVIZ, L. B. M. **Estimativa da capacidade de carga de estacas por métodos semi-empíricos e teóricos**. Dissertação (mestrado). PUC -Rio - Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 2006. 133p

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Livros técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro. 1988. v 2. 498 p.

CHELLIS, R. R. D. **Pile Foundations: H piles and other Metal piles**. New York: McGraw – Hill Book Co. I. 2. ed., 1961. 104 p.

CLOUGH, R. W.; PENZIEN, J. **Dynamics of Structures**. USA, McGraw-Hill. 1975. 629 p.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução All Tasks: Revisão técnica Pérsio Leister de Almeida Barros. 6. ed. Americana. São Paulo: Thompson Learning, 2007. 561 p.

FALVONI, F.; PEREZ JR, W. **Prova de carga estática instrumentada em estaca metálica de seção decrescente com a profundidade - análise de desempenho e critérios de dimensionamento**. 4º Seminário de engenharia geotécnica do Rio Grande do Sul. 2007

FRANCISCO, G. M.; *et al.* **Uma avaliação de métodos de previsão da capacidade de**

carga de estacas hélice contínua. SEFE V. V seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia. Vol 2 São Paulo. 2004. pp 194-204.

GOMES, R. C.; LOPES, F. D. R. **Uma avaliação de métodos de controle de cravação de estacas.** VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Out. v.6, 1986. pp. 23-34.

GONÇALVES, C.; ANDREO, C. S.; FORTUNATO, S. G. S.; BERNARDES, G. P. **Controle de fundações profundas através de métodos dinâmicos.** 2000. 252 p.

GHILARDI, M. P. "**Comparação entre desempenhos de estacas metálicas tubadas de ponta aberta e fechada na baixada santista**". 2005. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-08112005-093633/>> Acesso em: 14 nov 2008.

JORDÃO, D. R. **Estabilidade global de Edifícios sobre fundações profundas, considerando a interação estrutura - solo.** Universidade de São Paulo. Dissertação (mestrado). São Carlos. 2003.

LOBO, B.O.; ODEBRECHT, E.; ROCHA, M.M.; SCHNAID, F. **Previsão de Capacidade de Carga de estacas através dos conceitos de energia no SPT.** V Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul. Porto Alegre. 2006. pp. 211-216.

NAMEN, F. **Elaboração de teses e dissertações.** Editora Rubio. Rio de Janeiro. 2006. 75 p.

NIYAMA, S.; AOKI, N.; CHAMECKI, P. R. **Verificação do desempenho.** Livro Fundações: teoria e prática. 2. ed. Editora PINI, São Paulo.1998 pp. 723-751.

PALMA, G. **Estruturas metálicas** - faculdade Assis Gurgacz. Cascavel. fev. 2007. 38 p.

PIANCASTELLI, E. M. **Estruturas de fundação.** - Curso de estruturas de fundação – Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia – Departamento de engenharia de estruturas. (apostila) (curso de extensão) - 2002.

PINTO, C. S. **Propriedades dos solos.** Livro Fundações: Teoria e Prática. Editora PINI. 2. ed. São Paulo. 1998. pp. 51-118.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. Editora Zigurate, São Paulo. 2008. 240 p.

SANTOS FILHO, W. M.; NETO, S. F. S. **Comparação entre os resultados de previsão de capacidade de carga, estáticos e semi-empíricos e dinâmicos, através do controle de cravação de estacas**. SEFE V. V seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia. Vol 2 São Paulo. 2004. pp 551-558.

SKYLINESTEEL. **Steel H-Piles**. Catálogo. Disponível em: <<http://www.skylinesteel.com/login.aspx?ReturnUrl=%2fassets%2fWhitePapers%2flocked%2fASCEstructuralDesignWP.pdf>>. Acesso em: dez. 2008.

TEIXEIRA, C.Z.; ALBIERO, J. H. **Evolução da reação de ponta de estacas escavadas submetidas a sucessivas provas de carga**. COBRAMSEF. ABMS. 1994, Foz do Iguaçu. 1994. v. 1, pp. 3-9.

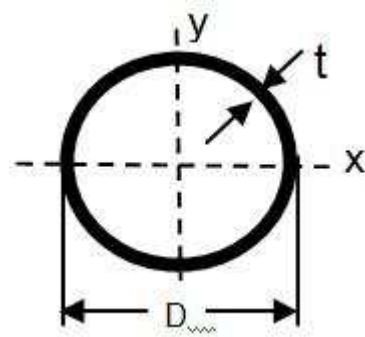
TERZAGHI, K. **Theoretical Soil Mechanics**. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1943. pp. 137-143.

VELLOSO, D.; LOPES, F. R. **Concepção de obras de fundações**. Livro Fundações: Teoria e Prática. Editora PINI. 2. ed. São Paulo. 1998. pp. 211-226.

YAMAMOTO, W.; NETO, L. O. **Automatização do dimensionamento de elementos estruturais de aço segundo a norma brasileira NBR 8800/1986**. pp 21-27. Disponível em <http://www.abcem.com.br/downloads/artigo_ed69.pdf> Acesso em: 22 ago 2008.

ANEXO 1:

Tubos estruturais – tipo circular



Fonte: VALLOUREC & MANNESMANN

ANEXO 1: Tubos circulares
Dimensões geométricas de tubos estruturais

Diâmetro Externo	Espes. da Parede	Massa por Unidade Compr.	Área da Seção Transv. Aço	Momento Inércia	Raio de Giração	Módulo Elástico Resist. à Flexão	Módulo Plástico Resist. à Flexão	Const. Torção	Módulo Resist. Torção	Área de pintura
D	t	P	A	I	r	W	Z	I _T	W t	U
(mm)	(mm)	(kg/m)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(m ² /m)
26,7	2,9	1,69	2,15	1,55	0,849	1,16	1,64	3,09	2,32	0,084
	3,9	2,20	2,80	1,87	0,818	1,40	2,05	3,74	2,80	
33,4	3,4	2,50	3,19	3,64	1,07	2,18	3,06	7,27	4,36	0,105
	4,6	3,24	4,12	4,40	1,03	2,63	3,82	8,79	5,27	
33,4	6,4	4,24	5,40	5,21	0,98	3,12	4,73	10,4	6,24	0,105
38,1	3,0	2,60	3,31	5,13	1,25	2,69	3,71	10,3	5,39	0,120
	5,0	4,08	5,20	7,28	1,18	3,82	5,52	14,6	7,65	
42,2	3,6	3,39	4,32	8,13	1,37	3,85	5,33	16,3	7,71	0,133
	4,9	4,47	5,69	10,1	1,33	4,78	6,80	20,2	9,56	
42,2	6,4	5,61	7,15	11,8	1,29	5,62	8,25	23,7	11,2	0,133
	9,7	7,77	9,90	14,2	1,20	6,75	10,5	28,5	13,5	

48,3	3,7 5,1	4,05 5,41	5,16 6,90	12,9 16,3	1,58 1,54	5,35 6,76	7,34 9,53	25,9 32,7	10,7 13,5	0,152
48,3	7,1 10,2	7,25 9,55	9,23 12,2	20,1 23,7	1,48 1,40	8,34 9,81	12,2 15,1	40,3 47,4	16,7 19,6	0,152
	3,6	5,01	6,38	25,8	2,01	8,54	11,5	51,5	17,1	
60,3	3,9	5,44	6,93	27,7	2,00	9,18	12,5	55,3	18,4	
60,3	4,4 4,8	6,03 6,54	7,68 8,34	30,2 32,4	1,98 1,97	10,0 10,7	13,7 14,8	60,4 64,7	20,0 21,5	
	5,5	7,48	9,53	36,1	1,95	12,0	16,7	72,2	23,9	
	6,4 7,1 8,7 11,1	8,45 9,36 11,1 13,4	10,8 11,9 14,2 17,1	39,7 42,9 48,4 54,5	1,92 1,90 1,85 1,78	13,2 14,2 16,1 18,1	18,6 20,3 23,5 27,3	79,4 85,8 96,8 109	26,3 28,4 32,1 36,1	0,189
73,0	4,0 4,4 4,8	6,74 7,40 8,04	8,59 9,42 10,2	51,3 55,7 59,9	2,44 2,43 2,42	14,1 15,3 16,4	18,9 20,6 22,3	103 111 120	28,1 30,5 32,8	0,229
	5,2	8,63	11,0	63,6	2,41	17,4	23,8	127	34,9	
	5,5 6,4	9,14 10,4	11,6 13,3	66,8 74,5	2,39 2,37	18,3 20,4	25,1 28,3	134 149	36,6 40,8	
	7,0	11,4	14,5	80,0	2,35	21,9	30,6	160	43,8	

	9,5 14,0	14,9 20,4	19,0 26,0	97,8 119	2,27 2,14	26,8 32,7	38,7 49,7	196 239	53,6 65,4	
88,9	4,4 4,8	9,11 9,92	11,6 12,6	104 112	2,99 2,98	23,4 25,2	31,3 33,9	208 224	46,8 50,4	
	5,5	11,3	14,4	126	2,96	28,3	38,3	251	56,5	
	6,4 7,1	12,9 14,4	16,5 18,3	141 154	2,93 2,90	31,7 34,7	43,4 47,9	282 309	63,5 69,5	
	7,6	15,3	19,5	162	2,89	36,5	50,5	324	72,9	
	11,1 15,2	21,3 27,7	27,2 35,3	210 249	2,78 2,66	47,2 56,1	67,8 83,9	420 499	94,4 112	0,279
101,6	4,0 4,4 4,8	9,54 10,5 11,4	12,1 13,3 14,5	145 158 171	3,45 3,44 3,43	28,5 31,1 33,6	37,8 41,3 44,8	290 316 342	57,1 62,2 67,2	0,319
	5,7	13,6	17,3	199	3,40	39,2	52,8	399	78,5	
	6,4 7,1	14,9 16,6	19,0 21,2	216 238	3,38 3,35	42,6 46,8	57,7 63,8	433 475	85,2 93,6	0,319
	8,1	18,6	23,7	261	3,32	51,5	70,8	523	103	

ANEXO 1: Tubos circulares
Dimensões geométricas de tubos estruturais

Diâmetro Externo	Espes. da Parede	Massa por Unidade Compr.	Área da Seção Transv. Aço	Momento Inércia	Raio de Giração	Módulo Elástico Resist. à Flexão	Módulo Plástico Resist. à Flexão	Const. Torção	Módulo Resist. Torção	Área de pintura
D	t	P	A	I	r	W	Z	I t	W t	U
(mm)	(mm)	(kg/m)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(m ² / m)
114,3	4,0	10,8	13,7	209	3,90	36,6	48,2	418	73,2	0,359
	4,4	11,8	15,1	228	3,89	40,0	52,8	457	79,9	
	4,8	12,9	16,4	247	3,88	43,2	57,4	494	86,5	
	5,2	13,9	17,7	264	3,86	46,2	61,5	528	92,4	
	5,6	14,9	19,0	281	3,85	49,3	65,8	563	98,5	
	6,0	16,1	20,5	301	3,83	52,7	70,7	602	105	
	6,4	16,9	21,5	315	3,82	55,1	74,1	630	110	
	7,1	18,9	24,0	347	3,80	60,6	82,1	693	121	
	7,9	20,8	26,5	377	3,77	65,9	89,8	753	132	
	8,6	22,3	28,4	400	3,75	70,0	95,9	800	140	

	11,1 13,5 17,1	28,3 33,5 41,0	36,1 42,7 52,3	486 552 636	3,67 3,60 3,49	85,0 96,7 111	119 138 163	971 1.100 1.270	170 193 223	
141,3	5,6	18,6	23,7	547	4,80	77,4	103	1.090	155	0,444
	6,6	21,8	27,7	631	4,77	89,3	119	1.260	179	
	7,1 7,9 8,7	23,6 26,1 28,6	30,1 33,2 36,4	679 741 803	4,75 4,72 4,70	96,1 105 114	129 141 154	1.360 1.480 1.610	192 210 227	
	9,5	31,0	39,5	861	4,67	122	166	1.720	244	
	12,7 15,9 19,1	40,3 49,1 57,4	51,3 62,6 73,2	1.070 1.250 1.400	4,57 4,47 4,37	152 177 198	211 251 287	2.140 2.500 2.800	303 354 396	
	168,3	4,8 5,2 5,6 6,4	19,3 20,8 22,3 25,4	24,6 26,4 28,4 32,3	821 881 942 1.060	5,78 5,77 5,76 5,73	97,6 105 112 126	128 137 147 167	1.640 1.760 1.880 2.120	
7,1		28,3	36,0	1.170	5,70	139	185	2.340	278	
7,9 8,7 9,5		31,3 34,4 37,3	39,9 43,8 47,5	1.290 1.400 1.500	5,68 5,65 5,62	153 166 179	204 223 241	2.570 2.800 3.010	306 332 357	

	11,0	42,6	54,2	1.690	5,58	200	272	3.370	401	
	12,7	48,7	62,1	1.890	5,52	225	308	3.780	450	
	14,3	54,2	69,1	2.070	5,47	245	340	4.130	491	
	15,9	59,7	76,0	2.230	5,42	265	370	4.460	531	
	18,3	67,6	86,1	2.460	5,34	292	413	4.920	584	
	19,1	70,1	89,3	2.530	5,32	300	427	5.060	601	
	22,0	79,2	101	2.760	5,23	328	474	5.530	657	
	22,2	80,1	102	2.780	5,22	331	478	5.570	662	
	7,9	41,2	52,5	2.930	7,47	268	353	5.870	536	
	8,2	42,5	54,2	3.020	7,46	276	364	6.040	551	
	8,7	45,3	57,8	3.200	7,44	292	387	6.400	584	
	9,5	49,3	62,7	3.450	7,42	315	419	6.900	630	
	10,3	53,1	67,6	3.690	7,39	337	450	7.390	674	
	11,1	57,1	72,7	3.940	7,36	360	482	7.890	720	
219,1	12,7	64,6	82,3	4.400	7,31	402	542	8.800	804	0,688

	14,3	72,1	91,8	4.840	7,26	442	600	9.680	883
	15,1	75,9	96,7	5.060	7,23	462	629	10.120	924
	15,9	79,6	101	5.270	7,21	481	657	10.530	961
	18,3	90,4	115	5.860	7,13	535	739	11.710	1.070
	19,1	94,0	120	6.040	7,10	552	765	12.090	1.100
	20,6	101	129	6.400	7,06	584	815	12.800	1.170
	22,2	108	137	6.750	7,00	616	865	13.490	1.230
	23,0	111	142	6.910	6,98	630	889	13.810	1.260
	25,4	121	155	7.370	6,91	673	958	14.750	1.350

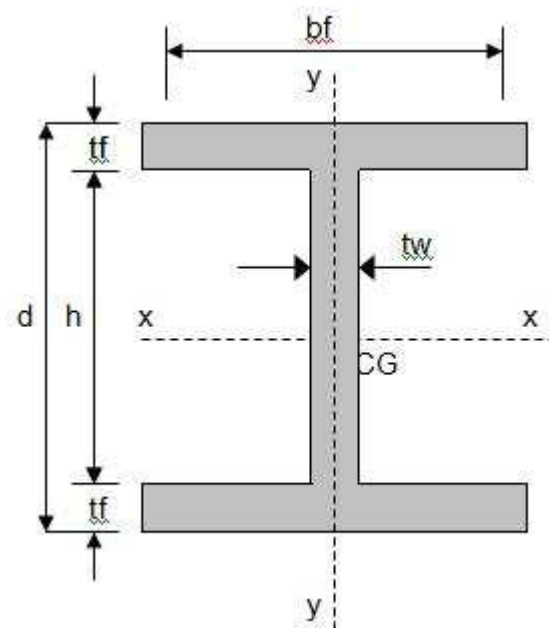
ANEXO 1: Tubos circulares
Dimensões geométricas de tubos estruturais

Diâmetro Externo	Espes. da Parede	Massa por Unidade Compr.	Área da Seção Transv. Aço	Momento Inércia	Raio de Giração	Módulo Elástico Resist. à Flexão	Módulo Plástico Resist. à Flexão	Const. Torção	Módulo Resist. Torção	Área de pintura
D	t	P	A	I	r	W	Z	I t	W t	U
(mm)	(mm)	(kg/m)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(m ² /m)
273,0	7,8	51,0	65,0	5.720	9,38	419	549	11.440	838	0,858
	8,7	57,0	72,6	6.340	9,35	465	611	12.680	929	
	9,3	60,3	76,8	6.690	9,33	490	645	13.370	980	
	11,1	71,9	91,6	7.860	9,27	576	764	15.730	1.150	
	12,7	81,5	104	8.820	9,21	646	861	17.630	1.290	
	14,3	91,1	116	9.740	9,16	713	956	19.470	1.430	
	15,1	96,0	122	10.200	9,13	747	1.000	20.400	1.490	
	15,9	101	128	10.640	9,11	780	1.050	21.280	1.560	
	18,3	115	146	11.910	9,03	873	1.190	23.830	1.750	
	20,6	128	163	13.100	8,95	960	1.320	26.210	1.920	
	21,4	133	169	13.500	8,93	989	1.360	27.000	1.980	
	22,2	137	175	13.870	8,90	1.020	1.400	27.750	2.030	
	23,8	146	187	14.610	8,85	1.070	1.480	29.220	2.140	
	25,4	155	198	15.300	8,80	1.120	1.560	30.600	2.240	
	28,6	172	219	16.610	8,70	1.220	1.720	33.220	2.430	
31,8	189	241	17.810	8,60	1.300	1.860	35.620	2.610		
323,8	8,4	65,2	83,0	10.330	11,2	638	834	20.670	1.280	
	8,7	67,9	86,5	10.740	11,1	663	868	21.480	1.330	
	9,5	73,9	94,1	11.630	11,1	718	942	23.250	1.440	
	10,3	79,7	102	12.490	11,1	771	1.010	24.970	1.540	

	11,1	85,8	109	13.380	11,1	826	1.090	26.750	1.650	
	12,7	97,4	124	15.040	11,0	929	1.230	30.080	1.860	
	14,3	109	139	16.650	11,0	1.030	1.370	33.310	2.060	
	15,9	121	154	18.250	10,9	1.130	1.510	36.510	2.260	
	17,5	132	168	19.790	10,8	1.220	1.640	39.590	2.450	
	19,1	143	182	21.260	10,8	1.310	1.770	42.510	2.630	
	20,6	154	196	22.670	10,7	1.400	1.900	45.340	2.800	
	21,4	160	204	23.390	10,7	1.440	1.960	46.780	2.890	
	22,2	165	211	24.070	10,7	1.490	2.030	48.140	2.970	1,02
	23,8	176	225	25.420	10,6	1.570	2.150	50.840	3.140	
	25,4	187	238	26.690	10,6	1.650	2.270	53.390	3.300	
	27,0	197	252	27.930	10,5	1.720	2.380	55.860	3.450	
	28,6	208	265	29.150	10,5	1.800	2.500	58.300	3.600	
	9,5	81,3	104	15.520	12,2	873	1.140	31.050	1.750	
	10,3	87,8	112	16.680	12,2	938	1.230	33.360	1.880	
	11,1	94,6	120	17.880	12,2	1.010	1.320	35.770	2.010	
355,6	11,9	101	129	19.010	12,2	1.070	1.410	38.020	2.140	
	12,7	107	137	20.140	12,1	1.130	1.490	40.270	2.260	
	14,3	120	153	22.320	12,1	1.260	1.660	44.650	2.510	
	15,1	127	161	23.440	12,1	1.320	1.750	46.880	2.640	
	15,9	133	169	24.500	12,0	1.380	1.830	49.010	2.760	
	17,5	146	186	26.610	12,0	1.500	2.000	53.210	2.990	
	19,1	158	201	28.610	11,9	1.610	2.160	57.220	3.220	1,12
	20,6	170	217	30.550	11,9	1.720	2.320	61.110	3.440	
	22,2	183	233	32.490	11,8	1.830	2.470	64.970	3.650	
	23,8	195	248	34.350	11,8	1.930	2.630	68.700	3.860	
	25,4	207	263	36.120	11,7	2.030	2.770	72.250	4.060	

ANEXO 2A:

Perfis soldados – NBR 5884



ANEXO 2A: Perfis soldados - Série CS – NBR 5884

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y				r
			d	tw	h	tf	bf	I _x	W _X	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y	Z _y	
CS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
150 x 25	25,4	32,4	150	6,3	134	8,0	150	1337	178	6,42	199	450	60	3,73	91	4,1
150 x 29	28,9	36,8	150	6,3	131	9,5	150	1527	204	6,44	227	535	71	3,81	108	4,14
150 x 31	30,6	39	150	8	131	9,5	150	1559	208	6,32	235	535	71	3,7	109	4,09
150 x 37	37,3	47,5	150	8	125	12,5	150	1908	254	6,34	289	704	94	3,85	143	4,15
150 x 45	45,1	57,4	150	8	118	16,0	150	2274	303	6,29	349	901	120	3,96	182	4,2
200 x 29	29	37	200	6,3	187	6,30	200	2778	278	8,66	299	840	84	4,76	128	5,37
200 x 34	34,2	43,6	200	6,3	184	8,0	200	3278	328	8,67	361	1067	107	4,95	162	5,45
200 x 39	38,8	49,4	200	6,3	181	9,5	200	3762	376	8,73	414	1267	127	5,06	192	5,51
200 x 41	41,2	52,5	200	8	181	9,5	200	3846	385	8,56	427	1267	127	4,91	193	5,44
200 x 50	50,2	64	200	8	175	12,5	200	4758	476	8,62	530	1667	167	5,1	253	5,52
200 x 61	60,8	77,4	200	8	168	16,0	200	5747	575	8,62	645	2134	213	5,25	323	5,58
250 x 43	42,9	54,7	250	6,3	234	8,0	250	6531	522	10,93	570	2084	167	6,17	252	6,81
250 x 49	48,7	62,1	250	6,3	231	9,5	250	7519	602	11	655	2474	198	6,31	299	6,87
250 x 52	51,8	66	250	8	231	9,5	250	7694	616	10,8	678	2475	198	6,12	301	6,79
250 x 63	63,2	80,5	250	8	225	12,5	250	9581	766	10,91	843	3256	260	6,36	394	6,89
250 x 66	65,9	83,9	250	9,5	225	12,5	250	9723	778	10,77	862	3257	261	6,23	396	6,84
250 x 76	76,5	97,4	250	8	218	16,0	250	11659	933	10,94	1031	4168	333	6,54	503	6,97

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
250 x 79	79	100,7	250	9,5	218	16,0	250	11788	943	10,82	1049	4168	333	6,43	505	6,92
250 x 84	84,2	107,3	250	12,5	218	16,0	250	12047	964	10,6	1085	4170	334	6,23	509	6,84
250 x 90	90,4	115,1	250	9,5	212	19,0	250	13456	1076	10,81	1204	4949	396	6,56	599	6,98
250 x 95	95,4	121,5	250	12,5	212	19,0	250	13694	1096	10,62	1238	4951	396	6,38	602	6,9
250 x 108	108	137,6	250	12,5	205	22,4	250	15501	1240	10,61	1406	5837	467	6,51	708	6,96
300 x 62	62,4	79,5	300	8	281	9,5	300	13509	901	13,04	986	4276	285	7,33	432	8,14
300 x 76	76,1	97	300	8	275	12,5	300	16894	1126	13,2	1229	5626	375	7,62	567	8,27
300 x 92	92,2	117,4	300	8	268	16,0	300	20661	1377	13,27	1507	7201	480	7,83	724	8,36
300 x 95	95,4	121,5	300	9,5	268	16,0	300	20902	1393	13,12	1534	7202	480	7,7	726	8,3
300 x 102	101,7	129,5	300	12,5	268	16,0	300	21383	1426	12,85	1588	7204	480	7,46	730	8,2
300 x 109	109	138,9	300	9,5	262	19,0	300	23962	1597	13,13	1765	8552	570	7,85	861	8,36
300 x 115	115,2	146,8	300	12,5	262	19,0	300	24412	1627	12,9	1816	8554	570	7,63	865	8,27
300 x 122	122,4	155,9	300	16	262	19,0	300	24936	1662	12,65	1876	8559	571	7,41	872	8,18
300 x 131	130,5	166,3	300	12,5	255	22,4	300	27774	1852	12,92	2069	10084	672	7,79	1018	8,34
300 x 138	137,5	175,2	300	16	255	22,4	300	28257	1884	12,7	2126	10089	673	7,59	1024	8,25
300 x 149	149,2	190	300	16	250	25,0	300	30521	2035	12,67	2313	11259	751	7,7	1141	8,3
350 x 89	89,1	113,5	350	8	325	12,5	350	27217	1555	15,49	1688	8934	511	8,87	771	9,64
350 x 93	92,9	118,4	350	9,5	325	12,5	350	27646	1580	15,28	1727	8935	511	8,69	773	9,56
350 x 108	107,9	137,4	350	8	318	16,0	350	33403	1909	15,59	2073	11435	653	9,12	985	9,74
350 x 112	111,6	142,2	350	9,5	318	16,0	350	33805	1932	15,42	2111	11436	653	8,97	987	9,68
350 x 119	119,2	151,8	350	12,5	318	16,0	350	34609	1978	15,1	2186	11439	654	8,68	992	9,55

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
350 x 128	127,6	162,6	350	9,5	312	19,0	350	38873	2221	15,46	2432	13579	776	9,14	1171	9,75
350 x 135	135	172	350	12,5	312	19,0	350	39633	2265	15,18	2505	13582	776	8,89	1176	9,64
350 x 144	143,6	182,9	350	16	312	19,0	350	40519	2315	14,88	2591	13588	776	8,62	1184	9,53
350 x 153	153	194,9	350	12,5	305	22,4	350	45254	2586	15,24	2859	16012	915	9,06	1384	9,72
350 x 161	161,4	205,6	350	16	305	22,4	350	46082	2633	14,97	2940	16017	915	8,83	1392	9,62
350 x 175	175,1	223	350	16	300	25,0	350	49902	2852	14,96	3204	17875	1021	8,95	1550	9,67
350 x 182	182,1	232	350	19	300	25,0	350	50577	2890	14,76	3271	17882	1022	8,78	1558	9,6
350 x 216	215,9	275	350	19	287	31,5	350	59845	3420	14,75	3903	22526	1287	9,05	1955	9,71
400 x 106	106,4	135,6	400	9,5	375	12,5	400	41727	2086	17,54	2271	13336	667	9,92	1008	10,92
400 x 128	128	163	400	9,5	368	16,0	400	51159	2558	17,72	2779	17069	853	10,23	1288	11,06
400 x 137	136,6	174	400	12,5	368	16,0	400	52404	2620	17,35	2881	17073	854	9,91	1294	10,91
400 x 146	146,3	186,4	400	9,5	362	19,0	400	58962	2948	17,79	3207	20269	1013	10,43	1528	11,14
400 x 155	154,9	197,3	400	12,5	362	19,0	400	60148	3007	17,46	3305	20273	1014	10,14	1534	11,01
400 x 165	164,8	209,9	400	16	362	19,0	400	61532	3077	17,12	3420	20279	1014	9,83	1543	10,88
400 x 176	175,5	223,6	400	12,5	355	22,4	400	68864	3443	17,55	3777	23899	1195	10,34	1806	11,1
400 x 185	185,3	236	400	16	355	22,4	400	70169	3508	17,24	3887	23905	1195	10,06	1815	10,98
400 x 201	201	256	400	16	350	25,0	400	76133	3807	17,25	4240	26679	1334	10,21	2022	11,04
400 x 209	209,2	266,5	400	19	350	25,0	400	77205	3860	17,02	4332	26687	1334	10,01	2032	10,96
400 x 248	248,1	316	400	19	337	31,5	400	91817	4591	17,05	5183	33619	1681	10,31	2550	11,09
450 x 144	144,2	183,7	450	9,5	418	16,0	450	73621	3272	20,02	3540	24303	1080	11,5	1629	12,43

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
450 x 154	154,1	196,3	450	12,5	418	16,0	450	75447	3353	19,6	3671	24307	1080	11,13	1636	12,27
450 x 165	164,9	210,1	450	9,5	412	19,0	450	85001	3778	20,11	4088	28859	1283	11,72	1933	12,52
450 x 175	174,7	222,5	450	12,5	412	19,0	450	86749	3856	19,75	4216	28863	1283	11,39	1940	12,38
450 x 188	188,5	240,1	450	9,5	405	22,4	450	97865	4350	20,19	4700	34023	1512	11,9	2277	12,6
450 x 198	198	252,2	450	12,5	405	22,4	450	99526	4423	19,87	4823	34027	1512	11,62	2284	12,48
450 x 209	209,1	266,4	450	16	405	22,4	450	101463	4509	19,52	4966	34034	1513	11,3	2294	12,35
450 x 216	215,9	275	450	12,5	400	25,0	450	108385	4817	19,85	5281	37975	1688	11,75	2547	12,53
450 x 227	226,9	289	450	16	400	25,0	450	110252	4900	19,53	5421	37982	1688	11,46	2557	12,42
450 x 236	236,3	301	450	19	400	25,0	450	111852	4971	19,28	5541	37992	1689	11,23	2567	12,32
450 x 280	280,2	357	450	19	387	31,5	450	133544	5935	19,34	6644	47863	2127	11,58	3224	12,46
450 x 291	290,6	370,2	450	22,4	387	31,5	450	135186	6008	19,11	6771	47877	2128	11,37	3238	12,38
450 x 321	320,9	408,8	450	19	375	37,5	450	152314	6770	19,3	7629	56975	2532	11,81	3831	12,56
450 x 331	330,9	421,5	450	22,4	375	37,5	450	153809	6836	19,1	7748	56988	2533	11,63	3844	12,48
500 x 172	171,5	218,5	500	12,5	468	16,0	500	104414	4177	21,86	4556	33341	1334	12,35	2018	13,63
500 x 195	194,5	247,8	500	12,5	462	19,0	500	120226	4809	22,03	5237	39591	1584	12,64	2393	13,75
500 x 207	207,2	263,9	500	16	462	19,0	500	123102	4924	21,6	5423	39599	1584	12,25	2405	13,58
500 x 221	220,5	280,9	500	12,5	455	22,4	500	138161	5526	22,18	5996	46674	1867	12,89	2818	13,86
500 x 233	233	296,8	500	16	455	22,4	500	140908	5636	21,79	6177	46682	1867	12,54	2829	13,71
500 x 253	252,8	322	500	16	450	25,0	500	153296	6132	21,82	6748	52099	2084	12,72	3154	13,79
500 x 263	263,4	335,5	500	19	450	25,0	500	155574	6223	21,53	6899	52109	2084	12,46	3166	13,68
500 x 312	312,4	398	500	19	437	31,5	500	186324	7453	21,64	8286	65650	2626	12,84	3977	13,84

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
500 x 324	324,1	412,9	500	22,4	437	31,5	500	188689	7548	21,38	8448	65666	2627	12,61	3.992	13,74
500 x 333	333,1	424,3	500	25	437	31,5	500	190497	7620	21,19	8572	65682	2627	12,44	4006	13,67
500 x 369	369,1	470,2	500	22,4	425	37,5	500	215306	8612	21,4	9683	78165	3127	12,89	4741	13,86
500 x 378	377,8	481,3	500	25	425	37,5	500	216969	8679	21,23	9801	78180	3127	12,75	4754	13,8
550 x 228	228,4	290,9	550	16	512	19,0	550	165283	6010	23,84	6598	52703	1916	13,46	2907	14,93
550 x 257	256,9	327,2	550	16	505	22,4	550	189447	6889	24,06	7520	62131	2259	13,78	3420	15,08
550 x 269	268,8	342,4	550	19	505	22,4	550	192667	7006	23,72	7711	62142	2260	13,47	3434	14,94
550 x 279	278,7	355	550	16	500	25,0	550	206302	7502	24,11	8219	69340	2521	13,98	3813	15,16
550 x 290	290,5	370	550	19	500	25,0	550	209427	7616	23,79	8406	69351	2522	13,69	3826	15,04
550 x 345	344,6	439	550	19	487	31,5	550	251459	9144	23,93	10110	87375	3177	14,11	4808	15,22
550 x 358	357,6	455,6	550	22,4	487	31,5	550	254731	9263	23,65	10311	87392	3178	13,85	4825	15,11
550 x 368	367,6	468,3	550	25	487	31,5	550	257234	9354	23,44	10465	87410	3179	13,66	4840	15,02
550 x 395	394,7	502,8	550	19	475	37,5	550	288317	10484	23,95	11642	104012	3782	14,38	5715	15,33
550 x 407	407,3	518,9	550	22,4	475	37,5	550	291353	10595	23,7	11834	104029	3783	14,16	5731	15,24
550 x 417	417,1	531,3	550	25	475	37,5	550	293675	10679	23,51	11980	104046	3783	13,99	5746	15,17
550 x 441	441,2	562,1	550	31,5	475	37,5	550	299480	10890	23,08	12347	104108	3786	13,61	5790	15
550 x 498	498,2	634,7	550	31,5	461	44,5	550	339231	12336	23,12	14046	123515	4491	13,95	6845	15,15
600 x 250	249,6	317,9	600	16	562	19,0	600	216146	7205	26,08	7887	68419	2281	14,67	3456	16,28
600 x 281	280,7	357,6	600	16	555	22,4	600	248024	8267	26,34	8995	80659	2689	15,02	4068	16,44
600 x 294	293,8	374,3	600	19	555	22,4	600	252298	8410	25,96	9226	80672	2689	14,68	4082	16,29
600 x 305	304,6	388	600	16	550	25,0	600	270308	9010	26,39	9835	90019	3001	15,23	4535	16,53

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
600 x 318	317,5	404,5	600	19	550	25,0	600	274468	9149	26,05	10062	90031	3001	14,92	4550	16,4
600 x 332	332,2	423,2	600	22,4	550	25,0	600	279182	9306	25,68	10319	90052	3002	14,59	4569	16,25
600 x 377	376,8	480	600	19	537	31,5	600	330248	11008	26,23	12114	113431	3781	15,37	5718	16,59
600 x 391	391,2	498,3	600	22,4	537	31,5	600	334635	11155	25,91	12360	113450	3782	15,09	5737	16,47
600 x 402	402,2	512,3	600	25	537	31,5	600	337991	11266	25,69	12547	113470	3782	14,88	5754	16,38
600 x 432	431,6	549,8	600	19	525	37,5	600	379396	12647	26,27	13965	135030	4501	15,67	6797	16,71
600 x 446	445,6	567,6	600	22,4	525	37,5	600	383496	12783	25,99	14200	135049	4502	15,42	6816	16,61
600 x 456	456,3	581,3	600	25	525	37,5	600	386631	12888	25,79	14379	135068	4502	15,24	6832	16,54
600 x 483	483,1	615,4	600	31,5	525	37,5	600	394469	13149	25,32	14827	135137	4505	14,82	6880	16,35
600 x 546	545,6	695	600	31,5	511	44,5	600	447862	14929	25,39	16888	160333	5344	15,19	8137	16,51
650 x 305	304,6	388	650	16	605	22,4	650	317584	9772	28,61	10602	102547	3155	16,26	4771	17,8
650 x 319	318,9	406,2	650	19	605	22,4	650	323120	9942	28,2	10876	102561	3156	15,89	4787	17,64
650 x 330	330,5	421	650	16	600	25,0	650	346352	10657	28,68	11596	114448	3521	16,49	5320	17,9
650 x 345	344,6	439	650	19	600	25,0	650	351752	10823	28,31	11866	114461	3522	16,15	5335	17,76
650 x 361	360,6	459,4	650	22,4	600	25,0	650	357872	11011	27,91	12172	114483	3523	15,79	5357	17,59
650 x 395	395,2	503,4	650	16	587	31,5	650	418935	12890	28,85	14042	144198	4437	16,92	6692	18,09
650 x 409	409	521	650	19	587	31,5	650	423991	13046	28,53	14300	144212	4437	16,64	6707	17,97
650 x 425	424,7	541	650	22,4	587	31,5	650	429722	13222	28,18	14593	144233	4438	16,33	6728	17,83
650 x 437	436,7	556,3	650	25	587	31,5	650	434104	13357	27,93	14817	144255	4439	16,1	6746	17,74
650 x 468	468,5	596,8	650	19	575	37,5	650	487894	15012	28,59	16500	171673	5282	16,96	7974	18,1

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS			EIXO X			EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
650 x 484	483,8	616,3	650	22,4	575	37,5	650	493280	15178	28,29	16781	171694	5283	16,69	7994	17,99
650 x 496	495,6	631,3	650	25	575	37,5	650	497399	15305	28,07	16996	171715	5284	16,49	8012	17,91
650 x 525	524,9	668,6	650	31,5	575	37,5	650	507697	15621	27,56	17533	171790	5286	16,03	8065	17,7
650 x 593	592,8	755,2	650	31,5	561	44,5	650	577540	17770	27,65	19993	203826	6272	16,43	9540	17,88
700 x 389	389	495,6	700	22,4	650	25,0	700	450118	12861	30,14	14179	142978	4085	16,99	6207	18,94
700 x 426	426,2	542,9	700	16	637	31,5	700	527527	15072	31,17	16364	180097	5146	18,21	7758	19,47
700 x 441	441,2	562	700	19	637	31,5	700	533989	15257	30,82	16668	180111	5146	17,9	7775	19,34
700 x 458	458,2	583,7	700	22,4	637	31,5	700	541312	15466	30,45	17013	180135	5147	17,57	7797	19,2
700 x 471	471,2	600,3	700	25	637	31,5	700	546912	15626	30,18	17276	180158	5147	17,32	7817	19,09
700 x 505	505,4	643,8	700	19	625	37,5	700	615335	17581	30,92	19246	214411	6126	18,25	9244	19,49
700 x 522	522	665	700	22,4	625	37,5	700	622253	17779	30,59	19578	214434	6127	17,96	9266	19,37
700 x 535	534,8	681,3	700	25	625	37,5	700	627542	17930	30,35	19832	214456	6127	17,74	9285	19,28
700 x 567	566,7	721,9	700	31,5	625	37,5	700	640767	18308	29,79	20467	214538	6130	17,24	9343	19,05
700 x 640	640,2	815,5	700	31,5	611	44,5	700	730131	20861	29,92	23359	254551	7273	17,67	11054	19,24
750 x 417	417,5	531,8	750	22,4	700	25,0	750	556995	14853	32,36	16338	175847	4689	18,18	7119	20,28
750 x 457	457,2	582,4	750	16	687	31,5	750	653434	17425	33,5	18862	221508	5907	19,5	8903	20,86
750 x 473	473,4	603	750	19	687	31,5	750	661540	17641	33,12	19216	221524	5907	19,17	8921	20,72
750 x 492	491,7	626,4	750	22,4	687	31,5	750	670727	17886	32,72	19618	221549	5908	18,81	8946	20,56
750 x 506	505,8	644,3	750	25	687	31,5	750	677752	18073	32,43	19924	221574	5909	18,54	8967	20,45
750 x 542	542,3	690,8	750	19	675	37,5	750	763246	20353	33,24	22203	263710	7032	19,54	10608	20,87
750 x 560	560,3	713,7	750	22,4	675	37,5	750	771960	20586	32,89	22591	263735	7033	19,22	10632	20,74
750 x 574	574,1	731,3	750	25	675	37,5	750	778623	20763	32,63	22887	263760	7034	18,99	10652	20,64
750 x 608	608,5	775,1	750	31,5	675	37,5	750	795282	21208	32,03	23627	263848	7036	18,45	10714	20,41
750 x 687	687,4	875,7	750	31,5	661	44,5	750	907500	24200	32,19	26987	313063	8348	18,91	12680	20,61

ANEXO 2A: Perfis soldados - Série CVS – NBR 5884

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _f	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CVS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
150 x 15	15	19,1	150	4,75	137	6,3	100	771	103	6,35	113	105	21	2,34	32	2,67
150 x 18	17,6	22,4	150	4,75	134	8	100	903	120	6,35	135	133	27	2,44	41	2,71
150 x 20	19,8	25,2	150	4,75	131	9,5	100	1028	137	6,39	154	158	32	2,5	48	2,74
150 x 22	21,7	27,6	150	6,3	134	8	120	1095	146	6,3	165	231	39	2,89	59	3,24
150 x 24	24,4	31,1	150	6,3	131	9,5	120	1245	166	6,33	187	274	46	2,97	70	3,27
200 x 21	20,8	26,5	200	4,75	187	6,3	140	1963	196	8,61	212	288	41	3,3	63	3,74
200 x 24	24,4	31,1	200	4,75	184	8	140	2312	231	8,62	255	366	52	3,43	79	3,8
200 x 28	27,6	35,2	200	4,75	181	9,5	140	2650	265	8,68	292	435	62	3,52	94	3,84
200 x 27	26,7	34	200	6,3	184	8	140	2393	239	8,39	268	366	52	3,28	80	3,73
200 x 30	29,8	38	200	6,3	181	9,5	140	2727	273	8,47	305	435	62	3,38	95	3,78
200 x 36	36,1	46	200	6,3	175	12,5	140	3362	336	8,55	376	572	82	3,53	124	3,85
200 x 38	38,5	49	200	8	175	12,5	140	3438	344	8,38	389	572	82	3,42	125	3,8
200 x 46	45,7	58,2	200	8	168	16	140	4118	412	8,41	469	732	105	3,55	159	3,85
250 x 30	30,1	38,3	250	4,75	234	8	170	4491	359	10,83	394	655	77	4,14	117	4,6
250 x 33	32,9	41,9	250	6,3	234	8	170	4656	372	10,54	415	656	77	3,96	118	4,52
250 x 40	39,9	50,8	250	8	231	9,5	170	5495	440	10,4	495	779	92	3,92	141	4,5
250 x 47	47,5	60,5	250	8	225	12,5	170	6758	541	10,57	606	1025	121	4,12	184	4,59
250 x 56	56,4	71,8	250	8	218	16	170	8149	652	10,65	732	1311	154	4,27	235	4,67
250 x 64	64,1	81,7	250	12,5	218	16	170	8538	683	10,22	785	1314	155	4,01	240	4,54

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CVS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
250 x 72	71,5	91,1	250	12,5	212	19	170	9630	770	10,28	887	1559	183	4,14	283	4,6
300 x 47	47,5	60,5	300	8	281	9,5	200	9499	633	12,53	710	1268	127	4,58	194	5,28
300 x 57	56,5	72	300	8	275	12,5	200	11725	782	12,76	870	1668	167	4,81	254	5,39
300 x 67	67	85,4	300	8	268	16	200	14202	947	12,9	1052	2134	213	5	324	5,48
300 x 70	70,3	89,5	300	9,5	268	16	200	14442	963	12,7	1079	2135	214	4,88	326	5,43
300 x 79	79,2	100,9	300	9,5	262	19	200	16449	1097	12,77	1231	2535	254	5,01	386	5,48
300 x 85	85,4	108,8	300	12,5	262	19	200	16899	1127	12,46	1282	2538	254	4,83	390	5,4
300 x 95	95,4	121,5	300	12,5	255	22,4	200	19092	1273	12,54	1447	2991	299	4,96	458	5,46
300 x 55	55	70	300	8	281	9,5	250	11504	767	12,82	848	2475	198	5,95	301	6,71
300 x 66	66,3	84,5	300	8	275	12,5	250	14310	954	13,01	1050	3256	260	6,21	395	6,83
300 x 80	79,6	101,4	300	8	268	16	250	17432	1162	13,11	1280	4168	333	6,41	504	6,91
300 x 83	82,8	105,5	300	9,5	268	16	250	17672	1178	12,94	1307	4169	334	6,29	506	6,86
300 x 94	94,1	119,9	300	9,5	262	19	250	20206	1347	12,98	1498	4950	396	6,43	600	6,92
300 x 100	100,3	127,8	300	12,5	262	19	250	20655	1377	12,71	1549	4952	396	6,22	604	6,84
300 x 113	113	143,9	300	12,5	255	22,4	250	23433	1562	12,76	1758	5837	467	6,37	710	6,9
350 x 73	73,3	93,4	350	9,5	325	12,5	250	20524	1173	14,82	1306	3258	261	5,91	398	6,69
350 x 87	86,5	110,2	350	9,5	318	16	250	24874	1421	15,02	1576	4169	334	6,15	507	6,8
350 x 98	97,8	124,6	350	9,5	312	19	250	28454	1626	15,11	1803	4950	396	6,3	601	6,87
350 x 105	105,2	134	350	12,5	312	19	250	29213	1669	14,77	1876	4953	396	6,08	606	6,77
350 x 118	117,8	150,1	350	12,5	305	22,4	250	33169	1895	14,87	2125	5838	467	6,24	712	6,84
350 x 128	127,6	162,5	350	12,5	300	25	250	35885	2051	14,86	2313	6515	521	6,33	793	6,88
350 x 136	135,8	173	350	16	300	25	250	36673	2096	14,56	2391	6521	522	6,14	800	6,8

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CVS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
400 x 82	82,4	105	400	8	375	12,5	300	31680	1584	17,37	1734	5627	375	7,32	569	8,14
400 x 87	86,8	110,6	400	9,5	375	12,5	300	32339	1617	17,1	1787	5628	375	7,13	571	8,05
400 x 103	102,8	131	400	9,5	368	16	300	39355	1968	17,33	2165	7203	480	7,42	728	8,18
400 x 116	116,5	148,4	400	9,5	362	19	300	45161	2258	17,44	2483	8553	570	7,59	863	8,26
400 x 125	125,1	159,3	400	12,5	362	19	300	46347	2317	17,06	2581	8556	570	7,33	869	8,14
400 x 140	140,4	178,8	400	12,5	355	22,4	300	52813	2641	17,19	2931	10086	672	7,51	1022	8,22
400 x 152	152,1	193,8	400	12,5	350	25	300	57279	2864	17,19	3195	11256	750	7,62	1139	8,27
400 x 162	161,7	206	400	16	350	25	300	58529	2926	16,86	3303	11262	751	7,39	1147	8,17
450 x 116	116,4	148,3	450	12,5	418	16	300	52834	2348	18,87	2629	7207	480	6,97	736	7,97
450 x 130	129,9	165,5	450	12,5	412	19	300	60261	2678	19,08	2987	8557	570	7,19	871	8,07
450 x 141	141,2	179,9	450	16	412	19	300	62301	2769	18,61	3136	8564	571	6,9	881	7,93
450 x 156	156,4	199,2	450	16	405	22,4	300	70595	3138	18,83	3530	10094	673	7,12	1034	8,04
450 x 168	168	214	450	16	400	25	300	76346	3393	18,89	3828	11264	751	7,26	1151	8,1
450 x 177	177,4	226	450	19	400	25	300	77946	3464	18,57	3948	11273	752	7,06	1161	8,01
450 x 188	188,1	239,6	450	22,4	400	25	300	79759	3545	18,25	4084	11287	752	6,86	1175	7,91
450 x 206	206,1	262,5	450	19	387	31,5	300	92088	4093	18,73	4666	14197	946	7,35	1452	8,15
450 x 216	216,4	275,7	450	22,4	387	31,5	300	93730	4166	18,44	4794	14211	947	7,18	1466	8,07
500 x 123	122,9	156,5	500	9,5	468	16	350	73730	2949	21,71	3231	11437	654	8,55	991	9,5
500 x 134	133,8	170,5	500	12,5	468	16	350	76293	3052	21,15	3395	11441	654	8,19	998	9,33
500 x 150	149,8	190,8	500	12,5	462	19	350	87240	3490	21,38	3866	13585	776	8,44	1182	9,44
500 x 162	162,4	206,9	500	16	462	19	350	90116	3605	20,87	4052	13593	777	8,11	1193	9,28
500 x 180	180,2	229,6	500	16	455	22,4	350	102403	4096	21,12	4572	16022	916	8,35	1401	9,4

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CVS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
500 x 194	193,9	247	500	16	450	25	350	110952	4438	21,19	4966	17880	1022	8,51	1560	9,48
500 x 204	204,5	260,5	500	19	450	25	350	113230	4529	20,85	5118	17890	1022	8,29	1572	9,37
500 x 217	216,5	275,8	500	22,4	450	25	350	115812	4632	20,49	5290	17907	1023	8,06	1588	9,26
500 x 238	238,2	303,5	500	19	437	31,5	350	134391	5376	21,04	6072	22534	1288	8,62	1969	9,53
500 x 250	249,9	318,4	500	22,4	437	31,5	350	136755	5470	20,72	6235	22550	1289	8,42	1984	9,43
500 x 259	258,9	329,8	500	25	437	31,5	350	138564	5543	20,5	6359	22566	1289	8,27	1998	9,36
500 x 281	280,8	357,7	500	22,4	425	37,5	350	155013	6201	20,82	7082	26837	1534	8,66	2350	9,55
500 x 317	316,8	403,6	500	22,4	411	44,5	350	175049	7002	20,83	8040	31837	1819	8,88	2777	9,64
550 x 184	183,6	233,9	550	16	512	19	400	125087	4549	23,13	5084	20284	1014	9,31	1553	10,63
550 x 204	204,1	260	550	16	505	22,4	400	142463	5180	23,41	5747	23911	1196	9,59	1824	10,77
550 x 220	219,8	280	550	16	500	25	400	154583	5621	23,5	6250	26684	1334	9,76	2032	10,85
550 x 232	231,6	295	550	19	500	25	400	157708	5735	23,12	6438	26695	1335	9,51	2045	10,73
550 x 245	244,9	312	550	22,4	500	25	400	161250	5864	22,73	6650	26713	1336	9,25	2063	10,6
550 x 270	270,4	344,5	550	19	487	31,5	400	187867	6832	23,35	7660	33628	1681	9,88	2564	10,9
550 x 283	283,5	361,1	550	22,4	487	31,5	400	191139	6951	23,01	7861	33646	1682	9,65	2581	10,8
550 x 293	293,4	373,8	550	25	487	31,5	400	193642	7042	22,76	8015	33663	1683	9,49	2596	10,72
550 x 319	319	406,4	550	22,4	475	37,5	400	217349	7904	23,13	8951	40044	2002	9,93	3060	10,92
550 x 329	328,8	418,8	550	25	475	37,5	400	219671	7988	22,9	9098	40062	2003	9,78	3074	10,86
550 x 361	360,6	459,3	550	22,4	461	44,5	400	246298	8956	23,16	10188	47510	2376	10,17	3618	11,03
550 x 370	370	471,3	550	25	461	44,5	400	248420	9033	22,96	10326	47527	2376	10,04	3632	10,97
600 x 156	156,2	199	600	12,5	568	16	400	128254	4275	25,39	4746	17076	854	9,26	1302	10,61
600 x 190	189,9	241,9	600	16	562	19	400	151986	5066	25,07	5679	20286	1014	9,16	1556	10,55

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CVS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
600 x 210	210,4	268	600	16	555	22,4	400	172948	5765	25,4	6407	23912	1196	9,45	1828	10,7
600 x 226	226,1	288	600	16	550	25	400	187600	6253	25,52	6960	26685	1334	9,63	2035	10,78
600 x 239	239	304,5	600	19	550	25	400	191759	6392	25,09	7187	26698	1335	9,36	2050	10,66
600 x 278	277,9	354	600	19	537	31,5	400	228338	7611	25,4	8533	33631	1682	9,75	2568	10,84
600 x 292	292,3	372,3	600	22,4	537	31,5	400	232726	7758	25	8778	33650	1683	9,51	2587	10,73
600 x 328	327,8	417,6	600	22,4	525	37,5	400	264668	8822	25,18	9981	40049	2002	9,79	3066	10,86
600 x 339	338,6	431,3	600	25	525	37,5	400	267803	8927	24,92	10160	40068	2003	9,64	3082	10,79
600 x 369	369,3	470,5	600	22,4	511	44,5	400	300131	10004	25,26	11350	47515	2376	10,05	3624	10,98
650 x 211	211,1	268,9	650	16	612	19	450	200828	6179	27,33	6893	28877	1283	10,36	1963	11,91
650 x 234	234,2	298,4	650	16	605	22,4	450	228951	7045	27,7	7790	34041	1513	10,68	2307	12,06
650 x 252	252	321	650	16	600	25	450	248644	7651	27,83	8471	37989	1688	10,88	2570	12,16
650 x 266	266,1	339	650	19	600	25	450	254044	7817	27,38	8741	38003	1689	10,59	2585	12,02
650 x 282	282,1	359,4	650	22,4	600	25	450	260164	8005	26,91	9047	38025	1690	10,29	2607	11,87
650 x 310	310,1	395	650	19	587	31,5	450	303386	9335	27,71	10404	47874	2128	11,01	3242	12,22
650 x 326	325,8	415	650	22,4	587	31,5	450	309117	9511	27,29	10697	47896	2129	10,74	3263	12,09
650 x 351	350,7	446,8	650	19	575	37,5	450	347034	10678	27,87	11906	56986	2533	11,29	3849	12,34
650 x 366	366	466,3	650	22,4	575	37,5	450	352421	10844	27,49	12187	57007	2534	11,06	3869	12,24
650 x 413	413,1	526,2	650	22,4	561	44,5	450	400707	12329	27,6	13888	67637	3006	11,34	4576	12,36
650 x 461	461,2	587,5	650	25	550	50	450	440599	13557	27,39	15391	76009	3378	11,37	5148	12,38
700 x 214	214,1	272,8	700	12,5	662	19	500	250564	7159	30,31	7839	39594	1584	12,05	2401	13,49
700 x 232	232,3	295,9	700	16	662	19	500	259026	7401	29,59	8222	39606	1584	11,57	2417	13,26
700 x 278	277,9	354	700	16	650	25	500	321513	9186	30,14	10128	52106	2084	12,13	3167	13,53

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
CVS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
700 x 293	293,2	373,5	700	19	650	25	500	328378	9382	29,65	10444	52120	2085	11,81	3184	13,38
700 x 327	327,3	416,9	700	16	637	31,5	500	386651	11047	30,45	12152	65647	2626	12,55	3978	13,71
700 x 342	342,3	436	700	19	637	31,5	500	393113	11232	30,03	12456	65661	2626	12,27	3995	13,59
750 x 284	284,2	362	750	16	700	25	500	374379	9983	32,16	11023	52107	2084	12	3170	13,46
750 x 301	300,7	383	750	19	700	25	500	382954	10212	31,62	11390	52123	2085	11,67	3188	13,3
750 x 334	333,5	424,9	750	16	687	31,5	500	450034	12001	32,54	13204	65648	2626	12,43	3981	13,66
750 x 350	349,7	445,5	750	19	687	31,5	500	458140	12217	32,07	13558	65664	2627	12,14	4000	13,53
800 x 288	288,3	367,2	800	16	755	22,4	550	431525	10788	34,28	11860	62139	2260	13,01	3436	14,72
800 x 310	310,1	395	800	16	750	25	550	469323	11733	34,47	12906	69349	2522	13,25	3829	14,84
800 x 328	327,7	417,5	800	19	750	25	550	479870	11997	33,9	13328	69366	2522	12,89	3849	14,66
800 x 365	364,6	464,4	800	16	737	31,5	550	565262	14132	34,89	15487	87372	3177	13,72	4812	15,05
800 x 382	381,9	486,5	800	19	737	31,5	550	575270	14382	34,39	15894	87389	3178	13,4	4831	14,91
850 x 336	336	428	850	16	800	25	600	578892	13621	36,78	14935	90027	3001	14,5	4551	16,21
850 x 355	354,8	452	850	19	800	25	600	591692	13922	36,18	15415	90046	3002	14,11	4572	16,02
850 x 396	395,6	503,9	850	16	787	31,5	600	698400	16433	37,23	17947	113427	3781	15	5720	16,43
850 x 414	414,1	527,5	850	19	787	31,5	600	710587	16720	36,7	18412	113445	3782	14,66	5741	16,28
900 x 342	342,3	436	900	16	850	25	600	656258	14584	38,8	16015	90029	3001	14,37	4554	16,14
900 x 362	362,3	461,5	900	19	850	25	600	671611	14925	38,15	16557	90049	3002	13,97	4577	15,95
900 x 402	401,8	511,9	900	16	837	31,5	600	791302	17584	39,32	19217	113429	3781	14,89	5724	16,38
900 x 422	421,5	537	900	19	837	31,5	600	805962	17910	38,74	19742	113448	3782	14,53	5746	16,22
950 x 368	368,2	469	950	16	900	25	650	792565	16686	41,11	18271	114458	3522	15,62	5339	17,52
950 x 389	389,4	496	950	19	900	25	650	810790	17069	40,43	18879	114479	3522	15,19	5362	17,31

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y				r
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y	Z _y	
CVS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
950 x 433	432,8	551,4	950	16	887	31,5	650	957066	20149	41,66	21953	144208	4437	16,17	6711	17,77
950 x 454	453,7	578	950	19	887	31,5	650	974513	20516	41,06	22543	144229	4438	15,8	6734	17,6
1000 x 394	394,1	502	1000	16	950	25	700	946296	18926	43,42	20673	142949	4084	16,87	6186	18,89
1000 x 416	416,4	530,5	1000	19	950	25	700	967730	19355	42,71	21349	142971	4085	16,42	6211	18,67
1000 x 464	463,9	590,9	1000	16	937	31,5	700	1144189	22884	44	24867	180107	5146	17,46	7777	19,15
1000 x 486	485,9	619	1000	19	937	31,5	700	1164755	23295	43,38	25526	180129	5147	17,06	7802	18,97

ANEXO 2A: Perfis soldados - Série VS – NBR 5884

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
150 x 15	15	19,1	150	4,75	137	6,3	100	771	103	6,35	113	105	21	2,34	32	2,67
150 x 18	17,6	22,4	150	4,75	134	8	100	903	120	6,35	135	133	27	2,44	41	2,71
150 x 20	19,8	25,2	150	4,75	131	9,5	100	1028	137	6,39	154	158	32	2,5	48	2,74
150 x 19	19,2	24,4	150	6,3	134	8	100	934	125	6,19	142	134	27	2,34	41	2,66
150 x 21	21,4	27,3	150	6,3	131	9,5	100	1057	141	6,22	161	159	32	2,41	49	2,7
200 x 19	18,8	24	200	4,75	187	6,3	120	1720	172	8,47	188	182	30	2,75	46	3,17
200 x 22	21,9	27,9	200	4,75	184	8	120	2017	202	8,5	225	231	39	2,88	59	3,23
200 x 25	24,6	31,4	200	4,75	181	9,5	120	2305	231	8,57	256	274	46	2,95	69	3,27
200 x 20	19,9	25,3	200	4,75	187	6,3	130	1841	184	8,53	200	231	36	3,02	54	3,45
200 x 23	23,2	29,5	200	4,75	184	8	130	2165	217	8,57	240	293	45	3,15	69	3,52
200 x 26	26,1	33,3	200	4,75	181	9,5	130	2477	248	8,62	274	348	54	3,23	81	3,55
250 x 21	20,7	26,4	250	4,75	237	6,3	120	2840	227	10,37	251	182	30	2,63	47	3,1
250 x 24	23,8	30,3	250	4,75	234	8	120	3319	266	10,47	297	231	39	2,76	59	3,17
250 x 27	26,5	33,8	250	4,75	231	9,5	120	3787	303	10,58	338	274	46	2,85	70	3,22
250 x 23	22,7	28,9	250	4,75	237	6,3	140	3225	258	10,56	282	288	41	3,16	63	3,67
250 x 26	26,3	33,5	250	4,75	234	8	140	3788	303	10,63	336	366	52	3,31	80	3,74
250 x 30	29,5	37,6	250	4,75	231	9,5	140	4336	347	10,74	383	435	62	3,4	94	3,79

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA		MESAS		EIXO X				EIXO Y			r		
			d	t _w	h	t _f	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y		r _y	Z _y
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
250 x 25	24,6	31,4	250	4,75	237	6,3	160	3611	289	10,72	312	430	54	3,7	82	4,24
250 x 29	28,8	36,7	250	4,75	234	8	160	4257	341	10,77	375	546	68	3,86	104	4,32
250 x 32	32,5	41,4	250	4,75	231	9,5	160	4886	391	10,86	429	649	81	3,96	123	4,36
300 x 23	22,6	28,8	300	4,75	287	6,3	120	4296	286	12,21	320	182	30	2,51	47	3,04
300 x 26	25,7	32,7	300	4,75	284	8	120	5000	333	12,37	376	231	39	2,66	59	3,12
300 x 28	28,3	36,1	300	4,75	281	9,5	120	5690	379	12,55	425	274	46	2,76	70	3,17
300 x 25	24,6	31,3	300	4,75	287	6,3	140	4856	324	12,46	357	288	41	3,03	63	3,6
300 x 28	28,2	35,9	300	4,75	284	8	140	5683	379	12,58	423	366	52	3,19	80	3,69
300 x 31	31,3	39,9	300	4,75	281	9,5	140	6492	433	12,76	480	435	62	3,3	95	3,74
300 x 27	26,5	33,8	300	4,75	287	6,3	160	5416	361	12,66	394	430	54	3,57	82	4,17
300 x 31	30,7	39,1	300	4,75	284	8	160	6365	424	12,76	470	546	68	3,74	104	4,26
300 x 34	34,3	43,7	300	4,75	281	9,5	160	7294	486	12,92	535	649	81	3,85	123	4,31
300 x 33	33,2	42,3	300	4,75	284	8	180	7047	470	12,91	516	778	86	4,29	131	4,83
300 x 37	37,3	47,5	300	4,75	281	9,5	180	8096	540	13,06	591	924	103	4,41	155	4,89
300 x 46	45,6	58,1	300	4,75	275	12,5	180	10128	675	13,2	737	1215	135	4,57	204	4,96
350 x 26	26,4	33,6	350	4,75	337	6,3	140	6884	393	14,31	438	288	41	2,93	64	3,54
350 x 30	30,1	38,3	350	4,75	334	8	140	8026	459	14,48	516	366	52	3,09	80	3,64
350 x 33	33,2	42,3	350	4,75	331	9,5	140	9148	523	14,71	583	435	62	3,21	95	3,69
350 x 28	28,4	36,2	350	4,75	337	6,3	160	7651	437	14,54	481	430	54	3,45	83	4,11
350 x 33	32,6	41,5	350	4,75	334	8	160	8962	512	14,7	570	546	68	3,63	104	4,21

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA		MESAS		EIXO X				EIXO Y			r		
			d	t _w	h	t _f	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y		r _y	Z _y
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
350 x 36	36,2	46,1	350	4,75	331	9,5	160	10249	586	14,91	648	649	81	3,75	123	4,27
350 x 30	30,4	38,7	350	4,75	337	6,3	180	8418	481	14,75	525	613	68	3,98	104	4,68
350 x 35	35,1	44,7	350	4,75	334	8	180	9898	566	14,88	625	778	86	4,17	131	4,78
350 x 39	39,2	49,9	350	4,75	331	9,5	180	11351	649	15,08	712	924	103	4,3	156	4,84
350 x 38	37,6	47,9	350	4,75	334	8	200	10834	619	15,04	680	1067	107	4,72	162	5,35
350 x 42	42,2	53,7	350	4,75	331	9,5	200	12453	712	15,23	777	1267	127	4,86	192	5,41
350 x 51	51,3	65,4	350	4,75	325	12,5	200	15604	892	15,45	969	1667	167	5,05	252	5,5
400 x 28	28,3	36	400	4,75	387	6,3	140	9340	467	16,11	525	288	41	2,83	64	3,48
400 x 32	31,9	40,6	400	4,75	384	8	140	10848	542	16,35	614	366	52	3	81	3,58
400 x 35	35,1	44,7	400	4,75	381	9,5	140	12332	617	16,61	692	435	62	3,12	95	3,65
400 x 30	30,2	38,5	400	4,75	387	6,3	160	10347	517	16,39	575	430	54	3,34	83	4,05
400 x 34	34,4	43,8	400	4,75	384	8	160	12077	604	16,61	677	546	68	3,53	105	4,15
400 x 38	38,1	48,5	400	4,75	381	9,5	160	13781	689	16,86	766	649	81	3,66	124	4,22
400 x 32	32,3	41,1	400	4,75	387	6,3	180	11353	568	16,62	624	613	68	3,86	104	4,61
400 x 37	36,9	47	400	4,75	384	8	180	13307	665	16,83	740	778	86	4,07	132	4,72
400 x 41	41,1	52,3	400	4,75	381	9,5	180	15230	762	17,06	840	924	103	4,2	156	4,79
400 x 39	39,4	50,2	400	4,75	384	8	200	14536	727	17,02	802	1067	107	4,61	162	5,29
400 x 44	44	56,1	400	4,75	381	9,5	200	16679	834	17,24	914	1267	127	4,75	192	5,36
400 x 53	53,2	67,8	400	4,75	375	12,5	200	20863	1043	17,54	1136	1667	167	4,96	252	5,46
450 x 51	51,2	65,2	450	6,3	431	9,5	200	22640	1006	18,63	1130	1268	127	4,41	194	5,19

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _f	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
450 x 60	60,3	76,8	450	6,3	425	12,5	200	27962	1243	19,08	1378	1668	167	4,66	254	5,32
450 x 71	70,9	90,3	450	6,3	418	16	200	33985	1510	19,4	1664	2134	213	4,86	324	5,41
450 x 80	80,1	102	450	6,3	412	19	200	38989	1733	19,55	1905	2534	253	4,98	384	5,47
450 x 59	58,6	74,7	450	6,3	431	9,5	250	27249	1211	19,1	1339	2475	198	5,76	301	6,61
450 x 70	70,1	89,3	450	6,3	425	12,5	250	33946	1509	19,5	1652	3256	260	6,04	395	6,75
450 x 83	83,4	106,3	450	6,3	418	16	250	41523	1845	19,76	2011	4168	333	6,26	504	6,85
450 x 95	95	121	450	6,3	412	19	250	47818	2125	19,88	2315	4949	396	6,4	598	6,91
500 x 61	61,1	77,8	500	6,3	481	9,5	250	34416	1377	21,03	1529	2475	198	5,64	302	6,55
500 x 73	72,5	92,4	500	6,3	475	12,5	250	42768	1711	21,51	1879	3256	260	5,94	395	6,7
500 x 86	86	109,5	500	6,3	468	16	250	52250	2090	21,84	2281	4168	333	6,17	505	6,81
500 x 97	97,4	124,1	500	6,3	462	19	250	60154	2406	22,02	2621	4949	396	6,31	598	6,87
550 x 64	63,6	81	550	6,3	531	9,5	250	42556	1547	22,92	1728	2475	198	5,53	302	6,5
550 x 75	75	95,6	550	6,3	525	12,5	250	52747	1918	23,49	2114	3256	260	5,84	396	6,65
550 x 88	88,4	112,6	550	6,3	518	16	250	64345	2340	23,9	2559	4168	333	6,08	505	6,77
550 x 100	99,9	127,3	550	6,3	512	19	250	74041	2692	24,12	2935	4949	396	6,24	599	6,84
600 x 81	81,2	103,5	600	8	581	9,5	300	62768	2092	24,63	2358	4277	285	6,43	437	7,68
600 x 95	95	121	600	8	575	12,5	300	77401	2580	25,29	2864	5627	375	6,82	572	7,89
600 x 111	111	141,4	600	8	568	16	300	94091	3136	25,8	3448	7202	480	7,14	729	8,05
600 x 125	124,8	159	600	8	562	19	300	108073	3602	26,07	3943	8552	570	7,33	864	8,14
600 x 140	140,4	178,8	600	8	555	22,4	300	124012	4134	26,34	4498	10082	672	7,51	1017	8,22
600 x 152	152,3	194	600	8	550	25	300	135154	4505	26,39	4918	11252	750	7,62	1134	8,27

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _f	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
650 x 84	84,4	107,5	650	8	631	9,5	300	75213	2314	26,45	2622	4278	285	6,31	438	7,61
650 x 98	98,1	125	650	8	625	12,5	300	92487	2846	27,2	3172	5628	375	6,71	573	7,83
650 x 114	114,1	145,4	650	8	618	16	300	112225	3453	27,78	3807	7203	480	7,04	730	8
650 x 128	128	163	650	8	612	19	300	128792	3963	28,11	4346	8553	570	7,24	865	8,1
650 x 143	143,5	182,8	650	8	605	22,4	300	147713	4545	28,43	4950	10083	672	7,43	1018	8,18
650 x 155	155,4	198	650	8	600	25	300	160963	4953	28,51	5408	11253	750	7,54	1135	8,23
700 x 105	105,2	134	700	8	675	12,5	320	115045	3287	29,3	3661	6830	427	7,14	651	8,35
700 x 122	122,3	155,8	700	8	668	16	320	139665	3990	29,94	4395	8741	546	7,49	830	8,53
700 x 137	137,1	174,6	700	8	662	19	320	160361	4582	30,31	5017	10379	649	7,71	983	8,63
700 x 154	153,7	195,8	700	8	655	22,4	320	184037	5258	30,66	5715	12236	765	7,91	1157	8,72
700 x 166	166,4	212	700	8	650	25	320	200642	5733	30,76	6245	13656	854	8,03	1290	8,77
750 x 108	108,3	138	750	8	725	12,5	320	134197	3579	31,18	4001	6830	427	7,04	652	8,29
750 x 125	125,4	159,8	750	8	718	16	320	162620	4337	31,9	4789	8741	546	7,4	831	8,48
750 x 140	140,2	178,6	750	8	712	19	320	186545	4975	32,32	5458	10380	649	7,62	984	8,59
750 x 157	156,8	199,8	750	8	705	22,4	320	213953	5705	32,72	6209	12236	765	7,83	1158	8,69
750 x 170	169,6	216	750	8	700	25	320	233200	6219	32,86	6780	13656	854	7,95	1291	8,74
800 x 111	111,5	142	800	8	775	12,5	320	155074	3877	33,05	4351	6830	427	6,94	652	8,24
800 x 129	128,6	163,8	800	8	768	16	320	187573	4689	33,84	5194	8741	546	7,31	831	8,43
800 x 143	143,3	182,6	800	8	762	19	320	214961	5374	34,31	5910	10380	649	7,54	985	8,55
800 x 160	160	203,8	800	8	755	22,4	320	246374	6159	34,77	6714	12237	765	7,75	1159	8,65

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
800 x 173	172,7	220	800	8	750	25	320	268458	6711	34,93	7325	13657	854	7,88	1292	8,71
850 x 120	120,5	153,5	850	8	825	12,5	350	190878	4491	35,26	5025	8936	511	7,63	779	9,03
850 x 139	139,3	177,4	850	8	818	16	350	231269	5442	36,11	6009	11437	654	8,03	993	9,24
850 x 155	155,4	198	850	8	812	19	350	265344	6243	36,61	6845	13581	776	8,28	1177	9,37
850 x 174	173,6	221,2	850	8	805	22,4	350	304467	7164	37,1	7784	16010	915	8,51	1385	9,48
850 x 188	187,6	239	850	8	800	25	350	331998	7812	37,27	8499	17868	1021	8,65	1544	9,54
900 x 124	123,6	157,5	900	8	875	12,5	350	216973	4822	37,12	5414	8936	511	7,53	780	8,98
900 x 142	142,4	181,4	900	8	868	16	350	262430	5832	38,04	6457	11437	654	7,94	994	9,2
900 x 159	158,6	202	900	8	862	19	350	300814	6685	38,59	7345	13581	776	8,2	1178	9,33
900 x 177	176,8	225,2	900	8	855	22,4	350	344925	7665	39,14	8342	16010	915	8,43	1386	9,44
900 x 191	190,8	243	900	8	850	25	350	375994	8355	39,34	9101	17868	1021	8,58	1545	9,51
950 x 127	126,8	161,5	950	8	925	12,5	350	245036	5159	38,95	5813	8936	511	7,44	780	8,92
950 x 146	145,5	185,4	950	8	918	16	350	295858	6229	39,95	6916	11437	654	7,85	995	9,15
950 x 162	161,7	206	950	8	912	19	350	338808	7133	40,55	7855	13581	776	8,12	1178	9,29
950 x 180	179,9	229,2	950	8	905	22,4	350	388207	8173	41,16	8910	16011	915	8,36	1386	9,41
950 x 194	193,9	247	950	8	900	25	350	423027	8906	41,38	9714	17868	1021	8,51	1546	9,48
1000 x 140	139,7	178	1000	8	975	12,5	400	305593	6112	41,43	6839	13337	667	8,66	1016	10,29
1000 x 161	161,2	205,4	1000	8	968	16	400	370339	7407	42,46	8172	17071	854	9,12	1295	10,53
1000 x 180	179,8	229	1000	8	962	19	400	425095	8502	43,08	9306	20271	1014	9,41	1535	10,68
1000 x 201	200,6	255,6	1000	8	955	22,4	400	488119	9762	43,7	10583	23897	1195	9,67	1807	10,81

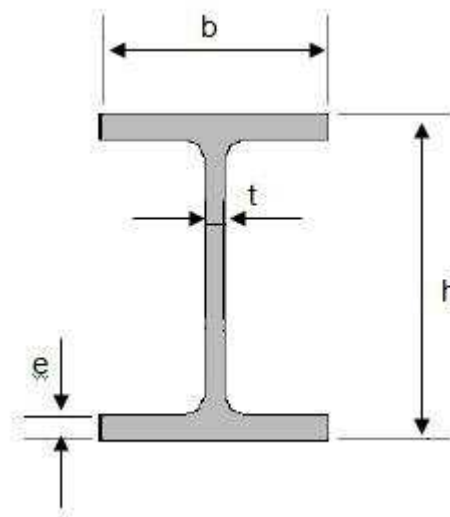
PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _f	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
1000 x 217	216,7	276	1000	8	950	25	400	532575	10652	43,93	11555	26671	1334	9,83	2015	10,88
1100 x 159	158,6	202,1	1100	9,5	1075	12,5	400	394026	7164	44,15	8182	13341	667	8,12	1024	9,97
1100 x 180	180,2	229,5	1100	9,5	1068	16	400	472485	8591	45,37	9647	17074	854	8,63	1304	10,27
1100 x 199	198,5	252,9	1100	9,5	1062	19	400	538922	9799	46,16	10894	20274	1014	8,95	1544	10,45
1100 x 219	219,3	279,4	1100	9,5	1055	22,4	400	615490	11191	46,94	12299	23901	1195	9,25	1816	10,6
1100 x 235	235,3	299,8	1100	9,5	1050	25	400	669562	12174	47,26	13368	26674	1334	9,43	2024	10,69
1200 x 200	200,2	255	1200	9,5	1168	16	450	630844	10514	49,74	11765	24308	1080	9,76	1646	11,59
1200 x 221	220,9	281,4	1200	9,5	1162	19	450	720523	12009	50,6	13304	28865	1283	10,13	1950	11,78
1200 x 244	244,4	311,3	1200	9,5	1155	22,4	450	823984	13733	51,45	15039	34028	1512	10,46	2294	11,95
1200 x 262	262,4	334,3	1200	9,5	1150	25	450	897121	14952	51,8	16360	37977	1688	10,66	2557	12,05
1200 x 307	307,3	391,5	1200	9,5	1137	31,5	450	1084322	18072	52,63	19634	47849	2127	11,06	3215	12,24
1300 x 237	237,5	302,5	1300	12,5	1268	16	450	805914	12399	51,62	14269	24321	1081	8,97	1670	11,11
1300 x 258	258,1	328,8	1300	12,5	1262	19	450	910929	14014	52,64	15930	28877	1283	9,37	1973	11,36
1300 x 281	281,4	358,5	1300	12,5	1255	22,4	450	1032190	15880	53,66	17800	34040	1513	9,74	2317	11,58
1300 x 299	299,3	381,3	1300	12,5	1250	25	450	1117982	17200	54,15	19227	37989	1688	9,98	2580	11,71
1300 x 344	343,9	438,1	1300	12,5	1237	31,5	450	1337847	20582	55,26	22763	47861	2127	10,45	3238	11,95
1400 x 260	259,8	331	1400	12,5	1368	16	500	1032894	14756	55,86	16920	33356	1334	10,04	2053	12,4
1400 x 283	282,8	360,3	1400	12,5	1362	19	500	1169143	16702	56,96	18917	39606	1584	10,48	2428	12,67
1400 x 309	308,8	393,4	1400	12,5	1355	22,4	500	1326589	18951	58,07	21167	46689	1868	10,89	2853	12,9
1400 x 329	328,8	418,8	1400	12,5	1350	25	500	1438060	20544	58,6	22883	52105	2084	11,15	3178	13,04

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y			r	
			d	t _w	h	t _r	b _r	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y		Z _y
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
1400 x 378	378,4	482,1	1400	12,5	1337	31,5	500	1724041	24629	59,8	27140	65647	2626	11,67	3990	13,31
1400 x 424	424,4	540,6	1400	12,5	1325	37,5	500	1983133	28330	60,57	31033	78147	3126	12,02	4739	13,48
1400 x 478	478	608,9	1400	12,5	1311	44,5	500	2279533	32565	61,19	35531	92730	3709	12,34	5614	13,62
1500 x 270	269,6	343,5	1500	12,5	1468	16	500	1210476	16140	59,36	18606	33357	1334	9,85	2057	12,28
1500 x 293	292,6	372,8	1500	12,5	1462	19	500	1367419	18232	60,56	20749	39607	1584	10,31	2432	12,56
1500 x 319	318,6	405,9	1500	12,5	1455	22,4	500	1548898	20652	61,77	23165	46690	1868	10,73	2857	12,81
1500 x 339	338,6	431,3	1500	12,5	1450	25	500	1677461	22366	62,36	25008	52107	2084	10,99	3182	12,95
1500 x 388	388,3	494,6	1500	12,5	1437	31,5	500	2007598	26768	63,71	29582	65648	2626	11,52	3994	13,23
1500 x 434	434,2	553,1	1500	12,5	1425	37,5	500	2307085	30761	64,58	33768	78148	3126	11,89	4743	13,41
1500 x 488	487,8	621,4	1500	12,5	1411	44,5	500	2650168	35336	65,31	38607	92731	3709	12,22	5618	13,57
1600 x 328	328,4	418,4	1600	12,5	1555	22,4	500	1791549	22394	65,44	25225	46692	1868	10,56	2861	12,71
1600 x 348	348,4	443,8	1600	12,5	1550	25	500	1938424	24230	66,09	27195	52109	2084	10,84	3186	12,87
1600 x 398	398,1	507,1	1600	12,5	1537	31,5	500	2315887	28949	67,58	32086	65650	2626	11,38	3998	13,16
1600 x 444	444	565,6	1600	12,5	1525	37,5	500	2658693	33234	68,56	36564	78150	3126	11,75	4747	13,35
1600 x 498	497,6	633,9	1600	12,5	1511	44,5	500	3051871	38148	69,39	41745	92733	3709	12,1	5622	13,51
1700 x 338	338,3	430,9	1700	12,5	1655	22,4	500	2055170	24178	69,06	27349	46694	1868	10,41	2865	12,62
1700 x 358	358,2	456,3	1700	12,5	1650	25	500	2221576	26136	69,78	29445	52110	2084	10,69	3189	12,78
1700 x 408	407,9	519,6	1700	12,5	1637	31,5	500	2649532	31171	71,41	34653	65652	2626	11,24	4001	13,09
1700 x 454	453,8	578,1	1700	12,5	1625	37,5	500	3038582	35748	72,5	39424	78151	3126	11,63	4751	13,28
1700 x 507	507,4	646,4	1700	12,5	1611	44,5	500	3485268	41003	73,43	44945	92735	3709	11,98	5625	13,46
1800 x 348	348,1	443,4	1800	12,5	1755	22,4	500	2340384	26004	72,65	29534	46695	1868	10,26	2869	12,53

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALMA			MESAS		EIXO X				EIXO Y				r
			d	t _w	h	t _f	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y	Z _y	
VS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm
1800 x 368	368	468,8	1800	12,5	1750	25	500	2527539	28084	73,43	31758	52112	2084	10,54	3193	12,7
1800 x 418	417,7	532,1	1800	12,5	1737	31,5	500	3009158	33435	75,2	37283	65653	2626	11,11	4005	13,02
1800 x 464	463,6	590,6	1800	12,5	1725	37,5	500	3447378	38304	76,4	42346	78153	3126	11,5	4755	13,22
1800 x 517	517,2	658,9	1800	12,5	1711	44,5	500	3950984	43900	77,44	48208	92736	3709	11,86	5629	13,4
1800 x 465	465,4	592,9	1800	16	1737	31,5	500	3162016	35134	73,03	39923	65684	2627	10,53	4049	12,69
1800 x 511	511	651	1800	16	1725	37,5	500	3597089	39968	74,33	44949	78184	3127	10,96	4798	12,94
1800 x 564	564,3	718,8	1800	16	1711	44,5	500	4097080	45523	75,5	50770	92767	3711	11,36	5672	13,15
1900 x 429	428,6	546	1900	16	1850	25	500	3041613	32017	74,64	37128	52146	2086	9,77	3243	12,22
1900 x 478	478	608,9	1900	16	1837	31,5	500	3576198	37644	76,64	42927	65688	2628	10,39	4055	12,61
1900 x 524	523,6	667	1900	16	1825	37,5	500	4062991	42768	78,05	48244	78187	3127	10,83	4804	12,86
1900 x 577	576,8	734,8	1900	16	1811	44,5	500	4622882	48662	79,32	54404	92770	3711	11,24	5678	13,08
2000 x 461	460,8	587	2000	16	1950	25	550	3670473	36705	79,08	42366	69389	2523	10,87	3906	13,53
2000 x 515	515,3	656,4	2000	16	1937	31,5	550	4326007	43260	81,18	49112	87413	3179	11,54	4888	13,94
2000 x 566	565,6	720,5	2000	16	1925	37,5	550	4923357	49234	82,66	55299	104050	3784	12,02	5795	14,21
2000 x 624	624,3	795,3	2000	16	1911	44,5	550	5610913	56109	83,99	62469	123460	4489	12,46	6853	14,45

ANEXO 2B:

Perfis laminados – tipo “I”



ANEXO 2B: Perfis laminados – tipo “I”

DESIGNAÇÃO	ÁREA	ALTURA	ESPES.	LARG. ABA	ESPES. ABA	MASSA
ALT. x MASSA	cm ²	h (mm)	t (mm)	b (mm)	e (mm)	kg
W150 x 13,0	16,6	148	4,3	100	4,9	13,0
W150 x 18,0	23,4	153	5,8	102	7,1	18,0
W200 x 15,0	19,4	200	4,3	100	5,2	15,0
W200 x 19,3	25,1	203	5,8	102	6,5	19,3
W200 x 22,5	29,0	206	6,2	102	8,0	22,5
W200 x 26,6	34,2	207	5,8	133	8,4	26,6
W200 x 31,3	40,3	210	6,4	134	10,2	31,3
W250 x 17,9	23,1	251	4,8	101	5,3	17,9
W250 x 22,3	28,9	254	5,8	102	6,9	22,3
W250 x 25,3	32,6	257	6,1	102	8,4	25,3
W250 x 28,4	36,6	260	6,4	102	10,0	28,4
W250 x 32,7	42,1	258	6,1	146	9,1	32,7
W250 x 38,5	49,6	262	6,6	147	11,2	38,5
W250 x 44,8	57,6	266	7,6	148	13,0	44,8
W310 x 21,0	27,2	303	5,1	101	5,7	21,0
W310 x 23,8	30,7	305	5,6	101	6,7	23,8
W310 x 28,3	36,5	309	6,0	102	8,9	28,3
W310 x 32,7	42,1	313	6,6	102	10,8	32,7
W310 x 38,7	49,7	310	5,8	165	9,7	38,7
W310 x 44,5	57,2	313	6,6	166	11,2	44,5
W310 x 52,0	67,0	317	7,6	167	13,2	52,0
W360 x 32,9	42,1	349	5,8	127	8,5	32,9
W360 x 39,0	50,2	353	6,5	128	10,7	39,0

W360 x 44,0	57,7	352	6,9	171	9,8	44,0
W360 x 51,0	64,8	355	7,2	171	11,6	51,0
W360 x 57,8	72,5	358	7,9	172	13,1	57,8
W360 x 64,0	81,7	347	7,7	203	13,5	64,0
W360 x 72,0	91,3	350	8,6	204	15,1	72,0
W360 x 79,0	101,2	354	9,4	205	16,8	79,0
W410 x 38,8	50,3	399	6,4	140	8,8	38,8
W410 x 46,1	59,2	403	7,0	140	11,2	46,1
W410 x 53,0	68,4	403	7,5	177	10,9	53,0
W410 x 60,0	76,2	407	7,7	178	12,8	60,0
W410 x 67,0	86,3	410	8,8	179	14,4	67,0
W410 x 75,0	95,8	413	9,7	180	16,0	75,0
W460 x 52,0	66,6	450	7,6	152	10,8	52,0
W460 x 60,0	76,2	455	8,0	153	13,3	60,0
W460 x 68,0	87,6	459	9,1	154	15,4	68,0
W460 x 74,0	94,9	457	9,0	190	14,5	74,0
W460 x 82,0	104,7	460	9,9	191	16,0	82,0
W460 x 89,0	114,1	463	10,5	192	17,7	89,0
W530 x 66,0	83,6	525	8,9	165	11,4	66,0
W530 x 72,0	91,6	524	9,0	207	10,9	72,0
W530 x 74,0	95,1	529	9,7	165	13,6	74,0
W530 x 82,0	104,5	528	9,5	209	13,3	82,0
W530 x 85,0	107,7	535	10,3	166	16,5	85,0
W530 x 92,0	117,6	533	10,2	209	15,6	92,0
W610 x 101,0	130,3	603	10,5	228	14,9	101,0
W610 x 113,0	145,3	608	11,2	228	17,3	113,0
W610 x 125,0	160,1	612	11,9	229	19,6	125,0
W610 x 155,0	198,1	611	12,7	324	19,0	155,0
W610 x 174,0	222,8	616	14,0	325	21,6	174,0

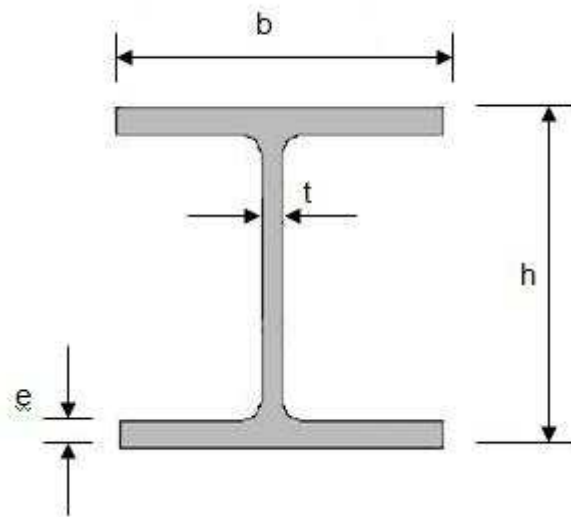
ANEXO 2B: Perfis laminados – tipo “I” – características

DESIGNAÇÃO ALT. x MASSA	$J_x \text{ cm}^4$	$W_x \text{ cm}^3$	R_x cm	$J_y \text{ cm}^4$	$W_y \text{ cm}^3$	R_y cm
W150 x 13,0	635	85,8	6,18	82	16,4	2,22
W150 x 18,0	939	122,8	6,34	126	24,7	2,32
W200 x 15,0	1305	130,5	8, 20	87	17,4	2,12
W200 x 19,3	1686	166,1	8,19	116	22,7	2,14
W200 x 22,5	2029	197,0	8,37	142	27,9	2,22
W200 x 26,6	2611	252,3	8,73	330	49,6	3,10
W200 x 31,3	3168	301,7	8,86	410	61,2	3,19
W250 x 17,9	2291	182,6	9,96	91	18,1	1,99
W250 x 22,3	2939	234,4	10,09	123	24,1	2,06
W250 x 25,3	3473	270,2	10,31	149	29,3	2,14
W250 x 28,4	4056	311,2	10,51	178	34,8	2,20
W250 x 32,7	4937	382,7	10,83	473	64,8	3,35
W250 x 38,5	6057	462,4	11,05	594	80,8	3,46
W250 x 44,8	7158	538,2	11,15	704	95,1	3,50
W310 x 21,0	3776	249,2	11,77	98	19,5	1,90
W310 x 23,8	4346	285,0	11,89	116	22,9	1,94
W310 x 28,3	5500	356,0	12,28	158	31,0	2,08
W310 x 32,7	6570	419,8	12,49	192	37,6	2,13
W310 x 38,7	8581	553,6	13,14	727	88,1	3,82
W310 x 44,5	9997	638,8	13,22	855	103,0	3,87
W310 x 52,0	11909	751,4	13,33	1026	122,9	3,91
W360 x 32,9	8358	479,0	14,09	291	45,9	2,63
W360 x 39,0	10331	585,3	14,35	375	58,6	2,73
W360 x 44,0	12258	696,5	14,58	818	95,7	3,77

W360 x 51,0	14222	801,2	14,81	968	113,3	3,87
W360 x 57,8	16143	901,8	14,92	1113	129,4	3,92
W360 x 64,0	17890	1031,1	14,80	1885	185,7	4,8
W360 x 72,0	20169	1152,5	14,86	2140	209,8	4,84
W360 x 79,0	22713	1283,2	14,98	2416	235,7	4,89
W410 x 38,8	12777	640,5	15,94	404	57,7	2,83
W410 x 46,1	15690	778,7	16,27	514	73,4	2,95
W410 x 53,0	18734	929,7	16,55	1009	114	3,84
W410 x 60,0	21707	1066,7	16,88	1205	135,4	3,98
W410 x 67,0	24678	1203,8	16,91	1379	154,1	4,00
W410 x 75,0	27616	1337,3	16,98	1559	173,2	4,03
W460 x 52,0	21370	949,8	17,91	634	83,5	3,09
W460 x 60,0	25652	1127,6	18,35	796	104,1	3,23
W460 x 68,0	29851	1300,7	18,46	941	122,2	3,28
W460 x 74,0	33415	1462,4	18,77	1661	174,8	4,18
W460 x 82,0	37157	1615,5	18,84	1862	195,0	4,22
W460 x 89,0	41105	1775,6	18,98	2093	218	4,28
W530 x 66,0	34971	1332,2	20,46	857	103,9	3,20
W530 x 72,0	39969	1525,5	20,89	1615	156,0	4,20
W530 x 74,0	40969	1548,9	20,76	1041	125,5	3,31
W530 x 82,0	47569	1801,8	21,34	2028	194,1	4,41
W530 x 85,0	48453	1811,3	21,21	1263	152,2	3,42
W530 x 92,0	55157	2069,7	21,65	2379	227,6	4,50
W610 x 101,0	77003	2554,0	24,31	2951	258,8	4,76
W610 x 113,0	88196	2901,2	24,64	3426	300,5	4,86
W610 x 125,0	99184	3241,3	24,89	3933	343,5	4,96
W610 x 155,0	129583	4241,7	25,58	10783	665,6	7,38
W610 x 174,0	147754	4797,2	25,75	12374	761,5	7,45

ANEXO 2C:

Perfis laminados – tipo “H”



ANEXO 2C: Perfis laminados – tipo “H”

DESIGNAÇÃO ALT. x MASSA	ÁREA	ALTURA	ESPESS. ALMA	LARG. ABA	ESPESS. ABA	MASSA
	cm ²	h (mm)	t (mm)	b (mm)	e (mm)	kg
W150 x 22,5	29,0	152	5,8	152	6,6	22,5
W150 x 29,8	38,5	157	6,6	153	9,3	29,8
W150 x 37,1	47,8	162	8,1	154	11,6	37,1
W200 x 35,9	45,7	201	6,2	165	10,2	35,9
W200 x 46,1	58,6	203	7,2	203	11,0	46,1
HP200 x 53,0	68,1	204	11,3	207	11,3	53,0
W200 x 71,0	91,0	216	10,2	206	17,4	71,0
HP250 x 62,0	79,6	246	10,5	256	10,7	62,0
W250 x 73,0	92,7	253	8,6	254	14,2	73,0
W250 x 80,0	101,9	256	9,4	255	15,6	80,0
HP250 x 85,0	108,5	254	14,4	260	14,4	85,0
W250 x 89,0	113,9	260	10,7	256	17,3	89,0
HP310 x 79,0	100,0	299	11,0	306	11,0	79,0
HP310 x 93,0	119,2	303	13,1	308	13,1	93,0
W310 x 97,0	123,6	308	9,9	305	15,4	97,0
W310 x 107,0	136,4	311	10,9	306	17,0	107,0
HP310 x 110,0	141,0	308	15,4	310	15,5	110,0
W310 x 117,0	149,9	314	11,9	307	18,7	117,0
HP310 x 125,0	159,0	312	17,4	312	17,4	125,0
W360 x 110,0	140,6	360	11,4	256	19,9	110,0
W360 x 122,0	155,3	363	13,0	257	21,7	122,0

ANEXO 2C: Perfis laminados – tipo “H” – características

DESIGNAÇÃO ALT. x MASSA	Jx cm ⁴	Wx cm ³	Rx cm	Jy cm ⁴	Wy cm ³	Ry cm
W150 x 22,5	1229	161,7	6,51	387	50,9	3,65
W150 x 29,8	1739	221,5	6,72	556	72,6	3,80
W150 x 37,1	2244	277,0	6,85	707	91,8	3,84
W200 x 35,9	3437	342,0	8,67	764	92,6	4,09
W200 x 46,1	4543	447,6	8,81	1535	151,2	5,12
HP200 x 53,0	4977	488,0	8,55	1673	161,7	4,96
W200 x 71,0	7660	709,2	9,17	2537	246,3	5,28
HP250 x 62,0	8728	709,6	10,47	2995	234,0	6,13
W250 x 73,0	11257	889,9	11,02	3880	305,5	6,47
W250 x 80,0	12550	980,5	11,10	4313	338,3	6,51
HP250 x 85,0	12280	966,9	10,64	4225	325,0	6,24
W250 x 89,0	14237	1095,1	11,18	4841	378,2	6,52
HP310 x 79,0	16316	1091,3	12,77	5258	343,7	7,25
HP310 x 93,0	19682	1299,1	12,85	6387	414,7	7,32
W310 x 97,0	22284	1447,0	13,43	7286	477,8	7,68
W310 x 107,0	24839	1597,3	13,49	8123	530,9	7,72
HP310 x 110,0	23703	1539,1	12,97	7707	497,3	7,39
W310 x 117,0	27563	1755,6	13,56	9024	587,9	7,76
HP310 x 125,0	27076	1735,6	13,05	8823	565,6	7,45
W360 x 110,0	33155	1841,9	15,36	5570	435,2	6,29
W360 x 122,0	36599	2016,5	15,35	6147	478,4	6,29

ANEXO 3A: ORÇAMENTO DOS PERFIS GERDAU

Comunicação privada recebida em: 05 de mar 2009.



Versão
9.01

Comercial Gerdau
BR 351
BANDEIRANTES
32240-090 CONTAGEM
Tel. (31)3369-1400 Fax (31)3369-1470

Sistema Comercial Gerdau - ZBHZ

Data 05/03/2009
Hora 16:46:20
Página 1

MG **Cotação N° 065182**

REMICOT

Cliente : **CELIO MAGALHAES**

Município: **BELO HORIZONTE** **MG**

Contato :

Entrega :

Telefone :

Vendedor: **DANIEL F**

CNPJ :

Inscr.Est :

Endereço :

Bairro : **BANDEIRANTES**

Município: **BELO HORIZONTE**

UF : **MG**

Item	Descrição Produto	Qtde	Un.	Qtde Kg	Preço Unit	Total Merc	Total c/PI	IPI	Cls.Fiscal
1	PERFIL I W200X19,3 A ASTM-A572 6M FX4 C	7295,4	KG	7295,4	3,300	24.074,82	0,00	0,000	72163200
		7295,4				24.074,82		0,00	

Informações Fiscais/Financeira

Cond.Pagamento : **ZV00 - CG - ANTECIPADO**

Cobrança : **Carteira**

Tipo Venda : **Entrega**

Informações da Transportadora

Transportadora : **0000020829 T.H.V.-TRANSPORTES LTDA**

Via Transp: **RODOVIARIO**

Tipo Frete : **CIF sem Destaque**

Informações de Entrega

Local Entrega : **BELO HORIZONTE -**

MG Bairro :

Endereço :

Obs do Cliente

ANEXO 3B: ORÇAMENTO DOS TUBOS V&MTUBES

Comunicação privada recebida em: 26 de mar. 2009.



VALLOUREC & MANNESMANN TUBES

V & M do BRASIL

Empresa: Site Engenharia	Remetente: V&M do BRASIL - Geison Luiz
Att.: Sr.Célio Magalhães	Tel./Fax: (31) 3328-2874 / (31) 3328-2587
Tel.: Email: sitengenharia@sitengenharia.com.br	Email: estrutural@vmtubes.com.br
Date/Data: 26.02.2009	Page/Página 01 de 01
Cotação Nº: 119/09	Aplicação: Estacas

ESPECIFICAÇÃO: TUBOS CIRCULARES V&M do BRASIL.
TUBO DE AÇO SEM COSTURA LAMINADO A QUENTE, CONFORME NORMA ASTM A -501. PONTAS LISAS E AMARRADOS COM FITAS DE AÇO OU ARAME.

Item	Bitola (mm)	Comprimento Faixa (mm)	Aço	Quantidade** (ton)	R\$ / tonelada
1	168,3x4,8 (19,35 kg/m)	8000-13000	VMB350	7,3	5.157,68

* Quantidade mínima por bitola

** Tolerância para quantidade=-10% +10%

Validade da Proposta: 10 dias

Prazo de Entrega: 60 a 80 dias após confirmação do pedido

Frete: FOB / Usina Barreiro

Condição de Pagamento: 28 dias (sujeito à análise de crédito pelo Departamento Financeiro)

ICMS: 12% incluso

IPI: 0% alíquota reduzida (somente aplicação construção civil – NCM 73089010)

Atenciosamente,

Geison Luiz Fernandes
Vendedor - Tubos Estruturais
V&M do BRASIL

ANEXO 3C: ORÇAMENTO DOS TRILHOS FERROVIÁRIOS BRASIL TRILHOS

Comunicação privada recebida em: 12 de mar. 2009.

Orçamento N°:3739

CONTRIFER COMERCIO DE TRILHOS LTDA
RUA A,209
DIST.IND.JATOBA Cep:

30670-120

Cnpj:02.472.170/0001-02

Insc.Estadual: 062.738.634.0000

Telefone:(031)3506-8100
Fax: (031)3506-8100

Cliente: CELIO
Endereço:
Cidade: BELO HORIZONTE
Contato:CELIO
E-mail: celiomagalhaes@ymail.com
Telefone:3482-6157
Local de Entrega:
Endereço:
Cidade:
Contato:
Vendedor:JUNIOR CHAVES
Dt.Entrega:12/03/2009

Estado: MG

Estado:

Código	Nome do Produto	Un	Quant%
10	TRILHOS TR 32 (USADO)	MT	500
0,0	64,00 32.000,00		

Cond. Pagamento: 30 0 % Desconto Valor
Liquido=====> 32.000,00 0,00 Valor
Desconto=====> 0,00 Valor
Vl.Frete: 0,00 Valor
Total=====> 32.000,00 Valor

Observações:
TRILHOS USADOS SEM EMPENOS - PEÇAS DE 5 À 10 METROS
FRETE CIF - MATERIAL POSTO B.HTE/MG - ENTREGA IMEDIATA
NÃO DESCARREGAMOS NA OBRA - VALIDADE PROPOSTA: 15 DIAS

Impresso em:

12/03/2009 15:27:37

ANEXO 3D: ORÇAMENTO EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES METÁLICAS

Comunicação privada recebida em: 13 de mar. 2009.

De: "Alexandre Henriques Gontijo de Paula" <alexandrehg@gmail.com>
Para: <celiomagalhaes@ymail.com>
Enviada em: sexta-feira, 13 de março de 2009 18:53
Assunto: Re: orçamento

Mestre Célio,

hoje estamos cobrando R\$40/ml cravado para estacas metálicas dimensionadas para martelo até 3500kg.

Mobilização por equipamento dentro da grande Belo Horizonte= R\$4000,00.

Por emenda de topo = R\$ 100 un.

Por corte de estaca metálica, para reaproveitamento, arrasamento ou conserto da cabeça para emenda = R\$50 un.

Espero que tenha grande sucesso em sua tese.

Abraços

Alexandre Gontijo

Em 12/03/09, celiomagalhaes@vmail.com <celiomagalhaes@vmail.com> escreveu:

Caro Alexandre da Empresa Celso Gontijo,

peço-o que me envie o valor de custo por metro de execução de fundações cravadas em aço para que eu possa inclui-lo como orçamento no meu trabalho de mestrado.

Meus agradecimentos
Célio Magalhães