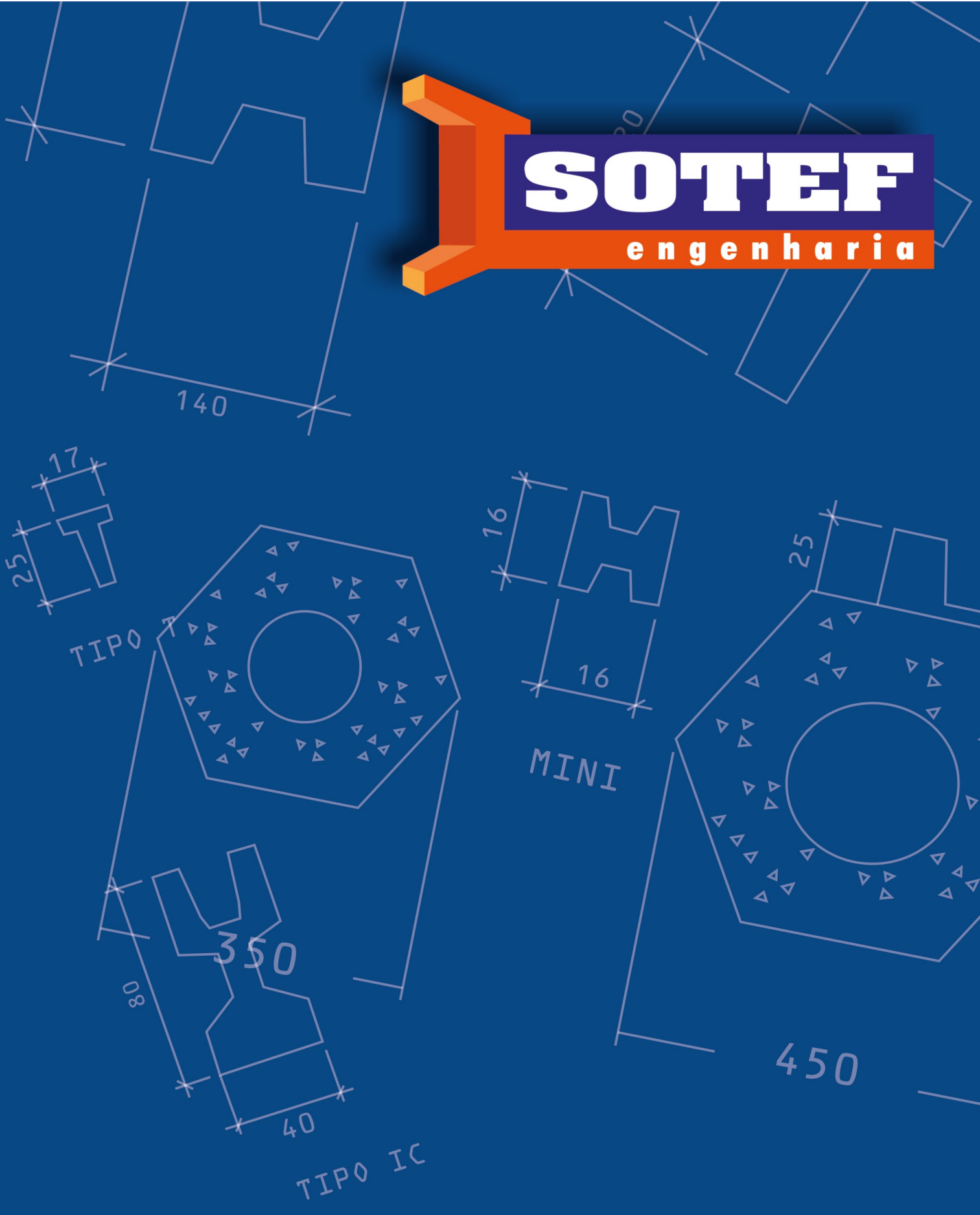
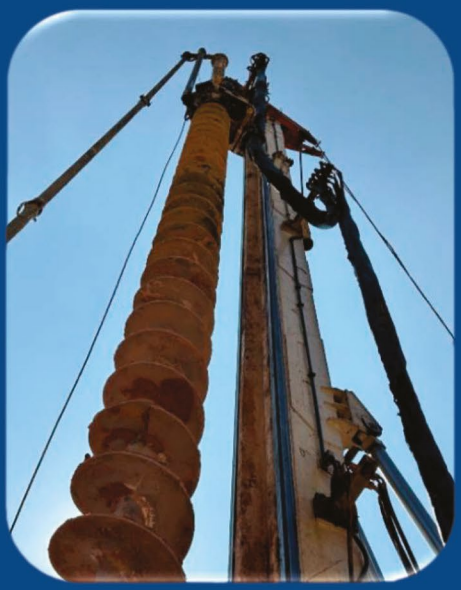
SOTEF
engenharia



MANUAL TÉCNICO

SOTEF
engenharia



Campo Grande / MS - Av. Gury Marques, 7300 / Saída para São Paulo / Caixa Postal 119 / CEP 79002-970 / (67) 3398-2222
Caçapava / SP - Rodovia CPS 14, km 1 / Piedade / Caçapava / Caixa Postal 109 / CEP 12280-970 / (12) 3653-3376
www.sotef.com.br @sotef_engenharia

APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa **SOTEF** foi criada em 1972 como uma empresa especializada em Engenharia de Fundações. Desde então, tem explorado também a fabricação de diversos outros produtos pré-fabricados de concreto armado e protendido, utilizados para a construção de edificações industriais, comerciais, habitacionais e rurais, pontes, galerias e postes de distribuição de energia elétrica.

A trajetória da **SOTEF** acompanhou o desenvolvimento do Estado de Mato Grosso do Sul, criado no ano de 1977. Junto com o novo Estado, consolidou o seu papel transformador e empreendedor, investindo no sonho do crescimento sustentável.

Em 1998, a **SOTEF** expandiu suas atividades para a cidade de Caçapava, no Estado de São Paulo, onde sua unidade industrial ali instalada preparou-se para a fabricação e cravação de estacas protendidas de pequeno (17x17cm) e grande porte (até Ø 60cm), capaz de atender a todo tipo de obras. A empresa **SOTEF** destaca-se em diversas atividades de Engenharia Civil, tais como a execução e instalação de estruturas pré-fabricadas de concreto (galpões, pontes, viadutos, vigas, pilares, telhas, painéis, postes, cruzetas, aduelas, estacas, dentre outras), execução de sondagens à percussão do tipo SPT (*Standard Penetration Test*), fabricação e cravação de estacas pré-fabricadas de concreto armado ou protendido, execução de pré-furações com auxílio de lançagem (jato d'água ou hidrojato), cravação de estacas metálicas, execução de estacas escavadas, estacas hélice contínua monitorada, e execução de Ensaios de Carregamento Dinâmico com PDA® (Pile Driving Analyzer), inclusive com equipe técnica devidamente capacitada para execução das análises numéricas do tipo CAPWAPC® e emissão posterior de relatório técnico.

ESTACAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

A **SOTEF** produz estacas pré-fabricadas de concreto protendido ou armado, hexagonais e quadradas, maciças e vazadas. Suas unidades fabris encontram-se equipadas com modernas centrais de concreto, totalmente informatizadas e dotadas de misturadores planetários, garantindo assim total controle quanto ao perfeito balanceamento dos componentes do traços de concreto adotados, grande capacidade de produção, perfeita homogeneidade do concreto produzido e reposição rápida e permanente do estoque, que resulta na qualidade e bom desempenho de todas as estacas produzidas.

As matérias-primas utilizadas na fabricação das estacas são rigorosamente testadas no laboratório de concreto da própria empresa, em obediência a todas as normas técnicas brasileiras. **O concreto produzido utiliza como aglomerante o cimento CP V – ARI (Alta Resistência Inicial),** que possibilita a desmoldagem das estacas com maior rapidez, **proporcionando assim maior capacidade de produção, rápida reposição do estoque e pronto atendimento às necessidades de todas as obras.**

O concreto é dosado em uma moderna central, totalmente informatizada e equipada com um misturador planetário que, além de proporcionar uma mistura sempre homogênea, possibilita o controle total de todos os componentes na dosagem do traço do concreto utilizado. Diariamente, são moldados corpos de prova e, por meio da ruptura destes, controla-se a qualidade do produto final, garantindo assim que as resistências de projeto (≥ 40 MPa), a permeabilidade muito baixa e o elevado módulo de elasticidade (E_{sec}) sejam satisfatoriamente atendidos.

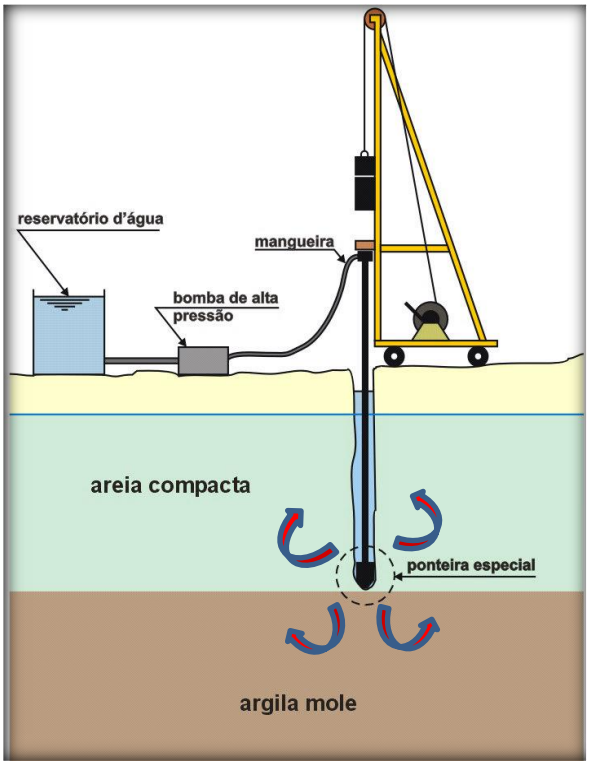
A protensão dos fios de aço utilizados para confecção das estacas é efetuada através de equipamentos de alta tecnologia. **Todas as estacas são protendidas de forma individual e fio a fio, o que garante uma distribuição de tensões rigorosamente uniforme em cada peça produzida**. Os fios de aço utilizados para a protensão são fabricados pela **ARCELOR MITTAL,** sendo entalhados e aliviados de tensões do tipo RN-175, com bitolas de 5 e 6mm, e limites de resistência superiores a 175 kgf/mm^2.

Todas as estacas são fabricadas com anéis metálicos, solidarizados quando da concretagem juntamente aos topos de cada peça. Tais anéis além de proporcionarem a cravação das estacas com comprimentos ilimitados, em decorrência de possibilitarem a execução de emendas soldadas entre os segmentos, ainda garantem o bom desempenho das mesmas durante as cravações, pois auxiliam na absorção das tensões decorrentes dos impactos dos martelos que as cravam.

As unidades fabris da **SOTEF** são totalmente equipadas com sistema de pórticos com elevada capacidade, o que lhes proporciona grande velocidade de carga e descarga do produto, facilita a organização interna e estocagem das estacas em conformidade com a diversidade de bitolas e comprimentos produzidos, além de minimizar os esforços decorrentes dessas operações.

A **SOTEF** possui uma frota de carretas equipadas com guindastes veiculares hidráulicos (tipo *munck*), que garantem o pronto atendimento a todas as obras. As estacas transportadas são descarregadas com auxílio desses guindastes instalados nas carretas, o que proporciona grande velocidade na descarga nas obras, segurança aos funcionários que realizam esse procedimento e evita a ocorrência de fissuras e/ou trincas que eventualmente surgem em decorrência dessa operação.

PRÉ-PERFURAÇÃO COM LANÇAGEM (JATO D'ÁGUA (HIDROJATO))



Solos sedimentares litorâneos, em geral, apresentam camadas de areia compacta próximas à superfície ou intercaladas entre espessas camadas de argila de baixa resistência (muito moles a moles). **Nesses tipos de solos, é bastante comum que as estacas apresentem comprimentos extensos, uma vez que quase sempre necessitam ter suas pontas apoiadas a grandes profundidades para que não ocorram recalques acentuados ao longo do tempo.** Nessas circunstâncias, a ABNT NBR 6122 recomenda que sejam empregadas pré-perfurações auxiliadas por jato d'água (lançagem), utilizando-se a injeção de água sob pressão por meio de um tubo metálico previamente cravado, de modo a provocar a movimentação dos grãos de areia, tornando-a menos compacta (literalmente "afofando-a"). Posteriormente, o tubo metálico é removido e a estaca é inserida no pré-furo. **Esse recurso possibilita a cravação das estacas sem risco de quebras durante a transposição dessas camadas de areia compacta, além de proporcionar uma considerável redução na intensidade das vibrações e dos ruídos decorrentes da operação de cravação por percussão.**

EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS PARA CRAVAÇÃO DAS ESTACAS

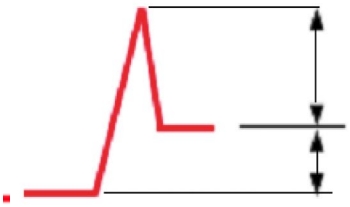
A cravação das estacas geralmente é efetuada por percussão, utilizando equipamentos denominados bate-estacas. Esses equipamentos podem se movimentar sobre rolos metálicos ou esteiras e são constituídos basicamente por um chassi confeccionado em estrutura metálica reforçada ou por uma máquina hidráulica (tipo escavadeira), um sistema de guinchos e cabos de aço, uma torre executada em estrutura metálica rígida para acoplamento de martelos hidráulicos, a diesel ou do tipo "queda livre", além de um motor. A absorção e distribuição de parte das tensões dinâmicas geradas pelos frequentes impactos dos martelos sobre as cabeças das estacas são realizadas por um dispositivo chamado capacete metálico, que é instalado entre o martelo e o topo das estacas (cabeça). Esse dispositivo geralmente apresenta, em sua parte superior, placas de madeira industrializada (tipo *madeirit*) cuja finalidade é regularizar a superfície de contato entre o cepo e a base do martelo, sobre as quais o martelo é acionado. O cepo é feito de madeira dura com fibras paralelas ao eixo da estaca. Na parte interna desse capacete metálico, sobre o topo das estacas, é instalado um coxim de madeira macia com dimensões e geometria compatíveis com as estacas a serem cravadas.

Em geral, equipamentos dotados de martelos do tipo queda-livre proporcionam uma eficiência (relação entre a energia disponível no sistema de cravação e aquela efetivamente transferida às estacas) situada entre 40% e 60% e uma eficácia (número de golpes por minuto desferidos sobre as estacas) entre 15 e 25. Equipamentos dotados de martelos hidráulicos proporcionam uma eficiência (relação entre a energia disponível no sistema de cravação e aquela efetivamente transferida às estacas) situada entre 75% e 90% e uma eficácia (número de golpes por minuto desferidos sobre as estacas) entre 40 e 100, além de possibilitarem maior velocidade de manobras e, por consequência, redução do tempo nas operações de cravação e ainda uma significativa redução dos ruídos provocados pelos sucessivos impactos sobre os topos das estacas em processo de cravação.

O processo de cravação se inicia com o posicionamento do bate-estacas sobre o piquete indicador do centro da estaca a ser cravada. Em seguida, a torre do bate-estaca é aprumada, e o conjunto formado pelo martelo e o capacete metálico é levantado para até o alto da torre. Com o cabo auxiliar de manobras, a estaca é então trazida para junto da torre. A estaca laçada com o cabo de manobras, é então assentada sobre uma circunferência traçada no solo, cujo centro se localiza exatamente sobre o piquete que serve de referência em relação ao projeto, para a estaca a ser cravada. O conjunto formado pelo martelo e o capacete metálico é então descido até que o capacete se encaixe na cabeça da estaca, estando previamente colocado entre a cabeça e o capacete, um coxim de madeira macia. Após essa operação, controla-se o prumo da estaca com um prumo de face e então se inicia o processo de cravação propriamente dito.

CONTROLE INDIVIDUAL DA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS

Sinais de repiques elásticos são registrados ao final da cravação de cada estaca, juntamente com a nega tradicional. Para tanto, coloca-se um papel devidamente ajustado à estaca e, com o auxílio de um apoio (referencial horizontal), move-se o lápis lenta e continuamente ao longo do topo de um determinado referencial durante a aplicação dos golpes desferidos pelo martelo do bate-estacas, obtendo-se o sinal de repique apresentado a seguir:



$K = C_2 + C_3$ ➡ Deformação elástica

S = Nega p/ 1 golpe ➡ "Deformação" permanente
(deslocamento ➡ deformação plástica)

Esses sinais, devidamente interpretados, permitem estimar a capacidade de carga de cada estaca cravada. Os resultados obtidos em campo são posteriormente correlacionados com todas as análises previamente realizadas, garantindo assim, o controle executivo da obra, em conformidade com os critérios pré-estabelecidos, a total segurança quanto à qualidade da mesma e a tranquilidade do cliente. **A ABNT NBR 6122 estabelece como obrigatória a coleta de sinais de nega, repique elástico e diagrama de cravação em todas as estacas cravadas.**

EMENDAS SOLDADAS DAS ESTACAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

Para que seja executada uma união perfeita, homogênea e segura das emendas, utilizam-se cordões contínuos de solda elétrica em todo o perímetro das seções emendadas. Nessa operação, são utilizados eletrodos do tipo AWS-E 6013 - OK 46 (Ø 3,25 mm) e AWS-E 7018 - OK 48 (Ø 3,25 mm), obedecendo-se às recomendações indicadas a seguir:

1) O elemento a ser soldado é posicionado, de forma justaposta, sobre o elemento já cravado, cuidadosamente aprumado, de modo a proporcionar um perfeito assentamento entre as superfícies dos topos dos dois segmentos e o alinhamento perimetral entre as chapas metálicas dos anéis dos segmentos a serem emendados.

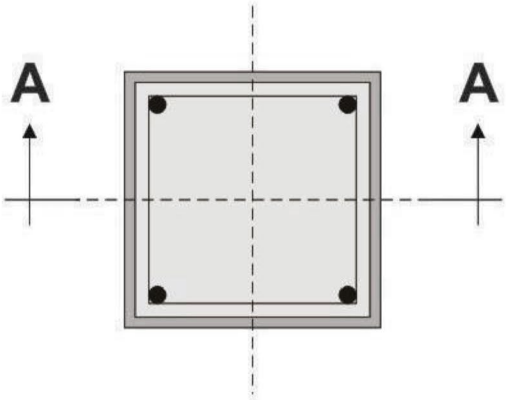
2) Após esse posicionamento, é feita a limpeza dos anéis com uma escova metálica apropriada para a retirada da terra, óleo e/ou graxa, ou outras impurezas que eventualmente possam existir.

3) Procede-se, então, à execução da emenda de toda a superfície perimetral de contato entre as duas chapas dos anéis metálicos, dentro da boa técnica de solda de penetração.

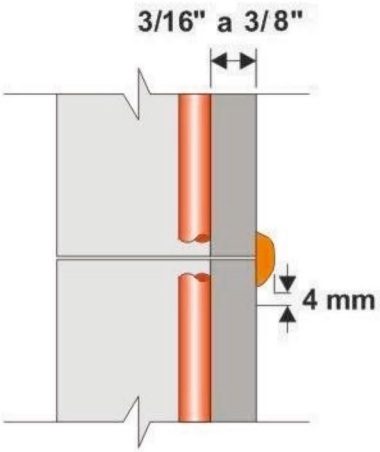
4) Terminada a solda, crava-se o novo elemento, e a operação se repete quantas vezes forem necessárias até que, durante o processo de cravação, se atinja a cota prevista de assentamento da estaca.

DETALHAMENTO DAS EMENDAS DAS ESTACAS QUADRADAS

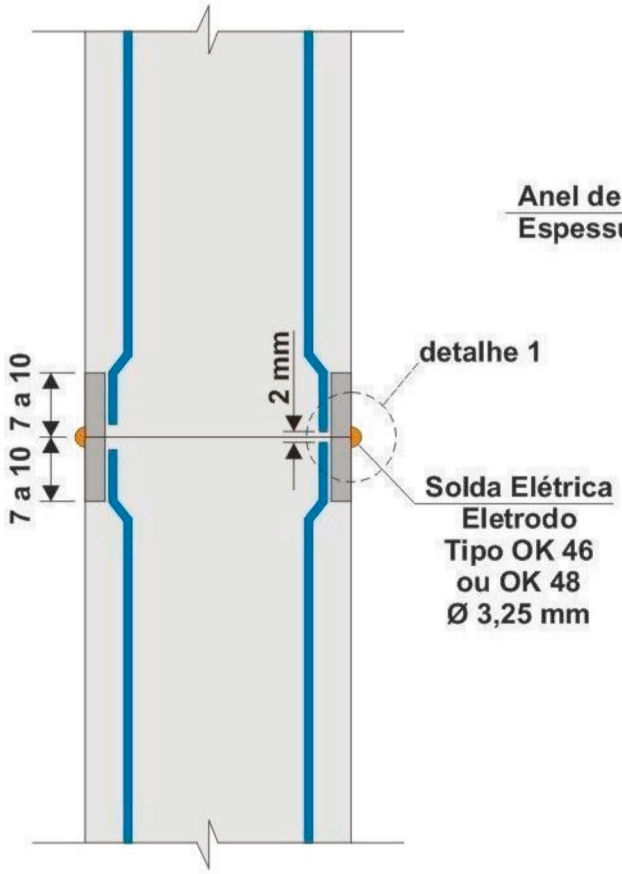
SEÇÃO DA ESTACA



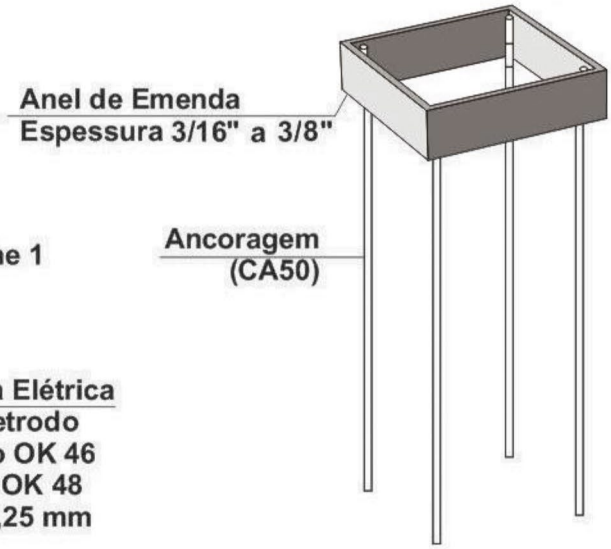
DETALHE 1



CORTE A-A

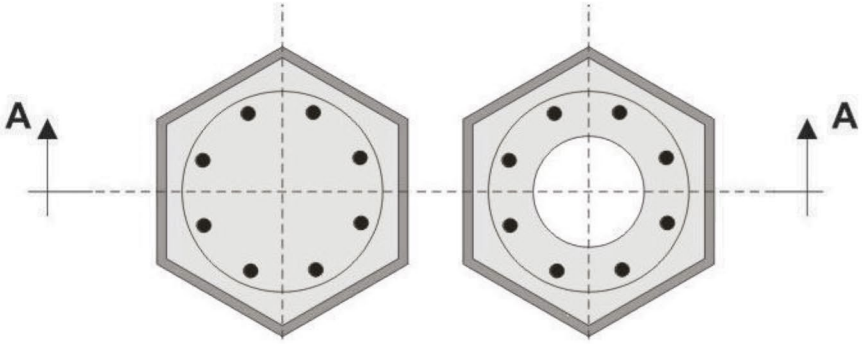


DETALHE DO ANEL

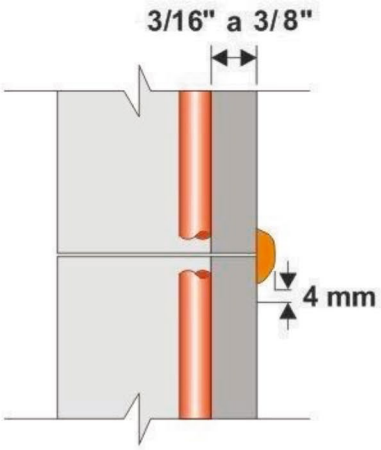


DETALHAMENTO DAS EMENDAS DAS ESTACAS HEXAGONAIS

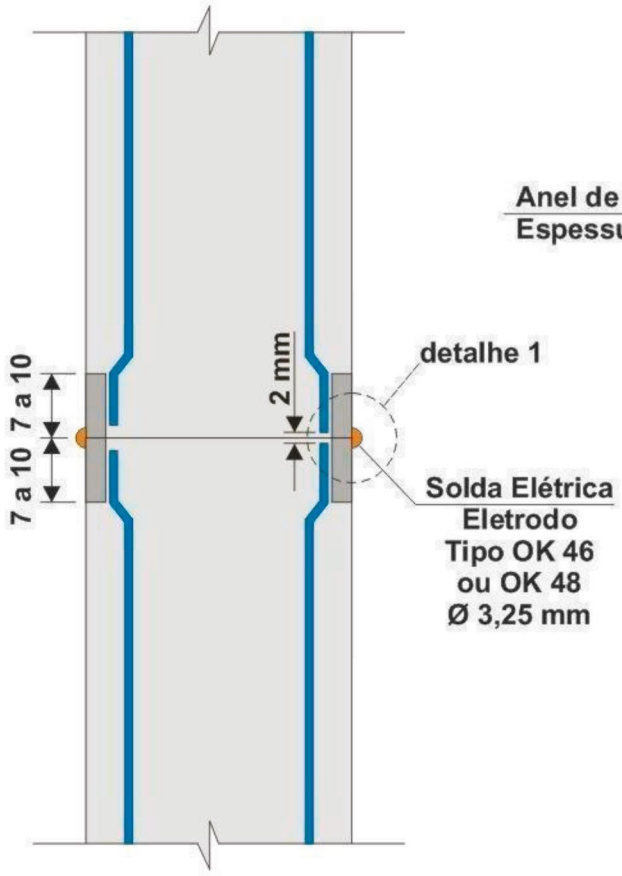
SEÇÃO DA ESTACA



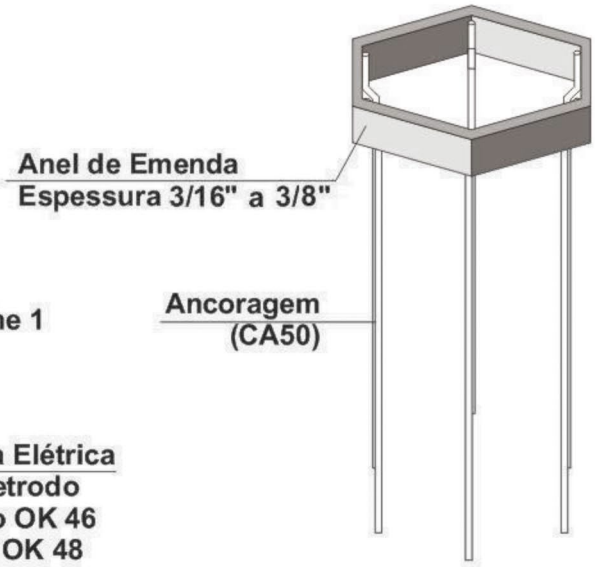
DETALHE 1



CORTE A-A



DETALHE DO ANEL



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS ESTACAS PRÉ-FABRICADAS

ESTACAS PADRÃO QUADRADAS PROTENDIDAS (MACIÇAS)									
ESTACA	A_{conc} (cm^2)	A_{cheia} (cm^2)	Perímetro (cm)	Peso (kg/m)	W_{min} (cm^3)	I_{min} (cm^4)	r_{min} (cm)	Compressão N_K (tf)	Tração T_K (tf)
17x17	289	289	68	71	819	6960	4,91	38	6,8
20x20	400	400	80	98	1333	13333	5,77	54	8,6
23x23	529	529	92	130	2028	23320	6,64	74	10,4
26x26	676	676	104	166	2929	38081	7,51	95	15,7
ESTACAS PADRÃO HEXAGONAIS PROTENDIDAS (MACIÇAS)									
ESTACA	A_{conc} (cm^2)	A_{cheia} (cm^2)	Perímetro (cm)	Peso (kg/m)	W_{min} (cm^3)	I_{min} (cm^4)	r_{min} (cm)	Compressão N_K (tf)	Tração T_K (tf)
30	585	585	90	145	2108	27402	6,85	82	10,7
35	796	796	105	195	3340	50765	7,99	114	15,7
40	1040	1040	120	260	5006	86603	9,13	149	23,7
ESTACAS PADRÃO HEXAGONAIS PROTENDIDAS (VAZADAS)									
ESTACA	A_{conc} (cm^2)	A_{cheia} (cm^2)	Perímetro (cm)	Peso (kg/m)	W_{min} (cm^3)	I_{min} (cm^4)	r_{min} (cm)	Compressão N_K (tf)	Tração T_K (tf)
45_{20}	1001	1315	135	250	6711	130875	11,4	149	15,8
50_{25}	1134	1625	150	292	8860	192271	13,0	170	22,4
60_{30}	1633	2340	180	400	15333	398692	15,63	247	32,8

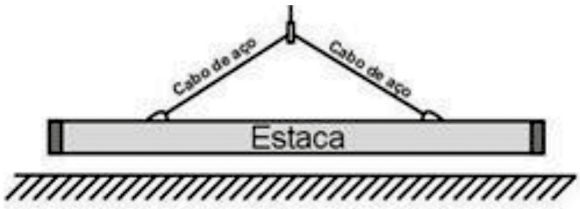
NOTA 1: Os elementos técnicos aqui especificados referem-se apenas ao elemento estrutural. **As cargas admissíveis a serem adotadas nas estacas, considerando-as como elementos de fundação, dependem de sua interação com as características geotécnicas dos solos onde estas se encontrarão cravadas.**

NOTA 2: No dimensionamento estrutural das estacas apresentadas neste catálogo técnico, assim como no cálculo das suas principais características técnicas, foram consideradas as seguintes condições:

1. Dimensionamento efetuado considerando estacas padrão com comprimentos de até 10 metros;
2. Dimensionamento efetuado considerando valores característicos (N_k e M_k);
3. Resistência característica do concreto à compressão: f_{ck} = 40 MPa;
4. Coeficiente de minoração da resistência do concreto à compressão: γ_c = 1,3;
5. Coeficiente de ponderação da resistência do aço à tração: γ_s = 1,1;
6. Coeficiente de ponderação das ações (esforços): γ_f = 1,4;
7. Redução da resistência do concreto devido ao efeito Rüsch → $0{,}85f_{ck}$;
8. Resistência característica do aço para estacas protendidas: 1500 MPa ≤ f_{ptk} ≤ 1750 MPa.

MANUSEIO DE ESTACAS PRÉ FABRICADAS DE CONCRETO

As estacas pré-fabricadas de concreto, como qualquer peça que necessita ser manuseada para empilhamento, transporte ou posicionamento em determinado local, devem ser previamente analisadas quanto às condições de esforços a que serão submetidas nessa fase, procurando-se sempre confeccionar essas peças de tal modo que absorvam, sem riscos, tais esforços. No caso de estacas de concreto, devem ser sempre observadas duas condições distintas de manuseio: aquela correspondente à desforma e levantamento das pistas, estocagem, carregamento e descarregamento na obra, que sempre considera que as peças serão manuseadas por dois pontos distintos, e a que corresponde ao posicionamento das estacas na torre dos bate-estacas, que sempre é feito por um único ponto. **Em ambos os casos, o princípio a ser observado é o do equilíbrio de momentos fletores oriundos dos esforços a que as estacas serão submetidas na fase de manuseio, seja por dois pontos, seja por um único ponto. Esse equilíbrio deve ser avaliado de tal modo que em nenhuma outra seção da estaca ocorra flexão superior àquela observada no ponto de manuseio.**



Esquema estático do levantamento

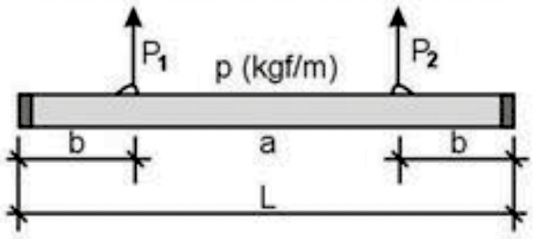
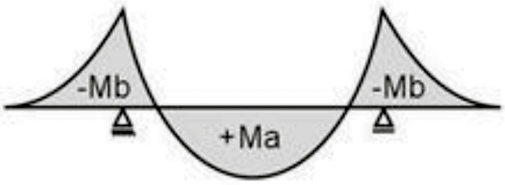


Diagrama de momento fletor



$$M_b = \frac{p \cdot b^2}{2}$$

$$M_a = \frac{p \cdot L^2}{8} - \frac{p \cdot b \cdot L}{2}$$

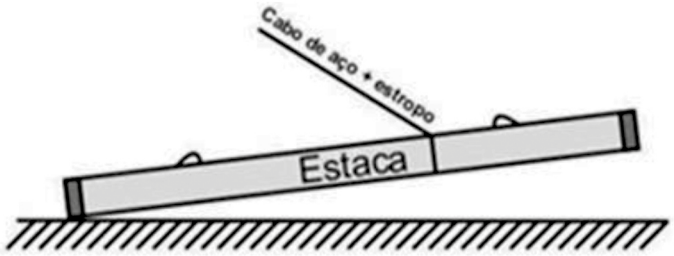
$$M_a = M_b$$

$$b^2 + L \cdot b - \frac{L^2}{4} = 0$$

$$b = L \cdot \frac{\sqrt{2}-1}{2} = 0{,}207 \cdot L$$

MANUSEIO POR DOIS PONTOS	
Comprimento da estaca (m)	**Pontos de apoio (0,207 L (m))**
4	0,828
5	1,035
6	1,242
7	1,449
8	1,656
9	1,863
10	2,070
11	2,277
12	2,484

MANUSEIO POR UM PONTO	
Comprimento da estaca (m)	Pontos de apoio (0,293 L (m))
4	1,17
5	1,47
6	1,76
7	2,05
8	2,34
9	2,64
10	2,93
11	3,22
12	3,52



Esquema estático do Içamento

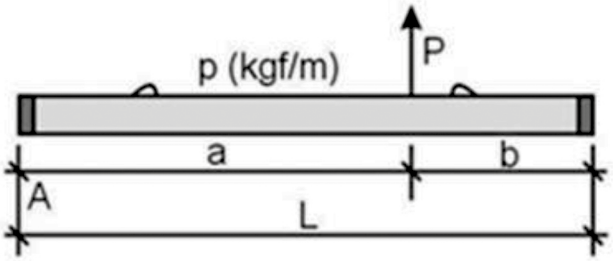
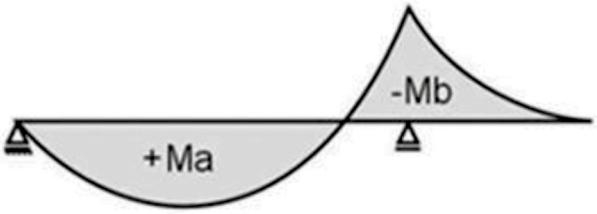


Diagrama de momento fletor



$$M_b = \frac{p \cdot b^2}{2}$$

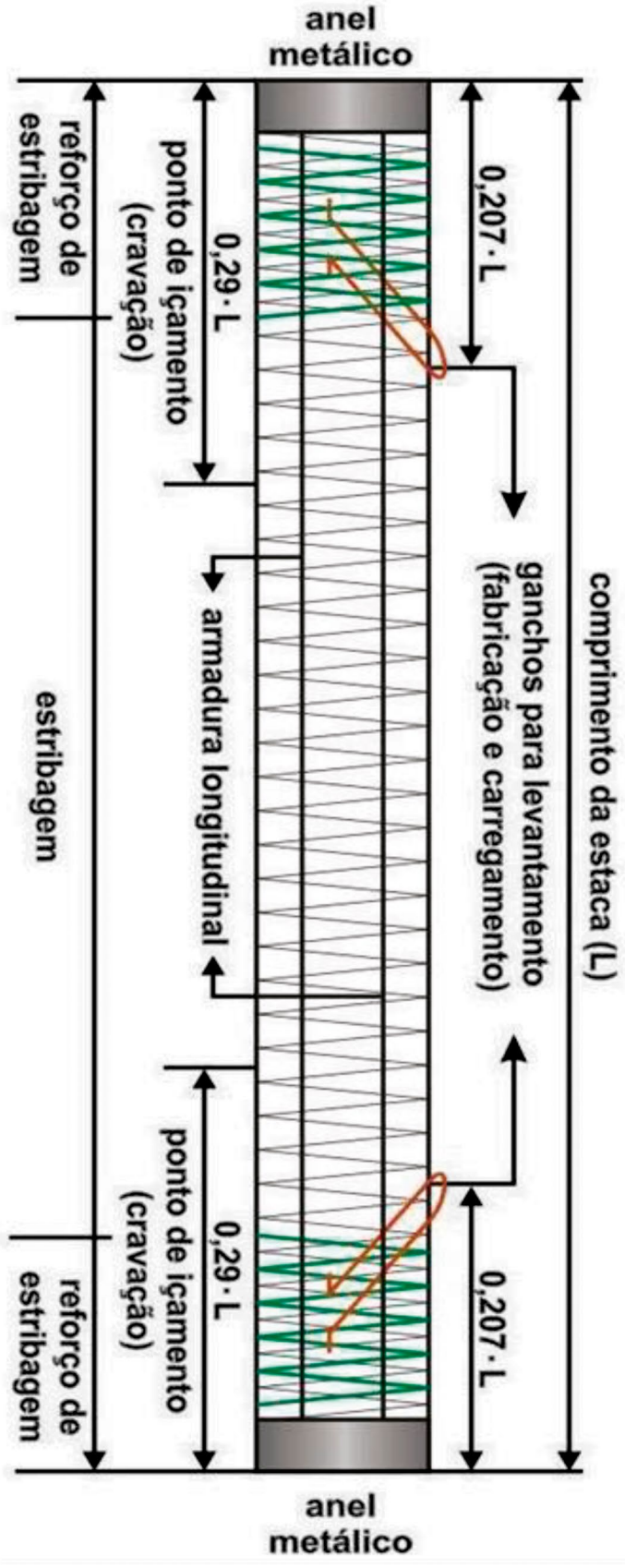
$$M_a = \frac{p \cdot L^2}{2(L-b)} \cdot \left(\frac{L}{2} - b\right)^2$$

$$M_a = M_b$$

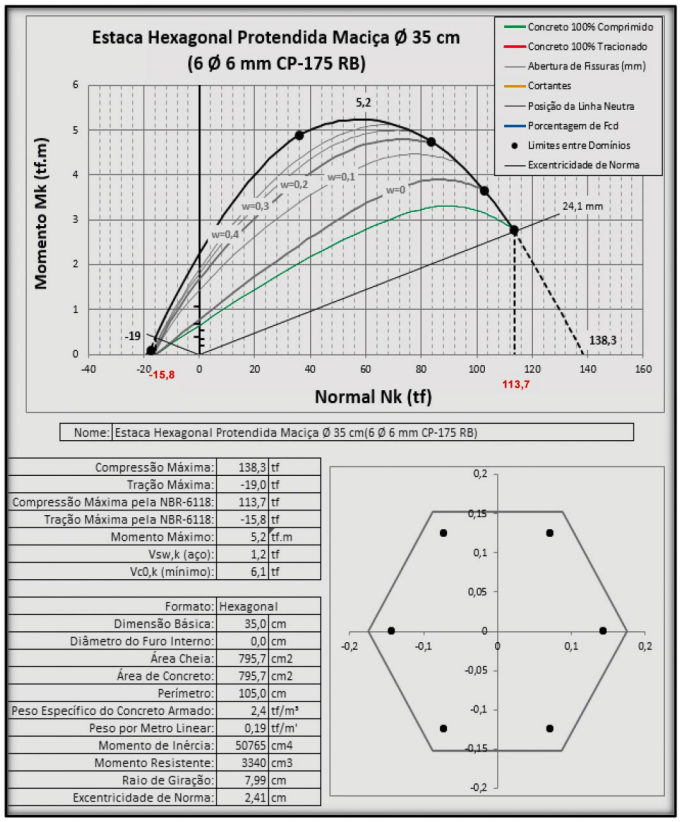
$$\frac{L^4}{4} - L^3 \cdot b + b^3 + L^2 \cdot b^2 - L \cdot b^2 = 0$$

$$b = 0{,}293 \cdot L$$

ESQUEMA BÁSICO DE DISPOSIÇÃO DE ARMADURAS EM UMA ESTACA



ÁBACOS (DIAGRAMAS A FLEXO-COMPRESSÃO E FLEXO-TRAÇÃO)



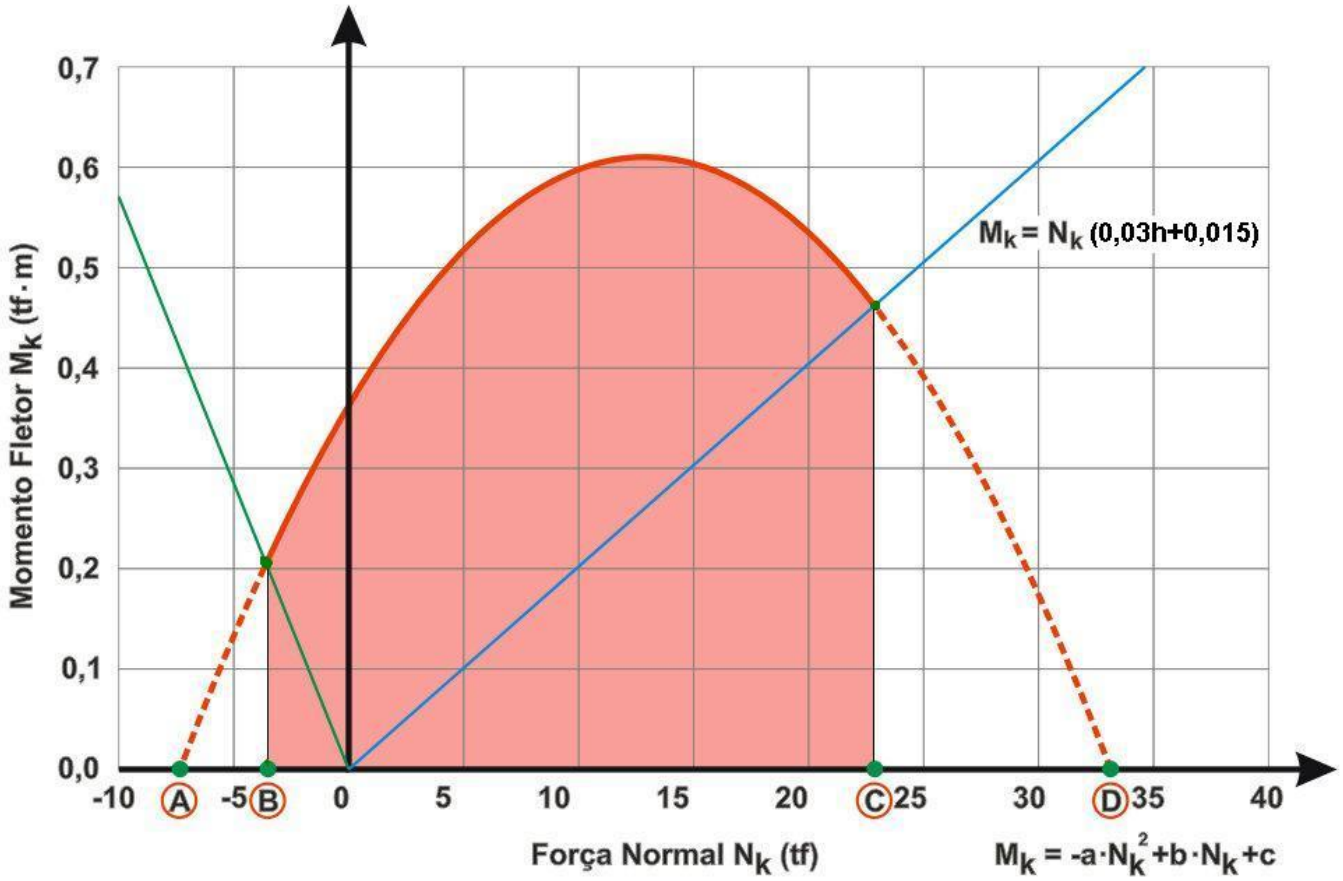
A ABNT NBR 6122 (Projeto e Execução de Fundações) estabelece que, nas estacas pré-moldadas ou pré-fabricadas, o dimensionamento estrutural deve ser feito utilizando-se as normas ABNT NBR 6118, ABNT NBR 9062 e ABNT NBR 16258. Porém, para esse dimensionamento estrutural, deve-se limitar o f_{ck} do concreto a 40 MPa. A Norma Técnica estabelece ainda, que **o fabricante das estacas deve apresentar as curvas de interação na flexo-compressão e na flexo-tração dos elementos estruturais. Esses diagramas, além de serem normativamente obrigatórios, são de grande valia e imprescindíveis para a elaboração e otimização de projetos,** para posterior verificação estrutural de desempenho de estacas já cravadas e que eventualmente possam apresentar excentricidades em relação à sua posição original de projeto, orientando assim os projetistas quanto à necessidade de eventuais medidas corretivas (reforços), entre inúmeras outras finalidades.

São inúmeras as informações que podem ser obtidas dos respectivos diagramas; dentre elas podemos citar:

1. Comportamento estrutural da estaca à flexo-compressão;
2. Comportamento estrutural da estaca à flexo-tração;
3. Níveis de fissuração (W) aos quais as peças estarão submetidas sob determinados carregamentos;
4. Posição da linha neutra em função das variações dos carregamentos;
5. Condições de absorção de forças cortantes em função das variações dos carregamentos aplicados;
6. Limites de domínios de deformação do concreto em função das variações dos carregamentos;
7. Porcentagem de f_{cd} (resistência de cálculo do concreto à compressão) em função dos carregamentos aplicados.

A **SOTEF** sempre buscando inovações e atualizações, **disponibiliza tais diagramas de forma impressa ou totalmente informatizada a todos os interessados de três maneiras, a saber: através de solicitação direta a um de nossos representantes técnicos ou comerciais, mediante consulta ao SITE oficial (www.sotef.com.br) ou, de forma totalmente inovadora e prática, mediante o QR CODE (*quick-response code*) ao lado.** Se a opção for consultar esses diagramas através do QR CODE, basta abrir o "app" do Google e tocar no ícone de câmera na barra de busca. Em seguida, selecione a opção *"pesquise usando a câmera"*, após isso, aponte a câmera para o QR CODE, aguarde a identificação e toque no *link* para abri-lo.

Conforme se pode observar na visualização das curvas de interação à flexo-compressão e flexo-tração (ábacos), o campo de utilização estrutural de uma estaca pré-fabricada de concreto pode ser representado por meio da análise da curva hipotética apresentada na figura a seguir.

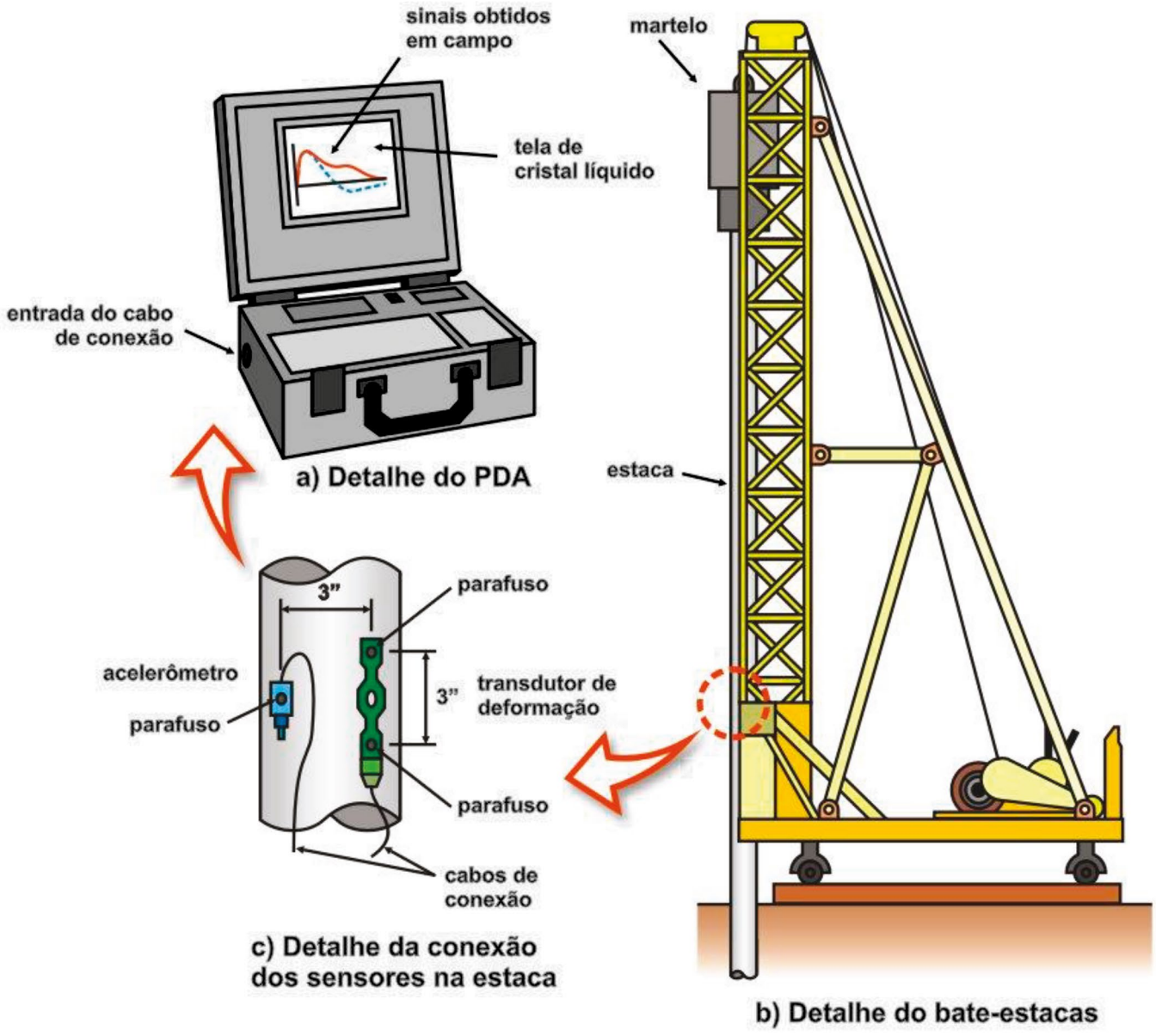


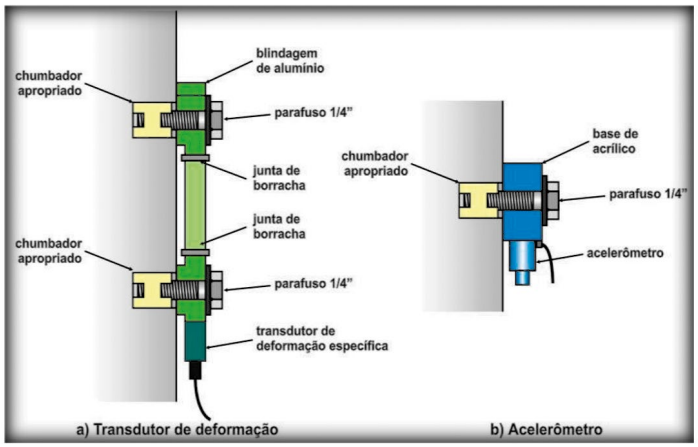
Da figura representativa acima, podem ser tiradas as seguintes considerações:

1. A área rosa corresponde à delimitação do campo de utilização estrutural da estaca;
2. O ponto A corresponde ao limite estrutural à tração, desconsiderando a previsão de uma excentricidade acidental normativa (ABNT NBR 6118) e, por consequência, a atuação de um momento mínimo de 1ª ordem (ou momento estático);
3. O ponto B corresponde ao limite estrutural à tração, considerando a previsão de uma excentricidade acidental normativa (ABNT NBR 6118) e, por consequência, a atuação de um momento mínimo de 1ª ordem (ou momento estático);
4. O ponto C corresponde ao limite estrutural à compressão, considerando a previsão de uma excentricidade acidental normativa (ABNT NBR 6118) e, por consequência, a atuação de um momento mínimo de 1ª ordem (ou momento estático);
5. O ponto D corresponde ao limite estrutural à compressão, considerando uma determinada resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) e não considerando a atuação de um momento mínimo de cálculo;
6. O ajuste dos pontos de cálculo estrutural que compõem a curva é feito por meio de uma equação (geralmente do 2º grau), tornando-a bastante confiável quanto à avaliação do seu comportamento estrutural e à obtenção dos correspondentes pares de valores (N_k; M_k).

ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO

Embora os carregamentos de trabalho aplicados às estacas sejam quase sempre estáticos (à exceção de fundações que sofrem efeitos dinâmicos, como as bases de máquinas), não se pode negar que, ao serem cravadas por percussão, os controles a serem feitos quase sempre devem estar associados a métodos dinâmicos. **Na prática diária, é muito comum recusar uma estaca que não apresente uma determinada impenetrabilidade ("nega") previamente "estabelecida" em relação a uma determinada energia aplicada e específica, proveniente dos golpes do martelo. Essa recusa não apresenta nenhum embasamento técnico, pois não há qualquer correlação direta entre a impenetrabilidade de uma estaca sob determinada energia de cravação a ela aplicada e sua capacidade de carga.** A monitoração dinâmica de estacas é normatizada no Brasil por meio da ABNT NBR 13208 (Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico), sendo feita com um conjunto básico de instrumentos e equipamentos para a aquisição e tratamento dos dados. **A ABNT NBR 6122 (Projeto e Execução de Fundações) estabelece como obrigatória a execução de Ensaios de Carregamento Dinâmico para a comprovação do desempenho de estacas.**

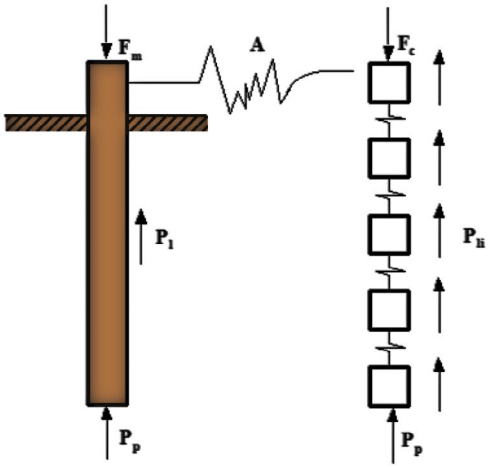




A aquisição dos registros gerados, quando da aplicação do carregamento dinâmico axial, é realizada por meio da prévia fixação, em uma seção da estaca próxima ao topo e com o auxílio de buchas especiais, de um par de transdutores de deformação específica e de um par de acelerômetros. Esses sensores são dispostos de forma diametralmente oposta para que haja a compensação de eventuais efeitos de flexão e excentricidade durante a aplicação dos golpes do martelo sobre a cabeça da estaca durante a realização dos ensaios.

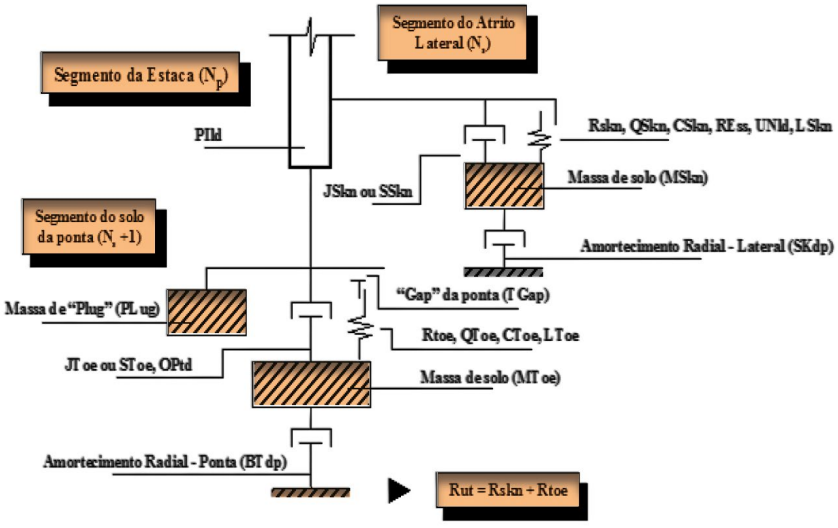
Uma vez coletados em campo durante a realização dos ensaios, os sinais são posteriormente analisados de forma mais "lapidada" por um *software* de cálculo denominado Método CAPWAPC® (*Case Pile Wave Analysis Program - Continuous Model*) o qual é um programa computacional que também utiliza os registros de força e velocidade obtidos no topo da estaca. No modelo CAPWAPC® (*Case Pile Wave Analysis Program - Continuous Model*), admitem-se as forças de reação do solo como passivas, sendo expressas como função apenas do movimento da estaca. A reação do solo é representada por componentes elasto-plásticos e visco-lineares.

A análise é realizada por métodos comuns aos programas de equação de onda, modelando-se as estacas como uma série de massas e molas, nas quais se aplicam forças resistentes. Durante o cálculo, todos os parâmetros do solo são estimados, e então o movimento da estaca é simulado, utilizando-se como condição de contorno a aceleração medida na seção instrumentada.



P_p = Resistência de Ponta

$P_l = \sum Pl_i$ = Resistência devido ao Atrito Lateral



O processo fornece os deslocamentos de cada massa em que a estaca foi dividida, bem como os valores da reação do solo. As forças calculadas no topo da estaca são comparadas com os valores medidos, repetindo-se todo o processamento até que se obtenha convergência entre os resultados. **Como resultado desse modelo computacional, obtêm-se inúmeras informações importantes, entre elas a previsão da carga mobilizada durante o golpe do martelo (pilão), bem como sua distribuição ao longo da profundidade.**

ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Trata-se de uma estaca de concreto moldada in loco, executada mediante a introdução no terreno, por rotação, de um trado helicoidal contínuo. A injeção de concreto é feita pela haste central do trado, simultaneamente à sua retirada. A armadura é sempre colocada após a concretagem da estaca.

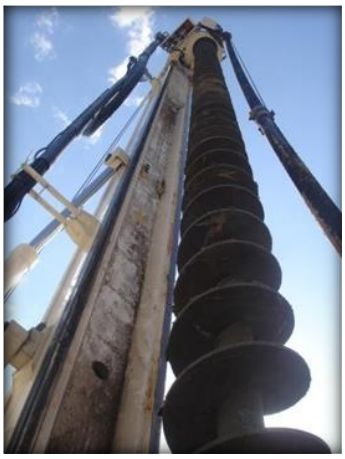
DEFINIÇÕES, EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E FERRAMENTAS

1. Máquina perfuratriz;
2. Trado contínuo;
3. Bomba de injeção de concreto.
4. Mangueiras de acoplamento à bomba de injeção de concreto;
5. Instrumento de medida (computador);
6. Elemento de memória (disquete, CD ou pen-drive);
7. Sensores (de velocidade de rotação, de “torque” (pressão hidráulica), de inclinação da torre e de pressão do concreto);
8. Escavadeira hidráulica ou retroescavadeira;
9. “Torque” (pressão do óleo hidráulico do sistema);
10. Arranque (força de saque dos trados carregados de solo);
11. Boletim de controle da execução;
12. Ficha de controle das estacas.

DEFINIÇÕES E REQUISITOS

Máquina Perfuratriz

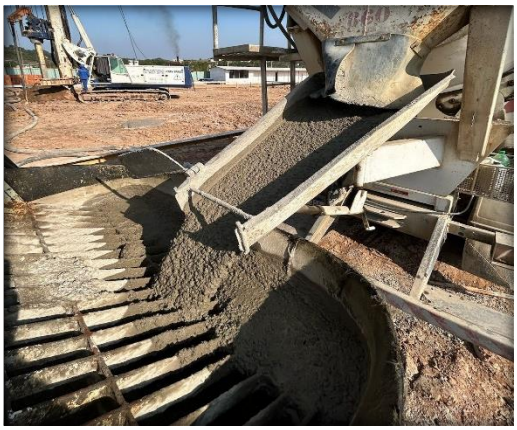
É o equipamento que executa os trabalhos de perfuração das estacas. Deve apresentar uma torre metálica com altura mínima compatível com a profundidade prevista das estacas, a qual deve ser dotada de duas guias nas extremidades, um motor com potência compatível com a necessidade de perfuração, uma mesa rotativa com torque adequado aos diâmetros e profundidades das estacas e um guincho compatível com a força de arranque necessária para o saque correto dos trados carregados de material perfurado (solo), em função dos diâmetros e profundidades das estacas.



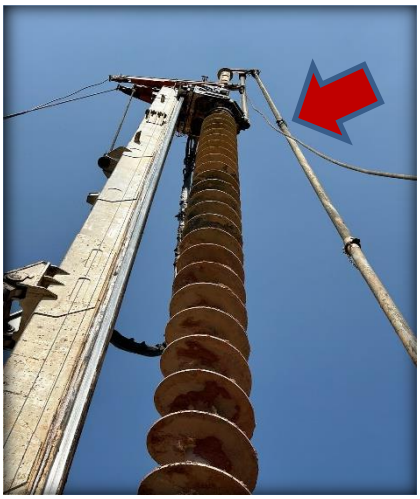
Trado Helicoidal Contínuo

Deve ser sempre retilíneo, apresentar diâmetro constante e comprimento mínimo igual ao das estacas a serem perfuradas, admitindo-se, no entanto, que possa ser prolongado com uma peça lisa (denominada prolonga), única e metálica. O diâmetro interno da haste central do trado, por onde é bombeado o concreto, deve ser, no mínimo, de 100 mm (≥ 4 polegadas), permanecendo sempre acoplado à mesa rotativa do equipamento de perfuração. **O trado helicoidal contínuo é o elemento que define o diâmetro da estaca a ser executada.**

Bomba de Injeção de Concreto



Pode ser do tipo móvel ou estacionária, devendo, no entanto, ser dotada de dois cilindros e operar com pistões, com capacidade para bombeamento mínimo de 40 m^3/hora para estacas com diâmetro máximo de 50 cm e 60 m^3/hora para estacas com diâmetros superiores. **É importante destacar que bombas de menor capacidade ou posicionadas a distâncias superiores a 30 metros da perfuratriz interferem razoavelmente na redução da produtividade diária e podem promover o entupimento frequente dos mangotes.**



Mangueiras de Acoplamento à Bomba de Injeção do Concreto

Devem ser flexíveis, com diâmetro interno compatível com a pressão necessária e com o diâmetro interno da haste central, além de serem resistentes à pressão aplicada durante o bombeamento do concreto, sempre de forma contínua e ininterrupta.

Instrumento de Medida (Computador)

Sistema eletrônico instalado na cabine da perfuratriz, sempre à vista do operador, ao qual estão acoplados os sensores instalados na perfuratriz. **O sistema é equipado com um mostrador com tela, onde são exibidos os dados relevantes ao processo de execução das estacas.**

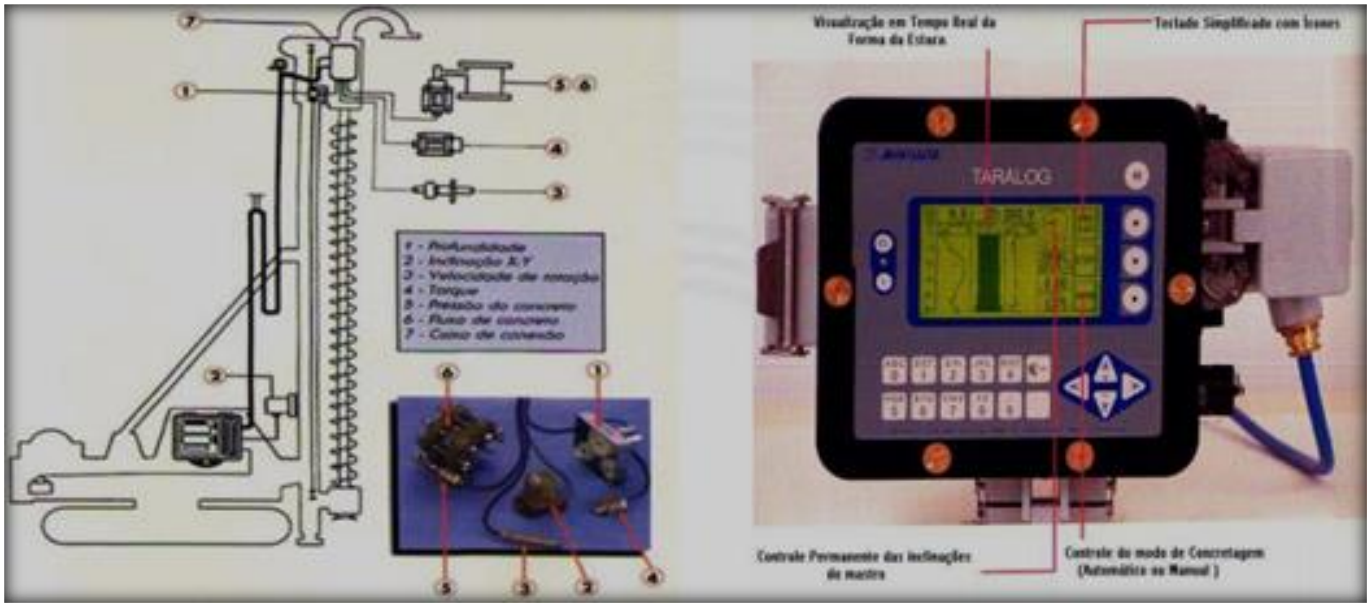
Elemento de Memória

Trata-se de um dispositivo a ser inserido no *drive* do computador, **que permite o arquivamento de todos os dados referentes à execução das estacas para posterior processamento em um microcomputador comum, fornecendo, assim, as fichas de controle executivo das estacas.**

SENSORES

São dispositivos instalados em posições estratégicas da perfuratriz, acoplados ao instrumento de medição, que permitem a medição e o registro dos seguintes dados sobre a execução das estacas:

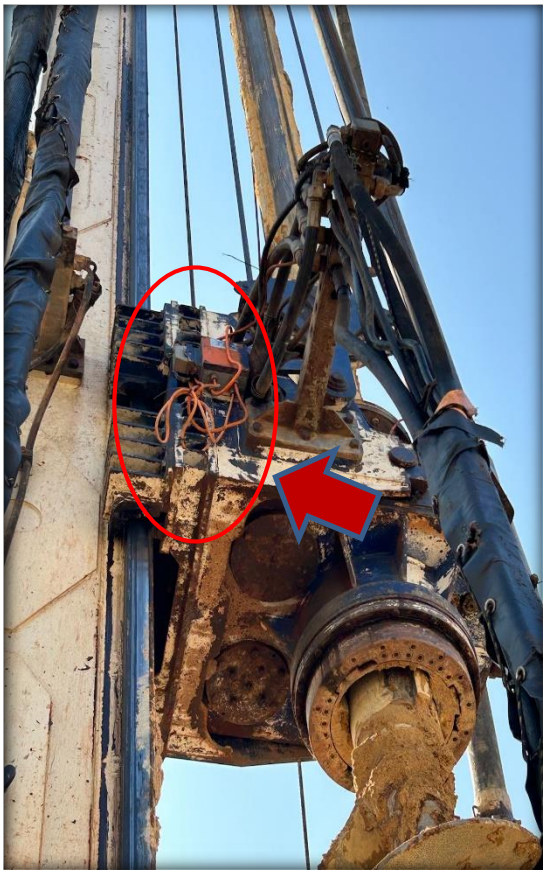
a) Profundidade da perfuração conforme o processo avança.
b) Velocidade de rotação do trado durante sua introdução no solo.
c) "Torque" (pressão do óleo hidráulico da perfuratriz) durante a fase de introdução do trado no solo.
d) Inclinação da torre em relação aos dois eixos horizontais e perpendiculares (X e Y) que se cruzam no eixo vertical da torre da perfuratriz.
e) Pressão do concreto à medida que ocorre a concretagem das estacas.
f) Volume aproximado do concreto introduzido durante a concretagem das estacas, medindo tanto o volume acumulado (CT ou consumo total), quanto aquele correspondente aos últimos 50 cm ao longo de toda a concretagem (CP ou consumo parcial).



Profundidade (1): Instalado na cabeça de perfuração, este sensor se desloca em relação a um cabo fixo instalado ao longo da torre e permite leituras com precisão de 1 cm. Consiste em um sensor de rotação e um conjunto de roldanas que giram sobre o cabo, possibilitando a obtenção do deslocamento da cabeça do trado e, consequentemente, a determinação da posição da ponta do trado em relação ao nível do terreno. Esse conjunto, juntamente com o dispositivo interno do computador, também fornece as velocidades de avanço durante a perfuração e de subida na concretagem para cada profundidade em que a ponta do trado se encontra.

Inclinação da torre (2): Geralmente instalado atrás da torre, este sensor é composto por dois inclinômetros que medem a inclinação da torre em relação aos eixos "X" e "Y", com precisão de 0,1°.

Velocidade de rotação (3): Instalado na cabeça de perfuração, este sensor conta o número de pinos colocados em um anel que gira junto com o trado. Conhecendo-se o número de pinos de cada volta do anel, obtém-se a velocidade de rotação em R.P.M.



Torque (4): Trata-se de um sensor de pressão *("strain gage")*, instalado diretamente na linha de óleo hidráulico do motor que faz girar a cabeça de rotação (cabeçote), geralmente junto à caixa de conexão. **Como o que se mede na realidade é a pressão do óleo e não o torque propriamente dito, a conversão dessa medida de pressão do óleo hidráulico em momento torsor pode ser feita com base em gráficos que deveriam ser fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos (perfuratrizes). É muito importante observar e registrar que não há nenhuma correlação direta entre essa medida de pressão (em *bars*) e a capacidade de carga das estacas (tf) sob o aspecto geotécnico.**

Pressão de concreto (5) e Volume de concreto (6): Trata-se de um sensor semelhante ao mencionado em (4), inserido na linha de bombeamento do concreto, próximo ao pé da curva por onde ele flui. A pressão do concreto é medida com base na pressão exercida sobre um tubo de borracha que, por sua vez, comprime um líquido (água ou óleo). O fluxo de concreto é calculado de forma indireta, com base no número de picos de pressão e nas características da bomba de injeção (volume de cada pico e frequência dos picos). **Esse volume deve ser ajustado em cada obra, considerando o tipo de bomba, seu estado de conservação, entre outros fatores.**

Escavadeira Hidráulica ou Retroescavadeira

Pode ser de qualquer tipo: tradicional, de lâmina ou do tipo pá-carregadeira. **Tal equipamento deve ser dimensionado de acordo com a dinâmica da execução das perfurações, de modo a proporcionar a remoção imediata do solo perfurado da linha de trabalho sequencial da frente de manobras da perfuratriz e o posterior carregamento desse solo escavado em caminhões para eventual remoção do interior da obra. Essa remoção deve ser planejada com critério, de tal maneira a garantir que a área de trabalho e o tráfego da perfuratriz permaneçam sempre limpos e desobstruídos.**

CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS

A ABNT NBR 6122 (Projeto e Execução de Fundações) estabelece que o equipamento deve apresentar características mínimas, determinadas pelo projetista e pelo executor, de modo a garantir que a profundidade especificada no projeto seja atendida, com "torque" e força de arranque compatíveis com o diâmetro das estacas e com resistência do solo a ser perfurado. O objetivo primordial dessa especificação consensual de equipamento é minimizar o desconfinamento do solo durante as perfurações, assegurando assim a resistência geotécnica prevista em projeto para as estacas. **Se as concretagens das estacas forem realizadas com o trado girando, este deve girar no sentido da perfuração, e as concretagens devem ser sempre executadas até a superfície do terreno.**

Montagem do Equipamento

a) Descarregar a perfuratriz da carreta;
b) Movimentar a perfuratriz até o ponto de execução da estaca;
c) Levantar a torre da perfuratriz;
d) Instalar o trado contínuo.

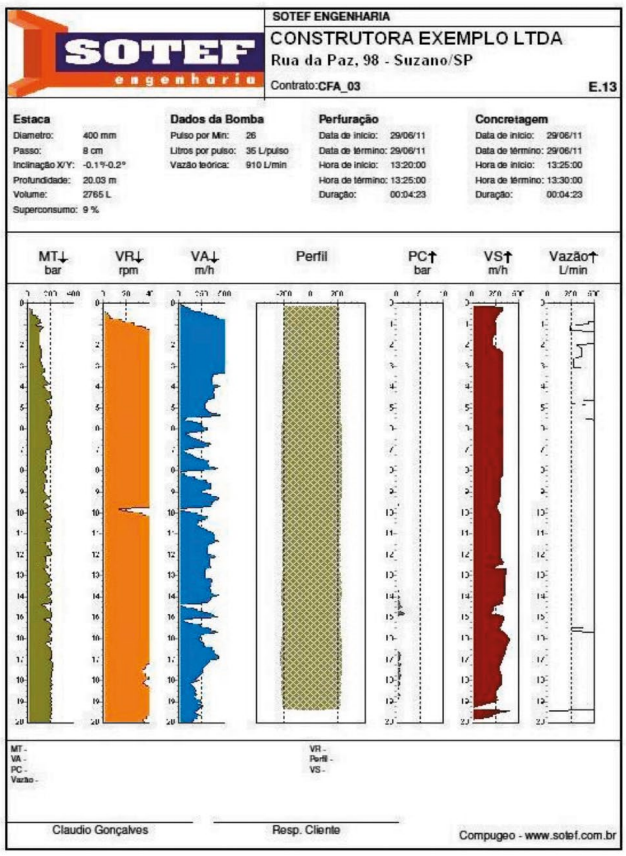
Execução das Estacas

a) Deslocar a perfuratriz até o local da execução da estaca;
b) Aprumar a torre e posicionar o trado sobre o piquete instalado no solo;
c) Conferir os dados técnicos da bomba de injeção do concreto;
d) Programar o instrumento de medida (computador);
e) Verificar a liberação da locação por parte do cliente;
f) Introduzir o trado no solo até a cota prevista no projeto;
g) Autorizar o início da injeção de concreto;
h) Controlar a subida do trado durante a concretagem, mantendo sempre a pressão positiva, com valor a ser definido pelo consultor de solos indicado pelo contratante;
i) Operar as mangueiras da bomba de concreto durante a fase de concretagem;
j) Interromper a concretagem, sempre até o nível do solo (cota de trabalho da perfuratriz);
k) Instalar as armaduras.

Boletim de Controle da Execução

Trata-se de um documento a ser preenchido para todas as estacas executadas, no qual estarão registrados os seguintes elementos:

a) Nivelamento do equipamento e prumo do trado.
b) Pressão no "torque".
c) Velocidade de avanço dos trados durante as perfurações.
d) Cota de ponta do trado.
e) Pressão de injeção do concreto durante a concretagem de cada estaca.
f) Sobreconsumo de concreto (*overbreak*).


SOTEF ENGENHARIA
CONSTRUTORA EXEMPLO LTDA
Rua da Paz, 98 - Suzano/SP
Contrato:CFA_03 E.13

Estaca
Diametro: 400 mm
Passo: 8 cm
Inclinação X/Y: -0.1°/-0.2°
Profundidade: 20.03 m
Volume: 2765 L
Superconsumo: 9 %

Dados da Bomba
Pulso por Min: 26
Litros por pulso: 35 L/pulso
Vazão teórica: 910 L/min

Perfuração
Data de início: 29/06/11
Data de término: 29/06/11
Hora de início: 13:20:00
Hora de término: 13:25:00
Duração: 00:04:23

Concretagem
Data de início: 29/06/11
Data de término: 29/06/11
Hora de início: 13:25:00
Hora de término: 13:30:00
Duração: 00:04:23

MT↓ bar | VR↓ rpm | VA↓ m/h | Perfil | PC↑ bar | VS↑ m/h | Vazão↑ L/min

Claudio Gonçalves | Resp. Cliente | Compugeo - www.sotef.com.br

Registro da Qualidade dos Serviços

Documento obtido a partir do elemento de memória do computador, o qual contém as seguintes informações:

a) Identificação do nome e local da obra, além do contratante e do executor;
b) Data e horário do início e fim da concretagem;
c) Identificação do número da estaca;
d) Cota do terreno;
e) Diâmetro da estaca;
f) Comprimento executado da estaca;
g) Desaprumo e desvio de locação, se houver;
h) Características do equipamento;
i) Volume de concreto real e teórico;
j) Velocidade de rotação dos trados ao longo das perfurações;
k) "Torque" (pressão hidráulica do sistema em *bars*) aplicado ao sistema hidráulico da máquina durante e ao longo das perfurações;
l) Velocidade de subida dos trados durante a concretagem de cada estaca;
m) Eventuais anormalidades que possam ter ocorrido durante a execução de cada estaca.

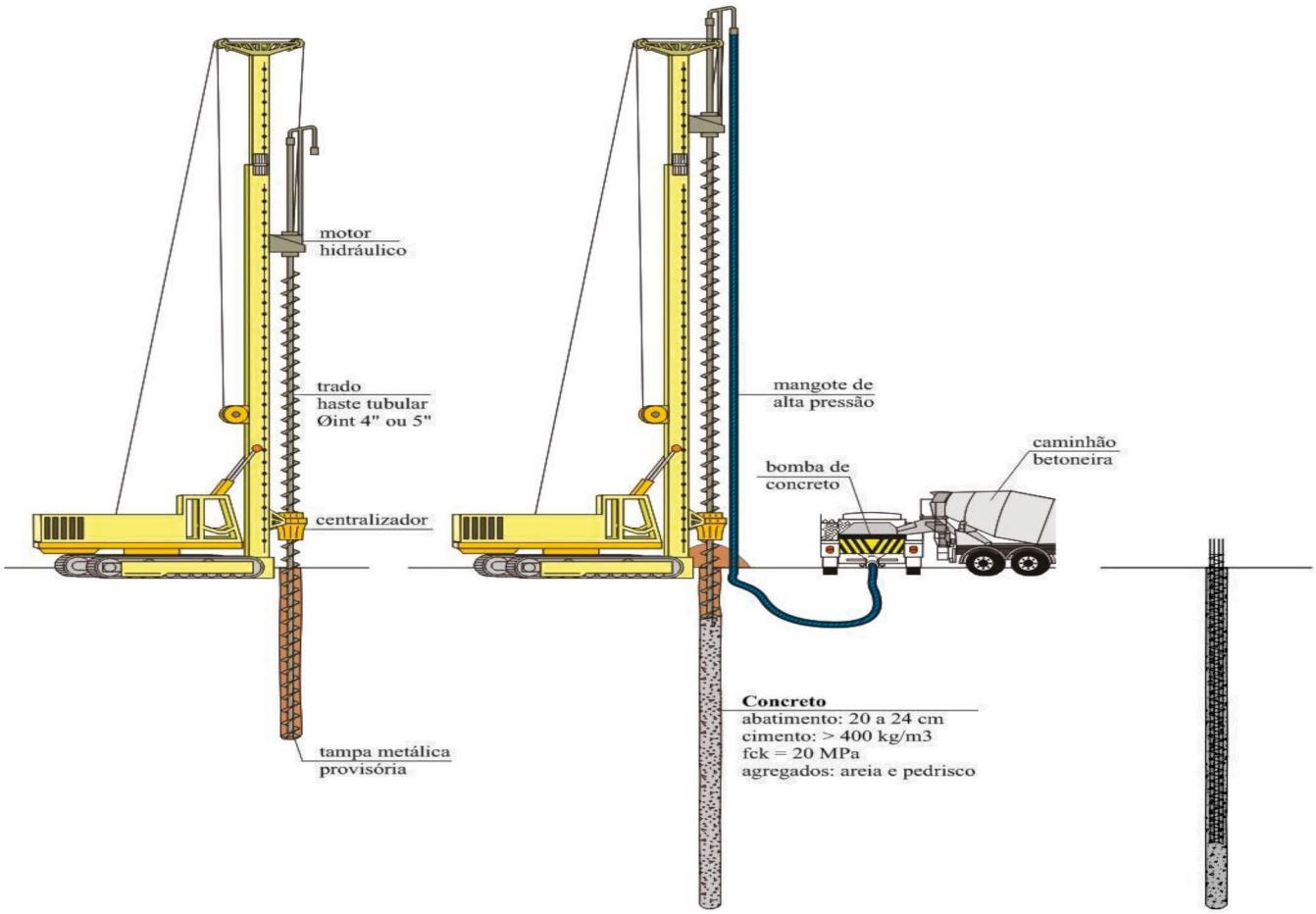
NOTA IMPORTANTE: A ABNT NBR 6122 (Projeto e Execução de Fundações) **determina que, em pelo menos 1% das estacas e, no mínimo uma por obra, seja feita a exposição do seu fuste abaixo da cota de arrasamento e, se possível, até a posição do nível d'água, para a verificação da sua integridade e da qualidade da concretagem.** Estabelece ainda que **a pressão do concreto deva ser sempre positiva para evitar a interrupção do fuste durante a concretagem** e que **a concretagem seja executada sempre até a superfície do terreno, mesmo que as cotas de arrasamento das estacas estejam abaixo da cota da superfície do terreno (cota de apoio da perfuratriz).**

A primeira etapa da execução de uma estaca hélice contínua consiste na introdução do trado no solo, até a profundidade estabelecida em projeto. Para evitar que durante essa penetração haja entrada de solo ou água na haste tubular, existe, em sua face inferior, uma tampa metálica provisória, que é expulsa na fase da concretagem. Para se obter uma adequada capacidade de carga da estaca, procura-se retirar o menor volume de terra, durante a introdução da hélice a fim de minimizar o desconfinamento na interface trado-solo. Isso se consegue, na maioria dos casos, tomando-se o cuidado de que o trecho penetrado, a cada volta da hélice, seja próximo, mas ligeiramente inferior ao passo da hélice, visto que uma maior velocidade de avanço tende a "prender" a hélice no solo e uma velocidade de avanço muito baixa (denominada "alívio"), provoca uma subida do solo, pois a hélice passa a funcionar como um transportador vertical do tipo parafuso. Alcançada a profundidade desejada inicia-se então a fase da concretagem da estaca com o bombeamento de concreto pelo interior da haste tubular central ao trado.

Sob a pressão do concreto, a tampa metálica provisória situada na ponta do trado é aberta e a hélice passa a ser retirada, **mantendo-se o concreto injetado sempre sob pressão positiva, visando dar garantia da continuidade do fuste da estaca (não possibilitando o seccionamento). Isso** é obtido quando se observam dois aspectos executivos:

1. O primeiro é certificar-se de que a ponta do trado, na fase de introdução, tenha atingido um solo que permita a formação da "bucha" para garantir que o concreto injetado se mantenha abaixo da ponta do trado e não suba pela interface solo-trado;
2. O segundo é controlar a velocidade de extração do trado de modo a procurar sempre ter um sobreconsumo de concreto compatível com o tipo de solo onde está se processando a concretagem. **O aumento da velocidade de subida, objetivando diminuir esse sobreconsumo, pode comprometer a integridade do fuste da estaca.**

As fases de introdução do trado e concretagem ocorrem de maneira contínua e ininterrupta, de tal modo que as paredes onde se formará a estaca estarão sempre suportadas, acima da ponta do trado, pelo solo que se encontra entre as pás da hélice e, abaixo dessa cota, pelo concreto que está sendo bombeado. Durante a retirada do trado, o solo confinado entre as pás da hélice vai sendo removido e, posteriormente retirado, para fora da área do estaqueamento utilizando-se uma retroescavadeira ou outro maquinário de pequeno porte. Essas duas primeiras fases da execução (analogamente às demais) são monitoradas por um instrumento eletrônico que se encontra acoplado a alguns sensores. O concreto utilizado deve ser do tipo bombeável, com resistência característica fck ≥ 30 MPa, consumo mínimo de cimento de 350 kg/m³, abatimento do concreto (ou *slump test*) entre 220 e 260mm S 220, tendo como agregados areia e pedrisco com diâmetros de 4,75mm a 12,5mm, fator água/cimento ≤ 0,6 e teor de exsudação inferior a 4%. O uso de aditivos deve ser evitado tanto quanto possível, pois esse procedimento, sem um devido controle e conhecimento, muitas vezes origina problemas durante as concretagens. Por isso recomenda-se que antes de sua utilização, seja feita uma avaliação conjunta e cuidadosa junto aos fornecedores do concreto e do aditivo, controlando-se, logo no inicio do estaqueamento, a sua adequabilidade. Deve-se observar que o uso de quaisquer aditivos plastificantes, superplasficantes, incorporadores de ar, aceleradores e retardadores pode ser realizado, desde que atendam às ABNT NBR 10908 e ABNT NBR 11768.



Cabe lembrar que, devido ao fato de a concretagem ser feita sob pressão, e tendo o concreto um abatimento (*slump test*) elevado (*slump test* entre 220 e 260mm S 220), **não se deve executar uma estaca próxima a outra recentemente concretada, pois pode ocorrer ruptura do solo entre elas**. Como regra geral normativa (ABNT NBR 6122), **determina-se que uma estaca só deve ser executada quando todas as demais, num espaço mínimo correspondente a 5 diâmetros (considerando a estaca de maior diâmetro), já tenham sido concretadas há pelo menos 12 horas. Por essa razão, antes do início de um estaqueamento com hélice contínua, é necessário planejar o caminhamento da perfuratriz na obra.**

Inserir as Armaduras nas Estacas

1. Preparar as armações das estacas em conformidade com as especificações do projeto.

2. Inserir as armaduras no interior das estacas já concretadas. Para facilitar a introdução no interior da estaca já concretada, a armadura longitudinal deve ser convenientemente projetada de modo a ter um peso e também uma rigidez compatíveis com seu comprimento. Atendidos esses itens, a instalação pode ser feita "manualmente" e/ou com auxílio de um equipamento hidráulico (retroescavadeira, por exemplo). Lembre-se de que, neste caso, além dos requisitos já mencionados, **é de fundamental importância utilizar um concreto com abatimento especificado (*slump test* entre 220 e 260mm S 220) e diminuir ao máximo o tempo entre o final da concretagem e o início da instalação da armadura.**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA

ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA					
ESTACA	A_{conc} (cm^2)	Perímetro (cm)	Volume de concreto (m^3/metro linear)	Compressão N_{K1} (Taxa de 5 MPa) (tf)	Compressão N_{K2} (Esrtrutural) (tf)
Ø 30	707	94	0, 0707	35	48
Ø 35	962	110	0, 0962	48	65
Ø 40	1.257	126	0, 1257	63	85
Ø 50	1.963	157	0, 1963	98	132
Ø 60	2.827	188	0, 2827	141	191
Ø 70	3.848	220	0, 3848	192	259
Ø 80	5.027	251	0, 5027	251	339
Ø 90	6.352	283	0, 6352	318	428
Ø 100	7.854	314	0, 7854	393	530

Nota 1: Em conformidade com o que determina a ABNT NBR 6122 (Projeto e Execução de Fundações), **para efeito de projeto, deverá ser adotada a carga à compressão ($N_{k1} \leq A_{conc}$ x 50 kgf/cm²) correspondente a uma tensão atuante no concreto não superior a 5 MPa ($\sigma_c \leq$ 50 kgf/cm²). No entanto, pode-se adotar a carga à compressão correspondente ao limite estrutural admissível das estacas ($N_{k2} \leq A_{conc}$ x 67, 5 kgf/cm² → ($\sigma_c \leq \frac{0,85 \times 300 \text{ kgf/cm}^2}{2,7 \times 1,4}$), desde que sejam efetuadas Provas de Carga Estática à razão de 1% do total das estacas executadas** ou, em determinadas condições, onde as Provas de Carga Estática possam ser substituídas por Ensaios de Carregamento Dinâmico (PDA®), obedecendo a determinadas proporções estabelecidas na ABNT NBR 6122.

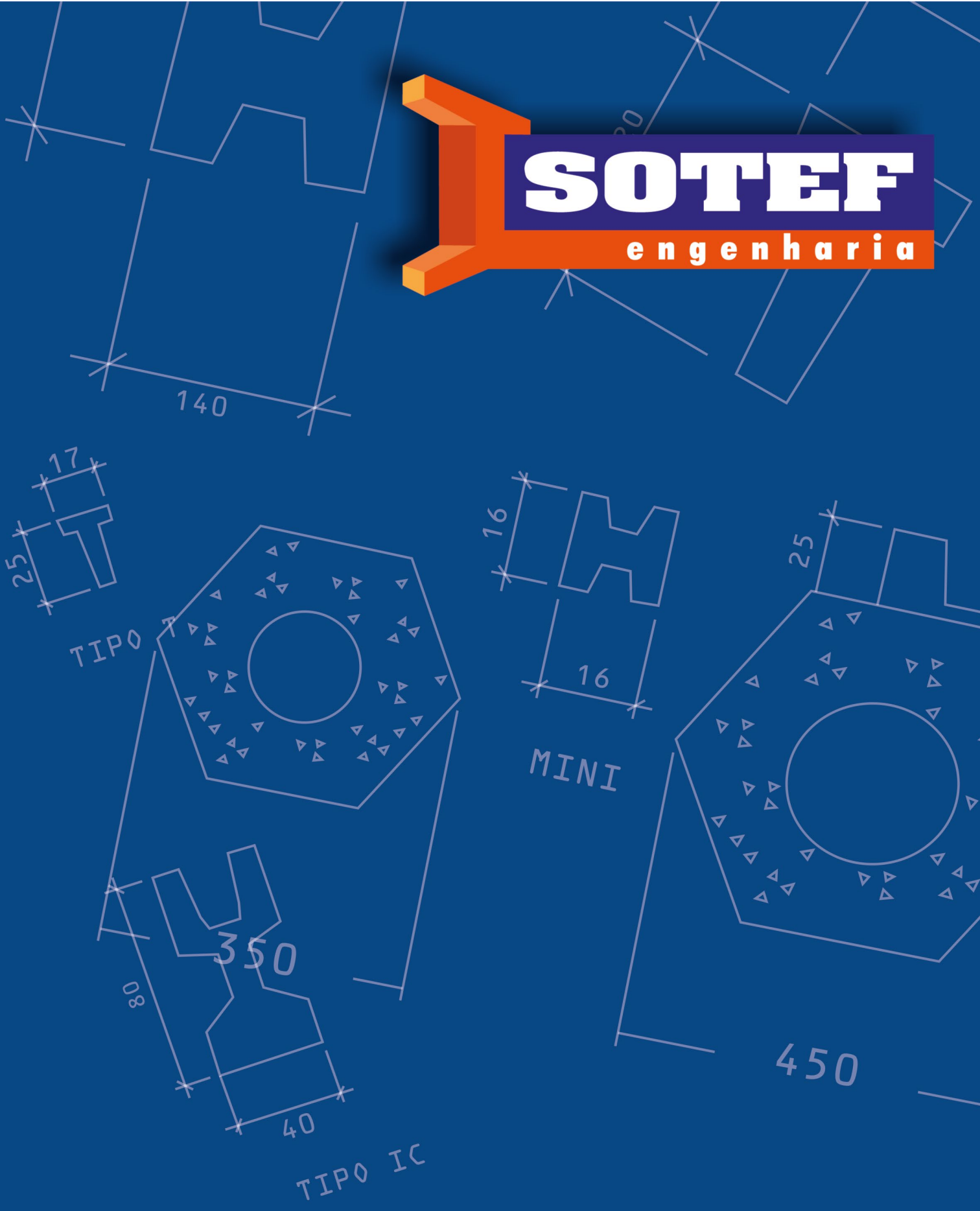
Nota 2: Em conformidade com o que se encontra prescrito na ABNT NBR 6122 (Projeto e Execução de Fundações), no dimensionamento estrutural desse tipo de estacas, assim como no cálculo das suas principais características técnicas, devem ser levadas em consideração as seguintes condições:

1. Dimensionamento efetuado considerando valores característicos (N_k);
2. Resistência característica do concreto à compressão: $f_{ck} \geq$ 30 MPa aos 28 dias;
3. Consumo de cimento não inferior a 350 kg/m^3
4. Abatimento do concreto (ou *slump test*) entre 220 e 260mm S 220;
5. Diâmetro de agregados de 4,75mm a 12,5 mm;
6. Teor de exsudação inferior a 4%;
7. Concreto com fator água/cimento ≤ 0,6;
8. Coeficiente de minoração da resistência do concreto à compressão: γ_c = 2,7;
9. Coeficiente de ponderação das ações (esforços): γ_f = 1,4;
10. Redução da resistência do concreto devido ao efeito Rüsch → 0,85f_{ck}.

SOTEF engenharia

Campo Grande / MS - Av. Gury Marques, 7300 / Saída para São Paulo / Caixa Postal 119 / CEP 79002-970 / (67) 3398-2222
Caçapava / SP - Rodovia CPS 14, km 1 / Piedade / Caçapava / Caixa Postal 109 / CEP 12280-970 / (12) 3653-3376
www.sotef.com.br **@sotef_engenharia**

SOTEF
engenharia



www.sotef.com.br

@sotef_engenharia