

**ESTACAS METÁLICAS GERDAU**

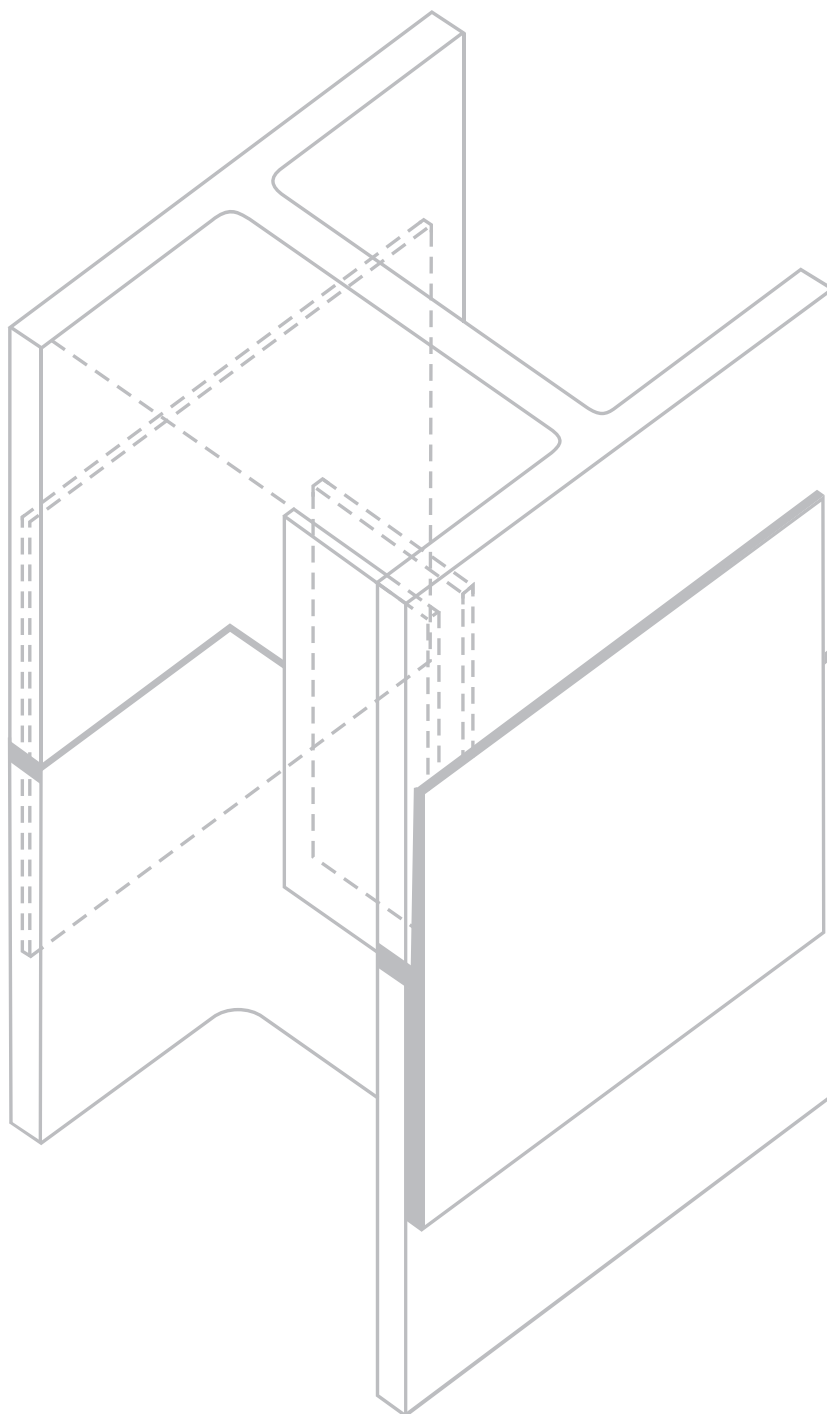




# ESTACAS METÁLICAS GERDAU

---

9ª Edição  
2018



**Consultoria**

Urbano Alonso Consultoria e Projetos Ltda.

**Realização**

Equipe Técnica Gerdau

Esta é a 9ª edição do manual de Estacas Metálicas da Coletânea do Uso do Aço, da Gerdau, lançado originalmente em 2006, na ocasião do desenvolvimento da referência técnica para o uso de estacas metálicas de seção transversal decrescente com a profundidade. Esta é uma solução técnica e econômica para as fundações profundas executadas em nosso país, principalmente nas regiões da costa litorânea, onde o solo se apresenta com espessas camadas de argilas moles intermediadas por camadas de areias finas siltosas medianamente compactas a muito compactas.

Dando continuidade às pesquisas técnicas, a Gerdau investe em provas de carga estáticas e, também, em ensaios de carregamento dinâmico, a fim de melhor entender o comportamento carga-recalque destas estacas, em particular quanto à transferência de carga por adesão e pela ponta das mesmas. Estas provas de carga fazem parte de um banco de dados que está à disposição dos profissionais interessados em estudar este tipo de estacas, bastando para tanto contatar a equipe técnica da Gerdau. Nesta 9ª edição complementamos o banco de dados das provas de carga, que vem sendo divulgadas desde a 1ª edição.

Concomitantemente com as provas de carga estáticas, foram realizadas provas instrumentadas, utilizando-se *strain gages*, que nos forneceram subsídios importantes na interpretação de como se procede a transferência de carga, não só pela adesão, mas, principalmente, pela ponta da estaca. Isto indica que, quando a mesma se situa em solos pouco portantes, não vale a proposição de alguns dos atuais métodos brasileiros que consideram como área de ponta aquela correspondente à área envolvente da seção do perfil. Isto só se mostra válido no caso em que a ponta da estaca atinge solo de alta resistência ou alteração de rocha.

Com o objetivo de tornar a cravação das estacas mais rápida (quando comparado com a cravação tradicional com martelos de impacto de queda livre ou hidráulicos) e reduzir ainda mais o barulho causado por esses equipamentos, minimizando o incômodo à comunidade na vizinhança da obra, a Gerdau introduziu, em fins de 2011, a cravação com martelos vibratórios hidráulicos e elétricos.

As estacas cravadas por este novo processo, bem como os resultados das provas de carga realizadas e um resumo do funcionamento desse novo processo de cravação estão destacados nesta nova edição do manual.



Nomenclatura .....	9
1 Introdução .....	11
2 Aplicações e Características das Estacas Metálicas .....	15
3 Corrosão .....	21
4 Dimensionamento Estrutural .....	25
4.1 - Flambagem .....	27
4.2 - Capacidade de Carga Estrutural .....	28
5 Capacidade de Carga Geotécnica .....	31
6 Conceito de “Estacas Metálicas de Seção Transversal Decrescente com a Profundidade” .....	37
7 Detalhamento das Emendas das Estacas .....	43
8 Ligação dos Perfis ao Bloco de Coroamento .....	51
1º Caso - Estacas Comprimidas .....	53
2º Caso - Estacas Tracionadas .....	55
9 Uso de Martelos Vibratórios na Cravação das Estacas .....	57
9.1 - Considerações básicas .....	59
9.2 - Primeira fundação com estacas metálicas GERDAU executada no País .....	61
10 Controles da Capacidade de Carga .....	63
10.1 - Durante o Processo de Cravação .....	65
10.2 - Provas de Carga Estática .....	68
10.3 - Provas de Carga Instrumentadas .....	69
11 Casos de Obras .....	73
12 Anexos .....	85
Anexo I – Tabela de carga estrutural dos Perfis Estruturais Gerdau .....	87
Anexo II – Tabela de Perfis – propriedades geométricas considerando a corrosão .....	91





## NOMENCLATURA

Designação	Descrição	Unidade
$b_f$	Largura da aba do perfil	L
$c$	Velocidade de propagação da onda em estacas	$LT^2$
$d$	Altura da seção transversal do perfil	L
$e$	Distância entre eixos de estacas	L
$f_u$	Limite de resistência do aço	$F.L^{-2}$
$f_y$	Limite de escoamento do aço	$F.L^{-2}$
$h$	Altura de bloco, altura da alma	L
$r_x$	Raio de giração no eixo X-X	L
$r_y$	Raio de giração no eixo Y-Y	L
$r_l$	Adesão média solo-estaca, na ruptura	$F.L^2$
$r_p$	Resistência unitária (à ruptura) do solo sob a ponta da estaca	$F.L^2$
$s$	Nega da estaca	L
$t_f$	Espessura da aba (mesa) do perfil	L
$t_w$	Espessura da alma do perfil	L
$A$	Área do retângulo envolvente à seção transversal da estaca	$L^2$
$A_p$	Porcentagem da area A a adotar na capacidade de carga da estaca	$L^2$
$A_s$	Área da seção transversal do perfil	$L^2$
$A'_s$	Área útil da seção transversal do perfil (deduzida a corrosão)	$L^2$
$C_2$	Deformação elástica do fuste da estaca	L
$C_3$	Deslocamento elástico do solo sob a ponta da estaca	L
$E$	Módulo de elasticidade do material da estaca	$F.L^{-2}$
$G$	Módulo de elasticidade transversal do material da estaca	$F.L^{-2}$
$I_x$	Momento de inércia no eixo X-X da seção transversal da estaca	$L^4$
$I_y$	Momento de inércia no eixo Y-Y da seção transversal da estaca	$L^4$
$L_{fl}$	Comprimento de flambagem	$L^4$
$K$	Repique	L
$P$	Carga estrutural admissível das estacas	F
$PL$	Carga de ruptura por atrito lateral ao longo do fuste da estaca	F
$PP$	Carga de ruptura do solo sob a ponta da estaca	F
$PR$	Carga de ruptura do solo que dá suporte a uma estaca	F
$W_x$	Módulo resistente no eixo X-X da seção transversal da estaca	$L^3$
$W_y$	Módulo resistente no eixo Y-Y da seção transversal da estaca	$L^3$
$\beta$	Coefficiente de dilatação térmica linear	$^{\circ}C$
$\gamma$	Peso específico	$F.L^{-3}$
$\gamma_f$	Coefficiente de ponderação das resistências	-
$\gamma_p$	Coefficiente de ponderação das ações	-
$\eta_h$	Constante do coeficiente de reação horizontal	$F.L^{-3}$
$\lambda$	Índice de esbeltez	-
$\nu$	Coefficiente de Poisson do material da estaca	-
$k_y$	Coefficiente de flambagem	-
$\chi$	Fator de redução associado à resistência à compressão	-
$Q$	Fator de redução total associado à flambagem local	-

Designação	Descrição	Unidade
$\gamma_m$	Coefficiente de ponderação médio das ações	-
$d'$	Altura plana da alma	L
$\lambda_o$	Índice de esbeltez reduzido	-
$\lambda_f$	Índice de esbeltez limite da mesa	-
$\lambda_f$	Índice de esbeltez limite da alma	-

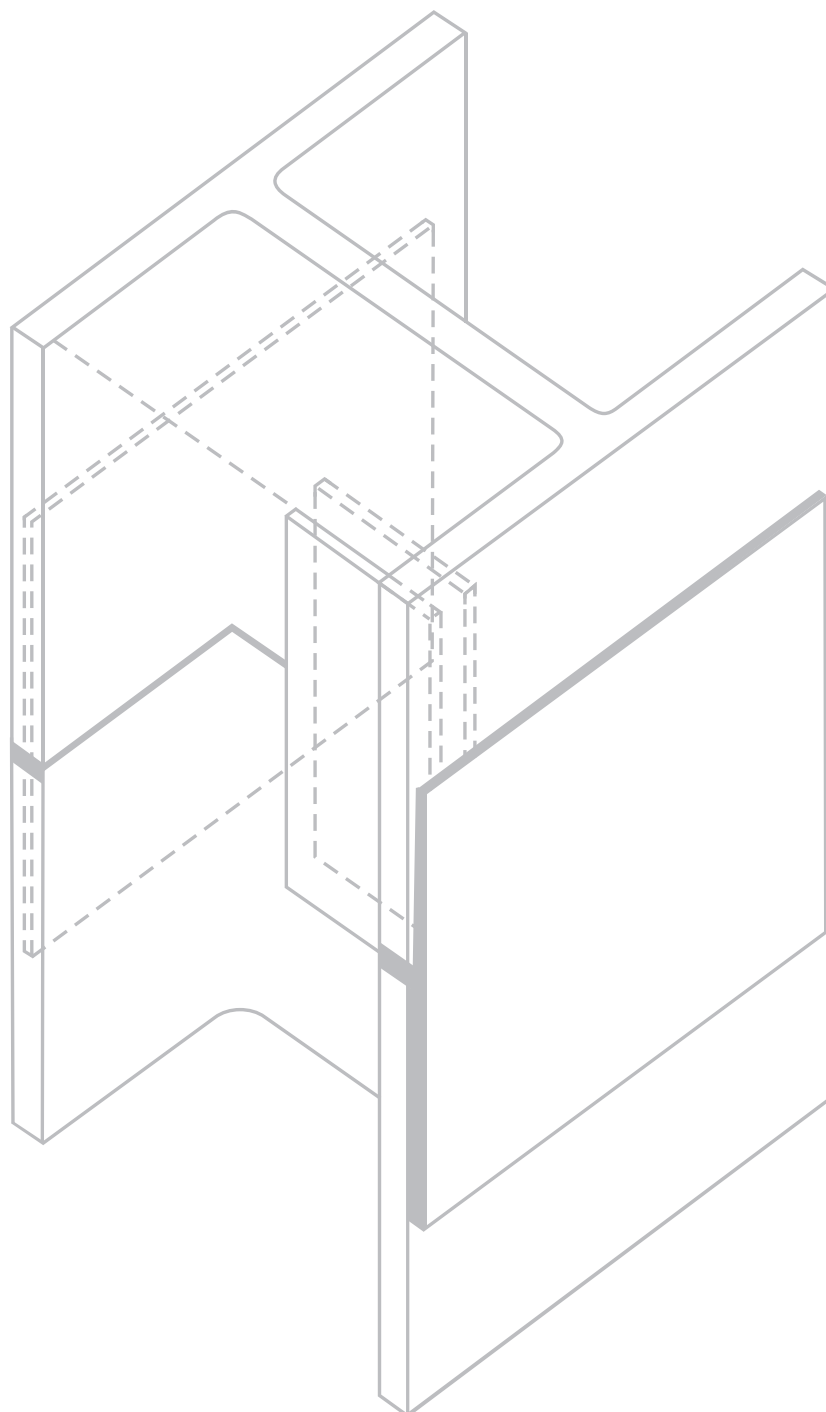
L = comprimento (mm, cm, m)    F = força (N, kN, kgf, tf)

#### Características do aço ASTM A572 Grau 50

Limite de escoamento ( $f_y$ )	345 MPa = 3,5 tf/cm <sup>2</sup>
Limite de resistência ( $f_u$ )	450 MPa = 4,5 tf/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidade (E)	200.000 MPa = 2.039 tf/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson ( $\nu_a$ )	0,3
Módulo de elasticidade transversal (G)	77.000 MPa = 785 tf/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de dilatação térmica linear ( $\beta$ )	1,2x10 <sup>-5</sup> /°C
Peso específico ( $\gamma$ )	77 kN/m <sup>3</sup> = 7,85 tf/m <sup>3</sup>

## INTRODUÇÃO

---





Até 2002 as estacas metálicas eram utilizadas principalmente nas estruturas de contenção (perfis metálicos associados a pranchas de madeira ou pré-fabricadas de concreto) e nos pilares de divisa, com o objetivo de se eliminar as vigas de equilíbrio. Mas nos casos em que se queria reduzir as vibrações decorrentes da cravação de estacas de deslocamento (estacas pré-moldadas de concreto, estacas do tipo Franki, estacas tubulares, etc.), as estacas metálicas sempre foram consideradas como solução de alta eficiência. O mesmo se pode dizer quando é necessário atravessar lentes de pedregulhos ou concreções (laterita, limonita, etc). As características das estacas metálicas são apresentadas no Capítulo 2.

Com a introdução dos Perfis Estruturais Gerdau, em 2002, este cenário passou a ser gradualmente transformado, e, hoje, decorridos quinze anos, as estacas metálicas para fundações profundas já são uma realidade, competindo técnica e economicamente com os demais tipos de fundações.

Os Perfis Estruturais Gerdau são produzidos em aço laminado de alta resistência (ASTM A572 Grau 50), o que proporciona elevada capacidade de carga ao elemento estrutural, cujo dimensionamento é discutido no Capítulo 4. Aspectos sobre a durabilidade da estaca em contato com o solo e sua influência no dimensionamento estrutural são apresentados no Capítulo 3. A interação da estaca com o solo e sua capacidade de carga geotécnica são revisados no Capítulo 5.

Além de possuir seções geométricas com as faces das mesas paralelas, que facilitam as ligações, a ampla variedade de bitolas oferecidas pela Gerdau para perfis de uma mesma família (aquelas cujas bitolas são de mesma altura nominal, com variações na espessura de alma e mesas), permitiu a criação das estacas metálicas de seção transversal decrescente com a profundidade. Ou seja, com base nas características geométricas dos Perfis Estruturais Gerdau, é possível criar estacas metálicas compostas com perfis de um mesmo grupo, com seção transversal variável em função da profundidade. O conceito é relativamente simples e estabelece que a seção transversal pode ser reduzida com a profundidade em função da carga resultante na estaca, que vai diminuindo em razão da transferência de carga para o solo, por atrito lateral. Esta solução, que oferece uma significativa redução no peso médio das estacas, se apresenta como alternativa técnico-econômica às fundações profundas, onde, tradicionalmente, se utilizam estacas escavadas (estacões e barretes), estacas raiz, estacas pré-moldadas de concreto com emenda soldada e trilhos (novos e usados). O conceito das fundações em estacas metálicas de seção transversal decrescente com a profundidade é especialmente abordado no Capítulo 6.

Diversos conceitos, orientações, recomendações e práticas de mercado relativos ao detalhamento das emendas das estacas, ligações ao bloco de coroamento e controle da capacidade de carga são abordados nos capítulos 7, 8 e 10. Destacamos as provas de carga instrumentadas, que confirmam o comportamento da interação estaca-solo nos casos de estacas de seção variável com a profundidade.

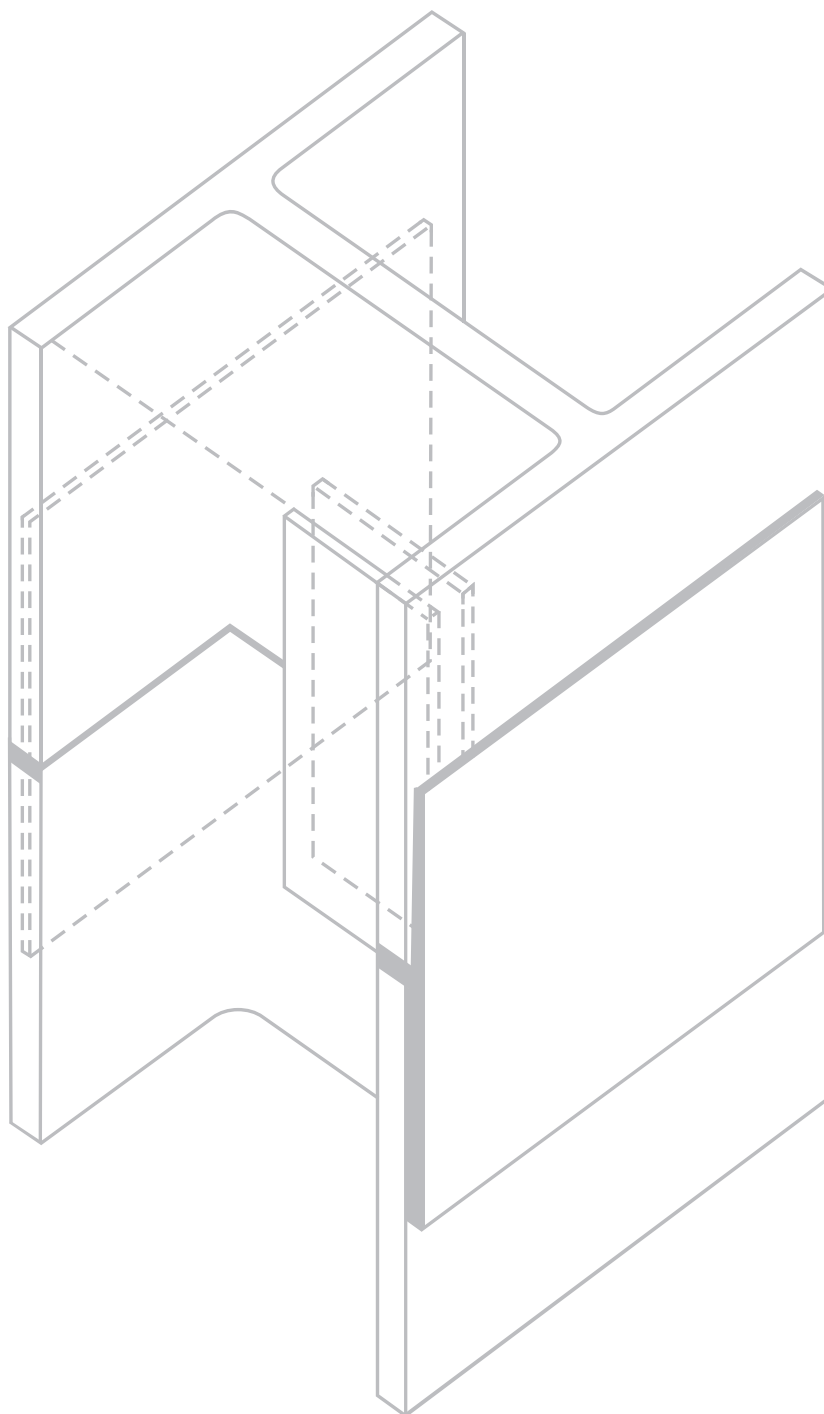
Finalmente, como destaque desta nova edição, apresentamos um resumo do processo de cravação novo no mercado, por meio de martelos vibratórios hidráulicos e elétricos (Capítulo 9). Os casos de obras são descritos no Capítulo 11, que já apresenta referências de situações em que houveram provas de carga estáticas em estacas cravadas com uso de martelos vibratórios.



# APLICAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS METÁLICAS

---

# 2







## 2.1 - Aplicações

Como elementos de fundação, as estacas metálicas têm aplicação destacada nas construções industriais, em edifícios de andares múltiplos, pontes e viadutos, portos e torres de transmissão. Nas estruturas de contenção elas têm papel preponderante em função da facilidade de cravação, de sua alta resistência e da versatilidade de integração com elementos construtivos complementares.

## 2.2 - Vantagens

São inúmeras as razões para sua utilização, quando comparadas com outros tipos, entre as quais ressaltamos:

- Baixo nível de vibração durante sua cravação, quer seja com martelos de queda livre de impacto ou os modernos martelos vibratórios;
- Possibilidade de cravação em solos de difícil transposição, como, por exemplo, argilas rijas a duras, pedregulhos e concreções (laterita, limonita, etc.) sem o inconveniente do “levantamento” de estacas vizinhas já cravadas (como ocorre, por exemplo, no caso das estacas pré-moldadas de concreto e Franki) e sem perdas de estacas “quebradas”, que oneram não só o estaqueamento como os blocos que deverão ser redimensionados (aspectos de custo e prazo);
- Resistência a esforços elevados de tração (da ordem de grandeza da carga de compressão, exceto quando as estacas se apóiam em rocha) e de flexão (o porque de seu emprego muito ligado às estruturas de contenção);
- Possibilidade de tratamento à base de betume especial (pintura), com a finalidade de reduzir o efeito do “atrito negativo”;
- Facilidade de corte e emenda, de modo a reduzir perdas decorrentes da variação da cota de apoio do estrato resistente, principalmente em solos residuais jovens.

## 2.3 - Estacas Mistas

Quando usadas como complemento de outro tipo de estaca (por exemplo, pré-moldada de concreto com anel metálico), as denominadas estacas mistas podem resolver alguns problemas de fundação profunda, conforme se mostra nas fotografias 1 e 2.

No primeiro caso (fotografia 1), o segmento metálico tem por finalidade permitir a cravação de um comprimento significativo da estaca em solos compactos arenosos ou argilas rijas a duras, sem os inconvenientes de “levantamento” acima mencionado, ou atravessar pedregulhos e concreções. Sua aplicação mais significativa ocorre em obras marítimas (cais) onde é comum a existência destas camadas resistentes, mas a estaca é projetada com um comprimento préfixado (por exemplo, decorrente de futura dragagem) para resistir a esforços elevados de tração. A cravação de estacas de concreto, neste caso, pode se tornar inviável em decorrência de quebra, para atingir a profundidade definida pelo projetista. Assim, a estaca mista, terá um trecho em concreto armado, na região em água, e um trecho metálico na região de solo, com comprimento tal que permita atravessar estas dificuldades de resistência do solo, atingindo o comprimento definido em projeto, e mantendo a integridade estrutural para resistir às cargas de compressão e tração a ela impostas.

As provas de carga números I.19 e I.41 são um caso de obra em que se usou este tipo de estaca. Uma vista geral de uma destas obras é mostrada na fotografia 3.

No segundo caso (fotografia 2), o segmento metálico tem por finalidade permitir que a estaca mista possa ser cravada, até atingir um estrato rochoso, sem que haja risco de quebra da ponta da estaca de concreto, visto que, na quase totalidade dos casos em que ocorre rocha, esta se encontra inclinada, impondo, à ponta da estaca, tensões não uniformes, durante a cravação. Estas tensões dinâmicas de cravação não podem ser resistidas pelo concreto, mas sim pela ponta metálica, pois o aço é um material mais dúctil e, por deformações diferenciais, redistribui estas tensões de contato e as transmite de modo mais uniforme para a seção de concreto.

**Fotografia 1 - Estaca mista (concreto-perfil metálico) para atravessar solos resistentes sem risco de levantamento de estacas já cravadas. Também se utilizam em obras marítimas conforme se mostra nas provas de carga números I.19 e I.41.**



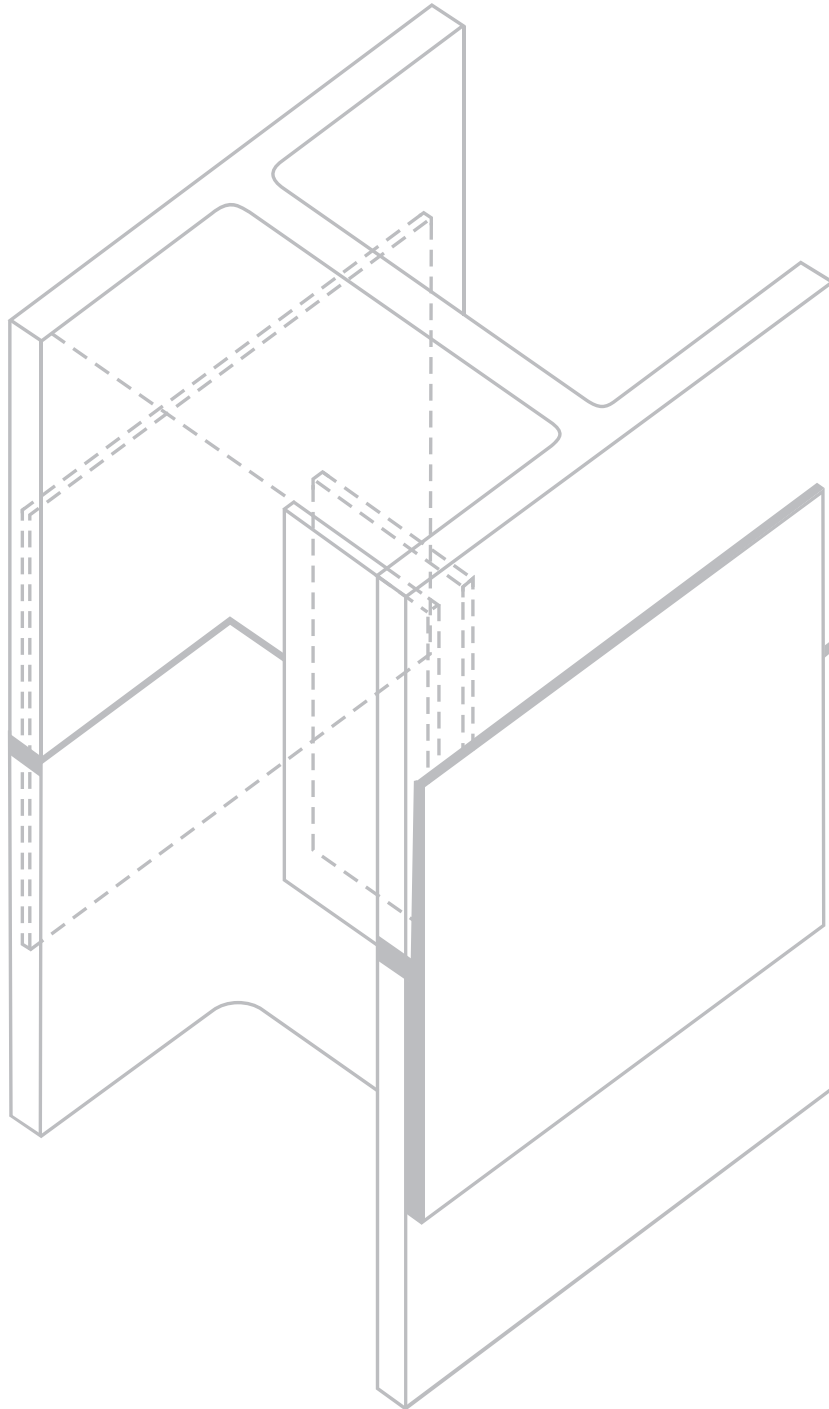
**Fotografia 2 - Estaca mista (concreto-perfil metálico) para apoio em rocha**



Fotografia 3 - Vista geral da obra onde se realizou a prova de carga nº I.41 (estaca mista)









Estacas de aço têm sido utilizadas em todo o mundo há mais de 120 anos e sua durabilidade tem excedido todas as estimativas teóricas, especialmente em solos agressivos ou contaminados por produtos químicos. Não há caso relatado na literatura internacional de falha estrutural causada pela corrosão de estacas de aço imersas em solo.

A farta literatura disponível tem indicado que os solos naturais são tão deficientes em oxigênio que o aço não é apreciavelmente afetado pela corrosão, independentemente do tipo de solo ou de suas propriedades.

O processo de corrosão de uma estaca cravada em solos cujo pH esteja situado entre 4 e 10, isto é, quase que a totalidade dos solos naturais encontrados, é fundamentalmente dependente da presença simultânea de água e oxigênio. Na ausência de uma destas substâncias, a corrosão não acontecerá.

O primeiro metro de solo apresenta certa oxigenação; abaixo disso, a concentração desta substância decresce rapidamente com a profundidade, e sua reposição é extremamente dificultada. A difusão de gases em meios porosos contendo água é um processo muito lento. Uma estaca recentemente cravada no solo consome todo este oxigênio disponível nas redondezas durante processo de corrosão, exaurindo-o. Para que o processo tenha continuidade, mais oxigênio deve chegar ao sítio de reação, o que não pode acontecer com facilidade. Este é motivo pelo qual os resultados experimentais disponíveis têm revelado a grande resistência do aço frente à corrosão, independentemente do tipo de solo ou de suas propriedades. Outras propriedades dos solos, tais como drenagem, resistividade elétrica ou composição química não são de grande valia na determinação de sua corrosividade.

Um artigo técnico intitulado “Medidas de Potencial de Corrosão de Estacas de Aço Cravadas em Santos” foi publicado no 7º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE7.

No capítulo 4, item 4.2, apresenta-se o dimensionamento estrutural das estacas levando-se em conta a corrosão segundo a NBR 6122:2010.

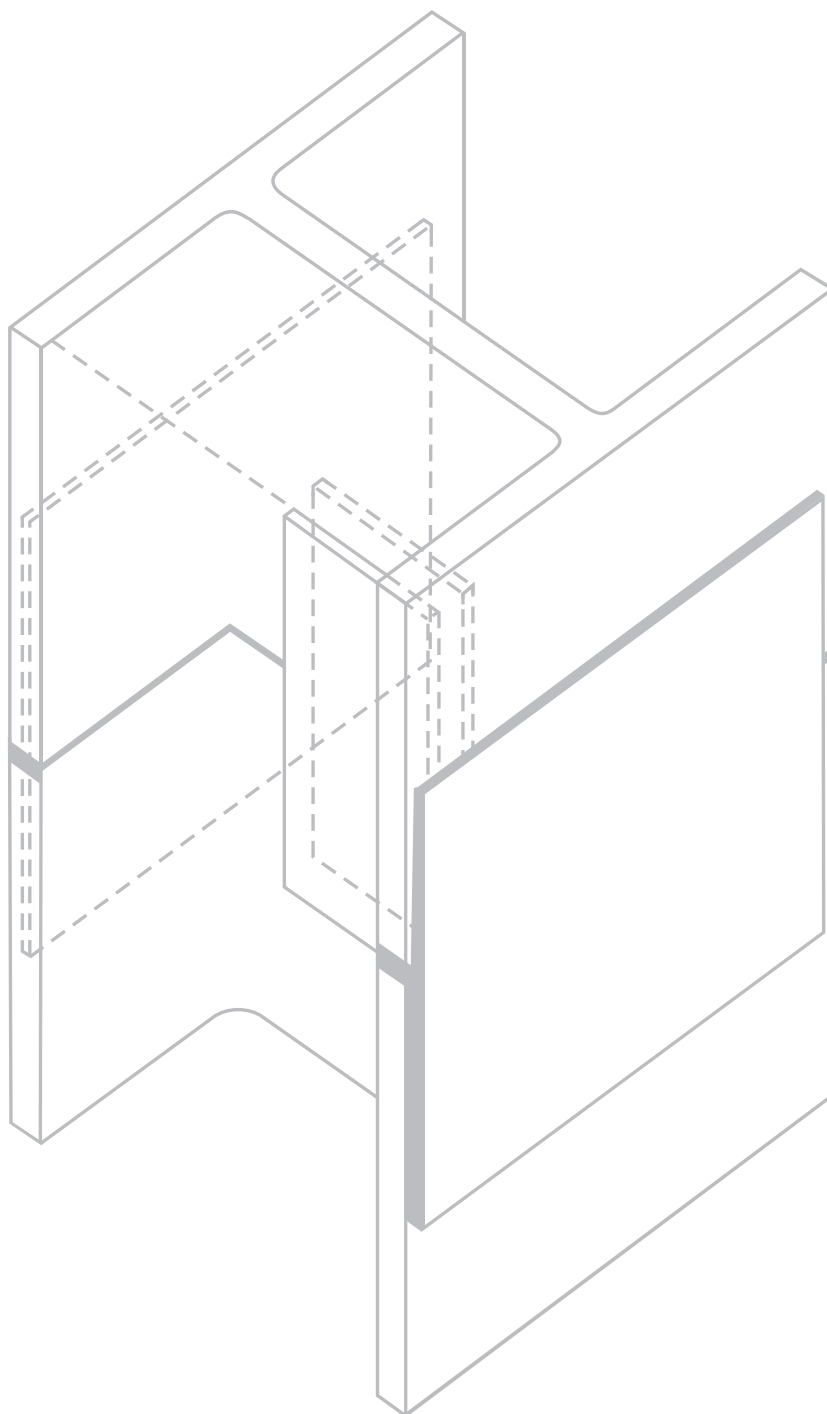
A fotografia 4 mostra uma estaca metálica que serviu como fundação por mais de 20 anos, da ponte da Rua Wandenkolk, sobre o rio Tamanduateí, em São Paulo. Essa estaca foi removida, juntamente com todas as demais, quando da retificação, alargamento e aprofundamento da calha deste rio. A seção de separação entre o trecho enterrado da estaca e o imerso no concreto do encontro da ponte (bloco de coroamento) está indicada, nessa fotografia, pela seta.

Também no livro de Fundações dos Profs. Dirceu Velloso e Francisco Lopes (COPPE-UFRJ - vol. 2) há o relato de que a análise de estacas metálicas utilizadas como fundação de edifícios no Rio de Janeiro, junto à Lagoa Rodrigo de Freitas, e retiradas após 10 a 20 anos de uso, não mostravam sinais de corrosão.

Fotografia 4 - Estaca metálica da ponte Wandenkolk, removida após mais de 20 anos de uso









#### 4.1 - Flambagem

Em estacas axialmente comprimidas que permanecem totalmente enterradas, normalmente não ocorre flambagem. Esta só deve ser verificada quando as estacas tiverem sua cota de arrasamento acima do nível do terreno, levada em conta a eventual erosão (no caso de estacas onde ocorre fluxo de água), ou atravessarem solos muito moles.

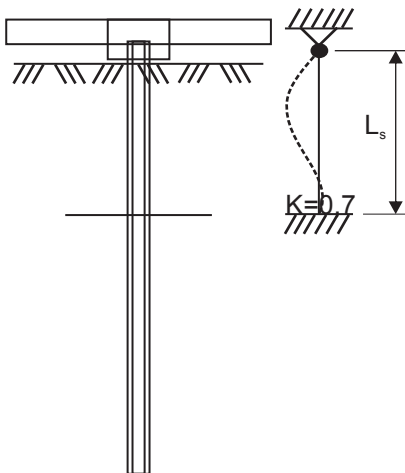
As estacas metálicas com Perfis Estruturais Gerdau não sofrem efeito de flambagem, mesmo quando atravessam solos moles. Para demonstrarmos, tomaremos da série de perfis, o que apresenta o menor raio de giração e que, conseqüentemente, terá o maior índice de esbeltez ( $\lambda = k_y L_s / r_y$ ).

Para esse cálculo adotaremos a hipótese de que o topo da estaca esteja solidário ao bloco (estaca rotulada no bloco e engastada a uma profundidade  $L_s$ , calculada pelo método de Davisson e Robinson [4]. Esta hipótese é válida, pois as estacas trabalham, geralmente, em grupos solidarizados por um bloco de coroamento rígido, onde não é necessário levar em conta as excentricidades (de segunda ordem) na aplicação da carga. Mesmo quando a estaca é isolada, a NBR 6122:2010 [2] exige que o bloco seja travado (em duas direções ortogonais) caso a estaca apresente diâmetro (do círculo circunscrito) inferior a 30 cm. No caso de bloco com duas estacas, também se recomenda que o bloco seja travado por uma viga transversal ao plano que contém as estacas.

O Perfil Estrutural Gerdau que tem o menor raio de giração é o:

$$W 310 \times 21,0 \quad \left| \begin{array}{l} A_g = 27,2 \text{ cm}^2 \\ r_y = 1,90 \text{ cm} \\ I_y = 98 \text{ cm}^4 \end{array} \right.$$

Para este Perfil, a carga admissível à compressão é calculada a seguir:



$$L_s = 1,8,5 \sqrt{\frac{E \cdot I}{\eta_h}} \quad (\text{Davisson e Robinson})$$

$$\text{Para argila muito mole } \eta_h = 0,055 \text{ kgf/cm}^3$$

$$L_s = 148 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{k \cdot L_s}{r_y} = \frac{0,7 \times 148}{1,90} = 55 \quad (\text{esbeltez máxima})$$

Segundo a NBR 8800:2008 [1], a carga estrutural admissível do perfil à compressão será:

$$P = \frac{(\chi \cdot Q \cdot A_s \cdot f_y)}{\gamma_f \cdot \gamma_m}$$

$$\text{Esbeltez local:} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Abas } \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 8,86 < 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 13,48 \end{array} \right.$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Alma } \frac{d'}{t_w} = 53,25 > 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 35,87 \end{array} \right. \rightarrow Q = 0,865$$

$$\text{Índice de esbeltez reduzido} \rightarrow \lambda_0 = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot f_y}{E}} = \frac{55}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{0,865 \times 3,5}{2039}} = 0,67 \rightarrow \chi = 0,83$$

Considerando ainda:

Coefficiente de ponderação da resistência  $\gamma_f = 1,1$

Coefficiente de ponderação médio das ações  $\gamma_m = 1,5$

(A) Portanto a carga estrutural admissível do perfil do perfil de maior esbeltez da série, o W310 x 21,0, trabalhando como estaca enterrada em solo de baixa resistência com ( $\lambda = 55 \rightarrow \chi = 0,8$ ), e sem redução de seção, será:

$$P = \frac{(0,83 \times 0,865 \times 27,2 \times 3,5)}{1,1 \times 1,5} = 41,1 \text{ tf}$$

(B) A carga estrutural admissível à compressão do perfil W 310x21,0 calculada com a redução de seção de 1,0 mm em todo o perímetro, devido à corrosão preconizada pela NBR 6122:2010 [2] (para solos naturais) e sem flambagem ( $\lambda = 15 \rightarrow \chi = 0,98$ ), será:

$$P = \frac{(0,98 \times 0,865 \times 17,4 \times 3,5)}{1,1 \times 1,5} = 31,1 \text{ tf}$$

Considerando que o valor calculado em (A), obtido com o perfil mais esbelto da série em solo de baixa resistência é cerca de 70% maior do que o valor calculado em (B), obtido com a redução de seção e sem considerar a flambagem, adotaremos para a tabela da carga estrutural admissível a expressão utilizada em (B) que deverá atender para perfis utilizados com estacas em solos normais.

## 4.2 - Capacidade de Carga Estrutural

Segundo a NBR 6122:2010 [2], as estacas metálicas devem ser dimensionadas de acordo com a NBR 8800:2008 [1], considerando-se uma seção reduzida da estaca (descontando uma espessura de sacrifício em todo o perímetro em contato com o solo).

As estacas metálicas que estiverem total e permanentemente enterradas, independentemente da situação do lençol d'água, dispensam tratamento especial, desde que seja descontada a espessura indicada na Tabela 1.

Tabela 1: Espessura de compensação de corrosão

Classe	Espessura a reduzir (mm)
Solos em estado natural e aterros controlados	1,0
Argila orgânica; solos porosos não saturados	1,5
Aterros não controlados	2,0
Turfa	3,0
Solos contaminados (*)	3,2
(*) Casos de solos agressivos devem ser estudados especificamente	

Com base no acima exposto a carga admissível estrutural dos Perfis Estruturais Gerdau utilizados como estacas será determinada por:

$$P = \frac{(\chi \cdot Q \cdot A_s \cdot f_y)}{\gamma_f \cdot \gamma_m} \quad (1)$$

Com as seguintes considerações:

1) Como nas estacas enterradas, normalmente não ocorre flambagem, conforme se mostrou no item anterior, tomaremos o valor de  $\chi = 1,0$ .

2) Segundo a NBR 8800:2008 [1], as seções que atendem aos limites de esbeltez local mostrados abaixo para a mesa e para a alma são consideradas estáveis localmente e portanto são totalmente efetivas, sendo o seu dimensionamento comandado pela resistência global do elemento.

- Todos os perfis da Série H, atendem aos limites abaixo, ou seja  $Q = 1,0$ .
- Alguns perfis da Série I, tem alma que não atende aos limites abaixo e podem ter uma pequena redução na capacidade global do elemento, ou seja  $Q < 1,0$ .

$$\left| \begin{array}{l} \text{Para a mesa } \lambda_f = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} < 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 13,48 \\ \text{Para a alma } \lambda_w = \frac{d'}{t_w} < 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 35,87 \quad d' = \text{altura plana da alma} \end{array} \right.$$

3) Considerando que em muitos casos não se conhece a origem exata das cargas, adotaremos, para a determinação da carga estrutural admissível, com base na NBR 8681:2003 [3] um coeficiente de ponderação médio para as ações permanentes e variáveis consideradas agrupadas  $\rightarrow \gamma_m = 1,5$ .

4) Com base na NBR 8800:2008 [1] adotaremos o seguinte coeficiente de ponderação para as resistências  $\rightarrow \gamma_f = 1,1$ .

5) Usaremos para o cálculo a área reduzida ( $A'_s$ ) calculada descontando-se da área bruta ( $A_s$ ) a espessura a reduzir em todo o perímetro do perfil, conforme a Tabela 1.

Assim, a expressão final para o caso de estacas enterradas com Perfis Estruturais Gerdau, de acordo com as considerações acima será:

$$P = \frac{(Q \cdot A'_s \cdot f_y)}{1,1 \times 1,5} \quad \text{ou} \quad P = \frac{(Q \cdot A'_s \cdot f_y)}{1,65} \quad (2)$$

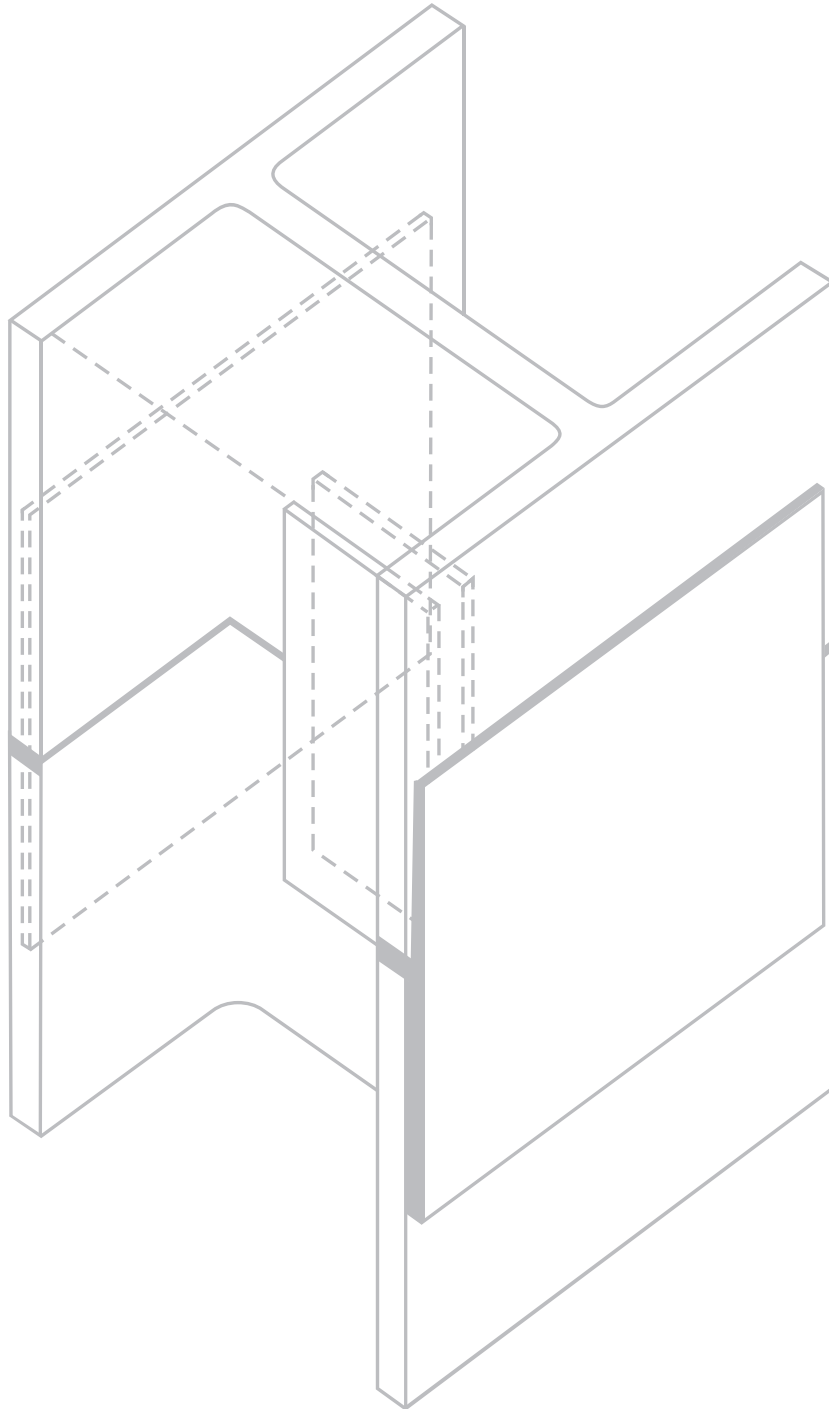
$\rightarrow$  Ver no Anexo 1 a tabela com a carga admissível estrutural para toda a série de Perfis Estruturais Gerdau, calculada com base na expressão (2) e levando-se em conta as espessuras a reduzir de 1,0 mm, 1,5 mm e 2,0 mm, conforme a Tabela 1.

A carga admissível a adotar para a estaca deverá atender também a carga admissível geotécnica, obtida após a análise dos parâmetros geotécnicos onde a estaca será cravada. Esta carga admissível geotécnica será obtida utilizando-se um dos métodos (teóricos ou semi-empíricos) de capacidade de carga consagrado em Mecânica dos Solos e que atenda ao preconizado na NBR 6122:2010 [2]. Neste catálogo técnico propõe-se o método de Alonso [5].

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [4] DAVISSON, M. T.;ROBINSON, K. E., “Bending and buckling of partially embedded piles”. Proceedings of 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, 1965. v. 2, p. 243-246.
- [5] ALONSO, U.R., “Previsão da Capacidade de Carga Geotécnica de Estacas Metálicas com Ponta em Solo Pouco Competente”. Seminário de Engenharia de Fundações e Geotecnia - SEFE VI, São Paulo, 2008, v.1, p. 487 a 494.

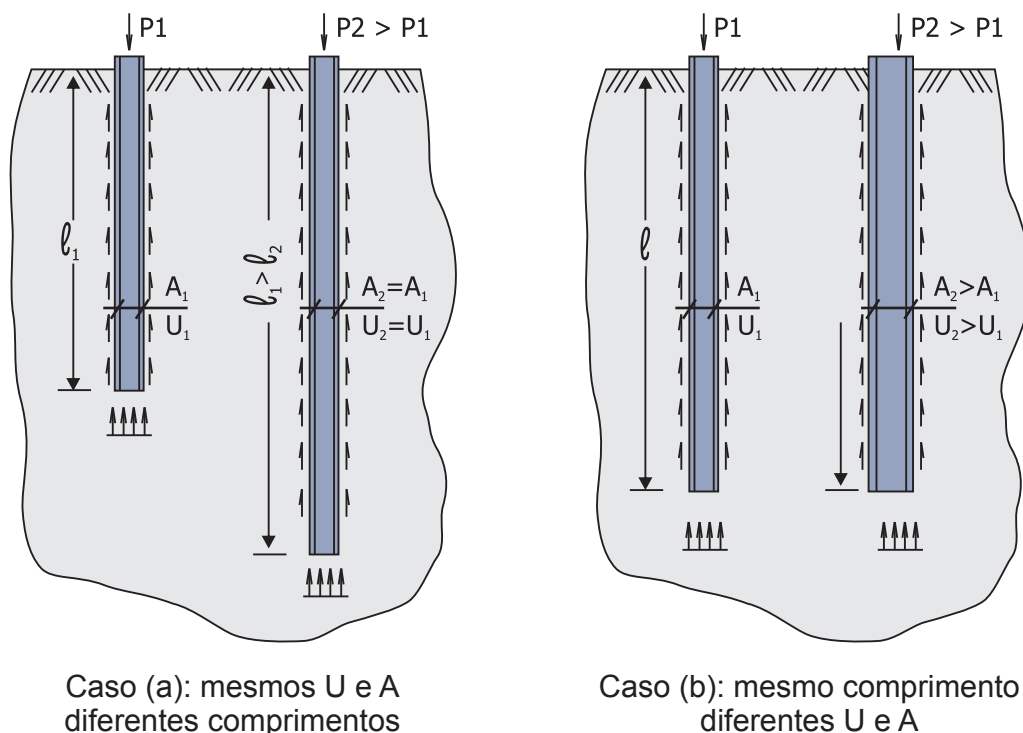






A carga admissível estrutural, também denominada carga característica, apresentada no Anexo I, é a máxima carga que a estaca poderá resistir, visto que corresponde à resistência estrutural do aço que a compõe. Entretanto, há necessidade de se adotar uma estaca de um comprimento tal que permita que essa carga possa ser atingida sob o ponto de vista do contato estaca-solo. Esse procedimento constitui o que se denomina “previsão da capacidade de carga”. A figura 1 mostra duas situações de estacas do mesmo tipo, instaladas num mesmo solo. O caso (a) corresponde a estacas com mesmo perímetro  $U$  e mesma área de ponta  $A$ , porém com comprimentos diferentes, de tal sorte que a estaca com maior comprimento apresentará maior capacidade de carga. Analogamente, o caso (b) apresenta duas estacas com o mesmo comprimento, mas com perímetro  $U$  e área de ponta  $A$  diferentes. Neste caso a estaca de maior perímetro e área apresentará maior capacidade de carga. Portanto, o projeto de um estaqueamento consiste em otimizar perímetros e áreas de ponta em função das características de resistência do solo e das limitações dos equipamentos de cravação. É evidente que, nessa otimização, e sempre que for possível, devem-se utilizar estacas e equipamentos que permitam instalá-las em um comprimento tal que a carga admissível estrutural possa ser atingida, pois essa é a máxima carga que a estaca pode suportar. Mas, nem sempre isso é possível, e, via de regra, a carga admissível da estaca será inferior àquela mostrada no Anexo I. É por essa razão que não existem cargas admissíveis de estacas metálicas (ou de outro tipo) tabeladas.

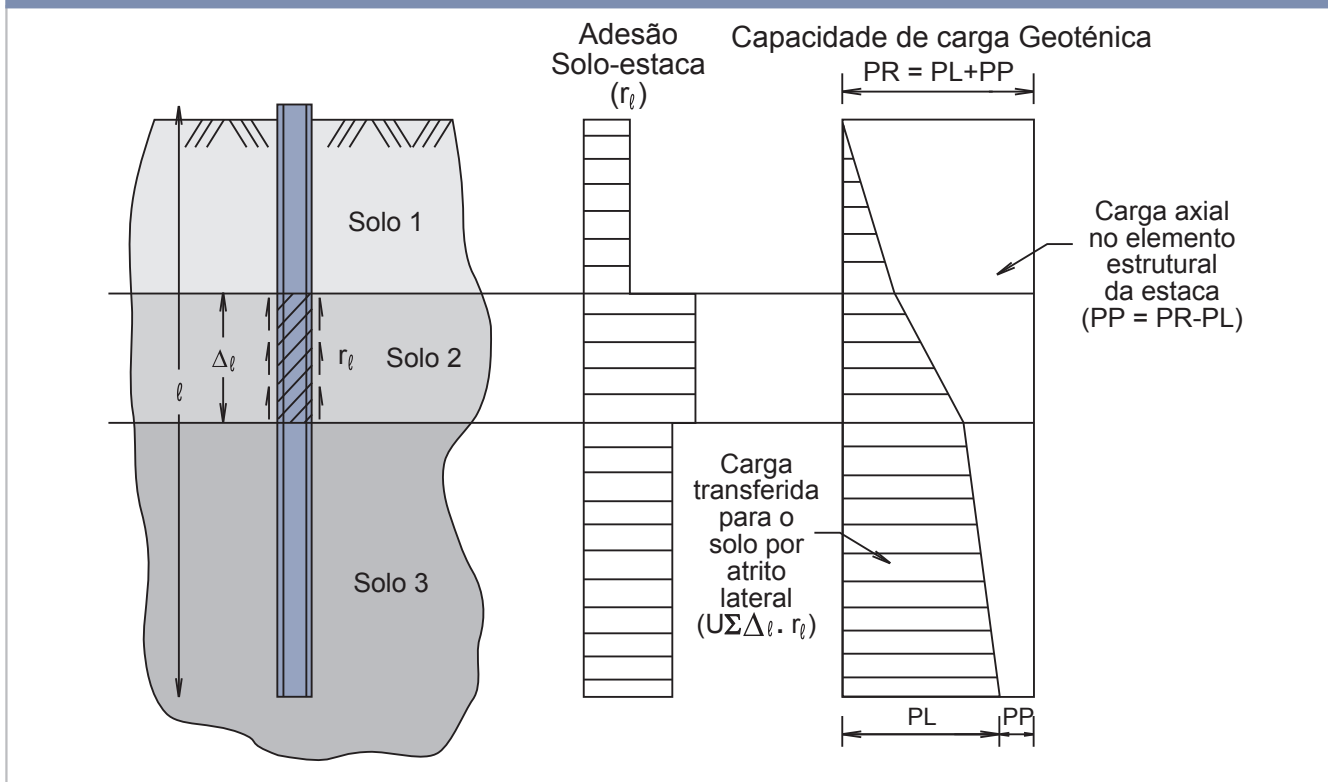
**Figura 1 - Capacidade de carga de estacas do mesmo tipo em um mesmo solo**



No Brasil, a estimativa da capacidade de carga geotécnica é feita pelos métodos semi-empíricos, cuja origem se deu em 1975, quando foi apresentado o primeiro método brasileiro, proposto por Aoki e Velloso. A partir daí, outros autores, seguindo a mesma linha de raciocínio, apresentaram outros métodos, existindo hoje uma experiência bastante razoável dos profissionais que militam na área de fundações.

Todos os métodos semi-empíricos partem do conceito apresentado na figura 2, em que a carga de ruptura geotécnica PR do solo, que dá suporte a uma estaca isolada, é admitida igual à soma de duas parcelas:

Figura 2 - Transferência de carga de uma estaca isolada



$PR = PL + PP$  → carga na ruptura do solo que dá suporte à estaca, sendo:

$PL = U \cdot \sum \Delta \ell_i \cdot r_i$  → parcela de carga por atrito lateral ao longo do fuste da estaca

$PP = A_p \cdot r_p$  → parcela de carga devido à ponta da estaca

$U$  → perímetro desenvolvido da seção transversal da estaca

$\Delta \ell_i$  → trecho de solo onde se admite  $r_i$  constante

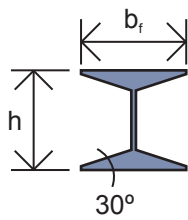
$A_p$  → área da ponta da estaca que contribui para a capacidade de carga. (seu valor máximo será de  $b_f \cdot d$ )

A diferença entre os diversos métodos de capacidade de carga está na avaliação dos valores de  $r_i$  e  $r_p$ , já que as demais grandezas envolvidas são geométricas.

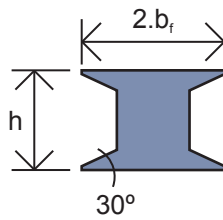
Propõe-se para a estimativa da carga admissível geotécnica o método apresentado por Alonso em 2008 no SEFE VI (vol 1 pág. 487 a 494).

Segundo este autor a área da ponta da estaca, quando a mesma estiver em solo pouco competente, deve ser considerada como se mostra na Figura 3.

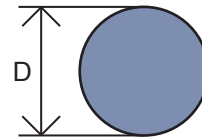
Figura 3 - Área da ponta da estaca metálica que contribui com a capacidade de carga geotécnica, em solo pouco competente.



$$A_p = 0,3 b_f^2$$



$$A_p = b_f \cdot h + 0,3 b_f^2$$



$$A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ para } (D \leq 60\text{cm, proposição})$$

Para a adesão lateral  $r_l$ , Alonso propõe:

$$r_l = 0,28 N_{\text{SPT}} < 20 \text{ tf/m}^2$$

Nota: No caso das argilas da Baixada Santista adotar os valores propostos por Massad (1999 – SOLOS e ROCHAS, vol. 22, nº 1, abril).

$$r_l = 3 \text{ tf/m}^2 \text{ para as argilas SFL}$$

$$r_l = 6 \text{ tf/m}^2 \text{ para as argilas AT}$$

Para a resistência unitária de ponta  $r_p$ , Alonso propõe:

$$r_p = K \cdot N_{\text{SPT}} \text{ sendo:}$$

$$K = 40 \text{ tf/m}^2 \text{ para as areias}$$

$$K = 30 \text{ tf/m}^2 \text{ para as areias siltosas e argilosas}$$

$$K = 25 \text{ tf/m}^2 \text{ para os siltes}$$

$$K = 15 \text{ tf/m}^2 \text{ para as argilas}$$

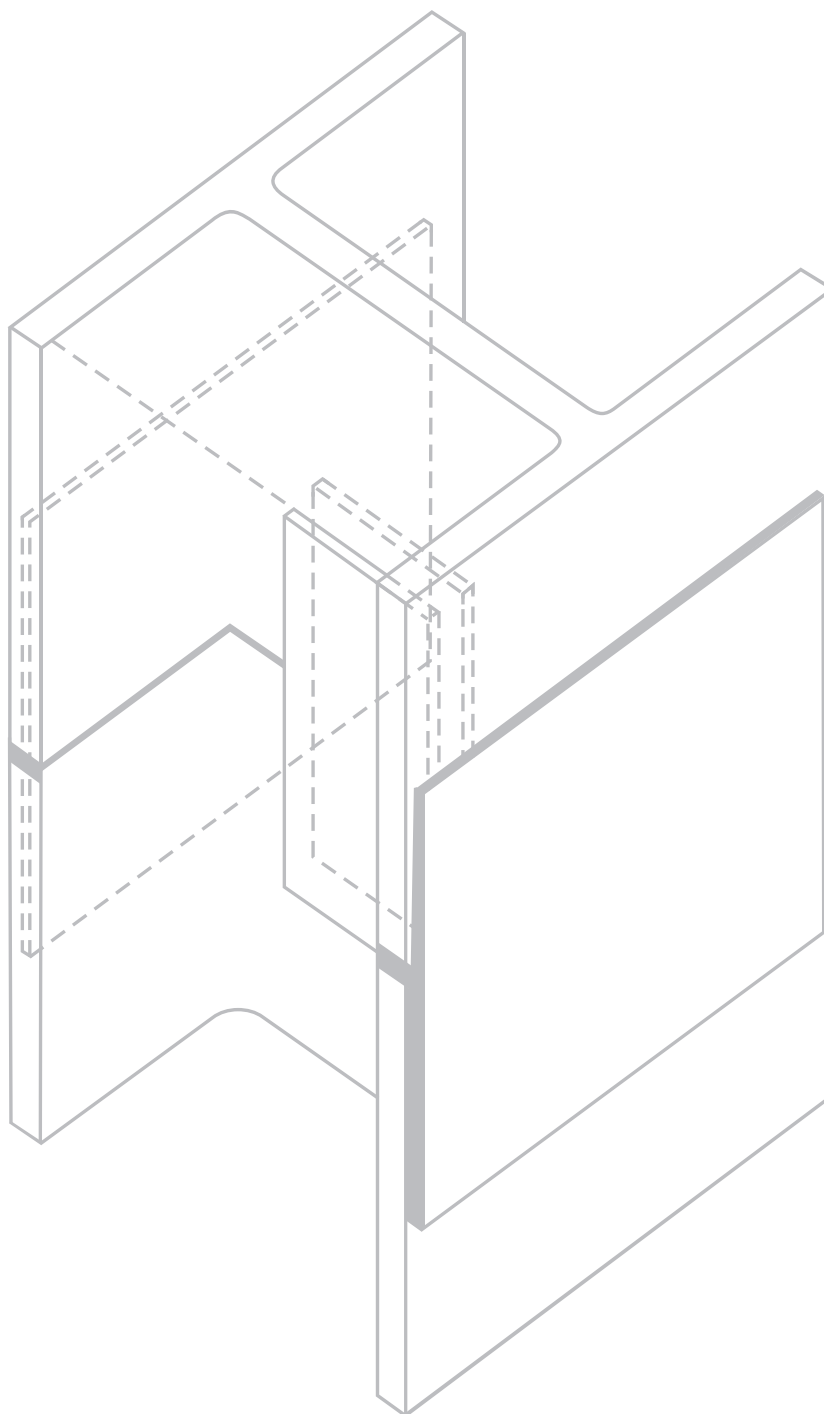
A NBR 6122:2010 da ABNT exige, em seu item 6.2.1.2.1, fator de segurança  $FS = 2$  quando da realização de provas de carga executadas na fase de elaboração ou adequação do projeto. Como essas provas de carga são geralmente feitas antes que ocorra a corrosão, a área da seção transversal da estaca é a área total ( $A_{\text{total}}$ ). Por essa razão quando se usa a área total no lugar da área útil ( $A_{\text{útil}}$ ), pode-se adotar  $FS = 2$ .



# CONCEITO DE “ESTACAS METÁLICAS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE”

---

# 6





## ESTACAS METÁLICAS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE

---

Até 2006, as estacas metálicas só eram projetadas utilizando-se perfis de seção constante. Entretanto, conforme pode ser observado na figura 2, a carga axial que deverá ser resistida por uma estaca metálica decresce com a profundidade, desde o valor máximo (PR), no topo, até o valor mínimo na ponta (PP). Como estes valores de carga são decorrentes dos valores de “ruptura” do solo, a carga (admissível ou característica) a ser resistida pela estaca equivale à metade deste valor, ou seja,  $P = PR/2$  no topo. Assim, pode-se concluir que a seção transversal de uma estaca metálica não necessita ser constante ao longo de todo o seu comprimento, já que a carga que nela irá atuar decresce com a profundidade. Ou seja, a seção de uma estaca poderá variar (decretar) com a profundidade, desde que atenda à carga axial (com os respectivos coeficientes de ponderação) mostrada na figura 2.

Este é um conceito novo, desenvolvido em 2005 por Alonso, e introduzido em nosso mercado no ano de 2006, e denominado “estacas metálicas de seção transversal decrescente com a profundidade”, que tem como vantagem principal a redução do peso das estacas metálicas. Isto é, com a variação decrescente da seção transversal das estacas, podem-se obter idênticas capacidades de carga com uma economia substancial no peso das mesmas.

O conceito é muito simples e se baseia na utilização de perfis de um mesmo grupo para compor as estacas de seção transversal decrescente. Entendam-se como perfis de um mesmo grupo aqueles cujas bitolas são de mesma altura nominal, com variações na espessura de alma e abas (variação de massa, porém sem variação significativa no perímetro). Sendo do mesmo grupo, as emendas dos perfis de diferentes dimensões serão executadas com facilidade, idênticas às de estacas com perfis de mesma seção.

Os Perfis Estruturais Gerda, disponíveis em ampla variedade de bitolas para um mesmo grupo, oferecem extraordinária flexibilidade para o uso deste novo conceito de estaca. Usando como exemplo as bitolas do grupo com 310 mm (4 bitolas do tipo HP), o perímetro varia entre a de menor e a de maior peso de 0,5% a 2%, enquanto as reduções de massa vão de 13% a 58%. Dependendo, obviamente, do projeto, da condição da obra e da combinação dos diferentes perfis que compõem as estacas, pode-se economizar, genericamente, para estacas “longas”, entre 15% a 25% no peso total das estacas metálicas de uma obra, utilizando seção transversal decrescente.

Recomenda-se analisar a aplicação deste novo conceito em toda e qualquer obra que requeira o uso de fundações profundas, com estacas compostas, no mínimo, por duas seções de perfis. Como para qualquer outra solução, o tipo de solo precisa ser considerado, mas, nos estudos já realizados, a aplicação de estacas metálicas de seção transversal decrescente tem se mostrado altamente eficiente, principalmente para solos naturais de diferentes tipos.

No Brasil, inúmeras fundações já foram realizadas utilizando este novo conceito e para comprovar a eficiência desta solução, provas de cargas estáticas têm sido regularmente realizadas. O resumo dos resultados pode ser observado no Capítulo 11.

Para se entender esse novo conceito são apresentados os resultados de uma obra na cidade de Santos (SP) cuja capacidade de carga geotécnica foi obtida com base no método de Alonso (2008) que deu origem à tabela 2 da qual resultou a figura 4. Conforme se verifica a carga axial de compressão a ser resistida pela estaca decresce com a profundidade de um valor máximo (PR) no topo até um valor mínimo (PP), na ponta.

Tabela 2: Transferência de Carga utilizando o método Alonso (2008)

GRUPO 310	Perímetro = 180 cm			Área = 280 cm <sup>2</sup>		PR (tf)
	Prof. contada da guia (m)	Δ / (m)	SPT -	Tipo de Solo	PL (tf)	
1	1,00	12	120	6	12	18
2	1,00	13	120	14	13	26
3	1,00	11	120	19	11	30
4	1,00	16	120	28	16	44
5	1,00	18	120	38	18	55
6	1,00	26	120	52	25	77
7	1,00	20	120	63	20	82
8	1,00	17	120	72	17	88
9	1,00	6	120	75	6	81
10	1,00	3	120	77	3	80
11	1,00	1	600	82	0	82
12	1,00	1	600	87	0	88
13	1,00	1	600	93	0	93
14	1,00	1	600	98	0	99
15	1,00	1	600	104	0	104
16	1,00	1	600	109	0	109
17	1,00	2	600	114	1	115
18	1,00	2	600	120	1	120
19	1,00	1	600	125	0	126
20	1,00	1	600	131	0	131
21	1,00	7	600	136	2	138
22	1,00	6	123	139	6	145
23	1,00	8	123	144	8	151
24	1,00	5	123	146	5	151
25	1,00	4	600	152	1	153
26	1,00	4	600	157	1	158
27	1,00	6	123	160	6	166
28	1,00	5	123	163	5	168
29	1,00	11	123	169	11	180
30	1,00	10	123	174	10	184
31	1,00	10	123	180	10	190
32	1,00	5	123	183	5	187
33	1,00	6	700	193	2	195
34	1,00	4	700	204	1	205
35	1,00	5	700	215	1	216
36	1,00	4	700	226	1	227
37	1,00	6	700	237	2	238
38	1,00	5	700	247	1	249
39	1,00	4	700	258	1	259
40	1,00	5	700	269	1	270
41	1,00	9	700	280	3	282
42	1,00	10	700	291	3	293
43	1,00	24	120	303	24	327
44	1,00	31	120	320	30	351
45	1,00	23	120	333	23	355
46	1,00	33	120	350	32	383
47	1,00	26	120	365	25	390
48	1,00	33	120	382	32	415
49	1,00	16	120	391	16	407
50	1,00	15	120	399	15	414
51	1,00	15	120	407	15	422
51	1,00	16	120	416	16	431
53	1,00	26	120	430	25	455
54	1,00	23	120	442	23	465
55	1,00	23	120	455	23	477
56	1,00	23	120	467	23	490
57	1,00	22	120	479	22	501
58	1,00	24	120	492	24	515
59	1,00	27	120	507	26	533

**Convenção**

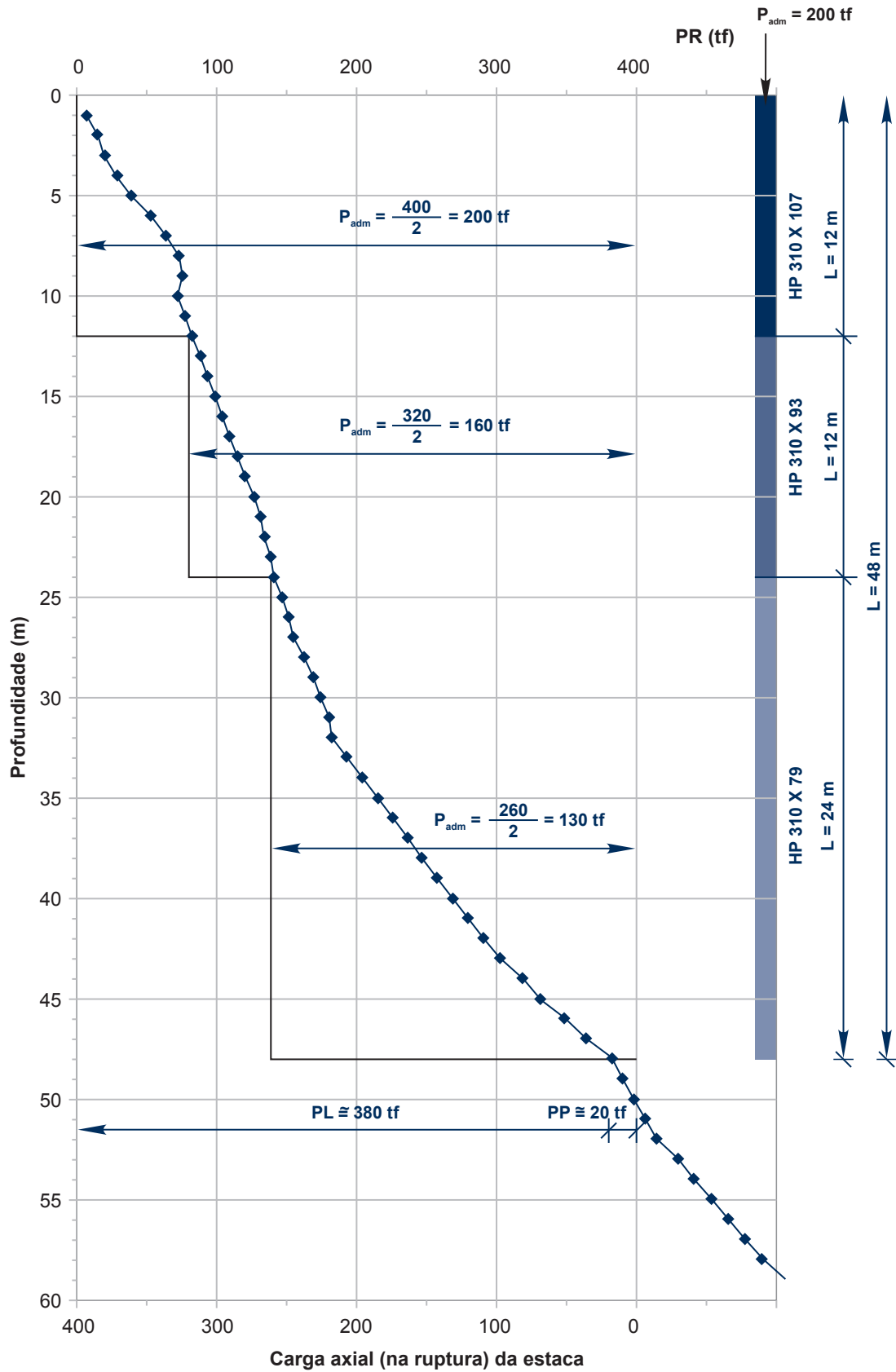
1 = Areia  
2 = Silte  
3 = Argila

600 = SFL  
700 = AT

PR ≈ 400tf



Figura 4: Exemplo da composição de estacas de seção decrescente com a profundidade

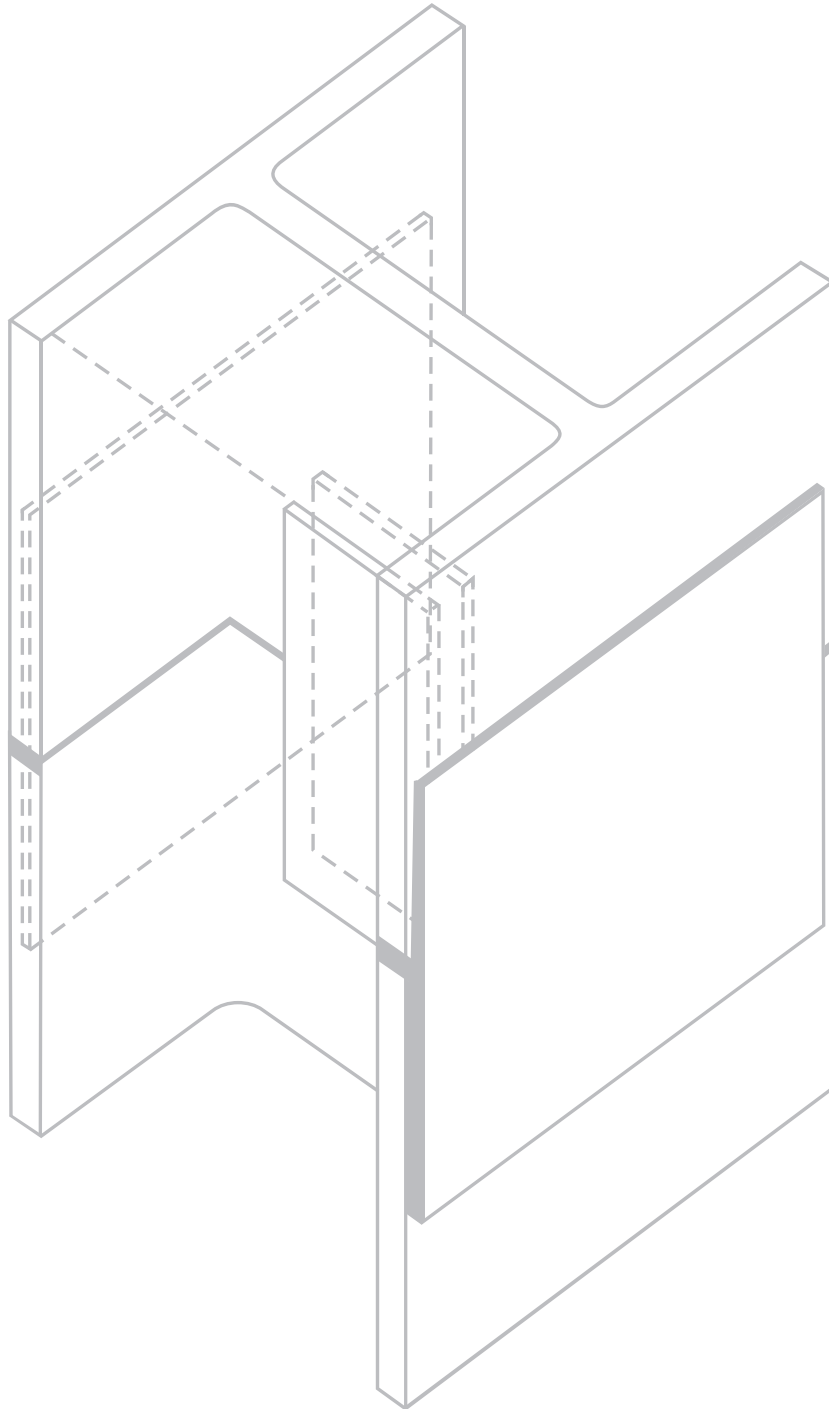




# DETALHAMENTO DAS EMENDAS DAS ESTACAS

---

# 7





### Orientações para emendas de estacas com Perfis Estruturais Gerdau

Em solos que requerem fundações profundas, as estacas metálicas constituem uma solução alternativa aos demais tipos de estacas.

As estacas metálicas e as pré-fabricadas em concreto são normalmente compostas por seções que precisam ser emendadas para atingir as profundidades definidas no projeto.

O sistema de cravação deve estar sempre bem ajustado a fim de, durante a execução, garantir a integridade das estacas. O uso de acessórios como o capacete, com uma geometria adequada à seção do perfil da estaca e sem folgas, ajuda a não danificá-las. Se o topo do elemento inferior for danificado, este deve ser recomposto através do corte a maçarico para novamente criar um plano que garanta o apoio uniforme com o elemento seguinte e uma emenda de qualidade.

As emendas devem ser dimensionadas para resistir a todas as solicitações que possam ocorrer durante o manuseio, a cravação e a utilização da estaca. Embora as emendas possam ser feitas com soldas de topo de penetração total, em função de dificuldades na obra, recomenda-se empregar talas soldadas, seguindo-se a orientação geral contida no manual da Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia - ABEF.

As talas podem ser obtidas de chapas de aço com resistência equivalente a dos perfis, mas, por uma questão de praticidade, as emendas são tradicionalmente executadas utilizando-se um segmento do próprio perfil, recortado conforme mostrado na Figura 5, do qual se obtêm as talas de mesas e de alma que irão compor as emendas da estaca na obra.

A redução do tempo de execução das emendas é um fator importante para a produtividade do processo de cravação. Nesse sentido, é prática executar-se previamente as soldas na base da seção superior a ser cravada. Dessa forma as talas soldadas no segmento superior servem de guia para o seu posicionamento e alinhamento com o segmento inferior, reduzindo o tempo de paralisação da cravação apenas ao necessário para a soldagem das talas na seção já cravada.

O objetivo deste capítulo é estabelecer um padrão para as emendas das estacas com Perfis Estruturais Gerdau, comprimidas, baseado nas recomendações da NBR 6122:2010, nos procedimentos do Manual da ABEF e outros critérios mostrados na tabela 3.

As talas das emendas foram padronizadas com comprimentos de 200 e 300 mm, de acordo com as alturas dos perfis emendados. Não se adotou como critério neste manual a necessidade de a resistência da emenda ser igual ou superior à carga estrutural admissível do perfil. Nos casos em que houver essa necessidade, as talas deverão ser redimensionadas (consultar a equipe técnica da Gerdau).

No caso das estacas tracionadas o cálculo segue o mesmo roteiro desprezando-se a solda de penetração total no perímetro da alma e das mesas. Para estas emendas, o comprimento mínimo das talas deverá ser, no mínimo, 5 cm maior do que aquele apresentado na tabela 4.

Tabela 3: Critérios utilizados para o cálculo das emendas das estacas.

Limite de escoamento do aço do perfil e das talas ( $f_y$ )	34,5 kN/cm <sup>2</sup> (3,5 tf/cm <sup>2</sup> )	
Limite de resistência do eletrodo – E70XX ( $f_w$ )	48,3 kN/cm <sup>2</sup> (4,9 tf/cm <sup>2</sup> )	
Solda de penetração total no perímetro livre da alma (sem chanfro)	$e \leq t_w/2 \leq 5,0$ mm	
Solda de penetração total no perímetro livre das mesas (sem chanfro)	$e \leq t_f/2 \leq 10,0$ mm	
Filetes mínimos para as soldas das talas, sendo: e – espessura da alma ( $t_w$ ) ou mesas ( $t_f$ ) s1 – Filete mínimo para as soldas das talas de alma $\leq t_w$ (ver tabela 4) s2 – Filete mínimo para as soldas das talas das mesas $\leq t_f$ (ver tabela 4)	$e \leq 6$ mm	3,0 mm
	$6 < e \leq 8$ mm	5,0 mm
	$8 < e \leq 12,5$ mm	6,0 mm
	$12,5 < e \leq 19$ mm	8,0 mm
	$e > 19$ mm	10,0 mm
Redução da espessura para as faces em contato com o solo (NBR 6122)	1,0 mm	
Deslocamento das talas das abas para permitir as soldas laterais	15,0 mm	
Comprimento mínimo para corte do perfil (base para as talas)	L (mm) - ver tabela 4	
Caso haja interesse, as considerações e verificações de cálculo poderão ser solicitadas à Equipe Técnica Gerdau.		

Nota: Os parâmetros adotados levaram em consideração as condições normalmente encontradas no campo, e podem ser conservadores. A critério do projetista estas talas podem ser reduzidas em função de ensaios e outras variáveis de campo. Tentou-se neste trabalho, tão somente, obter uma padronização dos comprimentos das talas.

As figuras 5, 6 e 7 ilustram os detalhes geométricos descritos anteriormente.

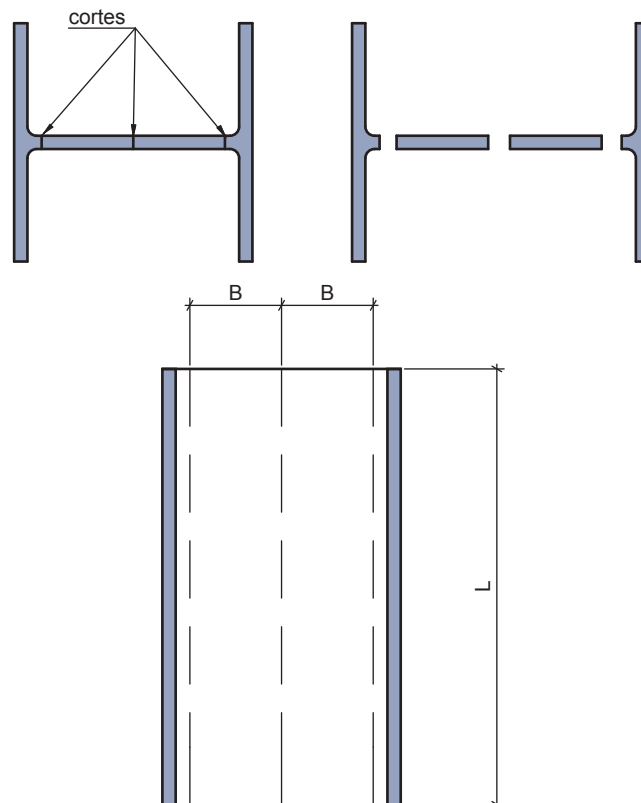


Figura 5 - Segmento do perfil que será recortado nas posições indicadas para obtenção das talas da emenda.

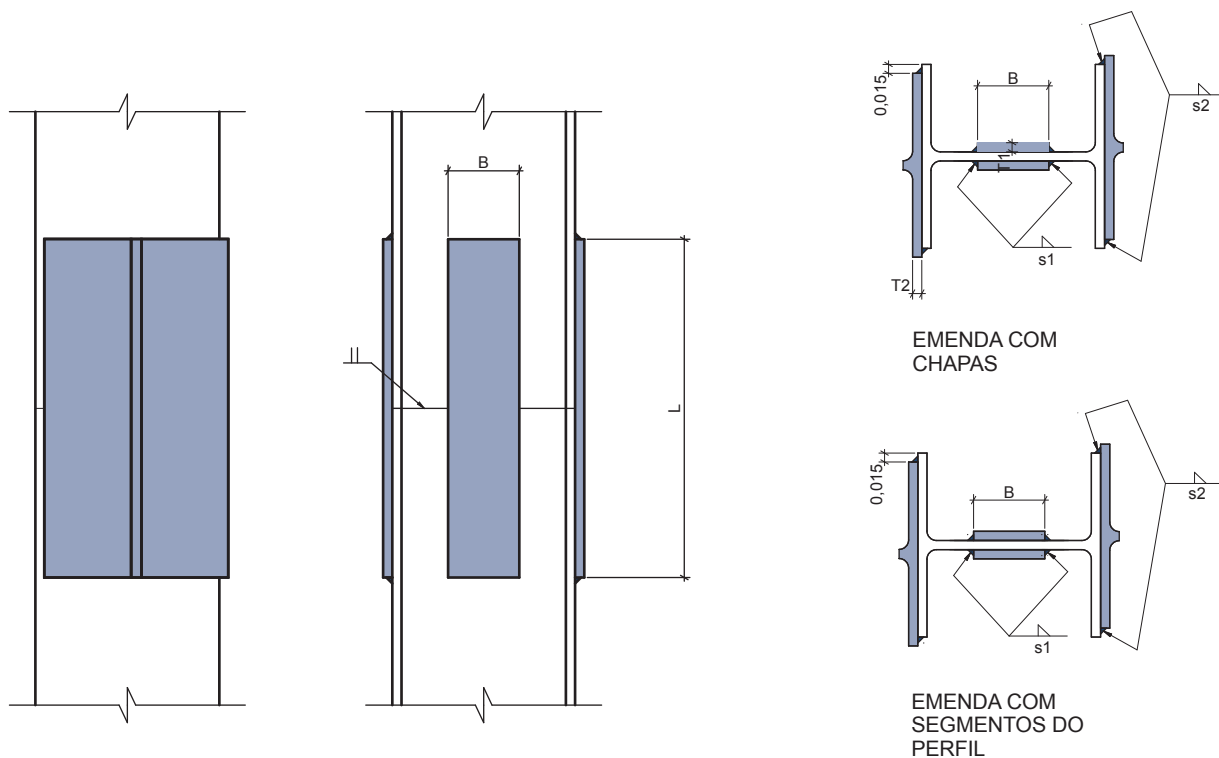


Figura 6 – Detalhe da emenda com o posicionamento das talas e soldas

Tabela 4: Emenda de Estacas Comprimidas

PERFIS H BITOLA DESIGNAÇÃO mm x kg/m	Tabela 4 - EMENDAS ESTACAS				CARGA ADMISSÍVEL DO PERFIL (Q.A's.Fy)/1,65		CARGA ADMISSÍVEL DA EMENDA Topo + Talas (alma + mesas)		COMPRIMENTO DAS TALAS L mm	FILETES MÍNIMOS	
	d mm	b <sub>f</sub> mm	Espessura		KN	tf	KN	tf		Alma S1 mm	Mesas S2 mm
			t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm							
W 150 x 22,5	152	152	5,8	6,6	421	43	706	72	200	3	5
W 150 x 29,8	157	153	6,6	9,3	617	63	877	89	200	5	6
W 150 x 37,1	162	154	8,1	11,6	811	83	994	101	200	6	6
W 200 x 35,9	201	165	6,2	10,2	740	75	1000	102	200	5	6
W 200 x 41,7	205	166	7,2	11,8	901	92	1081	110	200	5	6
W 200 x 46,1	203	203	7,2	11,0	976	100	1205	123	200	5	6
W 200 x 52,0	206	204	7,9	12,6	1150	117	1439	147	200	5	8
HP 200 x 53,0	204	207	11,3	11,3	1175	120	1401	143	200	6	6
W 200 x 59,0	210	205	9,1	14,2	1338	136	1559	159	200	6	8
W 200 x 71,0	216	206	10,2	17,4	1649	168	1751	179	200	6	8
W 200 x 86,0	222	209	13,0	20,6	2060	210	2074	211	200	8	10
HP 250 x 62,0	246	256	10,5	10,7	1356	138	1761	180	300	6	6
W 250 x 73,0	253	254	8,6	14,2	1628	166	2029	207	300	6	8
W 250 x 80,0	256	255	9,4	15,6	1819	186	2147	219	300	6	8
HP 250 x 85,0	254	260	14,4	14,4	1956	199	2323	237	300	8	8
W 250 x 89,0	260	256	10,7	17,3	2068	211	2295	234	300	6	8
W 250 x 101,0	264	257	11,9	19,6	2376	242	2670	272	300	6	10
W 250 x 115,0	269	259	13,5	22,1	2735	279	2762	282	300	8	10
HP 310 x 79,0	299	306	11,0	11,0	1699	173	2091	213	300	6	6
HP 310 x 93,0	303	308	13,1	13,1	2118	216	2555	261	300	8	8
W 310 x 97,0	308	305	9,9	15,4	2210	225	2512	256	300	6	8
W 310 x 107,0	311	306	10,9	17,0	2477	253	2655	271	300	6	8
HP310x110,0	308	310	15,4	15,5	2571	262	2754	281	300	8	8
W 310 x 117,0	314	307	11,9	18,7	2758	281	2756	281	300	6	8
HP310 x 125,0	312	312	17,4	17,4	2946	300	2862	292	300	8	8
W 360 x 91,0	353	254	9,5	16,4	2074	211	2400	245	300	6	8
W 360 x 101,0	357	255	10,5	18,3	2355	240	2517	257	300	6	8
W 360 x 110,0	360	256	11,4	19,9	2586	264	2820	288	300	6	10
W 360 x 122,0	363	257	13,0	21,7	2891	295	3002	306	300	8	10

Nota: Quando a cravação das estacas for realizada com martelo vibratório ou quando as estacas trabalharem à tração deve-se aumentar o comprimento das talas, mostrado na tabela 4, em 10 cm.

PERFIS I BITOLA DESIGNAÇÃO mm x kg/m	Tabela 4 - EMENDAS ESTACAS				CARGA ADMISSÍVEL DO PERFIL (Q.A's.fy) / 1,65		CARGA ADMISSÍVEL DA EMENDA Topo + Talas (alma + mesas)		COMPRIMENTO DAS TALAS L mm	FILETES MÍNIMOS	
	d mm	b <sub>f</sub> mm	Espessura		KN	tf	KN	tf		Alma S1 mm	Mesas S2 mm
			t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm							
W 150 x 13,0	148	100	4,3	4,9	207	21	375	38	200	3	3
W 150 x 18,0	153	102	5,8	7,1	346	35	565	58	200	3	5
W 150 x 24,0	160	102	6,6	10,3	512	52	717	73	200	5	6
W 200 x 15,0	200	100	4,3	5,2	237	24	449	46	200	3	3
W 200 x 19,3	203	102	5,8	6,5	361	37	612	62	200	3	5
W 200 x 22,5	206	102	6,2	8,0	440	45	720	73	200	5	6
W 200 x 26,6	207	133	5,8	8,4	524	53	848	87	200	3	6
W 200 x 31,3	210	134	6,4	10,2	650	66	922	94	200	5	6
W 250 x 17,9	251	101	4,8	5,3	276	28	552	56	300	3	3
W 250 x 22,3	254	102	5,8	6,9	410	42	716	73	300	3	5
W 250 x 25,3	257	102	6,1	8,4	494	50	824	84	300	5	6
W 250 x 28,4	260	102	6,4	10,0	578	59	938	96	300	5	6
W 250 x 32,7	258	146	6,1	9,1	654	67	1097	112	300	5	6
W 250 x 38,5	262	147	6,6	11,2	811	83	1215	124	300	5	6
W 250 x 44,8	266	148	7,6	13,0	976	99	1507	154	300	5	8
W 310 x 21,0	303	101	5,1	5,7	315	32	667	68	300	3	3
W 310 x 23,8	305	101	5,6	6,7	391	40	767	78	300	3	5
W 310 x 28,3	309	102	6,0	8,9	514	52	932	95	300	5	6
W 310 x 32,7	313	102	6,6	10,8	643	66	1093	111	300	5	6
W 310 x 38,7	310	165	5,8	9,7	733	75	1257	128	300	3	6
W 310 x 44,5	313	166	6,6	11,2	905	92	1378	140	300	5	6
W 310 x 52,0	317	167	7,6	13,2	1136	116	1705	174	300	5	8
W 360 x 32,9	349	127	5,8	8,5	564	57	1033	105	300	3	6
W 360 x 39,0	353	128	6,5	10,7	740	75	1282	131	300	5	6
W 360 x 44,6	352	171	6,9	9,8	870	89	1444	147	300	5	6
W 360 x 51,0	355	171	7,2	11,6	1025	104	1523	155	300	5	6
W 360 x 58,0	358	172	7,9	13,1	1204	123	1822	186	300	5	8
W 360 x 64,0	347	203	7,7	13,5	1388	142	1886	192	300	5	8
W 360 x 72,0	350	204	8,6	15,1	1602	163	2024	206	300	6	8
W 360 x 79,0	354	205	9,4	16,8	1806	184	2158	220	300	6	8
W 410 x 38,8	399	140	6,4	8,8	671	68	1301	133	300	5	6
W 410 x 46,1	403	140	7,0	11,2	864	88	1480	151	300	5	6
W 410 x 53,0	403	177	7,5	10,9	1035	106	1657	169	300	5	6
W 410 x 60,0	407	178	7,7	12,8	1198	122	1913	195	300	5	8
W 410 x 67,0	410	179	8,8	14,4	1443	147	2101	214	300	6	8
W 410 x 75,0	413	180	9,7	16,0	1674	171	2185	223	300	6	8
W 410 x 85,0	417	181	10,9	18,2	1954	199	2264	231	300	6	8
W 460 x 52,0	450	152	7,6	10,8	953	97	1632	166	300	5	6
W 460 x 60,0	455	153	8,0	13,3	1156	118	1976	201	300	6	8
W 460 x 68,0	459	154	9,1	15,4	1423	145	2094	214	300	6	8
W 460 x 74,0	457	190	9,0	14,5	1542	157	2235	228	300	6	8
W 460 x 82,0	460	191	9,9	16,0	1780	181	2324	237	300	6	8
W 460 x 89,0	463	192	10,5	17,7	2000	204	2386	243	300	6	8
W 460 x 97,0	466	193	11,4	19,0	2232	228	2625	268	300	6	10
W 460 x 106,0	469	194	12,6	20,6	2475	252	2862	292	300	8	10
W 530 x 66,0	525	165	8,9	11,4	1205	123	1961	200	300	6	6
W 530 x 72,0	524	207	9,0	10,9	1340	137	2098	214	300	6	6
W 530 x 74,0	529	166	9,7	13,6	1463	149	2245	229	300	6	8
W 530 x 82,0	528	209	9,5	13,3	1618	165	2416	246	300	6	8
W 530 x 85,0	535	166	10,3	16,5	1743	178	2339	238	300	6	8
W 530 x 92,0	533	209	10,2	15,6	1911	195	2524	257	300	6	8
W 530 x 101,0	537	210	10,9	17,4	2208	225	2551	260	300	6	8
W 530 x 109,0	539	211	11,6	18,8	2442	249	2601	265	300	6	8
W 610 x 101,0	603	228	10,5	14,9	2047	209	2667	272	300	6	8
W 610 x 113,0	608	228	11,2	17,3	2380	243	2758	281	300	6	8
W 610 x 125,0	612	229	11,9	19,6	2717	277	3057	312	300	6	10
W 610 x 140,0	617	230	13,1	22,2	3177	324	3304	337	300	8	10
W 610 x 155,0	611	324	12,7	19,0	3471	354	3831	391	300	8	10
W 610 x 174,0	616	325	14,0	21,6	4061	414	3890	397	300	8	10

Para informações sobre solução alternativa de emendas de estacas em chapas ASTM A572 Gr 50, consultar a equipe técnica da Gerdau.



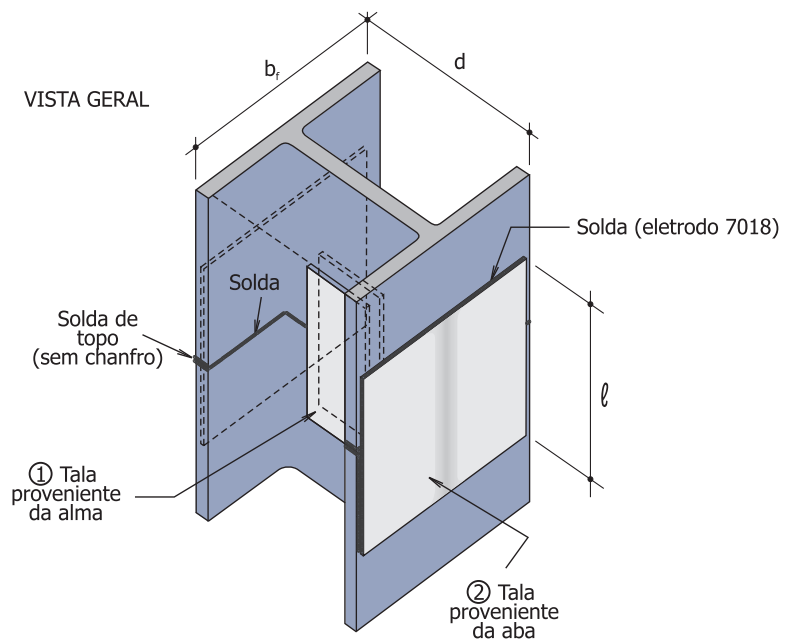


Figura 7 – Detalhe típico da emenda com talas e soldas

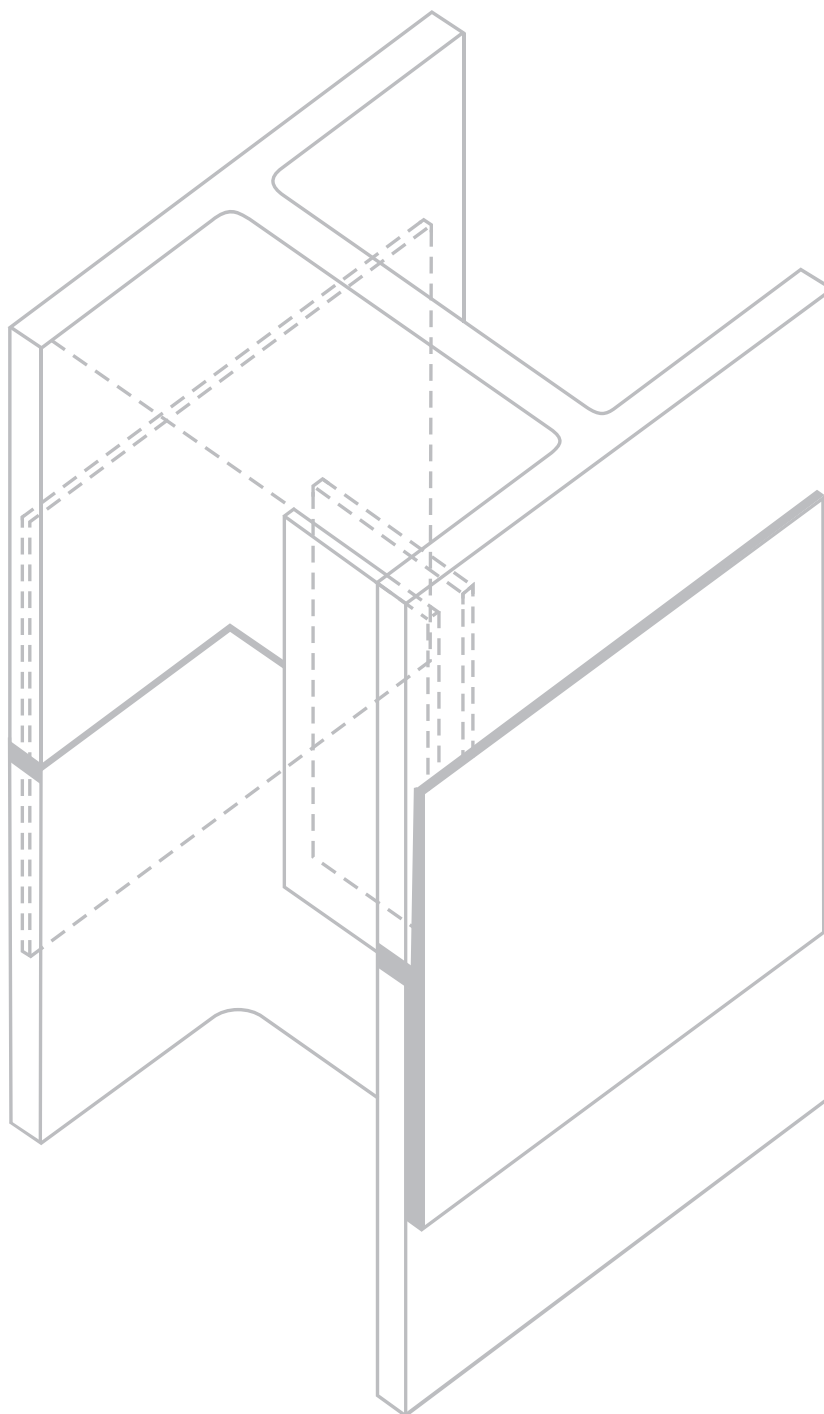
As considerações e verificações de cálculo poderão ser solicitadas à Equipe Técnica Gerdau.



# LIGAÇÃO DOS PERFIS AO BLOCO DE COROAMENTO

---

# 8



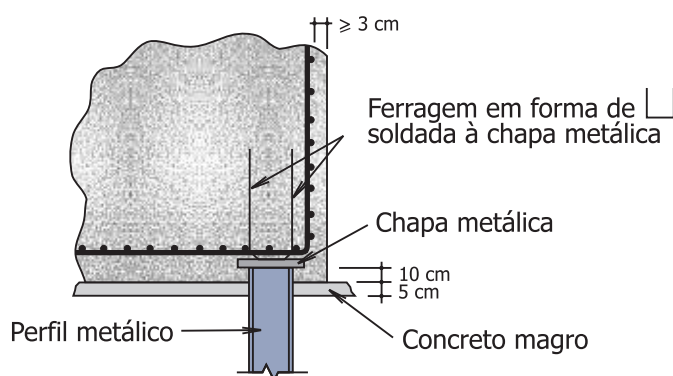


A ligação da estaca metálica ao bloco de coroamento deve ser feita de modo que as cargas resistidas pelo bloco sejam transmitidas adequadamente e com garantia de continuidade às estacas.

### 1º Caso - Estacas Comprimidas

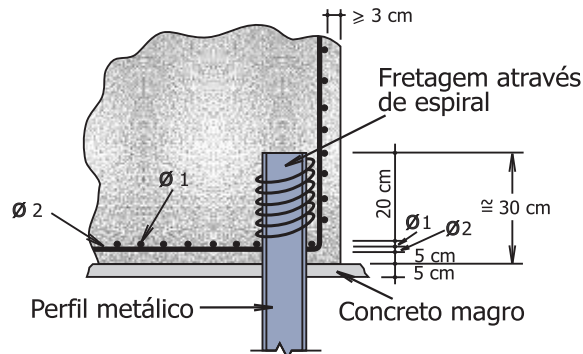
O detalhe, muito difundido entre os calculistas de concreto armado, mostrado na figura 8, que consiste em soldar uma chapa no topo da estaca não deve ser adotado, pois, o mesmo, tem como principal inconveniente o fato do corte do perfil metálico, na cota de arrasamento (após a cravação) onde será soldada a chapa, ser feito com maçarico e em posição muito desfavorável para o operador, trabalhando dentro da cava para a confecção do bloco e, na maioria das vezes próximo do nível da água. Nestas condições adversas de corte, resultará uma superfície sem garantia de perpendicularidade ao eixo da estaca, além de se apresentar irregular e, via-de-regra, não plana. Por esta razão o contato da chapa com a área plena do perfil metálico fica prejudicado. Para agravar a situação, normalmente a chapa é maior que a projeção da seção transversal do perfil, exigindo que a solda desta ao perfil seja realizada por baixo da mesma, e, portanto, sem qualquer controle da qualidade dessa solda.

Figura 8 - Solução desaconselhada para a ligação da estaca metálica ao bloco de coroamento



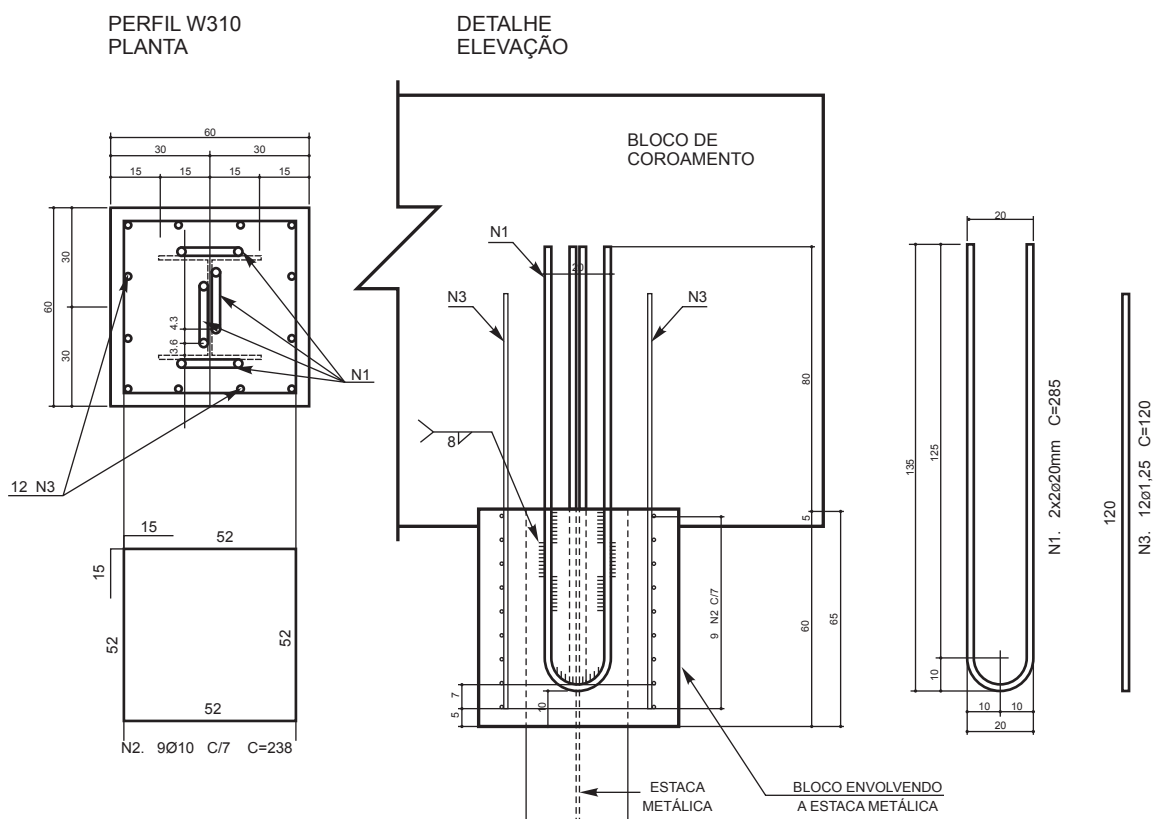
Até a revisão da NBR 6122:2010 a ligação da estaca metálica com o bloco podia ser feita embutindo-se a estaca 20 a 30 cm no bloco, conforme Figura 9, complementada por uma fretagem através de espiral posicionada por cima da armadura de flexão do bloco. Esta proposição estava consolidada pela experiência adquirida com a utilização de perfis empregados até aquela época que eram fabricados pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) ou também para os trilhos (geralmente usados após desgaste nas ferrovias) e no fato de que a armadura do bloco era distribuída uniformemente ao longo de sua dimensão em planta.

Figura 9 - Solução de ligação estaca-bloco antes da NBR 6112:2010



Com o advento dos perfis metálicos confeccionados com aço de alta resistência (portanto maiores cargas por estaca) e em função da nova redação da NBR 6118:2010 que impõe que mais de 85% da ferragem calculada pelas bielas se situe na região das estacas, este tipo de ligação do perfil com o bloco é praticamente impossível. Por esta razão, hoje em dia utiliza-se o detalhe apresentado na Figura 10 (e uma vista na fotografia 5) em que se envolve a estaca, abaixo da cota de arrasamento (“pescoço”) com concreto armado e fretado para garantir a transferência da carga, por aderência, do bloco á estaca. Para melhorar essa transferência de carga do bloco para a estaca metálica a armadura, nessa região do “pescoço”, deve ser soldada na estaca.

Figura 10: Proposição da ligação da estaca metálica ao bloco (perfis do grupo 310)



Fotografia 5: Vista da ligação estaca metálica – bloco conforme detalhe da Figura 10

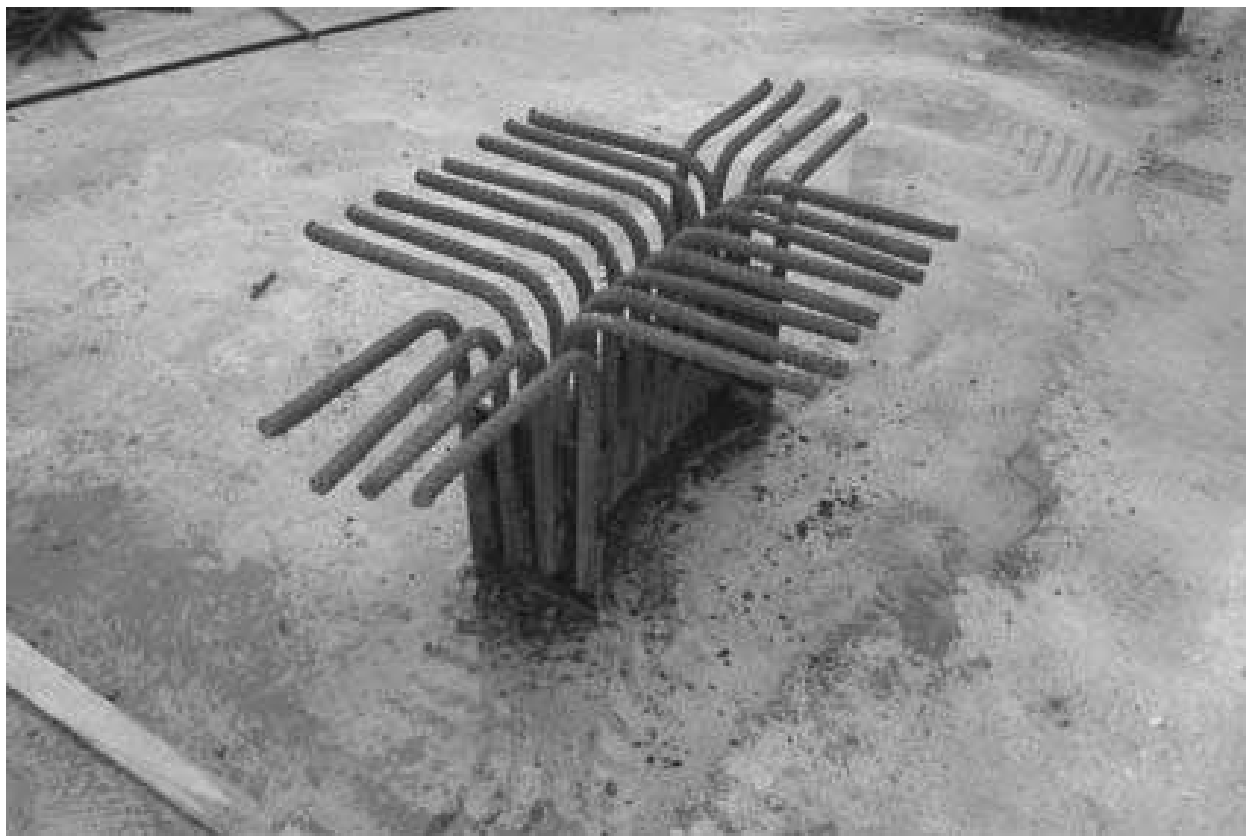


O detalhe apresentado na Figura 10 e na fotografia 5 pode ser utilizado como referência para outros grupos de perfis. Normalmente concretiza-se inicialmente o “pesçoço” antes do bloco de coroamento, retira-se a forma do pesçoço, aterra-se com compactação o solo à sua volta e finalmente executa-se o bloco de coroamento.

## 2º Caso - Estacas Tracionadas

No caso de estacas trabalharem à tração, a ligação com o bloco é feita através de armadura convenientemente calculada, soldada ao perfil, analogamente ao mostrado na figura 10 e que deverá penetrar no bloco o comprimento necessário para transmitir-lhe a carga de tração, por aderência. Um detalhe típico dessa ligação é apresentada na fotografia 6.

Fotografia 6: Detalhe de armadura para transferir carga de tração da estaca para o bloco

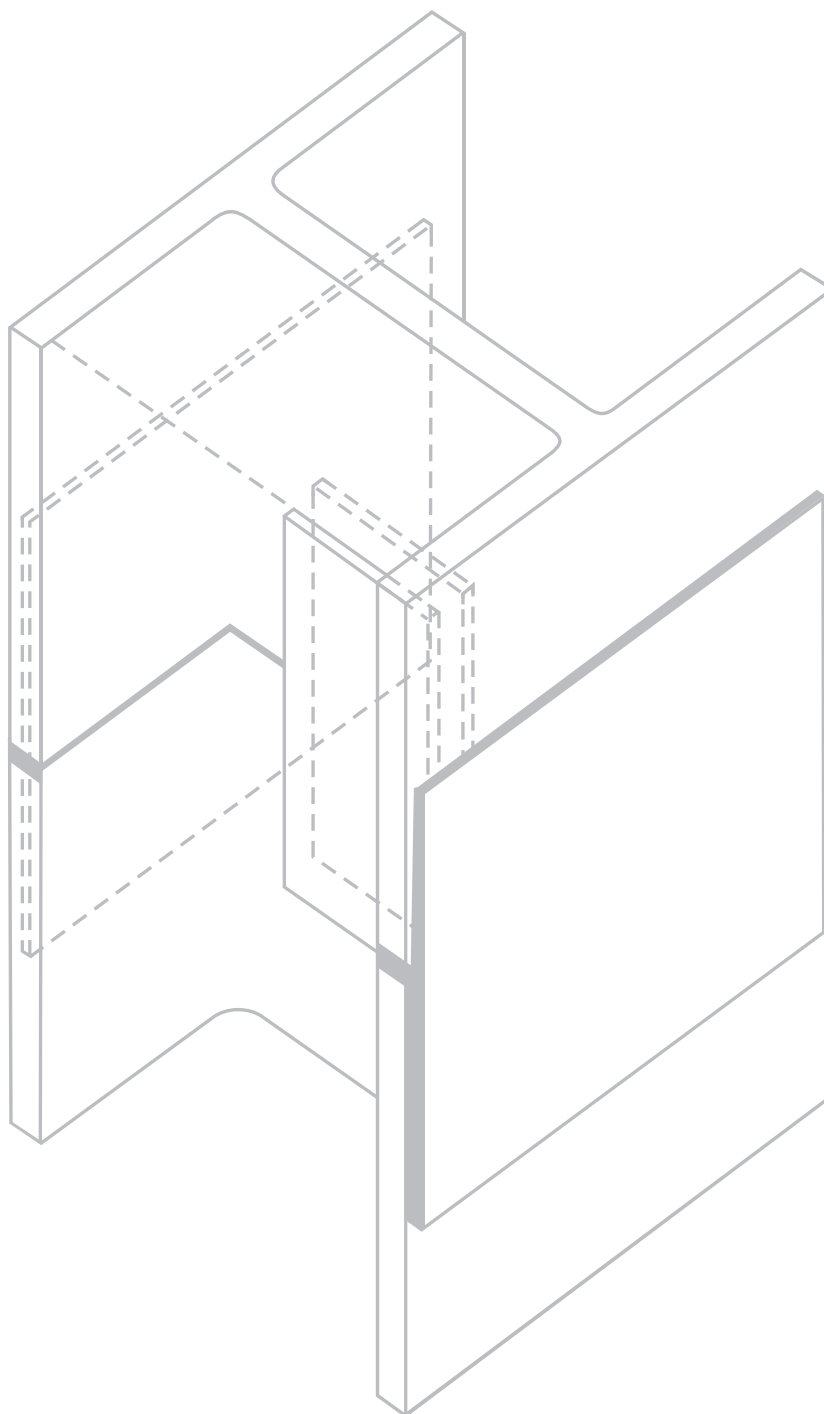




# USO DE MARTELOS VIBRATÓRIOS NA CRAVAÇÃO DAS ESTACAS

---

# 9

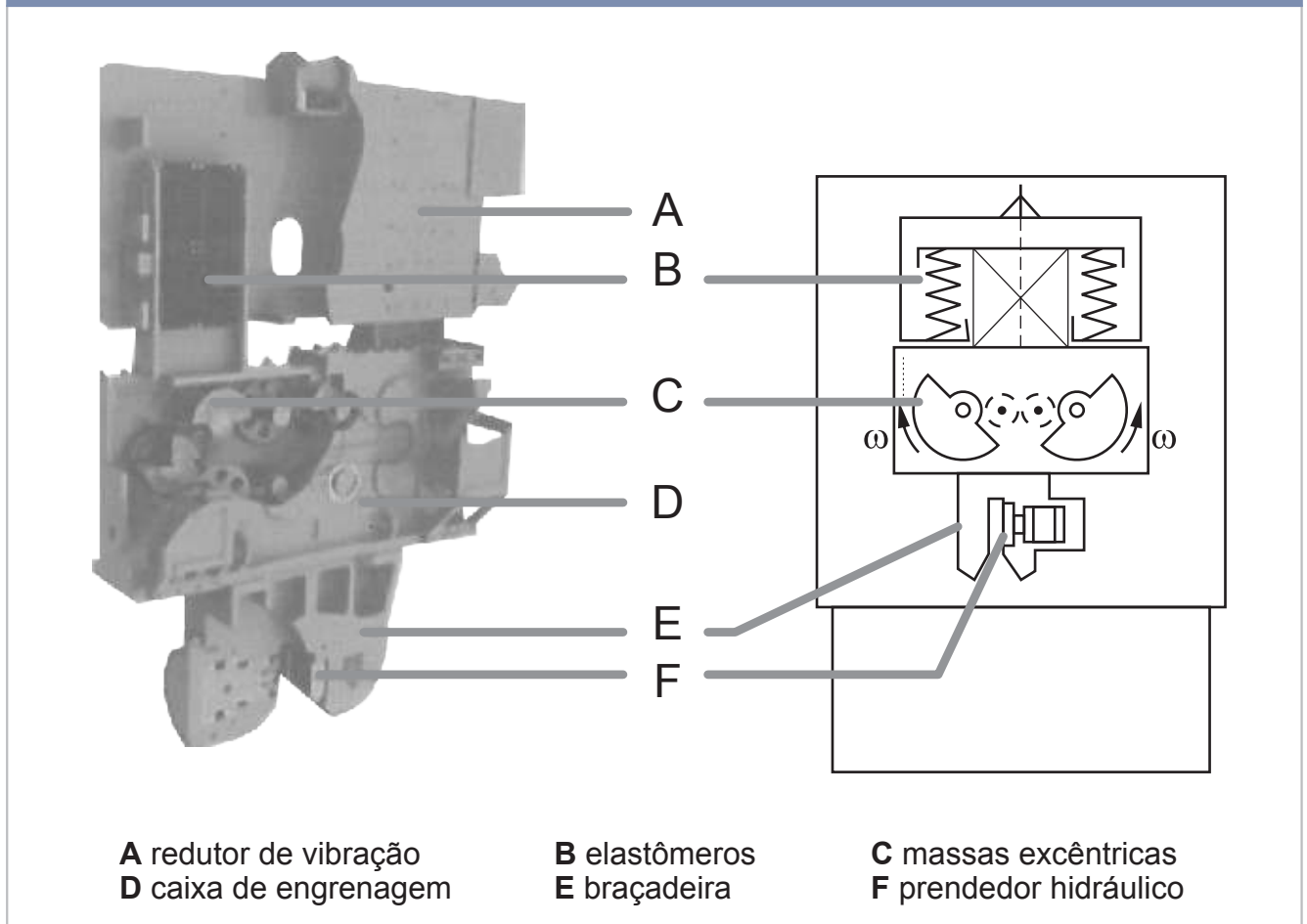




## 9.1 - Considerações básicas

Os martelos vibratórios foram inicialmente desenvolvidos na Alemanha e na antiga União Soviética (atual Rússia) por volta de 1930/31. Basicamente seu funcionamento consiste em girar massas excêntricas, em sentido contrário, conforme se mostra, esquematicamente, na Figura 11.

Figura 11: Princípio de funcionamento de um martelo vibratório



A central de energia para acionar as massas excêntricas pode ser hidráulica (martelos vibratórios hidráulicos) ou elétrica (martelos vibratórios elétricos), conforme mostrado, respectivamente, nas Fotografias 7 e 8.

Os martelos vibratórios são geralmente classificados de acordo com a frequência que impõe às massas excêntricas em:

**Baixa frequência:** são aqueles com frequência inferior a 20 Hz (1.200 rpm)

**Frequência normal:** apresentam frequência entre 20 Hz (1.200 rpm) e 33 Hz (2.000 rpm)

**Alta frequência:** apresentam frequência superior a 35 Hz (2.000 rpm).

Fotografia 7: Martelo vibratório hidráulico

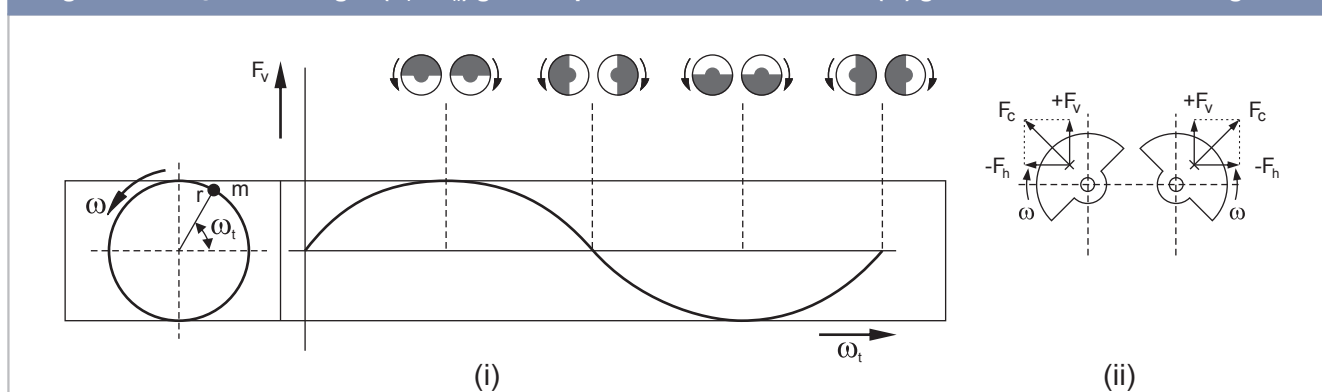


Fotografia 8: Martelo vibratório elétrico



As massas excêntricas devem girar com sincronismo criando forças centrífugas ascendentes e descendentes ( $+F_v$  e  $-F_v$ ) cujo mecanismo é exposto na Figura 12. O sincronismo se faz necessário para que se anulem as componentes horizontais das forças ( $F_h$ ) conforme se mostra na Figura 12 (ii) a fim de evitar propagação de vibrações horizontais no terreno.

Figura 12: Forças centrífugas ( $F_v$  e  $F_h$ ) geradas pelas massas excêntricas ( $m$ ) girando com velocidade angular  $w$ .



Os martelos vibratórios podem ser usados tanto para cravar estacas quanto para removê-las e causam menos impacto ambiental do que os martelos hidráulicos de impacto. Sua alta frequência e o sincronismo no giro das massas excêntricas só criam vibração vertical sendo a horizontal pouco perceptível. Além disso, o tempo gasto na cravação é bem menor do que aquele gasto com martelos hidráulicos de impacto.

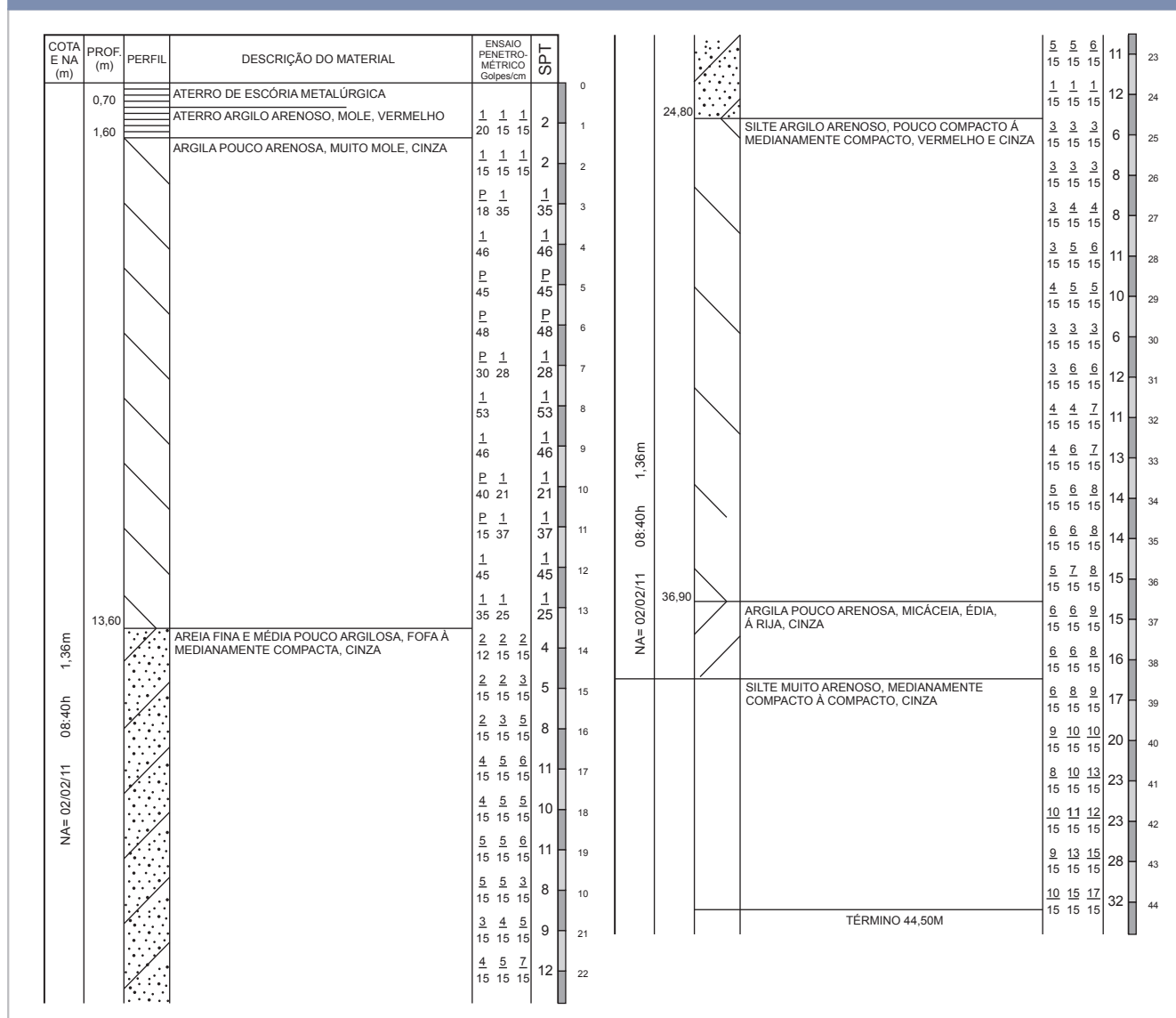
A alta velocidade de vibração cria a “liquefação” do solo e a estaca penetra quase sem nenhum esforço. Motivo pelo qual os martelos vibratórios são de menor peso quando comparados aos outros tipos de martelo.

## 9.2 - Primeira fundação com estacas metálicas GERDAU, cravadas com martelo vibratório, executada no País.

A primeira fundação com estacas GERDAU cravadas com martelos vibratórios ocorreu em fins de 2011 no Laminador 4 da Gerdau Cosigua, em Santa Cruz, no Rio de Janeiro. Nessa obra foram cravadas 192.287 m de estacas com comprimento cravado variando entre 33 e 40 m.

O perfil geotécnico (típico) representativo do local dessa obra é apresentado na Figura 13.

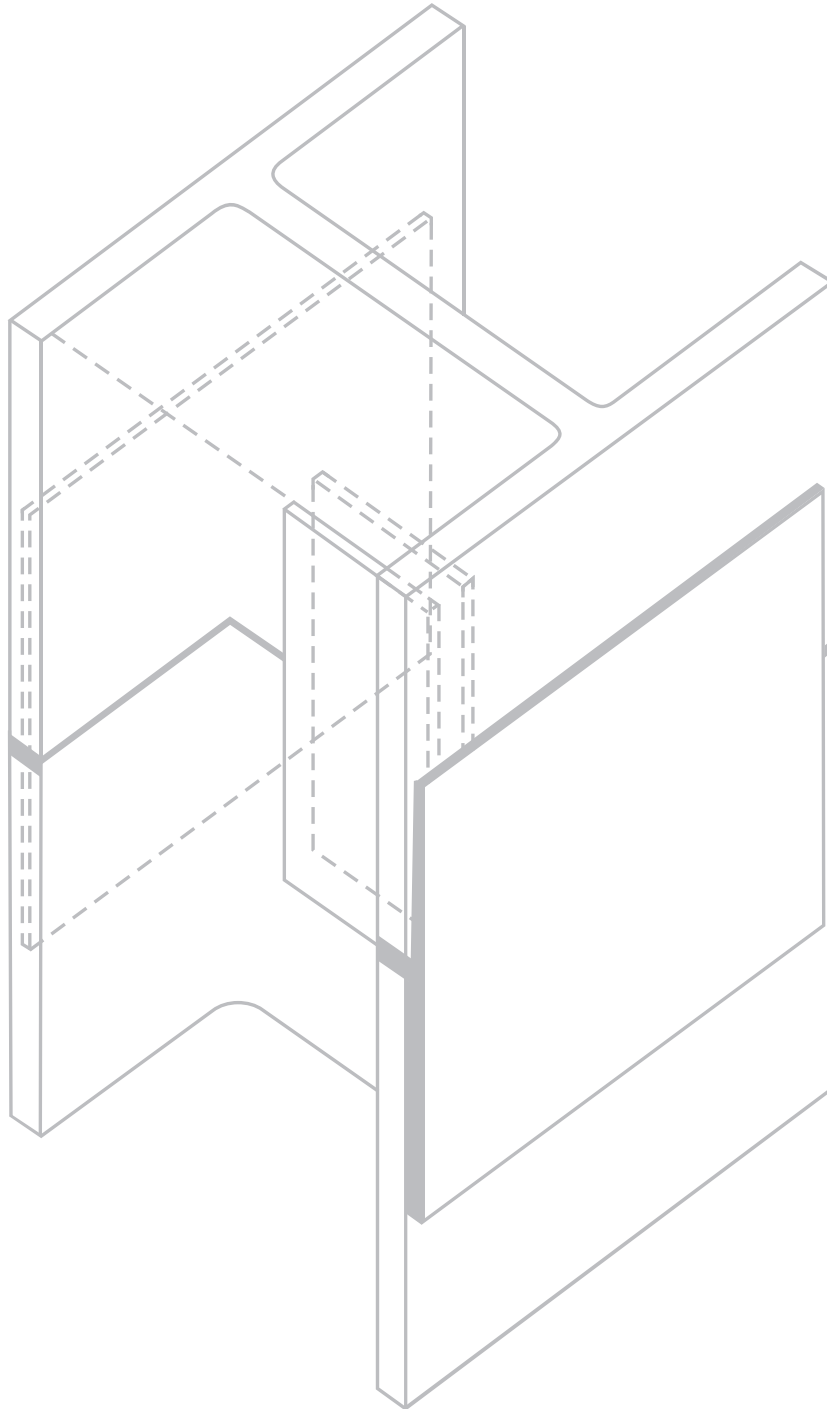
Figura 13: Sondagem típica da obra da Gerdau Cosigua no RJ



Por ser a primeira obra, portanto sem experiência neste tipo de cravação, o final da cravação das estacas (inclusive medindo-se o repique) foi feito usando-se martelo hidráulico de impacto.

Na obra foram realizadas nove provas de carga estáticas cujos resultados, junto com as demais realizadas, estão apresentados no capítulo 11 separadas por estacas cravadas com martelo vibratório (estacas com numeração V) e de impacto (estacas com numeração I).







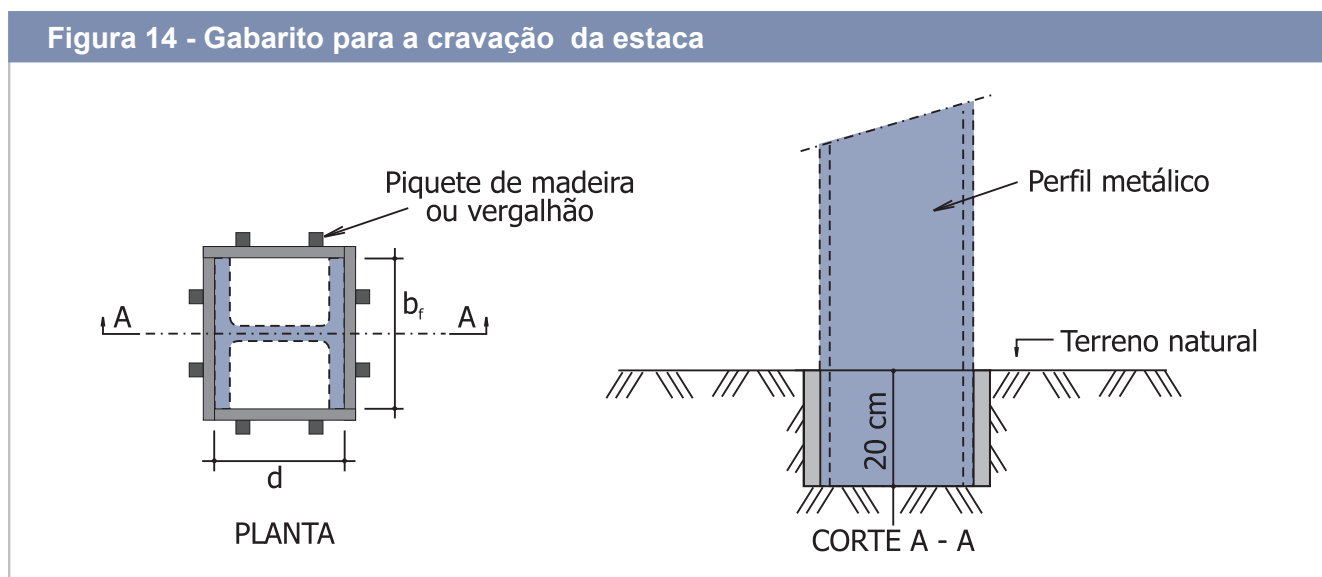


### 10.1 - Durante o Processo de Cravação

As estacas metálicas podem ser cravadas com a utilização de martelos de queda livre, martelos hidráulicos, martelos a diesel, martelos pneumáticos e martelos vibratórios. A escolha de um ou outro martelo depende, principalmente, das características do solo, do comprimento da estaca e do nível de ruído e vibração. Da boa escolha do martelo resultará um melhor desempenho do processo de cravação, em particular quanto às vibrações e ao ruído que, hoje em dia, em centros urbanos, acabam sendo condicionantes para a escolha do tipo de estaca e, quando cravada, do tipo de martelo.

Qualquer que seja o martelo empregado, o controle da cravação é feito tradicionalmente pela nega, pelo repique e, em algumas obras, pelo ensaio de carregamento dinâmico (NBR13208: 2007).

Para garantir que o perfil seja cravado na posição de projeto, deve-se providenciar um gabarito de madeira “enterrado” conforme se mostra na figura 14.



### Nega

A nega é uma medida tradicional, embora, hoje em dia, seja mais usada para o controle da uniformidade do estaqueamento quando se procura manter, durante a cravação, negas aproximadamente iguais para as estacas com cargas iguais. A nega corresponde à penetração permanente da estaca, quando sobre a mesma se aplica um golpe do pilão. Em geral, é obtida como um décimo da penetração total para dez golpes.

Apesar das críticas às fórmulas das negas (entre elas o fato de que foram desenvolvidas a partir da Teoria de Choque de Corpos Rígidos), o que está muito longe de representar uma estaca longa, pois sob a ação do golpe do pilão a ponta da mesma não se desloca ao mesmo tempo que o topo, ela ainda faz parte do “receituário” dos encarregados dos bate-estacas.

A nega também pode ser medida decorrido um determinado tempo após a cravação da estaca. É denominada “nega de recravação ou de recuperação”, e compará-la com a medida ao final da cravação para verificar se o solo apresenta o fenômeno da cicatrização (diminuição da nega como tempo) ou relaxação (aumento da nega como tempo).

## Repique

Ao contrário da nega, o repique já está incluído dentro do contexto da Teoria de Propagação de Onda, e, portanto, apresenta resultados com muito menos dispersão do que a nega. O repique representa a parcela elástica do deslocamento máximo de uma seção da estaca, decorrente da aplicação de um golpe do pilão. Seu registro pode ser feito através do registro gráfico em folha de papel fixada à estaca e movendo-se um lápis, apoiado num referencial, no instante do golpe, conforme se mostra na fotografia 9. O valor obtido, corresponde à solução da Equação da Onda, em termos de deslocamento máximo e sem a escala de tempo. A interpretação do sinal obtido permite estimar a carga mobilizada durante o golpe do pilão. Analogamente à nega esse sinal pode ser obtido após decorrido um certo tempo após a cravação para verificar os fenômenos da “cicatrização” (aumento da capacidade de carga como tempo) ou “relaxação” (diminuição da capacidade de carga como tempo) da estaca.

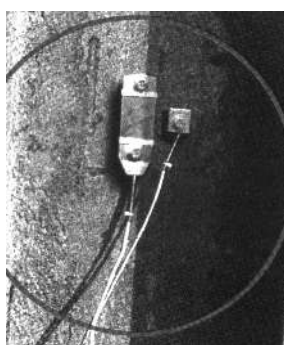
Fotografia 9 - Registro do repique



## Ensaio de Carregamento Dinâmico (NBR 13208: 2007)

Este ensaio, calcado na Equação da Onda, é mais completo que o repique. Consiste em se acoplar à estaca um par de transdutores de deformação específica e um par de acelerômetros, posicionados em planos ortogonais, para poder corrigir eventuais efeitos devido à flexão da estaca em função da não coincidência do golpe do pilão com o eixo da estaca (fotografia 10). Esses transdutores são ligados “on line” a um analisador PDA (Pile Driving Analyser) mostrado na fotografia 11.

Fotografia 10 - Transdutores de aceleração e deformação específica



Fotografia 11 - Equipamentos PDA para processamento dos sinais dos transdutores acoplados à estaca



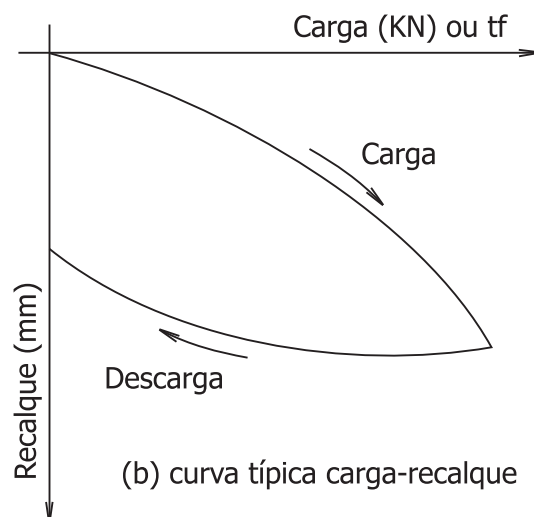
O PDA processa os dados recebidos dos transdutores e processa-os obtendo sinais de velocidade (integração da aceleração) e de força (Lei de Hooke aplicado ao sinal de deformação específica). A interpretação desses sinais fornece a estimativa da carga mobilizada durante cada golpe do pilão. Cabe lembrar que a carga mobilizada pelos golpes do pilão nem sempre corresponde à capacidade de carga geotécnica da estaca, pois a mesma depende da energia aplicada à estaca pelos golpes do pilão. Somente no caso em que essa energia seja suficiente para mobilizar toda a resistência do solo à volta da estaca é que esse valor medido pelo ensaio de carregamento dinâmico poderá se aproximar da capacidade de carga da estaca. Entretanto, este valor somente poderá ser medido pelas tradicionais provas de carga estáticas, conforme se exporá a seguir.

## 10.2 - Provas de Carga Estática (NBR 12131:2006)

As provas de carga estática consistem em se aplicar à estaca uma carga e medir os recalques correspondentes. Para tanto se emprega um macaco hidráulico que reage contra um sistema de vigas metálicas, que por sua vez se ancora em tirantes ou em estacas de tração. A utilização de estacas metálicas facilita a execução de provas de carga estática, pois se podem utilizar estacas do próprio bloco como elementos de tração, conforme se mostra na fotografia 12.

Fotografia 12 - Prova de Carga Estática

(a) ensaio



A prova de carga estática é o método mais confiável e indiscutível de se avaliar a capacidade de carga de uma estaca isolada. Os ensaios de carregamento dinâmico, embora sejam atrativos do ponto de vista de custo, sempre necessitarão de correlações. É por esta razão que alguns projetistas de fundações questionam os resultados dos ensaios PDA e sugerem que os mesmos sejam aferidos, pelo menos, por uma prova de carga estática.

### 10.3 - Provas de Carga Instrumentadas

Quando se pretende verificar a transferência de carga estaca-solo utilizam-se *strain gages* solidarizados à estaca, e em pontos estratégicos conforme se mostra na figura 15, onde se queria verificar a transferência de carga nas camadas de areia e na ponta da estaca.

Os *strain gages* baseiam-se no princípio da variação da resistência elétrica de fios que experimentam variação de comprimento, utilizando-se a “Ponte de Wheastone”. A aquisição de dados e a interpretação dos mesmos são mostradas na figura 16. Com base nesses valores medidos é possível se determinar, para cada profundidade instrumentada, a carga atuante na estaca para cada nível de carregamento. O resultado da prova carga instrumentada da figura 15 é mostrada na figura 17. Com base nessa figura percebe-se que após a descarga da estaca ainda restou uma carga residual na mesma, ou seja, a estaca “ficou presa”, não conseguindo voltar totalmente.

Mas um fato importante (posteriormente constatado em outras instrumentações), é que a carga de ponta das estacas metálicas, quando apoiadas em solo pouco portante (como é o presente caso) é muito próxima de zero, mostrando que não se pode considerar, para esse tipo de estaca, o padrão amplamente divulgado em nosso meio geotécnico de que a área da ponta que contribui para a capacidade de carga corresponde àquela obtida com o retângulo envolvente à seção transversal do perfil metálico.

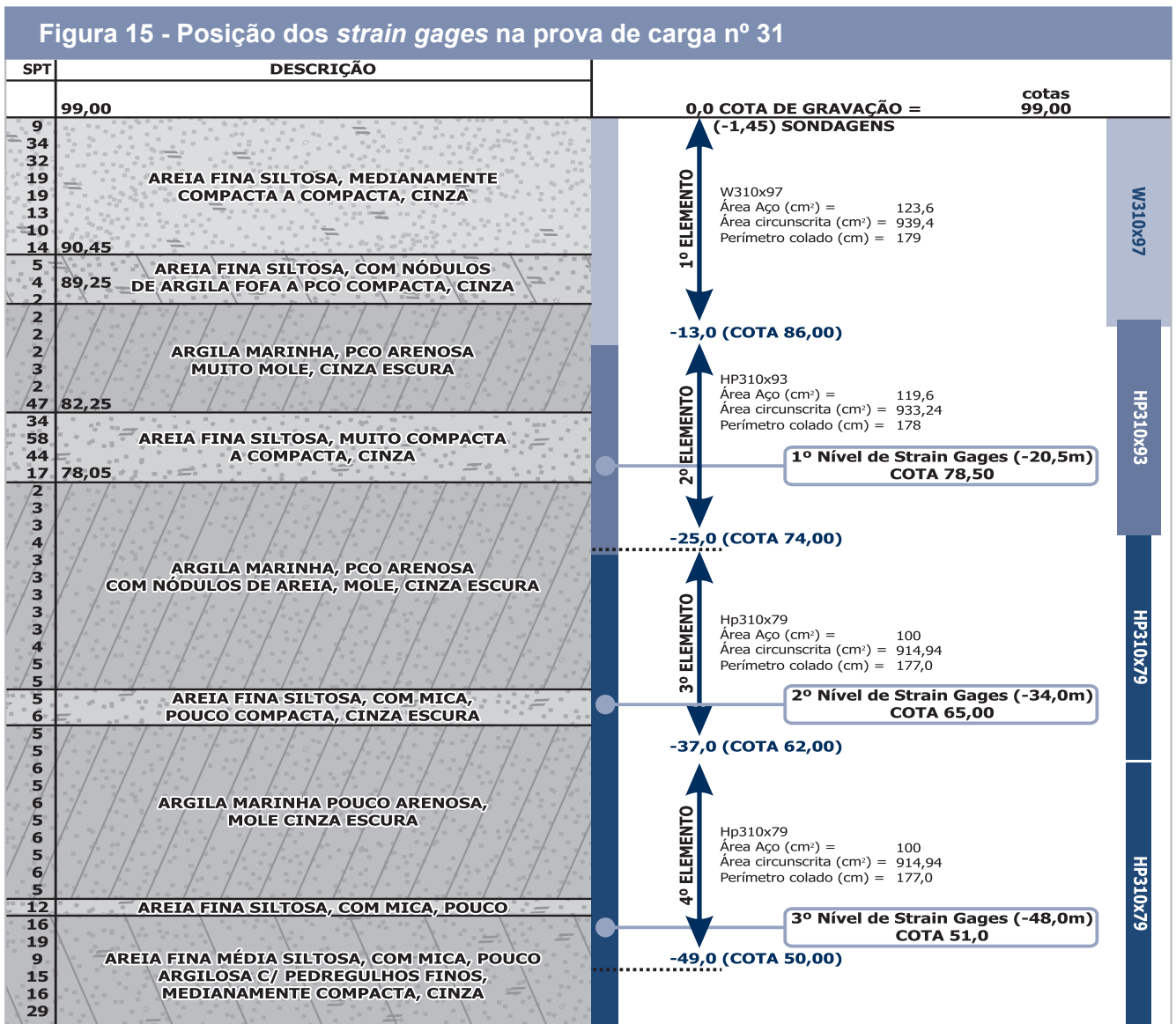


Figura 16 - Sistema de aquisição de dados durante a instrumentação das estacas

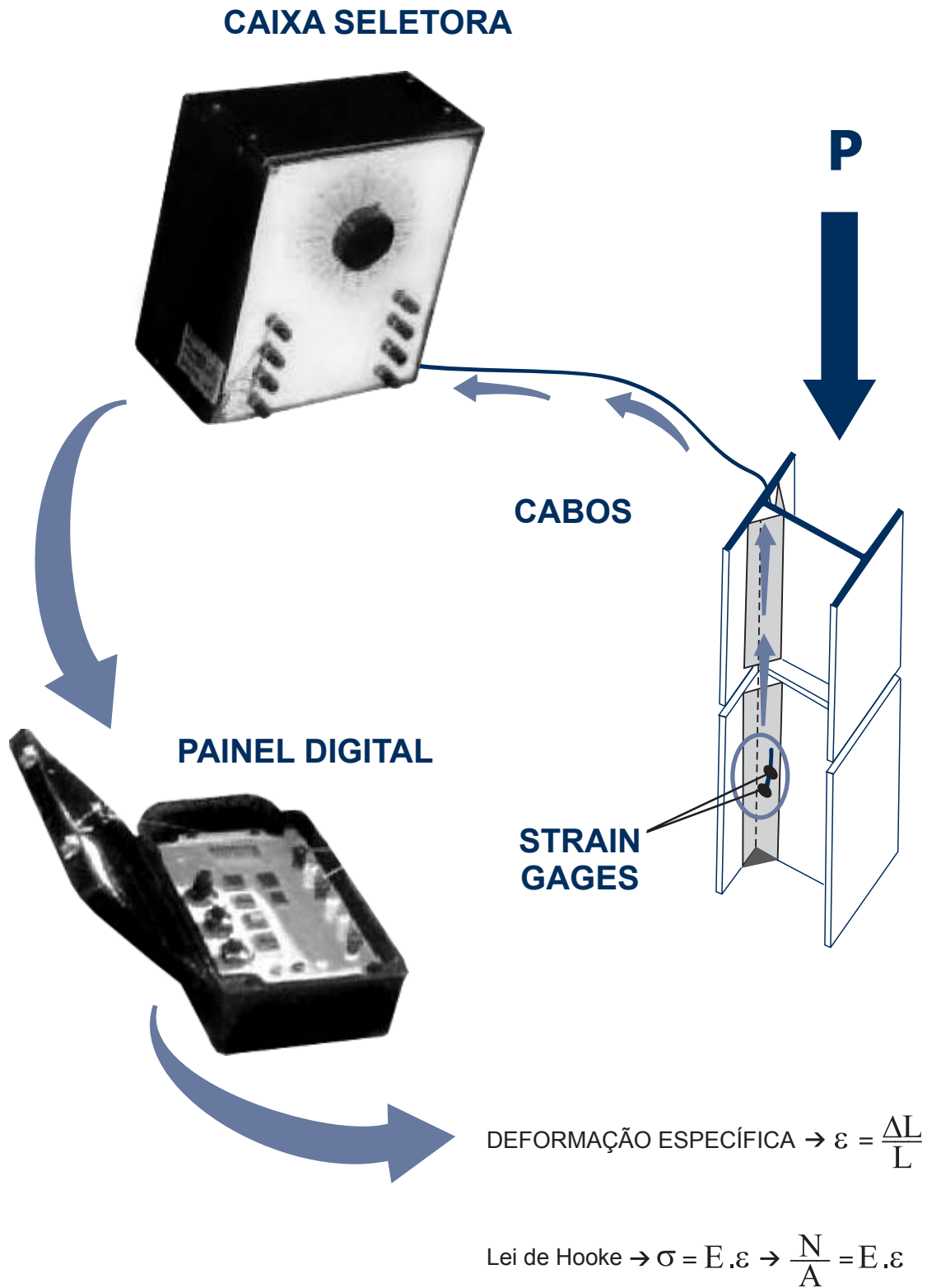
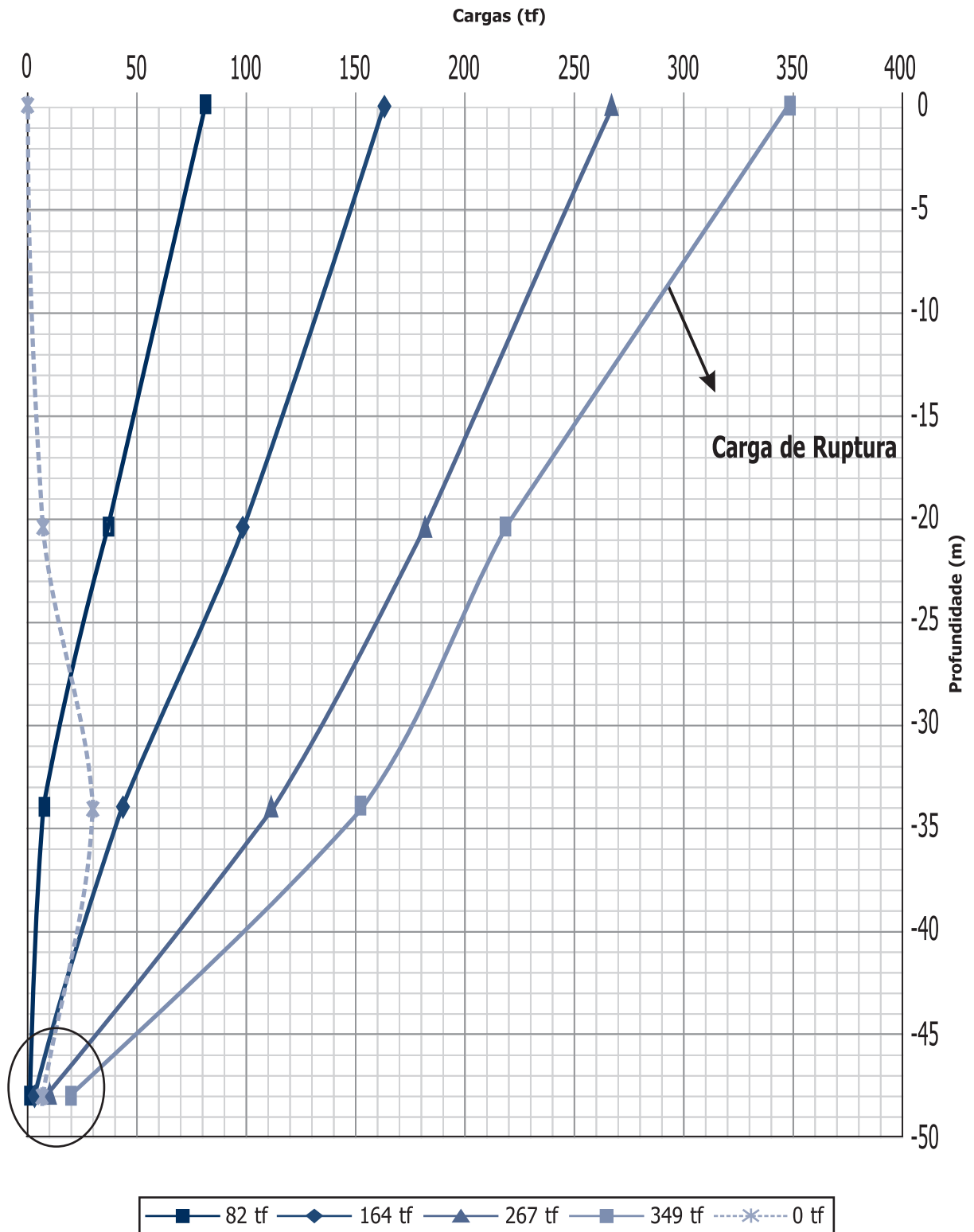


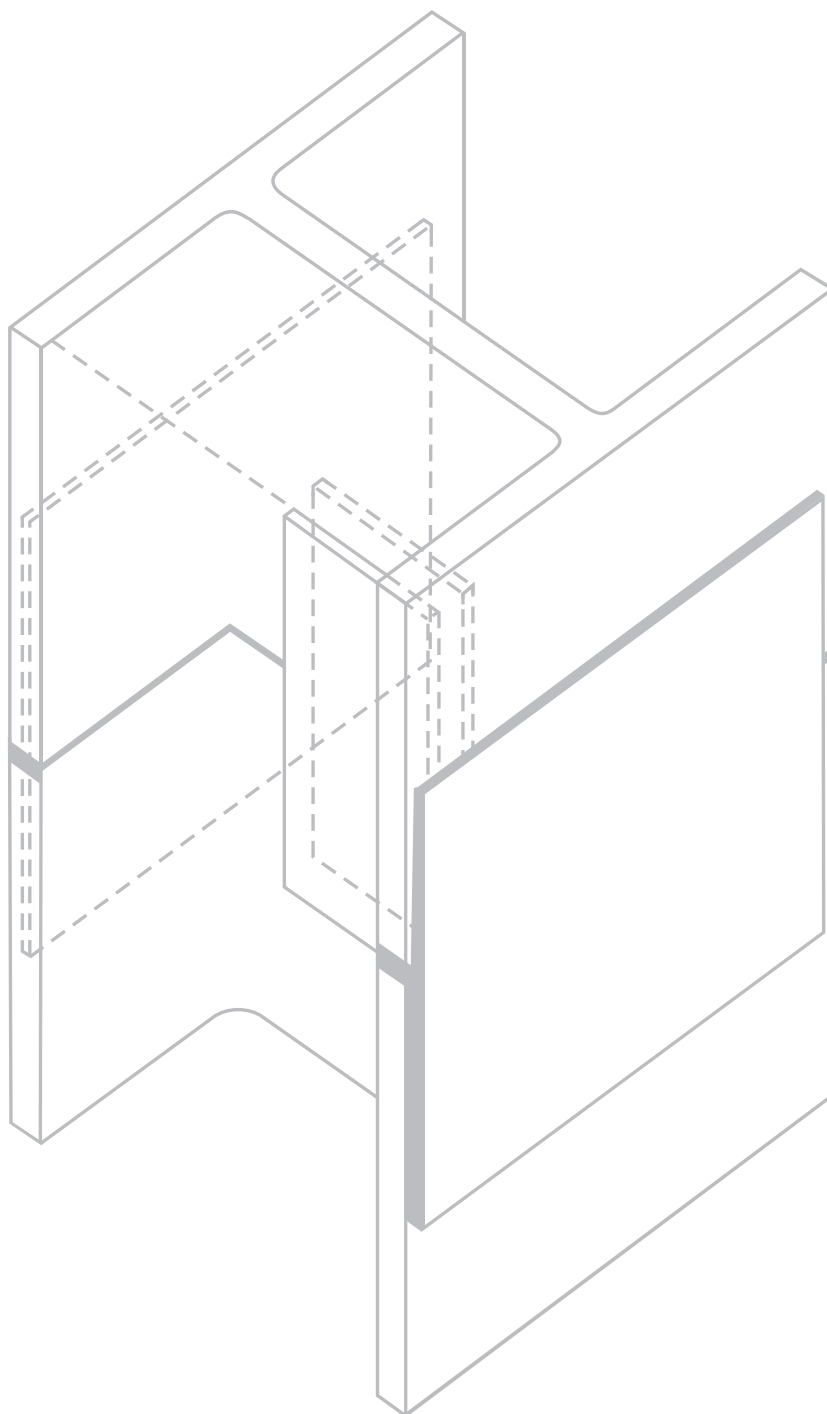
Figura 17 - Provas de Carga - Distribuição da Carga com a Profundidade

Obra/Local: Rua Tocantins - Santos - SP  
data: 08/12/2006











A tabela 5 apresenta a localização das cidades onde se executaram algumas das provas de carga estáticas em estacas cravadas com martelo vibratório e, nas tabelas 6 e 7, os dados relevantes das mesmas.

Analogamente, nas tabelas 8 a 10 reproduzem-se as provas de carga, já constantes dos catálogos técnicos anteriores, realizadas em estacas cravadas à percussão por martelos de impacto.

Para permitir a reconstituição das curvas carga-deslocamento dessas provas de carga foram elaboradas as Tabelas 6 e 9. Nessas tabelas os deslocamentos são apresentados para pontos fixos de carga correspondentes a 0,25P; 0,5P; 0,6P; 0,7P; 0,8P; 0,9P e P, sendo P a carga máxima do ensaio. Os valores superiores destas tabelas apresentam, para cada estaca, os recalques medidos durante a carga, e os inferiores durante a descarga. Analogamente é apresentada a figura com a sondagem à percussão junto a cada estaca. Nessa figura, o início dos dados do solo coincide com a cota de cravação da estaca. Para identificação do tipo de solo foi utilizada a convenção de 3 algarismos. O algarismo 1 significa areia, o 2 silte e o 3 argila.

Quando não existe um determinado tipo de solo usa-se o algarismo 0 para completar a série de 3 algarismos. Por exemplo, o solo classificado como 123 significa areia silto argilosa e o solo classificado como 320 corresponde a uma argila siltosa.

**Tabela 5 - Localização e dados relevantes das estacas ensaiadas à compressão e cravadas com martelo vibratório**

PC n <sup>o</sup>	LOCALIZAÇÃO			ESTACA		P máx (tf)	
	Est.	Cidade	Endereço	Composição (*)	(m)		
V.1	RJ	Santa Cruz	Laminador Gerdau Cosigua	W 610 x 101 (33,37)	33,37	282	
V.2				W 610 x 101 (31,65)	31,65	244	
V.3				HP 200 x 53 (40)	40	200	
V.4				HP 250 x 85 (40,55)	40,55	285	
V.5				W 610 x 101 (37,5)	37,5	248	
V.6				W 610 x 101 (40,40)	40,4	300	
V.7				HP 250 x 85 (39,92)	39,92	290	
V.8				W 610 x 101 (40,40)	40,4	400	
V.9				W 610 x 101 (40,39)	40,39	280	
V.10				Barra da Tijuca	R. Martinho de Mesquita	HP 310 x 125 (38)	38
V.11	SP	Santos	R. Castro Alves	W 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (21,5 - 12 - 12 - 12)	57,5	400	
V.12			Av. Osvaldo Cruz	W 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (12 - 12 - 12 - 14)	50	400	
V.13				W 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (12 - 12 - 12 - 14)	50	400	
V.14				Av. Presidente Wilson	HP 310 x 125 (42,5)	42,5	460
V.15			HP 310 x 125		38,6	460	
V.16			HP 310 x 125		35,7	272	
V.17			HP 310 x 125		32,2	460	
V.18			Av. Marechal Floriano Peixoto	HP 310 x 125 - 117 - 110 (15,5 - 12 - 12)	39,5	422	
V.19				HP 310 x 125 - 117 - 110 (8,5 - 12 - 12)	32,5	364	
V.20			R. Itapura de Miranda	W 310 x 117 - 107 - 97 - 79 (12 - 12 - 12 - 18)	54	410	
V.21			Praia Grande	R. General Otelo Rodrigues Franco	W 310 x 93 - 79 (28,20 - 12)	40,2	360
V.22					W 310 x 93 - 79 (28,30 - 12)	40,3	360
V.23				R. Xixová	W 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (12 - 12 - 12 - 12)	48	408
V.24					W 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (12 - 12 - 12 - 8)	44	400
V.25			São Vicente	R. Freitas Guimarães	HP 310 x 93 - 79 (14 - 36)	50	300

(\*) HP 310 x 125 - 110 - 93 - 79 (a - b - c - d) significa (do topo para a ponta da estaca):  
HP 310 x 125 c/a m; HP 310 x 110 c/b m; HP 310 x 93 c/c m e HP 310 x 79 c/d m

**Tabela 6 - Recalques (mm) das estacas comprimidas e cravadas com martelo vibratório**  
**Valor de r sob carga máxima  $P_{m\acute{a}x}$  correspondente ao recalque residual (para  $P=0$ ) na descarga**

PC n <sup>o</sup>	Cidade	l (m)	$P_{m\acute{a}x}$ tf	Valores superiores para carga e inferiores para descarga							
			resid.	0,25 $P_{m\acute{a}x}$	0,5 $P_{m\acute{a}x}$	0,6 $P_{m\acute{a}x}$	0,7 $P_{m\acute{a}x}$	0,8 $P_{m\acute{a}x}$	0,9 $P_{m\acute{a}x}$	$P_{m\acute{a}x}$	
V.1	Santa Cruz	33,37	282	5	9,5	12	15	19	24	115	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
V.2		31,65	244	3	7	10	12	15	20	73,18	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
V.3		40	200	10	21	26,9	28,5	34,64	40,49	46,1	
			9,82	25	38	40	42	45	46	46,49	
V.4		40,55	285	6	15,86	21,94	25,56	31,93	38,17	59,78	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
V.5		37,5	248	4,51	9,84	12	16	19	22	33,65	
			14,07	20	27	29	24	37	42	45,7	
V.6		40,4	300	7	14	16	20	23	30	40	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
V.7		39,92	290	7	15	20	25	30	35	45	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
V.8		40,4	400	9	20	25	30	35	40	45	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
V.9		40,39	280	2	5	16	20	24	28	37	
			-	-	-	-	-	-	-	-	45
V.10		Barra da Tijuca	38	500	2,2	6,69	11	18	22	30	40,74
				24,33	31,15	35	38	42	44	45	45,24
V.11	Santos	57,5	400	4	12,27	23	30	30	37	45	
			-	-	-	16,57	22	-	-	-	64
V.12		50	400	5	13,62	18,55	24,44	30,65	38,05	46,12	
			10,42	27	35	39,4	42,5	44,81	46	-	
V.13		50	400	5	13,22	17,28	23,54	28,74	37,32	45,02	
			9,89	23,5	33,5	37	41	44	45	-	
V.14		42,5	460	3,5	11,4	15	18,5	23	27	30,82	
			4,62	15	24	28	29	30	30	-	
V.15		38,6	460	9	18	24	27	32	39,5	45,14	
			6,39	17	30	33	37	42	44	-	
V.16		35,7	272	4	8,45	11	14	16	19,5	51,27	
			32,02	40	45	46	48	50	51	51,33	
V.17		32,2	460	3	9,42	13,83	16,8	21,49	25	29,77	
			2,88	11	19,5	23	26	28	29	-	
V.18		39,5	422	2	6,15	8,59	12,56	14,96	18,32	22,02	
			4,09	15	19	21	21,5	22	22	-	
V.19		32,5	364	4,5	11	14	17	20,5	23,5	28,5	
			4,28	13	21	21	23	25,5	27	-	
V.20		54	410	4	12	15,1	20	24	34	42,29	
			24,93	37	46,07	50	51	53	54	55,67	
V.21	40,2	360	5	11	13,5	17	22,5	32	41,97		
		18,36	25	34,52	37,5	41	43	45	46,39		
V.22	40,3	360	5	10	13	16	20	24	29,05		
		8,54	18	26	28	30	32	33	33,44		
V.23	48	408	4,01	12,29	15,1	20	25	29	30,87		
		18,23	30	38	42	45	46,5	48	49,35		
V.24	44	400	4	9,8	12,47	16,39	19,96	24,96	29,8		
		2,63	13	21	25,66	26	27	24	-		
V.25	São Vicente	50	300	3,5	6,65	9,66	12,14	14,94	18,18	22,6	
			4,23	12	16,42	18	20	22	22,6	-	

Tabela 7: Quadro resumo das provas de carga à compressão sobre as estacas

PC n°	Local	Descrição do solo e SPT (índice de resistência à penetração)												
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55		
V-1	Santa Cruz	100	310	130	310	120	231							
V-2	Santa Cruz	100	310	130	310	120	231							
V-3	Santa Cruz	100	300	130	300	231								
V-4	Santa Cruz	100	300	130	300	120	231							
V-5	Santa Cruz	100	300	130	300	120	231							
V-6	Santa Cruz	100	300	130	300	120	231							
V-7	Santa Cruz	100	300	130	310	231								
V-8	Santa Cruz	100	300	130	300	231								
V-9	Santa Cruz	300	130	231										
V-10	Barra da Tijuca	231	100	300	100	310								
V-11	Santos	120	SFL	130	SFL	120	AT	210						
V-12	Santos	120	SFL	130	SFL	120								
V-13	Santos	120	SFL	130	SFL	120								
V-14	Santos	120	SFL	120										
V-15	Santos	120	SFL	210										
V-16	Santos	130	SFL	130	SFL	210								
V-17	Santos	130	SFL	130	SFL	210								
V-18	Santos	120	SFL	130	SFL	120	130	213						
V-19	Santos	120	SFL	130	SFL	120	SFL	213						
V-20	Santos	120	SFL	130	SFL	120	SFL	130	213					
V-21	Praia Grande	100	SFL	100										
V-22	Praia Grande	100	SFL	100										
V-23	Praia Grande	100	SFL	100										
V-24	Praia Grande	100	SFL	100										
V-25	São Vicente	100	SFL	100										

<b>Código do Solo</b>	100 Areia	200 Silto	300 Argila
	120 Areia Siltosa	210 Silto Arenoso	310 Argila Arenosa
	123 Areia Silto Argilosa	213 Silto Areno Argiloso	312 Argila Areno Siltosa
	130 Areia Argilosa	230 Silto Argiloso	320 Argila Siltosa
	132 AreiaArgilo Siltosa	231 Silto Argilo Arenoso	321 Argila Silto Arenosa

**Tabela 8 - Localização e dados relevantes das estacas ensaiadas à compressão e cravadas à percussão por martelo de Impacto**

PC nº	LOCALIZAÇÃO			ESTACA		P <sub>máx</sub> (tf)
	Est.	Cidade	Endereço	Composição (*)	(m)	
I.1	PE	Recife	Av. Boa Viagem	HP 310 x 125 – 110 - 93 -79 (6 -12 -12-12)	42	361
I.2			Av. Cais Sta. Rita	HP 310 x 125 – 93 - 79 (14,7 -12 -12)	38,7	479
I.3			Av. Boa Viagem	HP 310 x 93 (18,50)	18,5	300
I.4	Jaboatão		Av.Barreto Menezes	W 410 x 67 – 53 (15,9 -12,1)	28	210
I.5	BA	Salvador	Prédio na Costa Azul	W 250 x 73 (14,20)	14,2	240
I.6	ES	Vitória	R. Aleixo Neto	W 150 x 37,1 (28,5)	28,5	160
I.7			Av.N.Sa.Navegantes	W 150 x 37,1 (23,5)	23,5	160
I.8			Bairro Vermelho	W 150 x 37,1 (19)	19	90
I.9	R. Janeiro		R.Vol. da Pátria	W 310 x 52 (38,50)	38,5	193
I.10	RJ	Santa Cruz	CSA	W 610 x 155 (35,50)	35,5	468
I.11			CSA	W 610 x 125 (40,50)	40,5	497
I.12			CSA	HP 310 x 125 (39,00)	40,5	382
I.13	RJ	S.J.Barra	Terminal Portuário	HP 310 x 125 (39,00)	39	424
I.14			Terminal Portuário	HP 310 x 125 (38,50)	38,5	330
I.15			Terminal Portuário	HP 310 x 125 (38,50)	38,5	330
I.16		Macaé	Av. Elias Agostinho	W 150 x 29,8 (6,55)	6,55	120
I.17		São Paulo	R. Maria Cândida	HP 310 x 110 – 93 - 79 (10 -6 -12)	28	400
I.18		S. Caetano	R. José Benedetti	HP 310 x 79 (18,8)	18,8	234
I.19	RJ	Guarujá	Cais Conceiçãozinha	(mista) SCAC70 (23,10m)+ W 610 x 155 (10m)	33,1	220
I.20			Av.do Parque	W 200 x 46,1 - 35,9 (24 – 24)	48	165
I.21			R.Vitória Yunes Stefane	HP 319 x 79 (32)	32	288
I.22			Av.Gal. Monteiro Barros	HP 310 x 110 – 93 – 79 (15 – 12 – 16,9)	43,9	360
I.23	RJ	Bertioga	Av. Thomé de Sousa	HP 250 x 62 (29,7)	29,7	240
I.24			Av. Thomé de Sousa	HP 250 x 62 (29,7)	32,4	240
I.25		P. Grande	Av. Castelo Branco	HP 310 x 110 - 93 - 79 (14,30 - 12 - 24)	50,3	400
I.26	SP	Santos	Cereal Sul	HP 250 x 89 - 80 - 73 - 62 (4,85 - 12 - 12 - 12)	40,85	325
I.27			R. Minas Gerais	HP 310 x 125 – 110 - 93 - 79 (10,5 - 12 - 12 - 12)	46,5	386
I.28			Canal 6	HP 310 x 110 - 93 -79 (7,5 -12 - 24)	43,5	383
I.29			R. Dom Lara	W 310 x 107 - 97 - HP 93 - 79 (11,1 - 12 - 12 - 12)	47	396
I.30			R. Álvares Azevedo	HP 310 x 110 - 93 - 79 (8 - 8 - 32)	48	302
I.31			R. Tocantins	W 310 x 97 HP 310 x 93 - 79 (13 – 12 – 24)	49	350
I.32			Av. Rei Alberto	HP 310 x 110 - 93 (18,3 - 36)	54,3	334
I.33			R. Castro Alves	HP 310 x 117 - 97 - 93 -79 (17,4 - 12 - 12 - 12)	53,4	418
I.34			R.Cel.Pedro Arbus	HP 250 x 85 W 250 x 80 - 73 (15 - 12 - 24)	51	320
I.35			R. Álvaro Alvin	HP 310 x 125 - 110 (29,4 - 24)	53,4	329
I.36			R. Vahia de Abreu	HP 310 x 110 - 93 -79 (12 -12 - 30)	52	384
I.37			P. Fernandes Pacheco	HP 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (15 -12 – 12 - 12)	51	350
I.38			R. Cyria	HP 310 x 125 - 110 - 93 - 79 (10,8 - 12 - 12 - 6)	40,8	400
I.39			R. Clay Presgrave	HP 310 x 117 - 110 - 107 - 97 (17 - 12 - 12 - 12)	53	400
I.40			R. Bahia	W 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (12 - 12 - 12 - 11,5)	47,5	391
I.41			SC	Itajaí	TECONVI	(mista) PROTENSUL 70 x 70 (13,10m) + W 610 x 101 (7,50)

(\*) HP 310 x 125 – 110 - 93 -79 (a - b - c - d) significa (do topo para a ponta da estaca):  
HP 310 x 125 c/a m; HP 310 x 110 c/b m; HP 310 x 93 c/c m e HP 310 x 79 c/d m





**Tabela 10: Quadro resumo das provas de carga à compressão sobre as estacas**

PC nº	Local	Descrição do solo e SPT (índice de resistência à penetração)											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
Estacas cravadas à percussão por martelos de impacto	I.1	Recife											
	I.2	Recife											
	I.3	Recife											
	I.4	Jaboatão											
	I.5	Salvador	<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
	I.6	Vitória	<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
	I.7	Vitória	<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
	I.8	Vitória	<p>IP = impenetrável à percussão (aguardar nova sondagem)</p>										
	I.9	R. Janeiro											
	I.10	R. Janeiro	<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
	I.11	R. Janeiro											
	I.12		<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
	I.13	S. J. Barra											
	I.14	S. J. Barra											

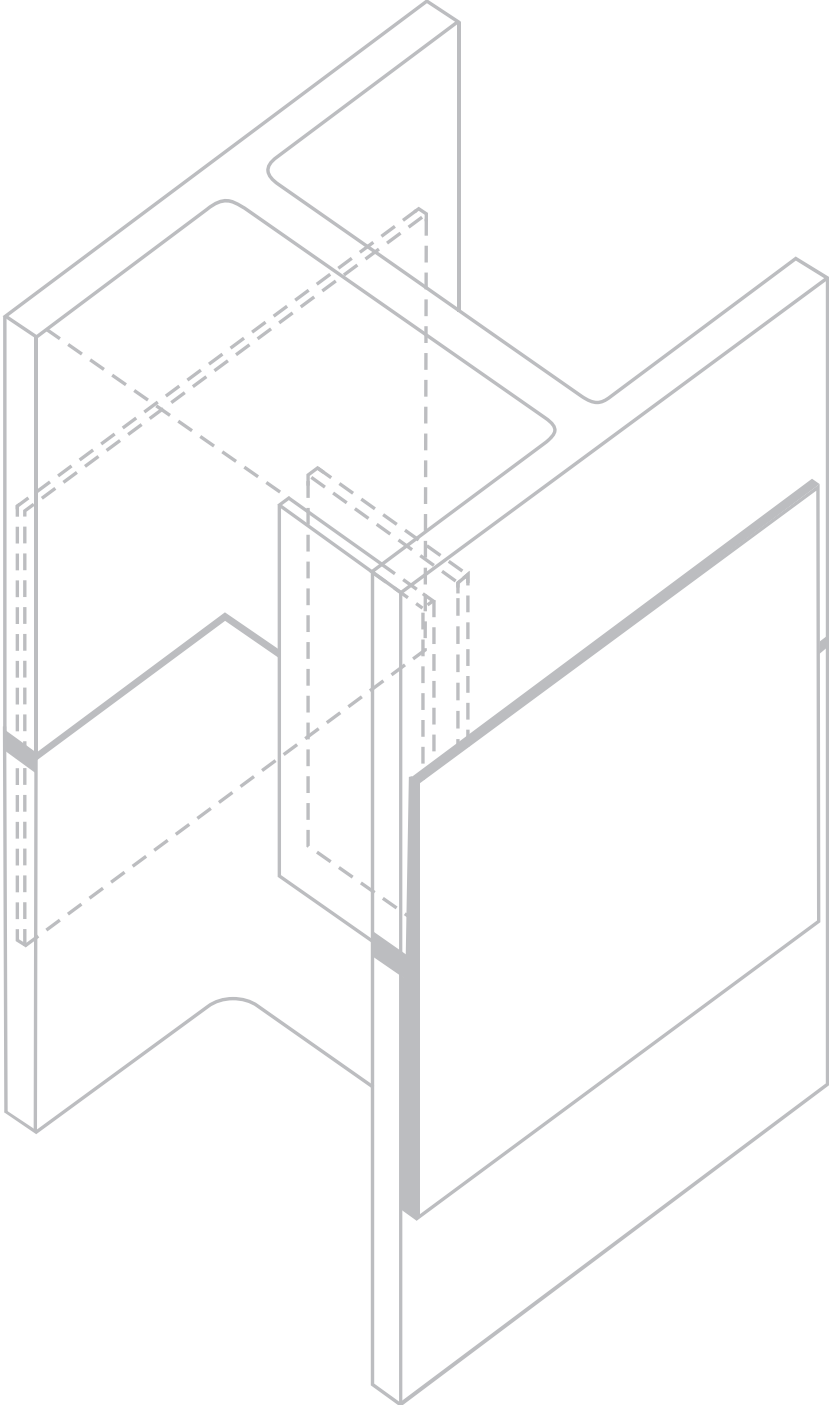
Código do Solo					
100	Areia	200	Silto	300	Argila
120	Areia Siltyosa	210	Silto Arenoso	310	Argila Arenosa
123	Areia Silto Argilosa	213	Silto Areno Argiloso	312	Argila Areno Siltyosa
130	Areia Argilosa	230	Silto Argiloso	320	Argila Siltyosa
132	Areia Argilosa Siltyosa	231	Silto Argiloso Arenoso	321	Argila Siltyosa Arenosa

PC nº	Local	Descrição do solo e SPT (índice de resistência à penetração)										
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
I.15	S. J. Barra											
I.16	Macaé	<p>100</p> <p>IP = impenetrável à percussão</p>										
I.17	S. Paulo											
I.18	Guarujá	<p>231</p>										
I.19	Guarujá	<p>Água</p> <p>300</p> <p>SEAC D=70cm parede 15cm</p> <p>123</p> <p>321</p> <p>123</p> <p>321</p> <p>Água</p>										
I.20	Guarujá											
I.21	Guarujá	<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
I.22	Guarujá											
I.23	Bertioga	<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
I.24	Bertioga	<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
I.25	P. Grande											
I.26	Santos	<p>IP = impenetrável à percussão</p>										
I.27	Santos											

Código do Solo					
100	Areia	200	Silto	300	Argila
120	Areia Siltosa	210	Silto Arenoso	310	Argila Arenosa
123	Areia Silto Argilosa	213	Silto Areno Argiloso	312	Argila Areno Siltosa
130	Areia Argilosa	230	Silto Argiloso	320	Argila Siltosa
132	Areia Argilo Siltosa	231	Silto Argilo Arenoso	321	Argila Silto Arenosa





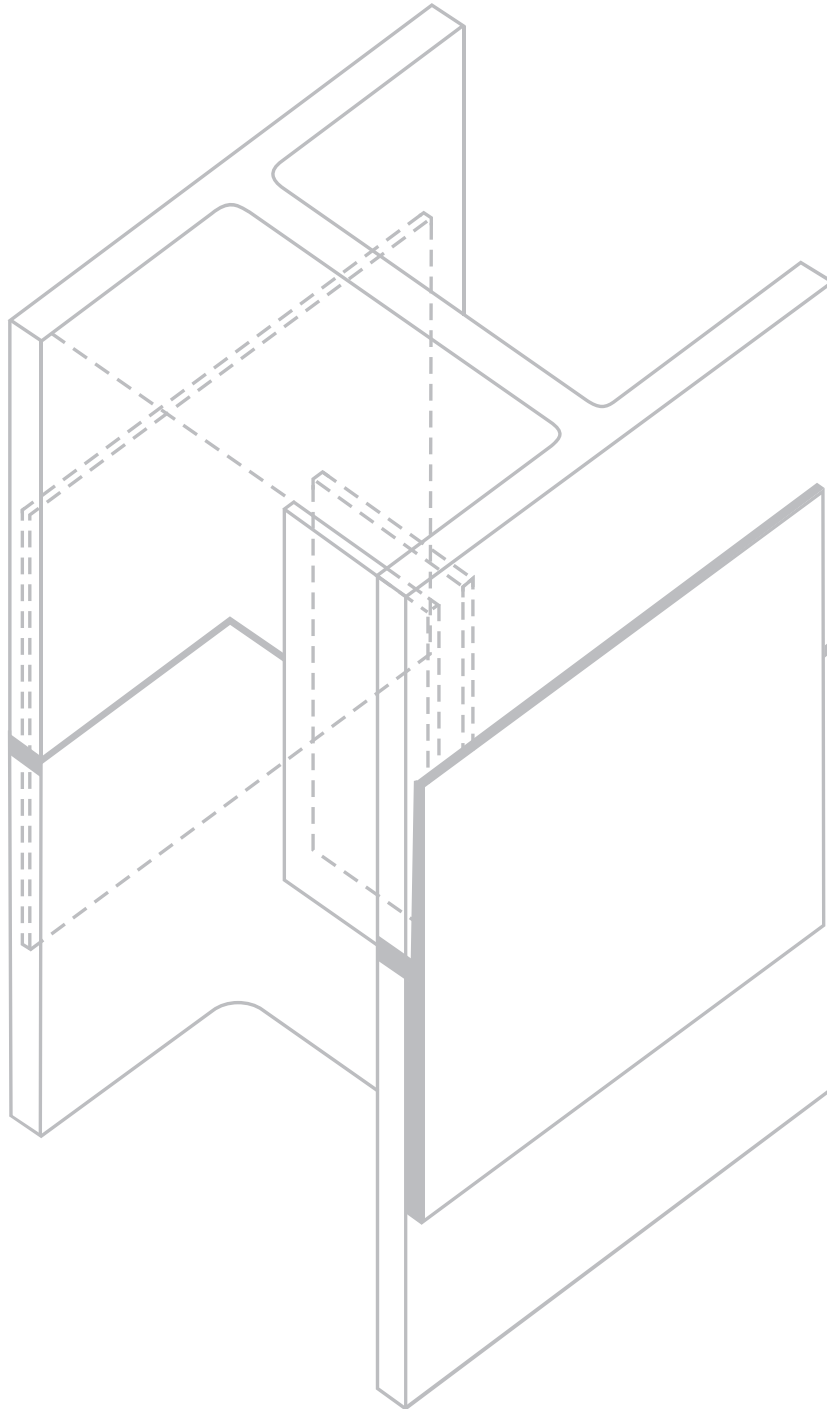




# ANEXO I

## Tabela de carga estrutural dos Perfis Estruturais Gerdau

---







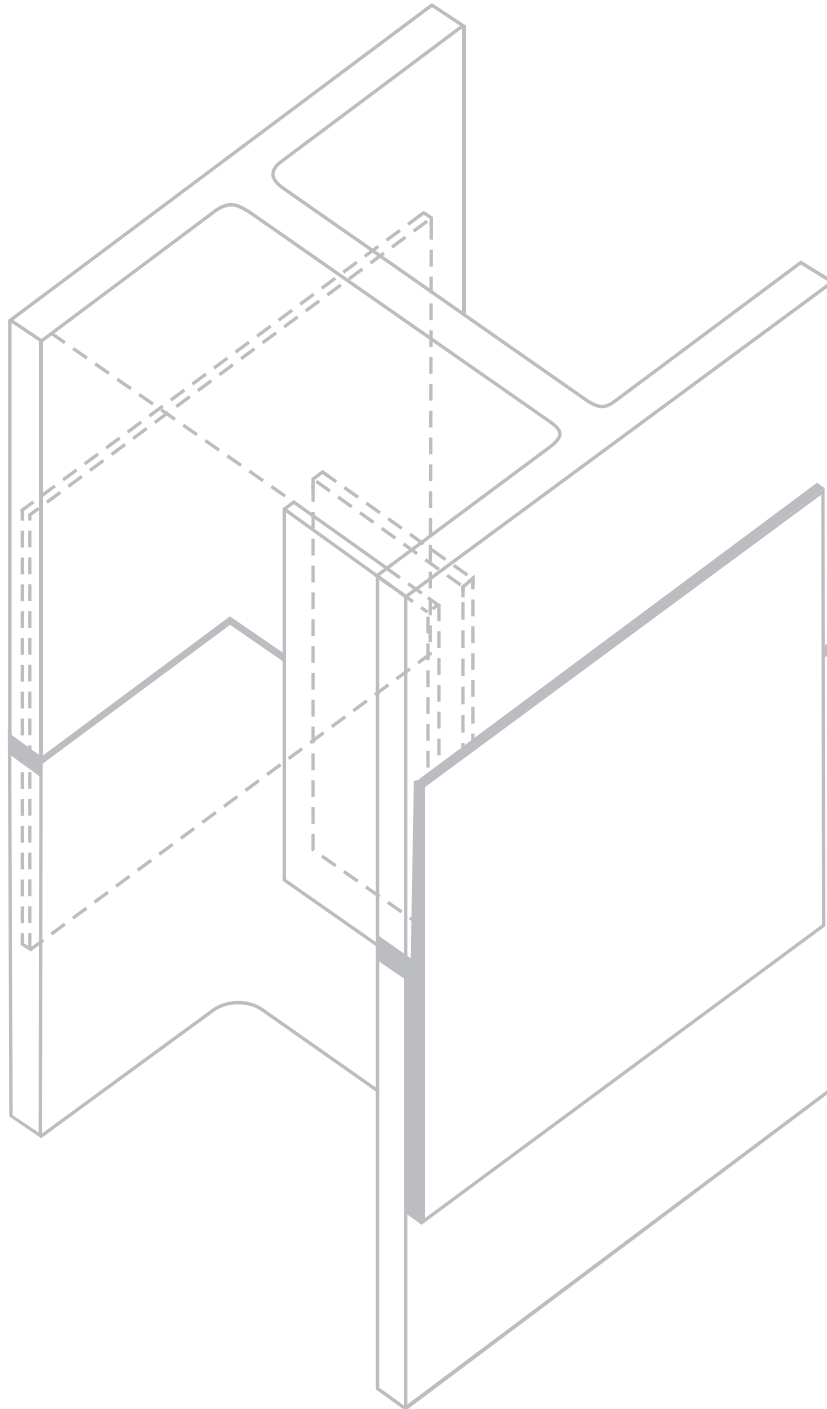




# ANEXO II

## Tabela de Perfis – propriedades geométricas considerando a corrosão

---











[www.gerdau.com.br](http://www.gerdau.com.br)



Ao utilizar matéria-prima reciclada na confecção deste folder, contribuimos com o desenvolvimento sustentável da sociedade. "Reciclamos sem fim" é uma iniciativa que nos mobiliza e está presente em nosso dia a dia.