

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
CAMPUS ITAMAR FRANCO  
ENGENHARIA CIVIL**

**CHARLES FELICIANO DE PAULA  
MICAELLA CORRÊA FERRAZ  
PABLO DELMONTE DOS SANTOS**

**ESTUDO COMPARATIVO DOS RISCOS NA EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES  
PROFUNDAS: TUBULÕES, ESTACAS CRAVADAS E ESTACAS ESCAVADAS**

JUIZ DE FORA

2018

**CHARLES FELICIANO DE PAULA  
MICAELLA CORRÊA FERRAZ  
PABLO DELMONTE DOS SANTOS**

**ESTUDO COMPARATIVO DOS RISCOS NA EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES  
PROFUNDAS: TUBULÕES, ESTACAS CRAVADAS E ESTACAS ESCAVADAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
do Instituto Ensinar Brasil (Doctum), como  
requisito parcial à obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Wellington Coutinho  
da Silva.

JUIZ DE FORA

2018

Feliciano de Paula, Charles; Corrêa Ferraz, Micaella; Delmonte dos Santos, Pablo

Estudo comparativo dos riscos na execução de fundações profundas: tubulões, estacas cravadas e estacas escavadas / Charles Feliciano de Paula, Micaella Corrêa Ferraz, Pablo Delmonte dos Santos. 2018  
69 folhas.

Monografia (Curso de Engenharia Civil) –  
Faculdade Doctum Juiz de Fora.

1. Fundações Profundas. 2. Acidente de Trabalho. 3. Segurança do Trabalho

- I. Estudo comparativo dos riscos na execução de fundações profundas: tubulões, estacas cravadas e estacas escavadas
- II. Faculdade Doctum Juiz de Fora



O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO COMPARATIVO DOS RISCOS NA EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS: TUBULÕES, ESTACAS CRAVADAS E ESTACAS ESCAVADAS, elaborado pelos alunos, CHARLES FELICIANO DE PAULA, MICAELLA CORRÊA FERRAZ e PABLO DELMONTE DOS SANTOS foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Civil da Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

Juiz de Fora, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_

---

**ME. WELLINGTON COUTINHO DA SILVA (ORIENTADOR)**  
**DOCTUM – JUIZ DE FORA**

---

**ME. Liercio Feital Motta Júnior**  
**Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora**

---

**Prof. Esp. Douglas Seiberlich**  
**Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, primeiramente, a Deus, pois sem ele este trabalho não seria cumprido.

Agradecemos também ao Professor Me. Wellington Coutinho da Silva, pela orientação e amizade durante todo o processo de execução deste trabalho. E pela sua paciência de dedicar o seu tempo a nos ensinar desde o sétimo período de nossa graduação.

Nossos agradecimentos aos professores Liercio Motta e Douglas Seiberlich que aceitaram fazer parte da banca e por suas contribuições dadas ao trabalho.

Aos grandiosos amigos de graduação, fica o nosso muito obrigado pela amizade gerada ao longo de todo período, as dificuldades encontradas pelos caminhos e pela generosidade de poder contar sempre com vocês.

Agradecemos a todos os professores, mestres e doutores, do Instituto Ensinar Brasil (Doctum – Centro de Engenharias), a dedicação do seu tempo a nos ensinar e nos proporcionar momentos inesquecíveis desde o primeiro dia de nossa graduação.

Aos nossos familiares reconhecemos todos os esforços exercidos, para que possamos chegar até aqui, um muito obrigado a todos, e aos os nossos pais, Vicente Carlos de Paula e Clerineia Furtado de Paula, José Emiliano Ferraz Neto e Vania Aparecida Corrêa Ferraz, Jaqueline Barros Delmonte e Sergio Murilo Sá dos Santos (*in memorian*), que estiveram sempre ao nosso lado e mesmo distante nos ajudou a concluir o curso de Engenharia Civil.

E por fim, agradecemos a todos, incluindo os funcionários da instituição, o corpo administrativo e a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram com a nossa graduação.

## **RESUMO**

PAULA, CHARLES FELICIANO DE.; FERRAZ, MICAELLA CORRÊA.; SANTOS, PABLO DELMONTE DOS. **Estudo comparativo dos riscos na execução de fundações profundas**: tubulões, estacas cravadas e estacas escavadas. 68f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2018.

O presente trabalho apresenta os riscos e acidentes de trabalho que podem ocorrer durante o processo de execução de fundações profundas. De tal forma será feito uma revisão bibliográfica, referenciando os variados tipos de fundações profundas mais utilizados e conhecidos dentro do setor da indústria da construção civil. Neste sentido o atual estudo emprega os riscos e possíveis acidentes existentes baseando-se em três tipos de fundações profundas: tubulões, estacas escavadas e estacas prensadas. De modo geral é apresentado os possíveis riscos e medidas mitigadoras de cada tipo de fundação. Em seguida por meio de uma análise de risco, de utilização e custo benefício, são escolhidas as seguintes fundações profundas para serem analisadas: tubulão ar comprimido, estaca hélice contínua e estaca metálica. Através de um diagnóstico de pesquisa é apresentado uma tabela de riscos e medidas de controle com o objetivo de identificar com maior clareza os perigos que a fundação em questão apresenta. Posteriormente é apresentada uma tabela de pontuação, notificando cada risco e sua fundação atribuída. Com isto é apresentada uma avaliação de pontualidade, que mostrará por meio de um resultado de somatórios qual o tipo de fundação profunda apresenta mais riscos ao trabalhador no momento da execução.

**Palavras-chave:** Estacas. Tubulões. Execução de fundação. Acidentes de trabalho.

## **ABSTRACT**

The present work presents the risks and accidents of work that can occur during the process of execution of deep foundations. In this way a bibliographic review will be made, referring to the various types of deep foundations most used and known within the sector of the civil construction industry. In this sense, the present study uses the risks and possible accidents existing based on three types of deep foundations: pipes, excavated piles and pressed piles. In general, the possible risks and mitigating measures of each type of foundation are presented. Then, through a risk, use and cost benefit analysis, the following deep foundations are chosen for analysis: compressed air pipe, continuous propeller stake and metal stake. Through a research diagnosis is presented a table of risks and control measures with the objective of identifying with greater clarity the dangers that the foundation in question presents. Subsequently, a scoring table is presented, notifying each risk and its assigned foundation. With this, a punctuality assessment is presented, which will show by means of a summation result, which type of deep foundation presents more risks to the worker at the time of execution.

**KEYWORDS:** Piles. Tubes. Foundation execution. Accidents at work.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas de execução do tubulão céu aberto .....	18
Figura 2 – Esquemático Tubulão ar Comprimido.....	19
Figura 3 – Etapas de Execução de uma Broca Manual.....	20
Figura 4 – Estaqueamento de Madeira em Área Molhada .....	21
Figura 5 – Estaqueamento de Perfis Metálicos .....	23
Figura 6 – Estocagem de Estacas de Concreto Pré-Moldado .....	24
Figura 7 – Método de Escavação Estaca Strauss .....	25
Figura 8 – Execução da Estaca Franki .....	26
Figura 9 – Método de Execução de Estaca Raiz .....	28
Figura 10 – Método de Execução da Hélice Contínua .....	29
Figura 11 – Método Executivo da Estaca Mecanicamente.....	30
Figura 12 – Etapas de Execução da Fundação Barrete.....	31
Figura 13 – Medidas de Afastamento Mínimo .....	33
Figura 14 – Placa de identificação para trabalho em ambiente sob ar comprimido..	36
Figura 15 – Pilão em Repouso .....	39
Figura 16 – Emenda de Perfil Metálico .....	44
Figura 17 – Esquemático Bate-estaca .....	48
Figura 18 – Emenda de Perfil Metálico.....	49
Figura 19 – Esquemático da estaca Hélice Contínuo.....	52

## LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Cronograma de execução do trabalho .....	15
Quadro 2 -Tabela de fundações profundas .....	16
Quadro 3 - Qualidade do ar.....	37
Quadro 4 - Análise de risco na execução de tubulão ar comprimido.....	46
Quadro 5 - Análise de risco na execução da estaca de aço.....	49
Quadro 6 - Análise de risco na execução da estaca hélice contínua.....	51
Quadro 7 - Quadro de pontuação de riscos.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
AEAT	ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DE TRABALHO
APR	ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS
CLT	CONSOLIDAÇÃO DAS LEIS DO TRABALHO
CM	CENTÍMETRO
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
KGF	QUILOGRAMA-FORÇA
NBR	NORMA BRASILEIRA
NR	NORMA REGULAMENTADORA
PET	PERMISSÃO DE ENTRADA E TRABALHO
T	TONELADA

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
<b>1.2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	<b>15</b>
<b>3 FUNDAÇÕES PROFUNDAS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 FUNDAÇÕES DIRETAS E INDIRETAS</b> .....	<b>18</b>
3.1.1 TUBULÕES.....	18
3.1.1.1 <i>Tubulões a céu aberto</i> .....	18
3.1.1.2 <i>Tubulão ar comprimido</i> .....	19
3.1.2 Brocas .....	20
3.1.3 Estacas de madeira.....	21
3.1.4 ESTACAS DE AÇO .....	23
3.1.5 ESTACAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO .....	24
3.1.6 Estaca Strauss .....	25
3.1.7 Estaca Franki .....	26
3.1.8 Estaca Raiz .....	28
3.1.9 Estaca Hélice Contínua .....	29
3.1.10 Estaca escavada mecanicamente .....	30
3.1.11 BARRETE.....	31
<b>4 SEGURANÇA EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1 TUBULÕES</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2 ESTACA CRAVADA</b> .....	<b>39</b>
<b>4.3 ESTACAS ESCAVADAS</b> .....	<b>41</b>
<b>5 ANÁLISE COMPARATIVA DE RISCOS EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1 EXECUÇÃO DE TUBULÃO AR COMPRIMIDO</b> .....	<b>43</b>
<b>5.2 EXECUÇÃO DE ESTACAS DE AÇO</b> .....	<b>48</b>
<b>5.3 EXECUÇÃO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA</b> .....	<b>50</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>59</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da nação até os dias atuais as pessoas vêm realizando atividades que contemplam a utilização de fundações profundas, que por sua vez é dividida em dois tipos: fundações diretas, onde os esforços são absorvidos pela ponta do elemento de fundação, neste caso os tubulões. E as fundações indiretas, nas quais as cargas são suportadas pelo atrito lateral, desta forma, pode-se considerar as estacas cravadas e estacas escavadas.

Deste modo sem a existência das fundações profundas considera-se impossível a realização de edificações de grande porte, como: pontes, viadutos, edifícios e barragens. Visto que existiria diversas patologias ao longo de toda construção.

Com o desenvolvimento que ocorreu no setor da indústria da construção civil alguns fatores se tornaram obrigatórios, como por exemplo a segurança do trabalho, presente hoje em todas as construções, proporcionando melhorias e mais proteção aos empregados envolvidos em diversos tipos de atividades.

Desta forma os exercícios realizados principalmente nas fundações profundas ainda são muito esquecidos e banalizados quando se trata de segurança do trabalho. Sendo assim deixando o empregado cada vez mais exposto a diversos riscos no momento da execução de suas tarefas.

Neste caso o presente trabalho será desenvolvido com base em referências teóricas, com a proposta de identificar dentre as diversas fundações profundas qual oferece mais riscos ao empregado. Todavia será escolhido três tipos de fundações, uma pelo seu grau de complexibilidade no caso o tubulão ar comprimido, à estaca hélice contínua pela sua utilização comercial e por último à estaca metálica adotada pela sua capacidade de técnica de utilização.

Contudo haverá uma comparação entre os tipos citados anteriormente, na qual classificara cada risco eminente, mediante as notas peso adotada de 0 a 3, a cada risco agregado a cada tipo de fundação.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo analisar os métodos de execução de fundações profundas, contemplando estacas escavadas, estacas prensadas e tubulões, e relacionar os seus riscos inerentes a sua execução.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Levantamento de cada tarefa, a fim de identificar os riscos físicos, químicos, biológicos, de acidentes e ergonômicos, através de uma análise de riscos. E a partir da mesma indicar meios para mitigar os riscos.
- Apresentação de comparativo de qual das fundações apresenta mais riscos à saúde e segurança do trabalhador.

## **1.2 Justificativa**

A segurança e o planejamento são essenciais na hora da execução de fundações, principalmente quando se trata de fundações profundas. E de acordo com a Revista Escola de Minas (REM, 2005), a indústria da construção civil mantém índices elevados de acidentes do trabalho (AT).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) junto ao Ministério da Saúde aponta que no Brasil são registrados em média cerca de 4,9 milhões de pessoas entre 18 anos ou mais, que sofreram acidentes de trabalho, números que se refere até o ano de 2013 (FILGUEIRAS et al., 2015).

No setor da construção civil estes números estão contabilizados em 16,5% que significam cerca de 808.500 acidentes registrados pelo Ministério da Saúde, e conforme o Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (AEAT) entre os anos de 2006 a 2013, o número dobrou de trabalhadores no setor da construção civil que sofreram incapacitações definitivas para o trabalho (FILGUEIRAS et al., 2015).

Segundo Leonardo Osório Mendonça, coordenador nacional de Defesa do Meio Ambiente do Trabalho, demonstra que, estudos realizados apontam que 90% dos acidentes do trabalho poderiam ser evitados, se as medidas das normas

regulamentadoras do ministério do trabalho fossem aplicadas corretamente (PROTEÇÃO, 2018).

## 2 METODOLOGIA

Primeiramente foi realizado um estudo bibliográfico sobre o tema análise de riscos na execução da atividade de fundações profundas. Num segundo momento foram escolhidos alguns tipos de fundação para se analisar os riscos e suas medidas mitigadoras.

Em seguida realizou-se um diagnóstico comparativo dos tipos de fundações profundas analisadas, logo após foram definidos três tipos de fundações profundas, sendo elas o tubulão ar comprimido, uma estaca escava e uma estaca cravada.

Subsequentemente por meio de uma tabela qualitativa e de pontuação de riscos foi determinado a qual apresentaria maior risco ao empregado. Com isto o presente trabalho foi desenvolvido da maneira apresentada nos próximos parágrafos.

O primeiro capítulo é constituído por introdução, iniciando o assunto de uma maneira geral, onde são apresentados os objetivos principais e específicos e justificativa.

O segundo capítulo é constituído e metodologia empregada no estudo.

No capítulo seguinte é realizada uma revisão bibliográfica dos tipos de fundações profundas existentes. O capítulo quatro apresentara uma análise de segurança em fundações profundas.

No capítulo subsequente trata-se de um comparativo entre as fundações na qual expõe os riscos ao empregado.

Neste último capítulo, será abordado uma análise das informações apresentadas e considerações finais sob os comparativos positivos e negativos de execução de fundações profundas.

No quadro 1 é apresentado o cronograma de Execução do Trabalho.

Quadro 1 - Cronograma de execução do trabalho

		2018										
		Fase 1					Férias	Fase 2				
	Atividades	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fase 1	Pesquisa Bibliográfica (Fundações)	X	X	X	X							
	Escrita - Fundações		X	X	X	X		X	X			
	Apresentação - Fase 1					X						
Fase 2	Pesquisa Bibliográfica (Riscos em Fundações)							X	X	X		
	Escrita - Riscos em Fundações							X	X	X	X	
	Análise dos resultados e melhorias									X	X	
	Apresentação - Fase 2 (Defesa)											X

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

### 3 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

As fundações são essenciais em toda construção que entre em contato diretamente com o solo. Elas fazem parte da infraestrutura da obra, pois é a parte responsável pela transmissão de cargas para o solo. A infraestrutura de uma edificação, por sua vez, geralmente é formada pelos elementos de fundação, ou seja, sapatas, estacas ou tubulões (AZEREDO, 1997).

As fundações são divididas em dois grupos: fundações rasas e profundas. De acordo com Azeredo (1997), as fundações são os elementos estruturais destinados a transmitir ao terreno as cargas de uma estrutura.

Neste trabalho serão abordadas apenas as fundações profundas e essas se dividem em fundações diretas, onde os esforços são absorvidos pela ponta do elemento de fundação e as fundações indiretas, nas quais as cargas são suportadas pelo atrito lateral, ou seja, os elementos de fundações não necessariamente devem atingir solos com grande capacidade de cargas. O Quadro 2 apresenta os tipos de fundações profundas.

Quadro 2 – Tipos de fundações profundas

Fundações		
Diretas	Tubulões	Céu aberto
		Ar comprimido
Indiretas	Brocas	
	Estacas de madeira	
	Estacas de aço	
	Estacas de concreto pré-moldadas	
	Estacas de concreto moldadas <i>in loco</i>	Strauss
		Franki
		Raiz
		Hélice Contínua
		Escavada mecanicamente
		Barrete

Fonte: Adaptado de EBAH (2018)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAAtqAAL/projeto-fundacoes?part=2>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

### 3.1 Fundações diretas e indiretas

Conforme a NBR 6122 (2010) fundação profunda é:

O elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. Neste tipo de fundação inclui-se as estacas e os tubulões (ABNT, 2010).

#### 3.1.1 Tubulões

Destaca-se entre as fundações, pois apresenta características de transmissão de cargas para o subsolo diferente das demais fundações profundas, isto ocorre devido a sua base, uma vez que a mesma é larga e com área de contato considerável, tendo como suporte das cargas o atrito de ponta. O diâmetro mínimo de fuste é de 80cm, estipulado pela norma regulamentadora NR18 (NR18, 2018).

A execução de uma fundação em tubulões consiste na escavação manual ou mecânica de um fuste, até encontrar terreno firme, geralmente dotado de uma base alargada que tem por finalidade transmitir a carga do pilar através de uma pressão compatível com as características do terreno (AZEREDO, 1997).

Os tubulões são classificados de acordo com o método de execução da escavação:

- Tubulões a céu aberto
- Tubulões com ar comprimido.

##### 3.1.1.1 Tubulões a céu aberto

Fundamentalmente usa-se este tipo de fundação para vencer grandes cargas. Outro fator positivo é o fato de que os tubulões proporcionam a execução em áreas onde não se podem usar equipamentos mecanizados, ou em grandes centros urbanos, que na maioria das vezes o acesso é limitado (MARANGON, 2018).

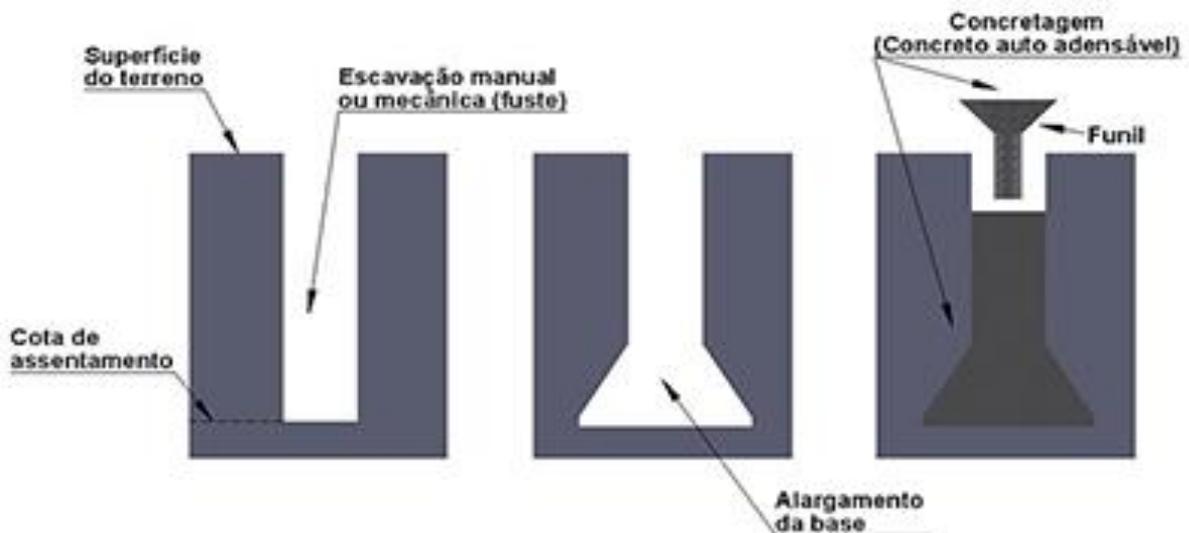
Neste caso, por se tratar de uma escavação manual, o uso desta atividade se dá principalmente em locais onde o solo é mais rígido ou que apresenta maior resistência (MARANGON, 2018).

De acordo com Marangon (2018), o tubulão apresenta diversas vantagens em relação a outros tipos de fundações, são elas:

- As vibrações e os ruídos são praticamente inexistentes, uma vez que sua escavação é manual.
- As escavações podem atravessar pedras e matacões, assim podendo penetrar em diversos tipos de materiais e, se necessário, até em rochas.
- Os custos que envolvem sua execução são muito mais inferiores que de outros modelos de fundações profundas.
- Inicialmente pode ser escavado manualmente ou mecanicamente, conforme ilustrado na figura 1.

Uma das desvantagens do tubulão a céu aberto pode ser a aparição de água, mas que não se torna um problema, pois a mesma pode ser contida e expelida de dentro do fuste, visto que a mesma não ocasionará prejuízos na perfuração (MARANGON, 2018).

Figura 1 – Etapas de execução do tubulão céu aberto



Fonte: Drilling do Brasil (2018)<sup>2</sup>.

### 3.1.1.2 Tubulão ar comprimido

A utilização desta fundação ocorre quando o nível de água é muito alto em construções de pontes ou viadutos. É empregado também o método de tubulão ar comprimido, uma vez que, perfurado o tubulão o nível da água esteja elevado e não

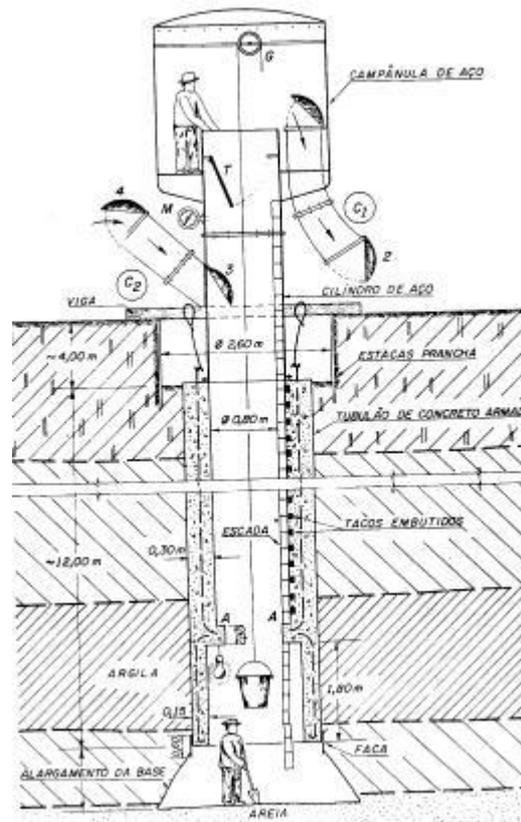
<sup>2</sup> Disponível em: <<http://drilling.com.br/servicos/tubuloes-ceu-aberto/>>. Acesso em: 13 out 2018.

pode ser retirado devido ao risco de desmoronamento das paredes do fuste (HACHICH et al, 1998; MARANGON, 2018).

O tubulão ar comprimido pode ser empregado em duas formas, seja utilizando a camisa de concreto ou empregando o uso da camisa de aço (HACHICH et al., 1998).

Portanto, o tubulão trabalha com sua “estrutura” fechada para que em nenhum momento exista a presença de água dentro do ambiente de escavação, conforme ilustrado na figura 2 (MARANGON, 2018).

Figura 2 – Esquemático tubulão ar comprimido



Fonte: Projeto de Fundações (2018)<sup>3</sup>.

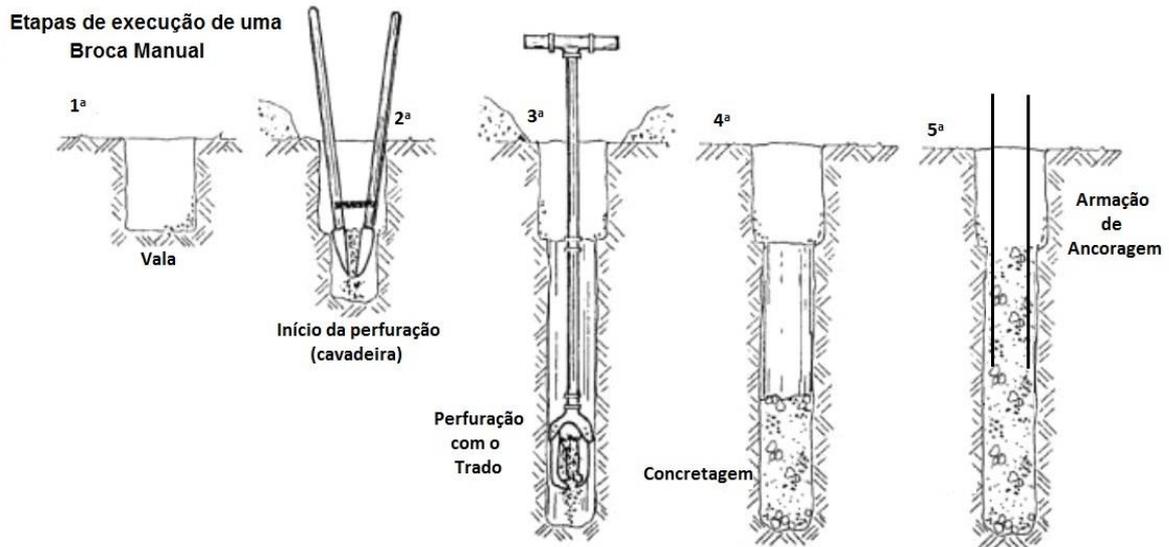
### 3.1.2 Estaca Broca

Conforme ilustrado na figura 3, o processo executivo dessa estaca é extremamente simples, sendo que consistem em duas etapas: abertura do fuste e

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAhPJQAH/apostila-fundacoes-tubuloes?part=2>>. Acesso em: 11 out. 2018.

concretagem. São estacas indicadas para pequenas construções, pois as mesmas não levam armaduras, mas apenas pontas de aço para que se possa engastar no baldrame ou bloco (AZEREDO, 1997; ALONSO, 2001).

Figura 3 – Etapas de Execução de uma Broca Manual



Fonte: Eng Carlos (2015)<sup>4</sup>.

Existem vantagens e desvantagens neste tipo de estaca. As vantagens apresentadas são: baixo custo de implantação, sendo que o fuste é realizado por um trado manual. E, o fácil manuseio em terrenos com difícil acesso.

Como desvantagens, elas não podem ser realizadas em terrenos que há necessidade de se ultrapassar o nível do lençol freático (AZEREDO, 1997; ALONSO, 2001).

### 3.1.3 Estacas de madeira

São feitas de madeira roliça ou com seção uniforme, descascada logo após o corte, com diâmetro de 18,0 a 35,0 cm e entre 5,00 a 8,00 m, devendo ser reta, com o mínimo de curvaturas possíveis em seu comprimento, resistente, barata e de fácil aquisição. A madeira mais utilizada no Brasil é o eucalipto.

As estacas de madeira devem estar sempre submersas, conforme ilustrado na figura 4, onde a foto foi realizada em um canteiro de obra, em junho de 2016,

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://engcarlos.com.br/brocas-manuais/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

especificamente em construção de ponte sobre córrego da Lapinha, situada no município de Coração de Jesus em Minas Gerais.

Figura 4 – Estaqueamento de madeira em área molhada



Fonte: Fotografado pelos autores (2016).

Uma variação do nível da água acarretará um enfraquecimento na zona de transição entre o nível da água e o ar (AZEREDO, 1997; ABNT, 2010).

Apesar da desvantagem que esse tipo de estaca apresenta, que é o apodrecimento da madeira causado pela variação do nível do lençol freático, existem vantagens que este modelo de estaca apresenta. São elas:

- Baixo índice de problema em seu transporte.
- Corte fácil.
- Facilidade em se obter tamanhos variados.
- De fácil emenda.
- Baixo custo.
- De fácil aquisição em nosso país.

### 3.1.4 Estacas de aço

As estacas metálicas, também chamadas de estaca de aço, tem como características de construção o mercado da indústria siderúrgica, que promove a fabricação de ferros fundidos e o tratamento de aços (HACHICH et al., 1998).

De acordo com Marangon (2018), as vantagens que este modelo de estaca apresenta são as seguintes:

- Facilidade no manuseio;
- Facilidade em sua cravação, já que apresenta uma seção mais esbelta, causando um menor deslocamento de volume de solo, corta fácil o solo, conforme ilustrado na figura 5;

- São obtidas em diversos tamanhos, sem que haja perda;
- Obtém-se facilidade para cortes e emendas com soldas elétricas.

Apesar das vantagens, Marangon (2018) também apresenta as desvantagens que este tipo de estaca proporciona, são elas:

- Apresenta um alto desgaste em águas agressivas por meio de oxidação na área externa. Essa oxidação se torna perigosa, principalmente em águas correntes, devido à correnteza existente no local; a água carregará a parte oxidada, ocorrendo assim, um novo processo oxidante sucessivamente, até que ocorra a sua ruptura.

- Já em águas calmas esse ataque não é muito agressivo porque após a ocorrência da oxidação forma-se uma película que protegerá o aço que se encontra no interior;

- O seu preço é muito elevado no Brasil.

Figura 5 – Estaqueamento de Perfis Metálicos



Fonte: Escola de Engenharia (2016)<sup>5</sup>.

### 3.1.5 Estacas de concreto pré-moldado

São peças de concreto armado fabricadas no local ou em empresas especializadas. Sua cravação é realizada por meio de bate-estaca, que se denomina cravação a precursão, a qual só deve ser cravada quando o concreto atingir a resistência satisfatória, resistindo aos esforços decorrentes de manuseio, transporte, cravação e utilização, conforme ilustrado na figura 6.

A armação da estaca da estaca de concreto armado tem por objetivo, combater os esforços fletores que ocorrerá em sua cravação (AZEREDO, 1997; ALONSO, 2001).

---

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/fundacoes-profundas/>>. Acesso em: 07 set. 2018.

Figura 6 – Estocagem de Estacas de Concreto Pré-Moldado



Fonte: Engecon Fundações (2018)<sup>6</sup>.

Não se recomenda essas estacas nos seguintes terrenos:

- Terrenos com alto índice de matacões ou camadas de pedregulhos.
- Terrenos em que a cota de ponta é variável, não havendo um comprimento constante de cravação (como, por exemplo, no caso de solos residuais com a matriz próxima da região da ponta da estaca).
- Em locais que as construções vizinhas se encontram em situação precária, visto que a vibração causada pela cravação desta estaca possa causar problemas (Azeredo, 1997; ALONSO, 2001).

### 3.1.6 Estaca Strauss

A estaca *Strauss* é relativamente simples, por conta disto se torna eficaz, uma vez que suas estacas são moldadas *in loco*. Sua execução é feita através de um tripé, semelhante ao da sondagem, conforme ilustrado na figura 7 (MARANGON, 2018).

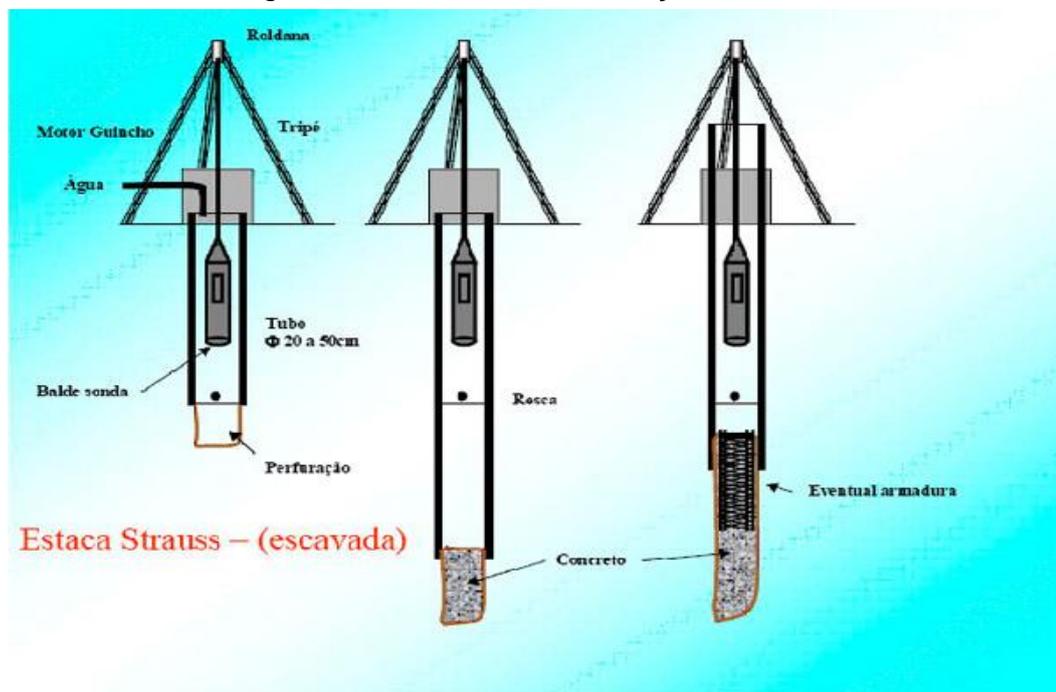
---

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://www.engeconfundacoes.com.br/cravacao-estacas-pre-moldadas-concreto>>. Acesso em: 11 set. 2018.

Este instrumento possui um pequeno pilão, uma ferramenta de escavação e tubos de revestimentos. Sua execução é possível em terrenos de alta porosidade e baixa resistência e acima do nível do lençol freático (HACHICH et al., 1998).

Uma de suas vantagens é que não produz ruídos e vibrações, outra vantagem é que por ser tratar de um tripé, sendo o mesmo um equipamento pequeno, ela permite uma facilidade na locomoção dentro do canteiro de obras ainda pode ser utilizada para realizar fundações de divisas (HACHICH et al., 1998).

Figura 7 – Método de Escavação Estaca Strauss



Fonte: Blog Construir (2018)<sup>7</sup>.

### 3.1.7 Estaca Franki

A estaca *Franki* foi desenvolvida pelo engenheiro belga Edgard Frankignoul na década de 1910, e foi muito bem-sucedida como uma estaca de qualidade e a custo baixo, pelos comprimentos menores de estacas por conta da base alargada e da concretagem apenas no comprimento necessário (ultrapassando pouco a cota prevista de arrasamento) (VELLOSO & LOPES, 2010).

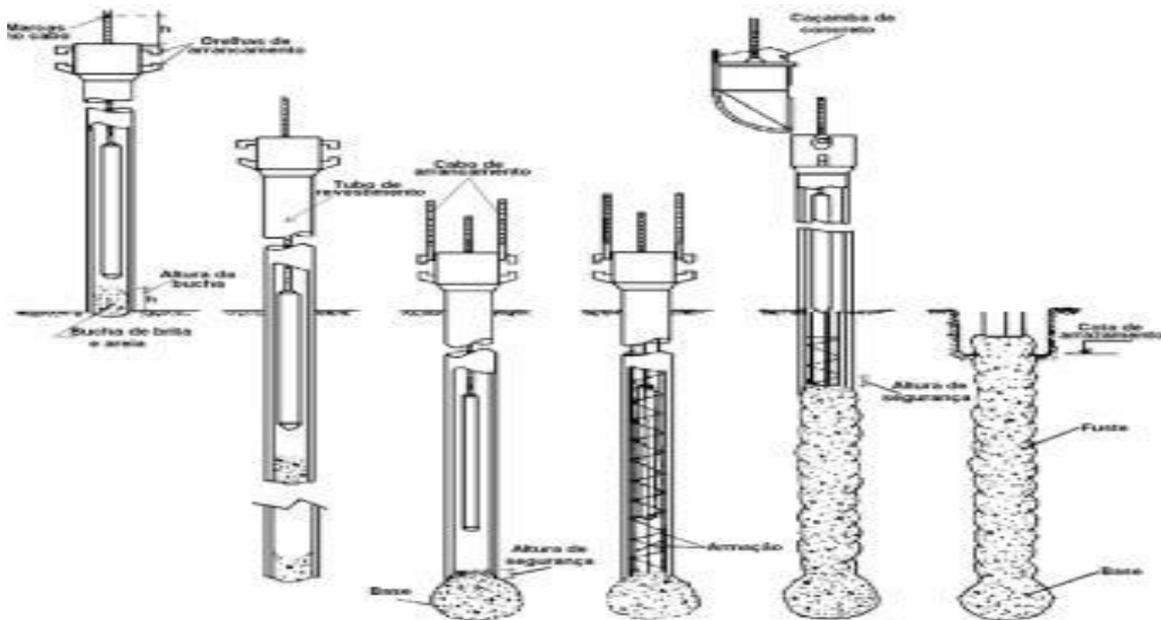
<sup>7</sup> Disponível em: <<http://blog.construir.arq.br/estaca-strauss/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

A estaca *Franki* é executada utilizando-se um tubo metálico (molde), tendo em sua ponta um tampão de concreto com relação água/cimento muito baixa. Esse tampão é socado através de um martelo ou soquete (pilão) de até 4T, a medida que é golpeado ele vai abrindo caminho no terreno devido ao forte atrito entre o concreto seco e o tubo, que é arrastado para dentro do solo, conforme ilustrado na figura 8 (VELLOSO & LOPES, 2010).

Uma das suas vantagens são sua área da base que é grande e atinge grandes profundidades (como, por exemplo, 45m), sua lateral é rugosa e mantém o terreno fortemente comprimido (MARANGON, 2018).

Infelizmente umas das desvantagens é devido a sua vibração, produzida pelo seu processo original que é chamado de *standard*, fazendo com que a mesma começasse a perder espaço nos centros urbanos (VELLOSO & LOPES, 2010). Ainda na figura 8 é demonstrada as etapas de execução da estaca *Franki*.

Figura 8 – Execução da Estaca Franki



Fonte: EBAH (2007)<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAafe7AAJ/capitulo2-fundacoes?part=3>>. Acesso em: 11 out. 2018.

### 3.1.8 Estaca Raiz

Estaca raiz é uma estaca moldada *in loco*, em que a perfuração é revestida integralmente, em solo por meio de segmentos de tubos metálicos (revestimentos) que vão sendo rosqueados à medida que a perfuração é executada. O revestimento utilizado é recuperado para realização de outras estacas (ABNT, 2010).

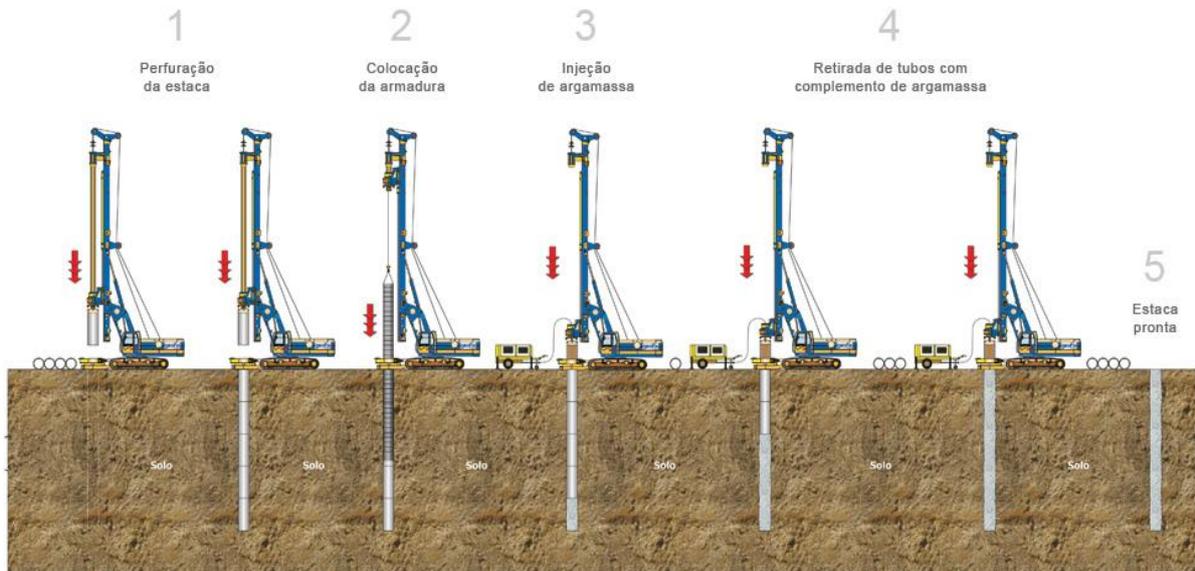
De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), sua armação é em todo seu comprimento e a perfuração é preenchida por uma argamassa de cimento e areia, conforme ilustrado na figura 9.

Essas estacas têm particularidades que permitem sua utilização em casos em que os demais tipos de estacas não podem ser empregados, por exemplo:

- Não produzem choques nem vibrações;
- Há ferramentas que permitem executá-las através de obstáculos tais como blocos de rocha ou peças de concreto;
- Os equipamentos em geral são de pequeno porte, o que possibilita o trabalho em ambientes restritos.
- Podem ser executadas na vertical ou em qualquer inclinação.

Com essas características, as estacas-raiz (e as micro estacas injetadas) praticamente eliminaram do mercado as estacas prensadas (tipo Mega), para reforço de fundações (VELLOSO & LOPES, 2010).

Figura 9 – Método de Execução de Estaca Raiz



Fonte: Geofix (2018)<sup>9</sup>.

### 3.1.9 Estaca hélice contínua

São estacas moldadas *in loco* onde a sua execução ocorre por meio de um trado, o qual perfura o solo através do toque adequado para o terreno existente no local. Sua concretagem ocorre simultaneamente à retirada do trado. Assim que se retira o trado deve-se realizar a introdução da armadura, que será introduzida com o auxílio de um pilão de baixa carga ou por meio de vibração, conforme apresentado na figura 10 (MARANGON, 2018).

De acordo com Marangon (2018) as vantagens apresentadas neste tipo de estaca são:

- Baixa vibração.
- Baixo ruído.
- Pouco deslocamento de solo em sua perfuração.

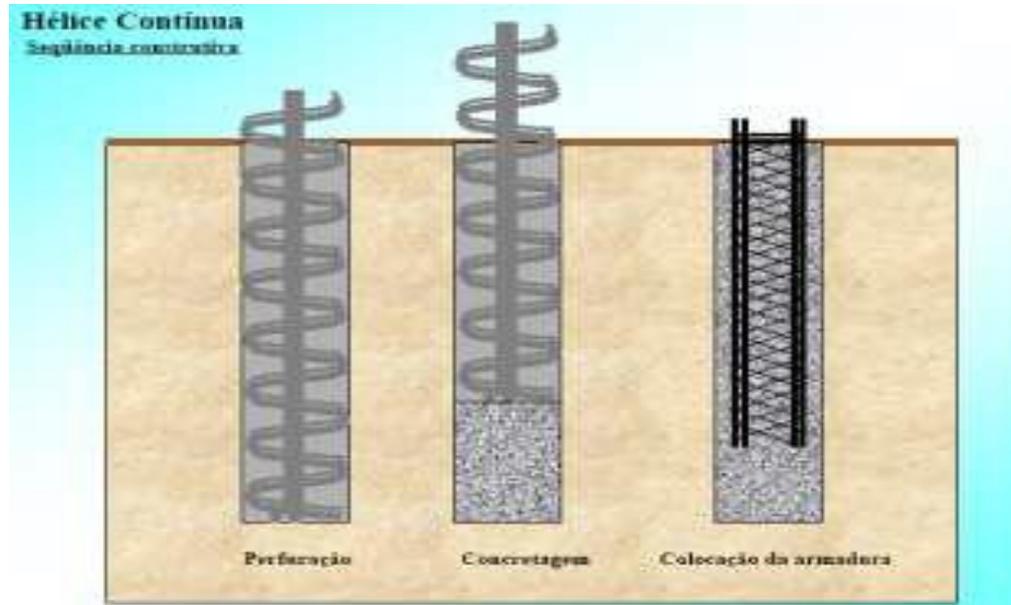
De outro modo, as desvantagens apresentadas pelo autor são (MARANGON, 2018):

- Não são indicadas para terrenos com matacões, visto que pode ocorrer a danificação do trado.

<sup>9</sup> Disponível em: <<http://www.geofix.com.br/servico-estaca-raiz.php>>. Acesso em: 13 out. 2018.

- Difícil manuseio em terrenos com difícil acesso.

Figura 10 - Método de Execução da Hélice Contínua



Fonte: Marinho, F. Mecânica dos Solos e Fundações – USP (2008).

### 3.1.10 Estaca escavada mecanicamente

É uma estaca onde se realiza a perfuração do solo com a utilização de um trado mecânico, sem a necessidade de revestimento ou fluidos estabilizantes, este tipo de fundação não requer o alargamento da base, conforme ilustrado na figura 11 (ABNT, 2010; UFVJM, 2016).

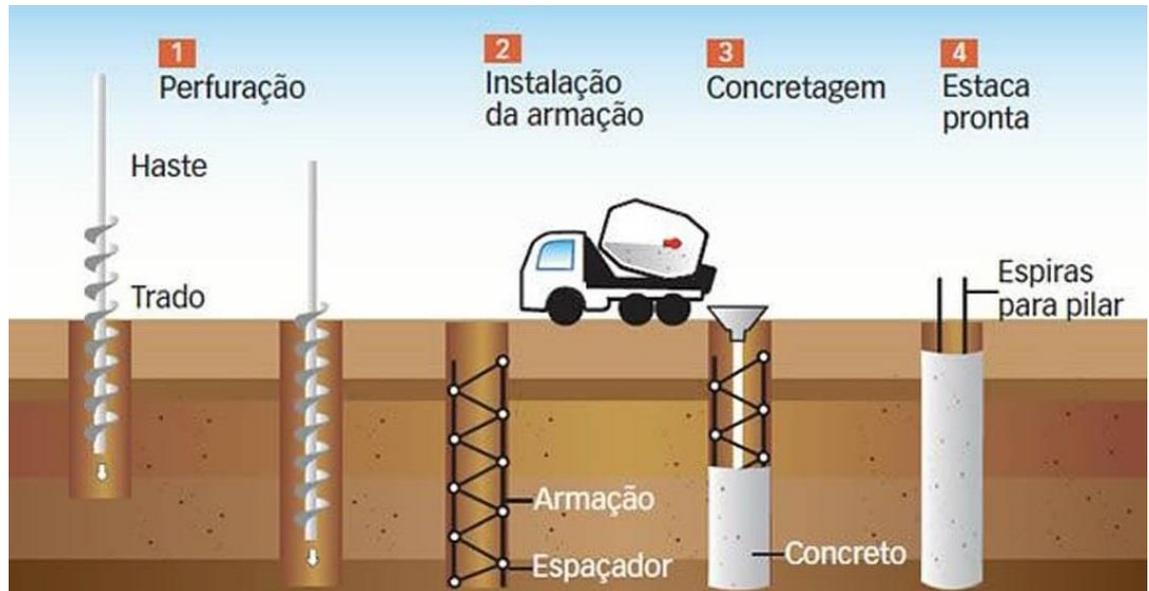
As vantagens que este modelo de estaca apresenta são as seguintes (UFVJM, 2016):

- Alta produtividade em solos bons;
- Aspecto de limpeza no canteiro de obra;
- Instalação da hélice em três tipos de maquinários sendo eles em trator simples, em esteiras e caminhões;
- Máquinas sobre esteiras que tem alta facilidade para acessar locais de difícil acesso.

As desvantagens que este tipo de estaca apresenta são (UFVJM, 2016):

- Limitada quando se encontra o nível d'água;
- Risco de haver mistura do solo com o concreto.

Figura 11 – Método Executivo da Estaca Mecanicamente



Fonte: Deskgram (2018)<sup>10</sup>.

### 3.1.11 Barrete

Os barretes também podem ser conhecidos como estacas escavadas com uso de fluido estabilizante, geralmente são executados utilizando lama bentonítica ou polímero sintético para estabilização das paredes da escavação (ABNT, 2010).

Fatores positivos relacionados aos barretes (UFSC, 2018):

- Rápida execução e capacidade de suportar cargas elevadas;
- O comprimento da estaca é grande e pode ser muito variável, além de prontamente alterado conforme conveniência, de furo para furo do terreno, conforme ilustrado na figura 12;
- O solo, à medida que se escava, pode ser inspecionado e comparado com dados de investigação do local.

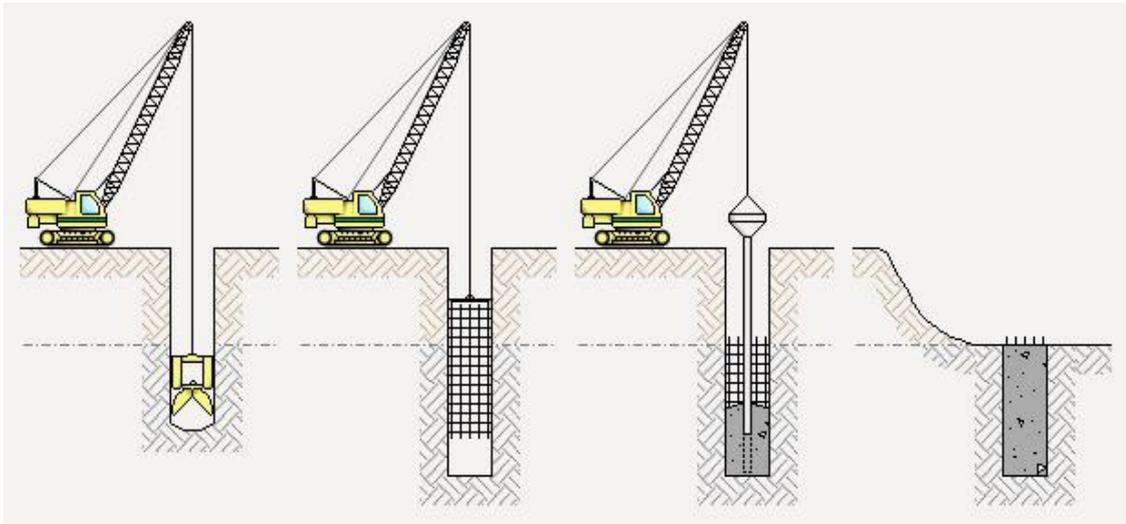
Algumas características negativas também são apresentadas de acordo com a (UFSC, 2018), são elas:

- Necessidade de local nas proximidades para deposição de solo escavado;

<sup>10</sup> Disponível em: <<https://deskgram.net/explore/tags/lucianatrevisol>>. Acesso em: 11 out. 2018.

- Os métodos de escavação podem afogar solos arenosos ou pedregulhos ou transformar solos moles em lama, como o calcário mole. Também se deve tomar cuidado com possíveis agentes químicos da água e do solo sobre o concreto.

Figura 12 – Etapas de Execução da Fundação Barrete



Fonte: Gerador de Preços.Brasil (2018)<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Disponível em: [http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Fundacoes/Profundas/Estaca\\_barrete/CPZ010\\_Estaca\\_barrete\\_de\\_concreto\\_armado\\_\\_.html](http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Fundacoes/Profundas/Estaca_barrete/CPZ010_Estaca_barrete_de_concreto_armado__.html). Acesso em: 11 out. 2018.

## **4 SEGURANÇA EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

Neste capítulo será realizado uma revisão bibliográfica referente às medidas de controle propostas pela legislação vigente, para os três tipos de métodos de execução de fundações profundas, de acordo com a quadro 2 (ver item 3), que são tubulões, estacas cravadas e estacas escavadas.

### **4.1 Tubulões**

Os trabalhadores da construção civil estão expostos a inúmeros riscos, na fase de execução de fundações, devido à complexidade do processo executivo, como é o caso de escavação e alargamentos das bases de tubulões a céu aberto e ar comprimido. Partindo deste princípio, é necessário o cumprimento das medidas de controle contidas na legislação, a fim de mitigar os riscos inerentes da execução desta tarefa (NAGANO; PEINADO; DE ANGELIS NETO, 2012).

A NR18 (2018) e a RTP-03 (2002), estabelece uma série de medidas de controle para execução de escavação de tubulões sob diversas perspectivas, como pode-se observar nos parágrafos abaixo.

O projeto executivo de escavações de tubulões deve levar em consideração o risco de comprometimento da estabilidade de muros, edificações vizinhas e todas as estruturas que possam ser afetadas pela escavação devem ser escoradas (NR18, 2018).

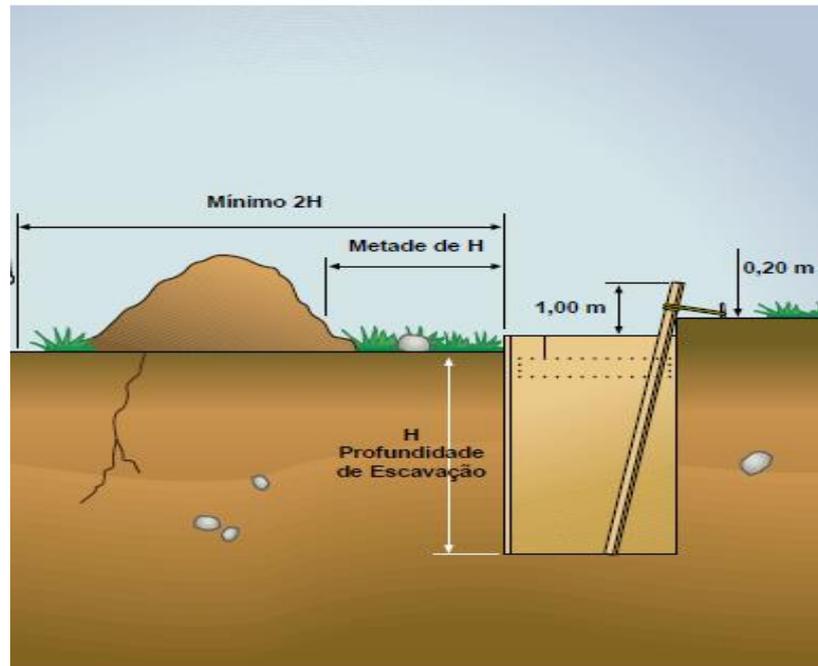
Com relação aos itens ligados a energia elétrica a NR18 (2018) determina que “quando existir cabo subterrâneo de energia elétrica nas proximidades das escavações, as mesmas só poderão ser iniciadas quando o cabo estiver desligado”. E que, “na impossibilidade de desligar o cabo, devem ser tomadas medidas especiais junto à concessionária”.

Nos casos de risco de queda de árvores e deslizamentos é necessário a realização de escoramento, amarração ou a retirada dos mesmos (RTP-03, 2002).

Com relação aos taludes, que muitas vezes podem apresentar instabilidade, deve-se garantir a mesma, por meio de estruturas dimensionadas para este fim. Tem-se como exemplos de estrutura o retaludamento, escoramento, atirantamento, grampeamento e impermeabilização (RTP-03, 2002; NR18, 2018).

De acordo com a NR18 (2018) “os materiais retirados da escavação devem ser depositados a uma distância superior à metade da profundidade, medida a partir da borda do talude”, conforme é visto na figura 13.

Figura 13 - Medidas de Afastamento Mínimo



Fonte: Adaptado RTP-03 (2002).

Nas atividades de escavações de tubulões é necessária a implantação de medidas administrativas, no caso em questão, de sinalização de advertência, inclusive noturna, isolamento de área, bem como o fechamento dos tubulões nos intervalos e no término da jornada de trabalho (NR18, 2018).

A NR33 (2012) é uma norma que também deve ser observada para execução de escavação de tubulão ar comprimido.

O espaço confinado se faz presente dentro do setor da indústria da construção civil, de tal forma, em que se pode citar as fundações profundas, dentre esses os tubulões e as construções em valas.

De acordo com a NR33 (2012) a definição de espaço confinado é:

espaço confinado qualquer área ou ambiente não projetado para ocupação humana contínua, que possua meios limitados de entrada e saída, cuja ventilação existente é insuficiente para remover contaminantes ou onde possa existir a deficiência ou enriquecimento de oxigênio.

Desta forma, quando ocorre uma escavação de tubulão ar comprimido, existe uma atividade confinada, que necessita de uma série de medidas preventivas a fim de preservar a integridade física do trabalhador.

Inicialmente é necessário de acordo com a NR 33 (2012) “identificar os riscos específicos de cada espaço confinado”, a identificação dos riscos existentes em cada um dos tubulões ar comprimido é de suma importância para adoção das medidas necessárias para a entrada e realização da atividade com segurança em seu interior (GARCIA; KULCSAR NETO, 2013).

Em seguida deve-se garantir que o acesso ao espaço confinado somente ocorra após a emissão, por escrito, da Análise Preliminar de Riscos (APR) e a emissão da Permissão de Entrada e Trabalho (PET) que são indispensáveis para que o trabalho seja executado de forma segura (GARCIA; KULCSAR NETO, 2013; NR33, 2012).

Simultaneamente deve ser verificada a capacitação dos trabalhadores envolvidos na atividade, devido à complexidade dos procedimentos de segurança da mesma, torna-se indispensável a capacitação de todos os trabalhadores envolvidos. Sendo a carga horária, conteúdos e periodicidade de realização da capacitação supervisores de entrada, vigias e trabalhadores autorizados de acordo com o estabelecido no item 33.3.5 da NR 33 (GARCIA; KULCSAR NETO, 2013; NR33, 2012).

E necessário também realizar a avaliação da atmosfera do tubulão antes da entrada dos trabalhadores, a fim de verificar se existem riscos atmosféricos, esta avaliação inicial deve ser realizada fora do espaço confinado, caso identificado riscos, é necessário a implantação de medidas de controle dos mesmos, como por exemplo, monitorando e ventilando a fim de eliminar ou controlar o risco atmosférico (NR 33, 2012).

De acordo com o Artigo 189 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) (BRASIL, 1943) atividades insalubres são

aquelas que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os empregados a agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância fixados em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos.

Segundo a NR15 (2014) “as atividades ou operações realizadas sob ar comprimido serão consideradas insalubres de grau máximo”.

A NR15 (2014) dispõe sobre as medidas preventivas para as atividades com pressões adversas, como é o caso de tubulões ar comprimido, onde os trabalhadores atuam em condições hiperbáricas (sob altas pressões), e para chegarem a seus postos de trabalho, esses indivíduos transitam da condição de pressão atmosférica ambiente para uma campânula e, logo a seguir, entram no fuste do tubulão, através do qual descem para uma pressão acima da pressão atmosférica (PROTEÇÃO, 2016).

Com intuito de minimizar os riscos desta atividade insalubre, a norma limita alguns aspectos desta atividade, como por exemplo, o número de compressões, cada trabalhador poderá sofrer no máximo, uma compressão a cada 24 horas (NR15, 2014). Limita também a pressão máxima de exposição ao risco, de acordo com a NR15 (2014) “nenhuma pessoa poderá ser exposta à pressão superior a 3,4 kgf/cm<sup>2</sup>, exceto em caso de emergência ou durante tratamento em câmara de recompressão, sob supervisão direta do médico responsável”. Bem como relaciona o tempo de exposição a pressão de trabalho, como descrito na NR15 (2014):

a duração do período de trabalho sob ar comprimido não poderá ser superior a 8 (oito) horas, em pressões de trabalho de 0 a 1,0 kgf/cm<sup>2</sup>; a 6 (seis) horas em pressões de trabalho de 1,1 a 2,5 kgf/cm<sup>2</sup>; e a 4 (quatro) horas, em pressão de trabalho de 2,6 a 3,4 kgf/cm<sup>2</sup>.

Os trabalhadores que executam atividades em tubulões pressurizados precisam atender alguns requisitos, são eles: ter no mínimo 18 e no máximo 45 anos de idade; precisam ser submetidos a exames médicos admissionais e periódicos, sendo que, os periódicos deverão ser realizados a cada 6 meses, uma vez que o ASO (atestado de saúde ocupacional) tem validade de apenas 6 meses; e portar uma placa de identificação de acordo com modelo demonstrado na figura 14.

Figura 14 - Placa de identificação para trabalho em ambiente sob ar comprimido

Frente
Em caso de inconsciência ou mal de causa indeterminada telefonar para o número: _____
E encaminhar o portador desta para: _____
Verso
Nome da empresa: _____
Nome do trabalhador: _____
Atenção: trabalha em ar comprimido

Fonte: Adaptado da NR15 (2014).

Antes de iniciar a jornada de trabalho, os empregados devem passar por uma consulta com o médico responsável, a fim de verificar se os mesmos apresentam alguma doença respiratória ou algum tipo de enfermidade (NR15, 2014).

Com relação às manobras de compressão e descompressão a NR15 (2014), regulamenta que:

Deverão ser executadas através de dispositivos localizados no exterior da campânula, pelo operador das mesmas. Tais dispositivos deverão existir também internamente, porém serão utilizados somente em emergências. No início de cada jornada de trabalho, os dispositivos de controle deverão ser aferidos.

Regulamenta também como deverá ser realizada a descompressão do trabalhador, de acordo com período e pressão de trabalho, por meio de tabelas, a verificar no Anexo A.

E que após a descompressão, os trabalhadores ficam obrigados a permanecer no canteiro de obras por, no mínimo 2 horas, com intuito de permanecer sob observação médica (NR15, 2014).

Para controle e registro adequado do acesso do empregado nas campânulas, o operador da mesma deverá realizar a anotação das seguintes informações: hora exata da entrada e saída da campânula, pressão de trabalho, hora exata do início e do término de descompressão (NR15, 2014).

A norma estabelece que à ventilação da câmara de trabalho ou na campânula, seja contínua e de no mínimo 30 pés cúbicos/min./homem e que a temperatura

no interior da mesma não exceda 27°C. Assim como, estabelece que a qualidade do ar deverá ser mantida dentro dos padrões de pureza de acordo com o quadro 3.

Quadro 3 – Qualidade do ar

CONTAMINANTE	LIMITE DE TOLERANCIA
Monóxido de carbono	20 ppm
Dióxido de carbono	2.500 ppm
Óleo ou material particulado	5 mg/m <sup>3</sup> (PT>2kgf/cm <sup>2</sup> ) 3 g/m <sup>3</sup> (PT<2kgf/cm <sup>2</sup> )
Metano	10% do limite inferior de explosividade
Oxigênio	mais de 20%

Fonte: NR15 (2014).

Conforme conceitua a NR15 (2014) o tubulão ar comprimido “é uma estrutura vertical que se estende abaixo da superfície da água ou solo, através da qual os trabalhadores devem descer, entrando pela campânula, para uma pressão maior que atmosférica”. E de acordo com a NR35 (2016) “considera-se trabalho em altura toda atividade executada acima de 2,00m (dois metros) do nível inferior, onde haja risco de queda”.

Uma vez que a NR15 (2014) informa que para execução do tubulão ar comprimido é necessário que o empregado entre pela campânula e desça até a câmara de trabalho, fica evidenciado o risco de queda, sendo necessária a implementação das medidas de controle da (NR35, 2016).

Dentro deste contexto a NR35 (2016) estabelece que “o empregador deve promover programa para capacitação dos trabalhadores à realização de trabalho em altura”, onde “considera-se trabalhador capacitado para trabalho em altura aquele que foi submetido e aprovado em treinamento, teórico e prático, com carga horária mínima de oito horas”.

De acordo com o risco de queda supracitado, a NR6 (2017) estabelece que “a empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento”. O equipamento de proteção individual (EPI), contra quedas com diferença de nível, de acordo com a mesma norma é o “cinturão de segurança com dispositivo trava-queda para proteção do usuário contra quedas em operações com movimentação vertical”.

Além dos riscos supracitados, os empregados estão sujeitos ao risco de decompressão equivocada e, nessas circunstâncias, poderão ser acometidos pelas conhecidas doenças descompressivas. Que pode ser uma embolia gasosa, o

enfisema subcutâneo ou doenças articulares que, em grande parte dos casos, podem ser fatais ou deixar sequelas irreversíveis (PROTEÇÃO, 2016).

## 4.2 Estaca Cravada

As estacas cravadas são elementos pré-fabricados cravados no solo. Para objeto desta revisão serão analisados os riscos das seguintes estacas: brocas, estacas de madeira, estacas de aço e estacas de concreto pré-moldado.

Estas estacas são geralmente cravadas fazendo a utilização de bate-estacas. E, para que esta atividade ocorra com segurança, a RTP-03 (2002) propõe algumas medidas preventivas com a finalidade de evitar acidentes.

A fim de impedir ou evitar o tombamento do bate-estaca, faz-se necessário uma inspeção preliminar no local, com intuito de verificar o nivelamento e a capacidade do solo, o qual, este deve suportar o apoio da torre (RTP-03, 2002).

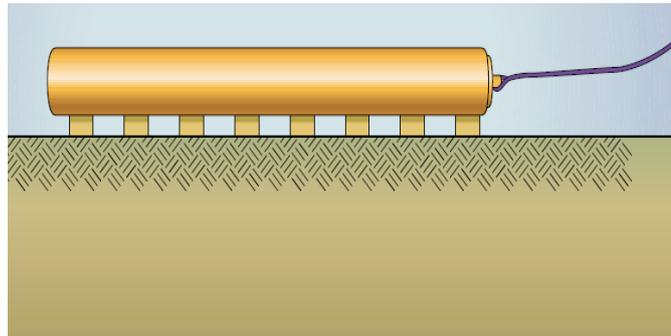
Os cabos de aço, mangueiras e conexões devem passar por inspeção periódica, a fim de detectar quaisquer anormalidades que possam contribuir ou causar a ruptura dos mesmos (RTP-03, 2002).

De acordo com a NR18 (2018) os cabos de aço que “realizam a sustentação do pilão devem ter comprimento para que haja, em qualquer posição de trabalho, um mínimo de 6 (seis) voltas sobre o tambor”.

Quando a operação do bate-estaca ocorre próximo a redes de energia elétrica, existe o risco de ruptura de cabos elétricos ou de telefonia, nesta situação a RTP-03 (2002) propõe como medida preventiva que, “o responsável pela segurança na operação deve solicitar orientação técnica da concessionária local quanto aos procedimentos operacionais e de segurança a serem seguidos”.

Existe o risco de queda do pilão, a fim de evitar a exposição ao risco a RTP-03 (2002) recomenda que “quando o bate-estacas não estiver em operação, o pilão deve permanecer em repouso sobre o solo ou no fim da guia do seu curso” (conforme figura 15) e, que “na operação de içamento do pilão, deverá ser observada frequentemente a integridade do limitador de curso, a fim de garantir a não ultrapassagem do limite de içamento”.

Figura 15 – Pilão em Repouso



Fonte: RTP-03 (2002).

Para minimizar o risco de queda da torre do bate-estacas, o trabalhador deverá obrigatoriamente, utilizar o cinturão de segurança com talabarte, ancorado em estrutura independente (RTP-03, 2002).

Com relação a qualificação e capacitação dos empregados envolvidos, a NR18 (2018) informa que “o operador de bate-estacas deve ser qualificado e ter sua equipe treinada”.

Orienta também sobre o ruído a qual os trabalhadores estão expostos e estabelece que os mesmos devem ser protegidos por meio de medidas de proteção coletiva e/ou de equipamentos de proteção auditiva individual (RTP-03, 2002).

É necessário que antes do posicionamento da estaca no bate-estaca esta deve ser devidamente inspecionada, a fim de verificar se existem falhas internas as quais não podem ser vistas a olho nu. Fato esse que pode causar a quebra da mesma e seus pedaços podem atingir os empregados situados no entorno, podendo causar graves acidentes (SOUSA, 2013).

Segundo Sousa (2013) “os trabalhadores que estão auxiliando o operador na execução da fundação, devem manter-se afastados a uma distância apropriada e segura da estaca durante o processo de cravação”.

Outro risco muito comum neste processo está na emenda da estaca. Na execução da tarefa é de suma importância total atenção e comunicação da equipe, pois, segundo Sousa (2013) “o ajudante pode ter dedos da mão presos entre a luva e a estaca ou até o operador soltar o martelo no momento errado, arriscando causar graves consequências ao trabalhador que pode perder dedos ou até mesmo a mão”.

Para resguardar a integridade física de pessoas que não conhecem os riscos das atividades, a NR18 (2018) proíbe “o acesso de pessoas não-autorizadas às áreas de escavação e cravação de estacas”.

### 4.3 Estacas escavadas

De acordo com a NBR 6122 (2010) estacas escavadas é um “tipo de fundação profunda executada por escavação mecânica, com uso ou não de lama bentonítica, de revestimento total ou parcial, e posterior concretagem”.

Neste subitem será realizada a revisão bibliográfica dos riscos das estacas escavadas, atentando para o fato que as máquinas utilizadas em alguns processos são diferentes. As estacas estudadas são: de concreto moldada *in loco*, *Strauss*, *Franki*, raiz, hélice contínua, escavada mecanicamente e barrete.

De acordo com NR18 (2018) “a operação de máquinas e equipamentos que exponham o operador ou terceiros a riscos só pode ser feita por trabalhador qualificado” e “devem proteger adequadamente o operador contra a incidência de raios solares e intempéries”.

A fim de garantir que somente operadores qualificados operem as máquinas a NR18 (2018) estabelece que “toda máquina deve possuir dispositivo de bloqueio para impedir seu acionamento por pessoa não autorizada”.

Toda máquina necessita de manutenção, seja esta preventiva ou corretiva. A fim de regulamentar a necessidade a NR18 (2018) determina que:

As máquinas, equipamentos e ferramentas devem ser submetidos à inspeção e manutenção de acordo com as normas técnicas oficiais vigentes, dispensando-se especial atenção a freios, mecanismos de direção, cabos de tração e suspensão, sistema elétrico e outros dispositivos de segurança.

Existem casos que a escavação é realizada, mas não é concretada posteriormente, para evitar o risco de queda de trabalhadores a RTP-03 (2002) regulamenta que “locais de cravação ou concretagem de estacas devem ser imediatamente protegidos e sinalizados, para evitar riscos quedas”.

Existem riscos e medidas de controle que são específicos de uma determinada estaca escavada, como é o caso da hélice contínua, onde o principal risco no processo refere-se ao possível desprendimento de solo residual preso na hélice.

Considerando que o solo se desprenda há uma altura considerável, a queda livre provoca uma aceleração que causa um impacto significativo. O mesmo pode cair em cima do trabalhador podendo feri-lo e até mesmo matá-lo (SOUSA, 2013).

Segundo Sousa (2013) existem duas formas de mitigar o risco de queda deste material sob os empregados:

A primeira é o próprio operário cuidar para que a hélice mantenha-se sempre limpa, retirando todo solo que nela fica depositada enquanto a hélice é retirada do solo; A segunda seria criar um dispositivo que fosse fixado no equipamento, o qual seguiria fazendo esse mesmo trabalho de limpeza da hélice, porém de forma automatizada.

Outra medida de controle importante e que os trabalhadores envolvidos no processo de concretagem fiquem atentos na extensão do mangote, verificando constantemente se o concreto está fluindo do caminhão betoneira para o furo, a fim de evitar o entupimento, que pode resultar na explosão do mangote (SOUSA, 2013).

Com relação ao acesso de pessoas no local da escavação da estaca, a NR 18 (2018) estabelece que “é proibido o acesso de pessoas não autorizadas às áreas de escavação e cravação de estacas”.

## 5 ANÁLISE COMPARATIVA DE RISCOS EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Neste capítulo serão analisados os riscos contidos na execução de fundações profundas. Será elaborada uma tabela comparativa dos riscos contidos no processo de execução de cada tipo de fundação profunda citada neste capítulo, com as seguintes fundações: tubulão ar comprimido; estaca à percussão de aço e, estaca de concreto moldada *in loco* Hélice contínua.

A escolha dos tipos acima apresentados se deu a particularidades dos elementos de fundações.

- Tubulão ar comprimido: sua escolha foi devida ao alto índice de riscos ao trabalhador, que encontra na sua execução.

- Estaca à percussão de aço: estaca à percussão foi escolhida por ser um dos métodos mais utilizado em fundações profundas, pois esse tipo de solução pode ser a única alternativa viável em determinados tipos de solos. Esse tipo de fundação é indicado para solos onde existam matacões, restos de outras fundações, entulhos de obras enterrados, etc.

- Estaca de concreto moldada *in loco* Hélice contínua: Devido o seu grande aceitação no mercado, visto que se tem uma alta produtividade, e são ótimas para cravação onde se tem edificações vizinhas, já que se tem um baixo índice de ruído e vibração.

Serão apresentados, posteriormente, os métodos executivos das fundações eleitas, com o objetivo de apresentar os riscos operacionais.

### 5.1 Execução de tubulão ar comprimido

Os tubulões ar comprimido são realizados onde se tem o nível do lençol freático (NA) muito elevado. Outro motivo que possa justificar a sua utilização, são obras com cargas altas, como viadutos e pontes. Assim, podendo ser adaptado dois métodos, que são o método Clássico, com elemento de concreto moldado *in loco* ou o equipamento Benotto, com camisa de aço (AZEREDO, 1997; MARANGON, 2018).

Após a demarcação do eixo central do tubulão é realizada a escavação do poço primário, onde se realiza a escavação de um poço mais largo que o revestimento que será utilizado. Em seguida, ocorrerá a colocação da camisa de

concreto ou aço, onde o funcionário vai entrar em seu interior e começar a escavação, de acordo que o operário for escavando a camisa vai descendo por peso próprio.

Essa escavação vai prosseguir até o momento em que a camisa de concreto esteja no nível do terreno, assim dando início à outra camisa de concreto. Para que haja uma boa união entre uma camisa e outra, devem ser deixadas pontas de aço para que se possa dar continuidade na armação da próxima camisa (AZEREDO, 1997; FATEC-SP, 2014).

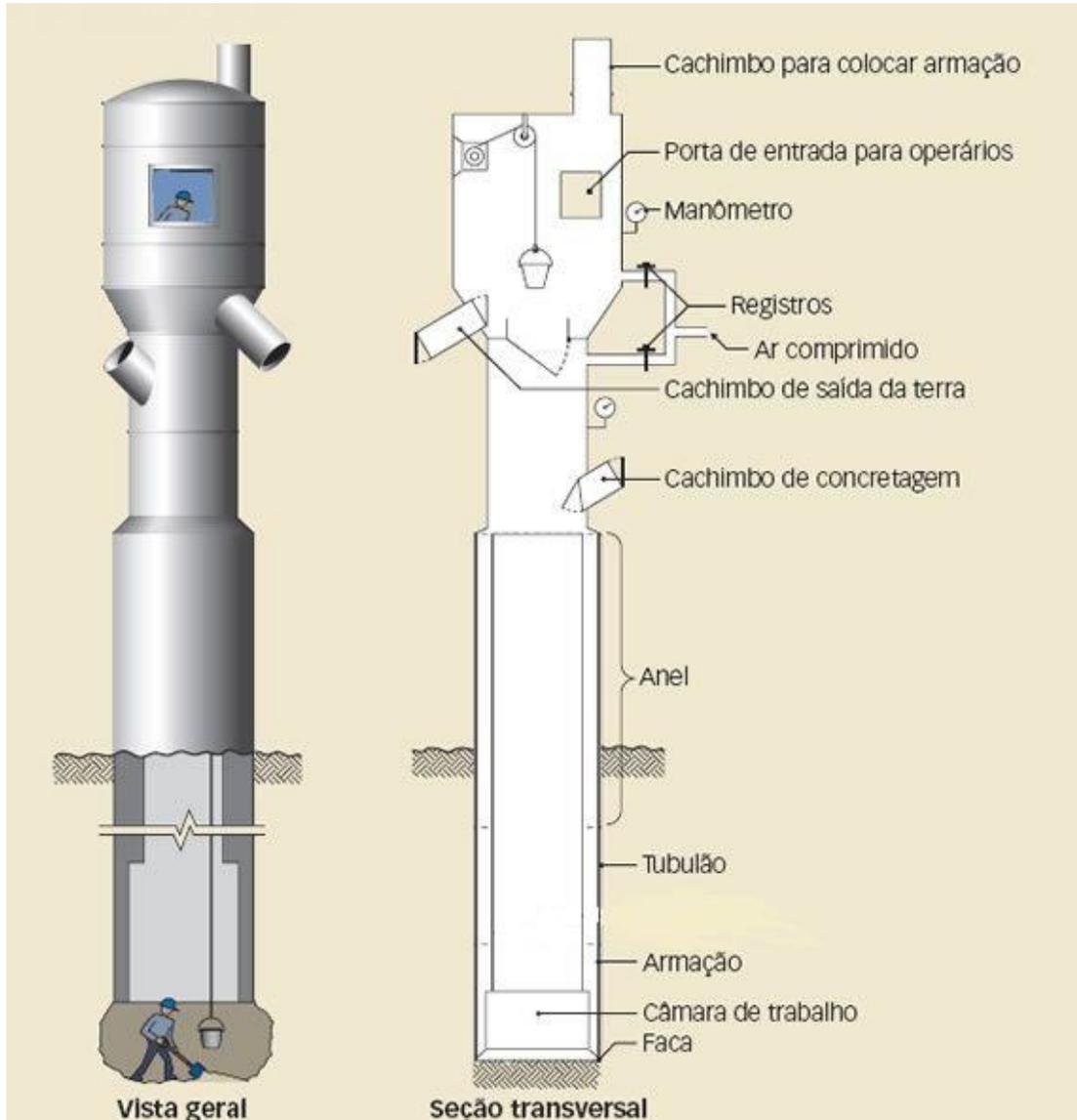
A escavação do tubulão pode ocorrer como se fosse a céu aberto até o momento em que se encontrar água. Após encontrar o nível da água, essa escavação só vai prosseguir com o auxílio de bombas que terá por finalidade drenar a água que se encontra no fundo do poço. Quando isso não for mais possível, será realizada a instalação da campânula, ela deve ser içada através de um caminhão *munck* ou guindaste até que atinja o topo da camisa de concreto ou aço.

Ao se aproximar da camisa deve haver dois funcionários para que auxiliem no encaixe, que será realizado no topo da camisa. Após ela ser encaixada deve-se fazer a sua ancoragem e fixação, a qual é necessária devido à pressão que ocorrerá no interior do tubulão e da campânula. Se ela não for ancorada ela pode ser arremessada ou sair do seu encaixe devido a alta pressão que se encontra no seu interior (AZEREDO, 1997).

Após a instalação completa da campânula e sua fixação pode realizar a instalação do equipamento responsável por comprimir a campânula e o fuste, que na situação em questão são os compressores de ar, reservatório de ar e filtros de lã e carvão ativado, assim impedindo que a água entre no local de trabalho. Com o tubulão comprimido, inicia-se o revezamento dos empregados, dando início as escavações.

A entrada e saída dos funcionários e a retirada do material que é escavado deve ser realizada sem que se haja perda de pressão, conforme representado na figura 16. Para que não ocorra essa perda, temos a campânula onde ocorre a compressão e descompressão dos funcionários e para a retirada do material tem-se o cachimbo com essa finalidade (AZEREDO, 1997).

Figura 16 – Método operacional do tubulão ar comprimido



Fonte: Infraestrutura Urbana (2012)<sup>12</sup>.

A escavação deve ser realizada com três funcionários: o primeiro que se encontra no fundo do fuste responsável pela escavação e pelo enchimento do balde com o solo escavado. Para que ele chegue ao fundo do fuste faz uso de uma escada que se encontra acoplada a campânula. Deve haver também uma iluminação com proteção, para que se tenha uma boa visibilidade do ambiente de trabalho, suas ferramentas são adaptadas com cabos mais curtos para facilitar o seu manuseio. Após ele ter escavado uma quantia de solo ele coloca no tambor que logo em seguida será puxado até a campânula. O levantamento deste tambor com solo

<sup>12</sup> Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/20/artigo271662-3.aspx>>. Acesso em: 11 out. 2018

ocorre, por sua vez, em cima do trabalhador que se encontra no fundo do fuste, visto que ele se encontra em um trabalho de espaço confinado, este trabalho representa vários riscos ao funcionário que no ambiente se encontra, no quadro 5 será representado os riscos que ali representa para o funcionário que no local se encontra e quais os métodos para evita-los (DER-SP, 2006).

O segundo funcionário se encontra na campânula que fica responsável pelo controle do guincho e pela abertura das escotilhas internas. Ao ocorrer a chegada do tambor com solo o funcionário realizará a atividade de levar o tambor com solo até a escotilha onde ele a abrirá, em seguida, ele realizará o descarte deste solo dentro do cachimbo. Feito este procedimento ele poderá fechar a escotilha e realizar contato com o terceiro operário que, por sua vez, se encontra do lado externo da campânula.

A comunicação entre os dois será realizada através de um código Morse adotado entre os dois. O funcionário que se encontra na campânula deve levar o tambor até o fuste, sempre tomando as precauções adequadas para que não ocorra a sua queda no fuste que ali se encontra. Antes de se realizar a descida do tambor, ele deve se comunicar com o funcionário que se encontra no fundo do fuste, para que possa saber que a algum objeto está descendo e prevenir para que não bata nele. Realizada essa comunicação, o segundo operário pode realizar a descida do tambor, e assim se realiza o processo continuamente (AZEREDO, 1997).

A armadura também deve ser colocada sem que se haja perda de compressão, para que isso não ocorra as ferragens são cortadas do lado externo da campânula e serão introduzidas na campânula através de um cachimbo específico para a inserção de armações, isso ocorrerá da mesma forma da retirada do solo escavado só que no sentido inverso. A armadura do núcleo do tubulão deve ser executada de maneira a garantir a sua forma, rigidez e se precaver para que não ocorram deformações durante a concretagem. A armadura que será montada na base alargada do tubulão será realizada de modo que se tenha uma concretagem homogênea da base. Na execução da armação vertical no fuste deve-se evitar que ocorram espaçamentos a curto espaço, visto que possam evitar que o concreto passe assim causando irregularidades indesejáveis no tubulão. A atenção deve ser tomada no decorrer da concretagem para que se tenha o cobrimento desejado do aço (ABNT, 2010; DER-SP, 2006).

Ao se realizar a montagem da armadura conforme especificado em projeto e demonstrado anteriormente, segue-se para a parte de concretagem. O concreto

deve ser lançado através do cachimbo que se encontra na campânula, enquanto o concreto está sendo lançado no interior do tubulão, os operários devem ficar na campânula, assim que se forma um lastro de concreto no fundo do tubulão, um dos operários descem para que se realize o adensamento do concreto e assim o processo se repete até que esteja concretado até o nível do terreno, assim os funcionários devem ser descomprimidos para que possam sair e assim ocorra a retirada dos equipamentos e da campânula (AZEREDO, 1997).

Dentre as atividades acima, vários riscos são apresentados aos funcionários que no local se encontra trabalhando, o quadro 4 representa os riscos e as medidas preventivas que vem ser tomadas para que sejam evitados.

Quadro 4 - Análise de risco na execução de tubulão ar comprimido

Riscos	Medidas de Controle
Soterramento	1. Realizar a escavação e descer a camisa a cada um 1 metro.
Esmagamento	1. Antes de iniciar a abertura da base, realizar o cimbramento da camisa; 2. Ancorar as esperas de aço; 3. Manter constante comunicação com os demais envolvidos na atividade.
Desprendimento da campânula	1. Realizar a conexão da campânula a camisa, de forma eficaz; 2. Inspeccionar a fixação da campânula (Supervisor de Campânula).
Doenças descompressivas	1. Realizar a compressão e descompressão de acordo com as informações previstas nas tabelas do Anexo II; 2. Realizar capacitação dos empregados envolvidos na atividade; 3. Orientar os empregados quanto aos riscos da atividade.
Descompressão acidental	1. Verificar a vedação da campânula; 2. Capacitação continuada dos operadores de campânula; 3. Manutenção preventiva nos manômetros.
Inalação de ar contaminado	1. Manutenção no sistema de ar comprimido e filtros. 2 Verificação do sistema de ar antes do início da atividade.
Trabalho em locais umidos	1. Utilizar vestimenta para proteção do tronco e calçado contra umidade proveniente do tubulão. .
Queda de materiais	1. Manter constante comunicação com os demais envolvidos na atividade, na hora de subir e descer o balde com a terra escavada.
Queda com diferença de nível	1. Utilizar cinturão de segurança atracado a ponto independente; 2. Utilizar sempre 3 pontos de apoio para descer as escadas.
Falta de oxigênio	1. Elaborar APR; 2. Realizar o preenchimento da PET; 3. Realizar a avaliação atmosférica, com detector multigases antes de realizar o acesso ao tubulão. 4. Realizar monitoramento atmosférico constante. 5. Comunicar quaisquer anormalidades ao supervisor de entrada.
Excesso de Oxigênio	1. Elaborar APR; 2. Realizar o preenchimento da PET; 3. Realizar a avaliação atmosférica, com detector multigases antes de realizar o acesso ao tubulão. 4. Realizar monitoramento atmosférico constante. 5. Comunicar quaisquer anormalidades ao supervisor de entrada.
Intoxicação por gases	1. Elaborar APR; 2. Realizar o preenchimento da PET; 3. Realizar a avaliação atmosférica, com detector multigases antes de realizar o acesso ao tubulão. 4. Realizar monitoramento atmosférico constante. 5. Comunicar quaisquer anormalidades ao supervisor de entrada.
Perda de membros	1. Manter constante comunicação com os demais envolvidos na atividade, principalmente na hora de realizar a descida da camisa. 2. Realizar a descida da camisa em seções.
Afogamento	1. Manter a pressão constante, a fim de afastar a água. 2. Acompanhamento constante do supervisor de campânula.
Choque elétrico	1. Solicitar orientação da concessionária, quanto aos procedimentos que devem ser seguidos em caso de movimentação do caminhão munk próximo a rede elétrica (posicionamento da campânula).
Exposição a raios solares	1. Aplicação de protetor solar, de acordo com a orientação do fabricante.
Temperaturas elevadas	1. Realizar o resfriamento do ar comprimido.

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

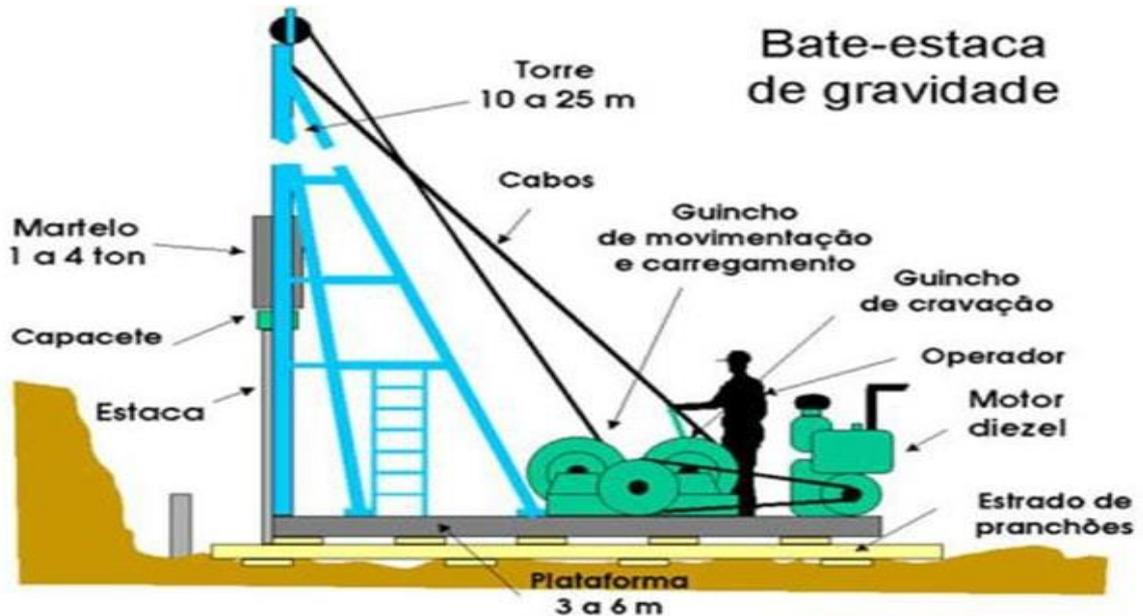
## 5.2 Execução de estacas de aço

São estacas pré-fabricadas em siderúrgicas, assim tendo uma alta variedade de tamanhos. As estacas em aço se caracterizam também por ter uma alta resistência à compressão (AZEREDO, 1997).

Sua execução é realizada através de bate-estaca de queda livre, onde o mesmo será posicionado com a auxílio de funcionários, deve-se ter pranchões para que se encontra mais facilidade de seus movimentos, já que ele é um equipamento que se movimenta em cima de rolos de aço, esse movimento é realizado através do próprio guincho que nele se encontra acoplado. Será utilizada uma alavanca para que possa ser realizado a rotação do cano de aço, será necessário um funcionário para que possa realizar a alternância da alavanca e um operador para o controle do guincho, assim que realizado a sua locação, deve ser realizado o levantamento da estaca que será realizado através do mesmo guincho que realiza o seu deslocamento conforme representado na figura 17.

Assim que a estaca esteja erguida o operário deve travar o rolo do guincho para que um funcionário coloque a estaca aprumada na torre, enquanto outro funcionário suba na torre para realizar o encaixe do chapéu na cabeça da estaca. Esse chapéu tem a finalidade de distribuir as cargas do martelo uniformemente na estaca. O material que consiste em o chapéu, pode ser de aço ou madeira, ele também tem a finalidade de evitar que a estaca saia do aprumo que a torre se encontra. Após essa etapa o operador dá uma pancada na estaca com o martelo, assim, em seguida, destravando o rolo do guincho para que a estaca possa ser desamarrada e assim começando a cravação. Sua cravação é realizada até que haja a nega ou que se realize a cravação até a profundidade designada por projeto (AZEREDO, 1997; MARANGON, 2018).

Figura 17 – Esquemático Bate-estaca



Fonte: Escola Engenharia (2017)<sup>13</sup>.

Se o perfil metálico chegar ao nível do terreno e ainda for necessário à sua cravação por não ter atingido a profundidade e resistência desejada, deve ser realizada a junção de outro perfil metálico em seu topo para que se possa prosseguir com a cravação até a cota determinada. Essa emenda será realizada com o levantamento de um perfil metálico pelo guincho, deve-se verificar se o perfil metálico foi bem fixado para que não ocorra o risco dele se soltar e ferir os funcionários que ali se encontra.

Depois de erguida ela deve ser posicionada em cima da outra com os devidos cuidados para que não ocorra a prensagem de membros do funcionário que a posicionam, tais riscos que na execução desta fundação se encontra será apresentado no quadro 5, também mostrará as medidas que devem ser tomadas para que os mesmos sejam evitados, realizado esse posicionamento, poderá ser realizada a soldagem entre os dois perfis, nessa emenda deve se realizar a colocação de duas cobres juntas, onde podem ser dois pedaços de chapa de aço, que serão soldados em cima da emenda conforme ilustrado na figura 18, logo em seguida a soldagem realizada pode-se continuar a cravação, até que se atinja a profundidade adequada (AZEREDO, 1997; MARANGON, 2018).

<sup>13</sup> Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/bate-estaca/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

Figura 18 – Emenda de Perfil Metálico



Fonte: <<http://80porcentoengenheiros.blogspot.com/2012/06/estacas-metalicas.html>><sup>14</sup>

Quadro 5- Análise de risco na execução da estaca de aço

Riscos	Medidas de Controle
Exposição a raios solares	1. Aplicação de protetor solar, de acordo com a orientação do fabricante.
Tombamento do Bate-estaca	1. Realizar uma inspeção preliminar no local, com intuito de verificar o nivelamento; 2. Verificar se o solo suporta a carga do bate-estaca.
Queda do Pilão	1. Deixar o pilão em repouso sobre o solo quando o bate-estacas não estiver em operação;
Queda de materiais	1. Realizar inspeção no equipamento antes de iniciar a operação, a fim de identificar se existe algum dispositivo solto; 2. Posicionar a estaca corretamente;
Rompimento do cabo de aço	1. Realizar inspeção preventiva periódica nos cabo de aço. 2. Inspeccionar a integridade do limitador de curso.
Choque Elétrico	1. Solicitar orientação da concessionária, quanto aos procedimentos que devem ser seguidos em caso de atividades próximas da rede elétrica.
Perda de membros	1. Delimitar uma distancia de segurança enquanto o bate-estaca esta em operação.
Perda auditiva	1. Utilizar protetor auditivo
Queda com diferença de nível	1. Utilizar cinturão de segurança com talabarte atacadado a estrutura independente do bate-estaca.

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

### 5.3 Execução de estaca hélice contínua

Estaca moldada *in loco* Hélice Contínua, é executada através de um trado contínuo, onde ocorre a injeção de concreto simultaneamente a sua retirada (MARANGON, 2018).

O método executivo consiste primeiramente na locação do centro do pilar, realizado essa etapa deve-se posicionar o equipamento de perfuração no local

demarcado, este equipamento deve ser posicionado com o auxílio de um funcionário que ajudará o operador a posicionar a hélice corretamente no local demarcado anteriormente, podendo então iniciar a perfuração aplicando-se um torque na hélice que será capaz de penetrar o solo que se encontra no local da fundação.

A broca de perfuração consiste em um trado helicoidal contínuo, ou seja, a broca consiste de um tubo central onde se encontra do lado exterior uma hélice espiral solidarizada, na parte inferior da broca é acoplada dentes com a finalidade de ajudar na penetração do solo. Seu método de perfuração pode ser realizado mesmo que seja abaixo do nível do lençol freático, também permitindo a perfuração de solos coesivos e arenosos (MARANGON, 2018; ABNT, 2010).

Durante a perfuração tem a necessidade de um operador que se encontra no interior da máquina. Do lado externo se encontra dois funcionários com a finalidade de remover o solo que vai se acumulando no decorrer da perfuração. A terra removida será retirada com o auxílio de uma máquina carregadeira e levado para o local que já foi destinado a ele.

No decorrer desta retirada, os funcionários devem se precaver para que não haja o perigo da máquina que remova o solo os machucarem, tais riscos serão demonstrados de forma clara no quadro 6 (MARANGON, 2018; ABNT, 2010).

Após se atingir a profundidade desejada que foi definida em projeto, deve-se realizar a concretagem. Essa concretagem procederá da seguinte forma, de acordo que a estaca for sendo removida sem que se haja a rotação dela no sentido contrário, ou ocorra rotação, mas uma rotação lenta no mesmo sentido da perfuração, neste mesmo instante que a estaca esteja sendo retirada já será injetado o concreto através da parte central da hélice. O concreto será bombeado até a parte superior da hélice, onde descera até o fundo do fuste, conforme representado na figura 19. Na ponta da broca teremos um tampão que se encontra somente encaixado na hélice, ele será removido apenas com a pressão do concreto, visto que sua finalidade é não permitir que ocorra a entrada do solo no interior da hélice, ocasionando o seu entupimento e fazendo com que o concreto não consiga passar. No momento dessa retirada da hélice deve se encontrar dois funcionários que exerçam a função de retirar o solo que fica na parte helicoidal da broca, esse solo que se encontra na hélice deve ser retirado tomando a devida precaução para

que não fiquem solos e detritos de rocha nele, caso isso ocorra poderá ocorrer queda de material escavado nos funcionários que ali se encontram, esses riscos também serão abordados no quadro 6 (MARANGON, 2018; ABNT NBR 6122, 2010).

Quadro 6 - Análise de risco na execução da estaca hélice contínua

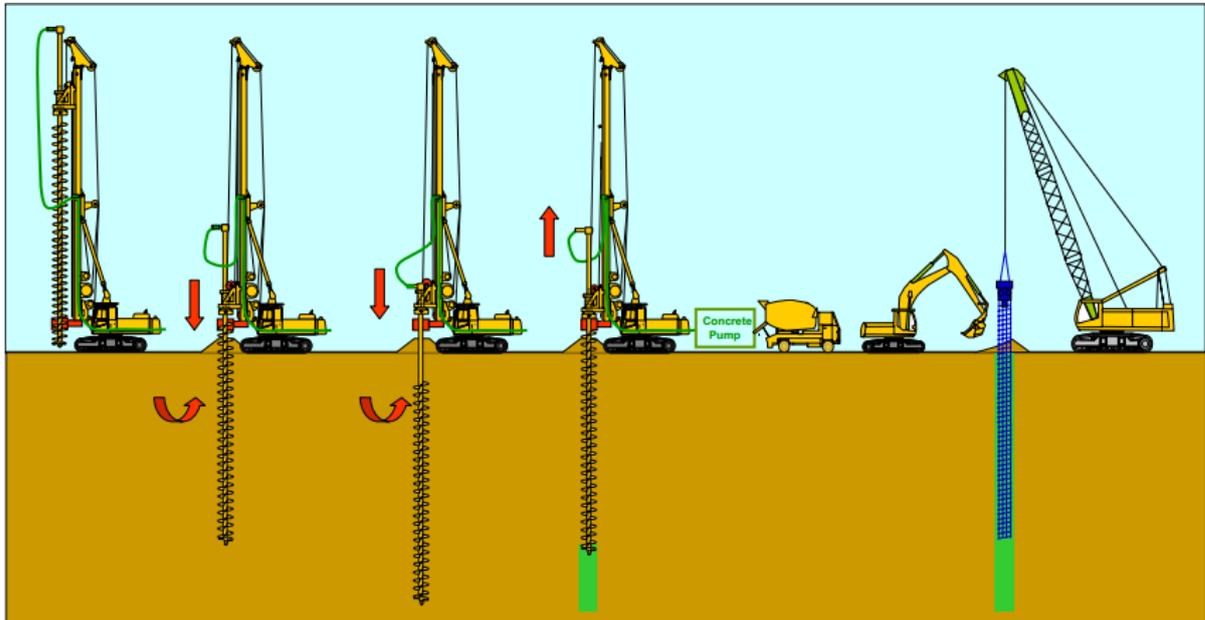
Riscos	Medidas de Controle
Exposição a raios solares	1. Aplicação de protetor solar, de acordo com a orientação do fabricante.
Queda com diferença de nível	1. Sinalizar os locais com risco de queda; 2. Realizar o isolamento do local; 3. Cobrir com material resistente, os locais escavados. 4. . (Quando não for possível, retirar todo solo residual com a hélice no chão.) Implantar dispositivo de prevenção de quedas, com ponto de ancoragem independente para realizar o acesso;
Queda de materiais	1. Realizar a limpeza da hélice retirando todo solo que nela fica depositada enquanto a hélice é retirada do solo;
Atropelamento	1. Manter a distância no momento em que a máquina estiver em movimento;
Perda auditiva	1. Utilizar protetor auditivo

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Ao término da concretagem, deve-se inserir a ferragem em formato de gaiola. A sua extremidade inferior deve se encontrar mais afunilada para facilitar na sua penetração no concreto. Essa armadura deve ser içada é introduzida por gravidade, conforme representado na figura 19, quando isso não for mais possível dois operários vão auxiliar na descida dessa armadura.

Eles vão subir nos estribos que nela se encontram, fazendo que a armadura desça, quando o peso deles não forem mais suficientes. Para a penetração da armadura deve se realizar esse procedimento com o auxílio de uma máquina sendo uma escavadeira ou até mesmo a broca da hélice, também representado na figura 19 ( MARANGON, 2018; ABNT, 2010).

Figura 19 – Esquemático da estaca Hélice Contínuo



Fonte: Universidade Federal do Rio de Janeiro (2014) <sup>15</sup>.

#### 5.4 Análises

Nesta etapa será realizada uma análise quantitativa dos riscos contemplados em cada tipo de fundação profunda. A pontuação será atribuída da seguinte forma: 0 – Risco Não Aplicável, 1- Risco Pequeno, 2- Risco Médio e 3- Risco Alto. Desta forma o quadro 7, de pontuação de riscos, apresenta as seguintes notas:

<sup>15</sup> Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010413.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018.

Quadro 7 - Quadro de pontuação de riscos

Riscos	Tubulão ar comprimido	Estaca de aço	Estaca Hélice contínua
Soterramento	3	0	0
Esmagamento	3	0	0
Desprendimento da campânula	2	0	0
Doenças descompressivas	3	0	0
Descompressão acidental	2	0	0
Inalação de ar contaminado	2	0	0
Trabalho em locais umidos	1	0	0
Queda de materiais	2	1	2
Queda com diferença de nível	3	3	2
Falta de oxigênio	2	0	0
Excesso de Oxigênio	2	0	0
Intoxicação por gases	2	0	0
Afogamento	1	0	0
Temperaturas elevadas	2	0	0
Tombamento do Bate-estaca	0	1	0
Queda do Pilão	0	1	0
Rompimento do cabo de aço	0	2	0
Choque elétrico	1	2	1
Perda de membros	3	2	0
Exposição a raios solares	1	1	1
Atropelamento	0	0	1
Perda auditiva	0	1	1
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>14</b>	<b>8</b>

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Analisando isoladamente os riscos do quadro 7, foi atribuído nota igual a 3 para soterramento no tubulão ar comprimido, pois nesse tipo de fundação o empregado está constantemente exposto ao risco e notas iguais a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 3 para esmagamento, uma vez que o empregado corre o risco de morte na abertura da base e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 2 para o risco de desprendimento da campânula, em função da pressão contida dentro da mesma e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 3 para doenças descompressivas, uma vez que mesmo que a descompressão seja feita corretamente, o empregado ainda está sujeito as doenças e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 2 para descompressão acidental, em função da capacitação a qual o empregado é submetido e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 2 para inalação de ar contaminado, uma vez que a central de ar tem dois filtros e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 1 para trabalho em locais úmidos, em função do tempo de exposição e revezamento e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 2 para queda de materiais, por considerar o risco mediano já aplicando a medida de controle e nota igual a 1 para estaca de aço pelo risco de desprendimento da estaca e nota igual a 2 para estaca hélice contínua, em função do risco de queda de torrões de terra.

Nota igual a 3 para queda com diferença de nível para tubulão ar comprimido, em função do revezamento constante dos empregados, igual a 3 para estaca de aço em função do processo de execução que exige que o empregado suba acima de 2 metros para posicionar a estaca e nota igual 2 para estaca hélice contínua, uma vez que só será necessário a exposição ao risco quando não é retirado todo o resíduo da escavação no solo e para lubrificação do equipamento.

Nota igual a 2 para falta e excesso de oxigênio e intoxicação por gases, no tubulão ar comprimido por se tratarem de riscos associados a espaço confinado e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 1 para afogamento no tubulão ar comprimido em função de uma possível variação de pressão, em escavações muito próximas ao lençol freático e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 2 para temperaturas elevadas em tubulão ar comprimido, por ser um local sem entradas de ar natural e nota igual a 0 para estaca de aço e estaca hélice contínua, uma vez que o risco não é aplicável para as mesmas.

Nota igual a 0 para o risco de tombamento de bate-estacas para tubulão ar comprimido e estaca hélice contínua e nota igual a 1 para estaca de aço em função da possibilidade do acidente.

Nota igual a 0 para o risco de queda do pilão para tubulão ar comprimido e estaca hélice contínua e nota igual a 1 para estaca de aço, em função de ser consequência da não mitigação do risco de rompimento do cabo de aço.

Nota igual a 0 para o risco de rompimento do cabo de aço para tubulão ar comprimido e estaca hélice contínua e nota igual a 2 para estaca de aço, em função de uma possível falta de manutenção.

Nota igual a 1 para o risco de choque elétrico para tubulão ar comprimido, em função da execução da tarefa de posicionamento da campânula pelo caminhão *munck*, que pode ocorrer próximo a uma rede elétrica, e nota igual a 2 para estaca de aço e nota igual a 1 para estaca hélice contínua, em função de uma possível atividade próximo a rede elétrica.

Nota igual a 3 para perda de membros em tubulão ar comprimido, em função da escavação manual, nota igual a 2 para estaca de aço em função do possível pensamento dos membros superiores e nota igual a 0 para estaca hélice contínua pela inexistência do risco.

Nota igual a 1 para tubulão ar comprimido, estaca de aço e estaca hélice contínua, em função da exposição a raios solares.

Nota igual a 1 para o risco de atropelamento, para o caso de o empregado se posicionar próximo a máquina e nota igual a 0 para tubulão ar comprimido e estaca de aço por não existir o risco.

Nota igual a 1 para o risco de perda auditiva para estaca de aço e estaca hélice contínua, em função da identificação do risco e nota igual a 0 para tubulão ar comprimido, por não localização do referencial teórico deste risco.

Analisando os resultados do quadro 7 percebe-se que a execução do tubulão em ar comprimido atinge uma nota peso de 35, a estaca de aço atinge uma nota peso de 14, e na sequência a estaca hélice contínua atinge uma nota peso de 8. O quadro em questão como já mencionado anteriormente, realiza o resumo dos riscos contidos na execução de cada modalidade de fundação profunda. Nota-se que o tubulão em ar comprimido atingiu uma pontuação de quase três vezes a pontuação da estaca de aço e que essa atingiu uma pontuação de quase duas vezes a pontuação da estaca hélice contínua.

Observa-se que o tubulão em ar comprimido apresenta uma pontuação elevada em relação às outras fundações objeto deste estudo, principalmente em função dos perigos aos quais os trabalhadores estão expostos, sendo os principais

espaços confinado e pressões anormais, estes oriundos apenas da modalidade de fundação supracitada, acrescido de outros riscos também presentes nas outras modalidades. Em função das medidas de controle apresentados e resultados obtidos, acredita-se que o tubulão em ar comprimido é a fundação profunda que mais apresenta riscos ao trabalhador, não apenas pela pontuação elevada encontrada neste comparativo, como também por apresentar um risco físico, trabalho em condições hiperbáricas, que concede o direito ao empregado a receber o adicional de insalubridade em seu grau máximo, já estabelecido em norma regulamentadora.

Desta forma, entende-se também que o quadro 7, pode apresentar variações na nota peso, em função dos riscos que não foram analisados, citados nas considerações finais, mas mesmo sem a análise desses riscos, ainda se acredita que o tubulão ar comprimido é a modalidade de fundação profunda que possui mais riscos a saúde e segurança ao trabalhador.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu um quadro sobre os riscos na execução de fundações profundas, caracterizando e pontuando quais riscos são contemplados em cada método de trabalho adotado. Analisando o quadro, fruto deste estudo, é possível que o leitor visualize qual tipo de fundação profunda traz mais risco em sua execução e, a partir desta análise, tente trazer novas tecnologias e conhecimentos sobre segurança para seus funcionários não correrem esses riscos.

Infelizmente em função dos prazos estabelecidos, não foi possível analisar todos os riscos do processo executivo do tubulão em ar comprimido, bem como das estacas de aço e hélice contínua, sendo analisados apenas os principais.

Sendo alguns até identificados, mas não analisados, como por exemplo, o risco de ruído, risco biológico (proveniente de águas contaminadas), riscos ligados ao manuseio de explosivos, a vibração proveniente da utilização de marteletes e motores, manuseio de produtos químicos (cal e graxa), presente também na execução da estaca hélice contínua e a ergonomia dos trabalhadores na atividade de tubulão em ar comprimido, estaca de aço e estaca hélice contínua.

Desta forma, entende-se que o quadro 7 (ver item 5.4) pode apresentar variações na nota peso, em função dos riscos que não foram analisados, ficando uma oportunidade de melhoria e um possível tema para próximos trabalhos.

Contudo, a análise dos riscos acima citados, ainda se acredita que o tubulão ar comprimido é a modalidade de fundação profunda que possui mais riscos à saúde e segurança ao trabalhador.

Considerou-se que o presente trabalho foi desenvolvido com a finalidade de demonstrar ao leitor que práticas exercidas na execução de fundações profundas podem trazer riscos ao seu empregado.

Neste sentido, tomando como principal risco a execução do tubulão ar comprimido, uma vez que apresentado no quadro 4 (ver item 5.1), sua nota de riscos foi a mais elevada em comparação com as outras fundações analisadas no quadro 7 (ver item 5.4).

Assim ao executar fundações profundas, deve-se analisar os riscos contidos nas mesmas antes de sua execução. Contudo é interessante levar e propor mais segurança aos empregados que irão participar destas atividades de execução.

## REFERÊNCIAS

[ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-G00-021\\_A.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-G00-021_A.pdf)

Apostila do departamento de estradas e rodagem

<http://187.17.2.135/orse/esp/ES00057.pdf>

Apostila **CEHOP**

ALONSO, U.R. **Exercícios de fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

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

AZEREDO, H.A. **O edifício até a sua cobertura**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.

BRASIL. Consolidação das leis do trabalho. Decreto-lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. Aprova a consolidação das leis do trabalho. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Decreto-Lei/Del5452.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del5452.htm)>. Acesso em: 11 out. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO). **Recomendação técnica de procedimentos**: escavações, fundações e desmonte de rochas. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/recomendacao-tecnica-de-procedimento/publicacao/detalhe/2012/9/rtp-03-escavacoes-fundacoes-e-desmonte-de-rochas>>. Acesso em: 11 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 06** - Equipamento de proteção individual – EPI, 2017. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/nr-06-atualizada-2018.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15** - Atividades e operações insalubres. Brasília, Ministério do Trabalho e Emprego, 2014. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR-15.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18** - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Brasília, Ministério do Trabalho e Emprego, 2018. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR18/NR-18.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 33** - Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados. Brasília, Ministério do Trabalho e Emprego, 2012.

Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR33.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 35** - Trabalho em altura. Brasília, Ministério do Trabalho e Emprego, 2016. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR35.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2018.

GARCIA, Sergio Augusto Letizia.; KULCSAR NETO, Francisco. **Guia técnico NR-33: segurança e saúde no trabalho em espaços confinado**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/publicacoes-e-manuais/item/283-guia-tecnico-da-nr-33>>. Acesso em: 13 out. 2018.

HACHICH, Waldemar et al. **Fundações: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1998.

MARANGON, M. **Geotecnia de fundações**. Juiz de Fora: UFJF, 2018. Apostila do Curso de Geotecnia de Fundações e Obras de terra da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018.

NAGANO, M.F.; PEINADO, Hugo Sefrian; DE ANGELIS NETO, G. Avaliação de riscos em obras de infraestrutura urbana nas etapas de contenção, fundação e escavação. In: **III Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**, 2012, Maringá. Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Maringá: UEM/PEU/DEC, 2012. v. 1. p. 1-11.

PROTEÇÃO. **Pesquisa revela desconhecimento de segurança para trabalho em ambientes pressurizados**. Disponível em: <[http://www.protecao.com.br/noticias/leia\\_na\\_edicao\\_do\\_mes/pesquisa\\_revela\\_desconhecimen-to\\_de\\_seguranca\\_para\\_trabalho\\_em\\_ambientes\\_pressurizados\\_/Any5AAja/12494](http://www.protecao.com.br/noticias/leia_na_edicao_do_mes/pesquisa_revela_desconhecimen-to_de_seguranca_para_trabalho_em_ambientes_pressurizados_/Any5AAja/12494)>. Acesso em: 11 set. 2018.

SOUSA, Marina Peruzzo de. Diagnóstico quanto à segurança do trabalho na execução de fundações. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

VELLOSO, D. d., & LOPES, F. D. **Fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

VIANA, V. et al. **Fundações profundas: tubulões a céu aberto e a ar comprimido**. São Paulo, 2014. Apostila do Curso de Edifícios da Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC-SP. Disponível em: <<http://edificios.eng.br/TUBULOES%20seg%20sem%202014.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2018.

## ANEXOS

## ANEXO A – TABELAS DE DESCOMPRESSÃO

### Pressão de Trabalho de 0 a 0,900 kgf/cm<sup>2</sup>

PERÍODO DE TRABALHO (HORAS)	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO	TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO
	0,3 kgf/cm <sup>2</sup>	
0 a 6:00	4 min.	7 min.
6 a 8:00	14 min.	17 min.
+ de 8:00**	30 min.	33 min.

Notas:

A velocidade de descompressão entre os estágios não deverá exceder a 0,3 kgf/cm<sup>2</sup> por minuto;

\* incluído tempo de descompressão entre os estágios;

\*\* somente em casos excepcionais, não podendo ultrapassar 12 horas.

### Período de trabalho de ½ a 1 hora

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*									TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
1,0 a 1,2										-
1,2 a 1,4										-
1,4 a 1,6									5	5
1,6 a 1,8									10	10
1,8 a 2,0								5	15	20

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

### Período de trabalho de 1h a 1 ½ hora

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*									TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
1,0 a 1,2										-
1,2 a 1,4									5	5
1,4 a 1,6									10	10
1,6 a 1,8								5	15	20
1,8 a 2,0								5	20	35

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

### Período de trabalho de 1h 30 min. a 2 horas

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*									TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
1,0 a 1,2									5	5
1,2 a 1,4									10	10
1,4 a 1,6								5	20	25
1,6 a 1,8								10	30	40
1,8 a 2,0							5	15	35	55

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

### Período de trabalho de 2h a 2h 30 min.

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*									TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
1,0 a 1,2									5	5
1,2 a 1,4									20	20
1,4 a 1,6								5	30	35
1,6 a 1,8								15	40	55
1,8 a 2,0							5	25	40	70

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

### Período de trabalho de 2½ a 3 horas

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*									TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
1,0 a 1,2									10	10
1,2 a 1,4								5	20	25
1,4 a 1,6								10	35	45
1,6 a 1,8							5	20	40	65
1,8 a 2,0							10	30	40	80

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

### Período de trabalho de 3 a 4 horas

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*									TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
1,0 a 1,2									15	15
1,2 a 1,4								5	30	35
1,4 a 1,6								15	40	55
1,6 a 1,8							5	25	45	75
1,8 a 2,0						5	15	30	45	95

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

### Período de trabalho de 4 a 6 horas \*\*\*\*

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*									TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
1,0 a 1,2									20	20
1,2 a 1,4								5	35	40
1,4 a 1,6							5	20	40	65
1,6 a 1,8							10	30	45	85
1,8 a 2,0						5	20	35	45	105

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

\*\*\*\* Até 8 (oito) horas para pressão de trabalho de 1,0 Kg/cm<sup>2</sup> e até 6 (seis) horas para as demais pressões.

**Período de trabalho de 0 a ½ hora.**

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*								TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
2,0 a 2,2								5	5
2,2 a 2,4								5	5
2,4 a 2,6								5	5
2,6 a 2,8								5	5
2,8 a 3,0							5	5	10
3,0 a 3,2							5	5	10
3,2 a 3,4							5	10	15

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não

superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

**Período de trabalho ½ a 1:00 hora.**

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*								TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
2,0 a 2,2							5	15	20
2,2 a 2,4							5	20	25
2,4 a 2,6							10	25	35
2,6 a 2,8						5	10	35	50
2,8 a 3,0						5	15	40	60
3,0 a 3,2					5	5	20	40	70
3,2 a 3,4					5	10	25	40	80

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

**Período de trabalho de 1 a 1 ½ hora.**

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*								TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
2,0 a 2,2						5	10	35	50
2,2 a 2,4						5	20	35	60
2,4 a 2,6						10	25	40	75
2,6 a 2,8					5	10	30	45	90
2,8 a 3,0					5	20	35	45	105
3,0 a 3,2				5	10	20	35	45	115
3,2 a 3,4				5	15	25	35	45	125

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

**Período de trabalho de 1 ½ a 2:00 horas.**

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*								TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
2,0 a 2,2						5	25	40	70
2,2 a 2,4						5	10	30	85
2,4 a 2,6						5	20	35	100
2,6 a 2,8				5	10	25	35	40	115
2,8 a 3,0				5	15	30	35	45	130
3,0 a 3,2			5	10	20	30	35	45	145
3,2 a 3,4			5	15	25	30	35	45	155

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

**Período de trabalho de 2:00 a 2 ½ horas.**

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*								TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
2,0 a 2,2					5	10	30	45	90
2,2 a 2,4					5	20	35	45	105
2,4 a 2,6				5	10	25	35	45	120
2,6 a 2,8				5	20	30	35	45	135
2,8 a 3,0			5	10	20	30	35	45	145
3,0 a 3,2		5	5	15	25	30	35	45	160
3,2 a 3,4		5	10	20	25	30	40	45	175

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

**Período de trabalho de 2 ½ a 3:00 horas.**

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*								TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
2,0 a 2,2					5	15	35	40	95
2,2 a 2,4					10	25	35	45	115
2,4 a 2,6				5	15	30	35	45	130
2,6 a 2,8			5	10	20	30	35	45	145
2,8 a 3,0			5	20	25	30	35	45	160
3,0 a 3,2		5	10	20	25	30	40	45	175
3,2 a 3,4	5	5	15	25	25	30	40	45	190

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subsequentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

### Período de trabalho de 3:00 a 4:00 horas.

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*								TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
2,0 a 2,2					10	20	35	45	110
2,2 a 2,4				5	15	25	40	45	130
2,4 a 2,6			5	5	25	30	40	45	150
2,6 a 2,8			5	15	25	30	40	45	160
2,8 a 3,0		5	10	20	25	30	40	45	175
3,0 a 3,2	5	5	15	25	25	30	40	45	190
3,2 a 3,4	5	15	20	25	30	30	40	45	210

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subseqüentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

### Período de trabalho de 4 a 6 horas.

PRESSÃO DE TRABALHO *** (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESTÁGIO DE DESCOMPRESSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )*								TEMPO TOTAL DE DESCOMPRESSÃO ** (min.)
	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	
2,0 a 2,2				5	10	25	40	50	130
2,2 a 2,4				10	20	30	40	55	155
2,4 a 2,6			5	15	25	30	45	60	180
2,6 a 2,8		5	10	20	25	30	45	70	205
2,8 a 3,0		10	15	20	30	40	50	80	245****

Notas:

(\*) A descompressão tanto para o 1º estágio quanto entre os estágios subseqüentes deverá ser feita a velocidade não superior a 0,4 kgf/cm<sup>2</sup>/minuto.

(\*\*) Não está incluído o tempo entre estágios.

(\*\*\*) Para os valores limite de pressão de trabalho use a maior descompressão.

(\*\*\*\*) O período de trabalho mais o tempo de descompressão (incluindo o tempo entre os estágios) não deverá exceder a 12 horas.