

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**HENRIQUE VIANA DANTAS**

**FUNDAÇÕES PROFUNDAS: CONCEITOS GERAIS E APRESENTAÇÃO DOS  
TIPOS ATUALMENTE MAIS UTILIZADOS EM EDIFICAÇÕES URBANAS**

**BELO HORIZONTE-MG  
2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**HENRIQUE VIANA DANTAS**

Fundações profundas: conceitos gerais e apresentação dos tipos atualmente mais utilizados em edificações urbanas

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à Universidade Federal de  
Minas Gerais como parte dos requisitos  
necessários para a aprovação no Curso  
de Especialização em Construção Civil da  
Escola de Engenharia da UFMG.

Orientador: Professor Dr. Aldo Giuntini de  
Magalhães.

**BELO HORIZONTE - MG  
2022**

D192f Dantas, Henrique Viana.  
Fundações profundas [recurso eletrônico] : conceitos gerais e apresentação dos tipos atualmente mais utilizados em edificações urbanas / Henrique Viana Dantas. - 2022.  
1 recurso online (47 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.

Bibliografia: f. 46-47.  
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Fundações (Engenharia). 3. Máquinas - Fundações. 4. Tecnologia. I. Magalhães, Aldo Giuntini de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: HENRIQUE VIANA DANTAS

MATRÍCULA: 2021665989

### RESULTADO

Aos 30 dias do mês de agosto de 2022 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:  
"FUNDAÇÕES PROFUNDAS: CONCEITOS GERAIS E APRESENTAÇÃO DOS TIPOS ATUALMENTE MAIS UTILIZADOS EM EDIFICAÇÕES URBANAS"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 84

CONCEITO: 0

### BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Nome

Assinatura

Profª. Drª. Danielle Meireles de Oliveira

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2022

Coordenador do Curso

Prof. Antonio Neves  
de Carvalho Júnior

Coordenador do Curso

## RESUMO

Em um passado recente, a falta de mão de obra especializada para execução das fundações e a falta de máquinas para aumentar a velocidade da execução, tornava o processo lento e burocrático. Devido à grande demanda, a oportunidade por melhorias no setor estava nítida. As máquinas estão evoluindo cada vez mais e com novas tecnologias, a busca por solucionar barreiras que elas estão habituadas, estão em passos acelerados. O presente trabalho justifica-se por analisar a evolução de quatro métodos bastante utilizados para execução de fundações profundas e como é realizado a execução desses métodos. Além disso, analisar as limitações que esses métodos possuem, as vantagens que essas técnicas trazem para os canteiros de obra e como o mercado vem trabalhando para solucionar as limitações desses métodos.

**Palavras-chave:** fundação, máquinas, tecnologias.

## **ABSTRACT**

In the recent past, the lack of specialized labor for the execution of the foundation and the lack of machines to improve the execution's speed, made the process slow and bureaucratic. Due to this great demand, the opportunity for improvements in the sector was clear. Machines are developing and with new Technologies, the search for solving barriers that the machines are used to, is at an accelerated path. The work is justified by analyzing the evolution of four methods widely used for the execution of deep foundation and how the execution of these methods is carried out. In addition, analyze the limitation that these methods have, the advantages that these techniques bring to construction sites and how the market has been working to solve the limitations of these methods.

**Key words:** foundation, machines, technologies.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01 – Sondagem SPT
- FIGURA 02 – Circulação de água
- FIGURA 03 – Amostra de solo
- FIGURA 04 – Marcação na haste
- FIGURA 05 – Preenchimento de Boletim de Campo
- FIGURA 06 – Equipe de sondagem mista
- FIGURA 07 – Sapata, sapata gasta e coroa
- FIGURA 08 – Caixas de testemunho
- FIGURA 09 – ABNT NBR 6122 2022 Emenda 01
- FIGURA 10 – Operário manuseando o sarilho
- FIGURA 11 – Limpeza do fuste
- FIGURA 12 – Escavação do fuste
- FIGURA 13 – Equipamento Strauss
- FIGURA 14 – Sonda
- FIGURA 15 – Equipe trabalhando
- FIGURA 16 – Equipamentos trabalhando simultaneamente
- FIGURA 17 – Centralização do trado
- FIGURA 18 – Equipamentos Hélice Contínua Monitorada trabalhando
- FIGURA 19 – Equipamentos Hélice Contínua Monitorada
- FIGURA 20 – Hélice Contínua Monitorada CZM EM400
- FIGURA 21 – Torre da EM400
- FIGURA 22 – Ponteira de Bits
- FIGURA 23 – Estaca de divisa
- FIGURA 24 – Detalhe estaca de divisa
- FIGURA 25 – Trado Mecânico montado sobre esteira
- FIGURA 26 – Trado Mecânico montado sobre plataforma móvel
- FIGURA 27 – Caixa rotativa

<b>Introdução</b>	<b>8</b>
<b>2. Fundamentação teórica</b>	<b>10</b>
<b>2.1 SONDAGEM</b>	<b>10</b>
<b>2.2 NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>19</b>
<b>2.3 TUBULÃO</b>	<b>21</b>
2.3.1 Execução e vantagens	21
2.3.2 Fragilidades	23
<b>2.4 ESTACA STRAUSS</b>	<b>26</b>
2.4.1 Execução e vantagens	26
2.4.2 Fragilidades	28
<b>2.5 TRADO MECÂNICO</b>	<b>31</b>
2.5.1 Execução e vantagens	31
2.5.2 Fragilidades	32
<b>2.6 HÉLICE CONTINUA MONITORADA</b>	<b>34</b>
2.6.1 Execução e vantagens	34
2.6.2 Fragilidades	36
<b>2.7 DESENVOLVIMENTO E ATUALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS</b>	<b>37</b>
<b>3. Discussão</b>	<b>40</b>
<b>3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS</b>	<b>40</b>
<b>3.2 DISCUSSÃO</b>	<b>41</b>
<b>4. Conclusões</b>	<b>46</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>47</b>

## Introdução

Em um passado recente, a falta de recursos, tornava o início de uma obra uma grande dor de cabeça. A falta de mão de obra especializada para execução das fundações e a falta de máquinas para aumentar a velocidade da execução, tornava o processo lento e dependendo do tipo do empreendimento, uma espera de meses por disponibilidade do executor ter uma agenda disponível para início do serviço. Devido a essa grande demanda, a oportunidade por melhorias no setor estava nítida. As fundações estão sendo realizadas cada vez mais mecanicamente e para a maior segurança de todos envolvidos no processo, realizar o processo manualmente ou com a presença de operários dentro dos fustes, está cada vez mais restrito com novas orientações e regras.

A evolução constante e utilização da tecnologia na construção civil, traz impactos significativos no prazo, liberdade de projeto e principalmente na segurança das pessoas envolvidas nos processos. A fundação, uma das partes mais críticas da construção, quando o tema é segurança, tem evoluído bastante nesse fator e tornando a execução cada vez mais prática e segura. Com esses avanços, as normas regulamentadoras como a NR 18 (ABNT, 2022), e a NBR 6122 (ABNT, 2022), são responsáveis por criarem regras competentes e atualizadas de acordo com as novas realidades. Com esse direcionamento criado pelas normas regulamentadoras, acidentes são evitados e pessoas sem nenhum conhecimento prévio do assunto, podem adquirir a sabedoria necessária para o andamento de suas obras de fundação.

A última atualização da NR 18 (ABNT, 2022) foi realizada em 2020 e entrou em vigor a partir de 2022. Essa norma regulamenta a segurança e saúde no trabalho. A sua maior alteração envolvendo obras de fundação está relacionado aos tubulões. Os tubulões não podem passar da profundidade de 15 metros e o seu diâmetro mínimo deve ser de 90 centímetros, sendo completamente encamisado. Além disso, os tubulões que eram executados com ar-comprimado (pressão hiperbárica) estão proibidos de serem realizados. Outra alteração é relacionada as máquinas e equipamentos. Elas devem atender obrigatoriamente a NR 12 (ABNT, 2022), responsável por regulamentar a Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Já a NBR 6122 (ABNT, 2022), responsável por regulamentar projetos e execução de fundações, teve sua última atualização em 2019, que também está

valendo a partir do ano de 2022. Porém, em 2022, a norma ganhou uma emenda. Um dos maiores impactos que a emenda trouxe está relacionado ao consumo mínimo de cimento que diminuiu de 400 kg/m<sup>3</sup> para 350 kg/m<sup>3</sup> para os métodos de fundação hélice continua monitorada, estacas escavas com fluido estabilizante, estaca de deslocamento monitorada e estaca monitorada com trado segmentado.

As máquinas que começaram a ser utilizadas para a execução das fundações estão evoluindo cada vez mais e com novas tecnologias, a busca para solucionar barreiras que as máquinas estão habituadas a encontrar, estão em passos acelerados para não serem mais um problema. As máquinas que estão em alta no momento na região metropolitana de Belo Horizonte, devido a mescla da velocidade de produção e do valor do serviço são as do tipo Trado Mecânico e Hélice Continua Monitorada.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1 SONDAGEM

Antes mesmo do início da fundação, é necessário um estudo geotécnico para ter conhecimento da viabilização do projeto. Esse estudo é realizado pela sondagem do solo. A sondagem é um trabalho de investigação do solo, que apesar de não ser um serviço obrigatório, é um serviço essencial por transmitir informações do solo, que dentre elas se destacam o nível do lençol freático, a determinação do tipo de solo, as camadas do solo e a resistência dessas camadas.

No momento que o projetista recebe o relatório da sondagem, ele determina qual tipo de fundação é o mais adequado para o terreno, de acordo com as características do solo e as cargas que a edificação projetada possui. Assim, o projeto de fundação é realizado de maneira correta, evitando custos financeiros de projetos superdimensionados e reduzindo os riscos de acidente na obra com projetos subdimensionados.

Para a escolha do tipo de sondagem que deve ser realizado em uma obra, sempre é levado em consideração o valor das diferentes modalidades de sondagem existentes. Sendo assim, para realizar o dimensionamento das fundações e de acordo com as normas brasileiras, normalmente é feito dois tipos de sondagem, a sondagem à percussão ou a sondagem mista, que mescla a sondagem à percussão com a sondagem rotativa.

A sondagem à percussão, também conhecida como sondagem SPT (*standard penetration test*) é sempre a primeira escolha devido ao seu valor mais barato em comparação a sondagem mista. As principais características da sondagem SPT são: a determinação do índice de resistência a penetração do solo, a profundidade exata do nível de água (caso exista) e a classificação do solo.

A execução da sondagem SPT é realizada através de um amostrador que é cravado por um martelo de 65 kg que está suspenso em um tripé em uma altura de 75 cm. Em um relatório de campo, é anotado para cada metro escavado, o resultado da quantidade de golpes para a cravação dos primeiros 45 cm do amostrador, tendo um intervalo de cravação a cada 15 cm. De acordo com o número de golpes, é determinado a resistência do solo. Na Figura 01, pode-se observar 02 equipes de sondagem trabalhando simultaneamente. A primeira equipe está realizando o

processo de cravação do amostrador, com o martelo sendo levantado para execução de um golpe.

**Figura 01:** Sondagem SPT



**Fonte:** Arquivo Pessoal

Para iniciar a perfuração, no primeiro metro de profundidade, deve-se utilizar o trado cavadeira, instalando-se o primeiro segmento do tubo de revestimento. Nas operações subsequentes de avanço do furo, deverá ser utilizado o trado espiral até que o mesmo se torne inoperante ou até encontrar o nível d'água para, então, passar para o processo de avanço por circulação de água.

A operação de perfuração por circulação de água é realizada utilizando-se o trépano/peça de lavagem. O material escavado é removido por meio de circulação de água, realizada pela bomba d'água motorizada. Essa operação é acompanhada de movimentos de rotação alternados (vai-vem), aplicados manualmente na peça chamada cruzeta para haste giratória. Para executar a tarefa, utiliza-se de um recipiente para armazenar a água que será utilizada no processo de circulação.

Durante as operações de perfuração, caso a parede do furo se mostre instável, procede-se a cravação de tubos de revestimento até a profundidade que se fizer necessário. A Figura 02 demonstra o processo de circulação de água sendo realizado.

**Figura 02:** Circulação de água



**Fonte:** Arquivo Pessoal

A cada metro de avanço do furo, deverá ser realizado o ensaio penetrométrico, prolongando-se as hastes até o comprimento que se fizer necessário.

Será coletada, para exame posterior, uma parte representativa do solo colhido pelo trado concha durante a perfuração até um metro de profundidade. A cada metro de perfuração, a contar de um metro de profundidade, serão colhidas amostras dos solos por meio do amostrador padrão. Obtêm-se amostras cilíndricas, adequadas para a classificação. A Figura 03 representa a amostra de solo sendo recolhida pelo bico do amostrador.

**Figura 03:** Amostra de solo

Fonte: Arquivo Pessoal

O amostrador padrão, conectado às hastes de perfuração, deve ser descido no interior do furo de sondagem e posicionado na profundidade atingida pela perfuração. A seguir, a cabeça de bater deverá ser colocada no topo da haste, o martelo apoiado suavemente sobre a cabeça de bater e anotada a eventual penetração do amostrador no solo. Utilizando-se o topo do tubo de revestimento como referência, marca-se na haste de perfuração, com giz, um segmento de 45 cm dividido em três trechos iguais de 15 cm. O ensaio de penetração consiste na cravação do amostrador no solo através de quedas sucessivas do martelo, erguido até a altura de 75 cm. Procede-se a cravação de 45 cm do amostrador, anotando-se, separadamente, o número de golpes necessários à cravação de cada 15 cm. O ensaio de penetração é realizado a cada metro de perfuração, prolongando as hastes até a profundidade necessária para sua realização. Na Figura 04 o sondador está realizando a marcação na haste nos três diferentes trechos de 15 cm antes de iniciar o processo de cravação.

**Figura 04:** Marcação na haste



Fonte: Arquivo Pessoal

**Figura 05:** Preenchimento de Boletim de Campo



Fonte: Arquivo Pessoal

Na Figura 05 o sondador está transcrevendo no boletim de campo os resultados obtidos na execução de um processo completo, que equivale a um metro de perfuração.

A sondagem SPT é finalizada quando se atinge a profundidade ou quando se encontra um material impenetrável. Quando se encontra um material impenetrável antes de 03 metros de profundidade, o furo da sondagem deve ser desviado no mínimo 02 vezes para distância de 02 metros da sondagem inicial. Isso porque, o material impenetrável pode ser um matacão. O matacão é composto por blocos soltos de rochas no meio do solo. Sendo assim, caso o novo furo consiga vencer a profundidade atingida pelo furo anterior, podemos constatar que era apenas um matacão. Caso a sondagem tenha sido desviada pelo menos duas vezes e esses novos furos sejam novamente interrompidos pela presença de um material impenetrável, a investigação do solo deve ser mantida através de outro método de sondagem que realize a coleta de amostras da rocha. A continuação da investigação geológica é indispensável devido a uma leitura do solo que nos induz a acreditar que a profundidade impenetrável foi alcançada, porém, o impenetrável pode ser apenas um bloco de rocha solto com presença de solo logo abaixo. Desse modo, a fundação seria executada com uma profundidade que não condiz com a geologia do local. Para a continuação da sondagem em terrenos que possuem matacões, deve ser realizado a sondagem rotativa. A sondagem rotativa consegue vencer as camadas de solo e rocha.

A execução da sondagem rotativa é realizada com equipamento mecanizado que exerce força de rotação e penetração simultaneamente, utilizando materiais mais abrasivos que conseguem cortar amostras ou fragmentos de rochas, extraindo esse material em amostras com formato cilíndrico. Na Figura 06, pode-se observar a sonda rotativa sendo operada pelo sondador e o tripé de sondagem SPT montado. Na Figura 07 possui exemplo de sapatas e de uma coroa que são utilizadas pela sondagem rotativa na realização de cortes em matacões e rochas. Os materiais responsáveis por realizar os cortes de rochas e matacões são muito exigidos e são bastante desgastados. A sapata da esquerda é um modelo novo e a sapata da direita é uma gasta que não possui mais poder de corte.

**Figura 06:** Equipe de sondagem mista



**Fonte:** Arquivo Pessoal

**Figura 07:** Sapata, sapata gasta e coroa



**Fonte:** Arquivo Pessoal

A sondagem mista é a execução simultânea de ambos métodos descritos anteriormente. Quando a camada investigada é apenas solo, é realizado a sondagem SPT. Já quando se encontra material impenetrável, é utilizado a sondagem rotativa.

Ao final do furo, a caixa de testemunho com as amostras é levada para estudo e classificação das rochas por geólogos ou engenheiros com capacidade técnica para tal. A Figura 08 possui exemplo de várias caixas de testemunho de diferentes furos de investigações de solo.

**Figura 08:** Caixas de testemunho



**Fonte:** Arquivo Pessoal

Investigações geotécnicas possuem a sua produtividade variada de acordo com a dificuldade do solo que está sendo estudado. O solo pode ser mais frágil, facilitando a perfuração ou o solo pode ser mais resistente, tornando o estudo mais

demorado. Por não saber o que se vai encontrar, essa ideia também é utilizada para sondagem rotativa, que depende da ductilidade do material que será cortado. Em uma boa média, a sondagem SPT realizar 10 metros de profundidade por dia. Já a sondagem mista, realiza 06 metros de profundidade por dia.

Além da cravação do martelo que causa ruídos, ambos processos envolvem equipamentos mecanizados que produzem ruídos (moto-bomba para o método SPT e sonda e bomba para a sondagem rotativa), causando um pequeno incômodo para locais que possuam vizinhança.

A mobilização dos materiais e equipamentos é mais simples quando é realizado a sondagem SPT. Em um caminhão pequeno, é possível levar todos os materiais necessários para realizar o estudo geotécnico. No decorrer das mudanças de furos, a equipe consegue movimentar os materiais os transportando manualmente entre os deslocamentos dos furos. Para a mobilização dos materiais e equipamentos para o método de sondagem rotativa, é necessário a presença de um caminhão munck para o transporte da sonda que é bastante pesada. As sondas possuem capacidade de movimentação por esteiras ou guinchos. Sendo assim, após a mobilização para o local que será realizado a sondagem rotativa, não é uma regra a presença do caminhão munck para o deslocamento dos materiais entre os furos.

A sondagem de simples reconhecimento de solo SPT possui norma na Associação Brasileira de Normas Técnicas, sendo a NBR 6484, tendo a última atualização em 2020, englobando os materiais da sondagem rotativa. Dentre as principais orientações da NBR 6484 (ABNT, 2020), podemos citar os critérios de paralisação, classificação da compacidade do solo, e a definição dos equipamentos e procedimentos a serem adotados nas sondagens.

Para a sondagem rotativa, não existe uma norma técnica com as orientações necessárias para a sua execução. Sendo assim, é recomendado seguir as orientações do Manual de Sondagens da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE).

Seguir as normas técnicas vigentes é essencial para garantir segurança, conforto e qualidade em qualquer tipo de trabalho que possua uma referência a ser seguida. No próximo tópico, o tema abordado é sobre as normas e como devem ser seguidas.

## 2.2 NORMAS TÉCNICAS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), responsável por sistematizar processos de diversas áreas como industrial, tecnológico e acadêmico, possui uma norma para padronizar as fundações. A NBR 6122 (ABNT, 2022) é responsável por regulamentar o projeto e a execução da fundação.

A NBR 6122 (ABNT, 2022) é uma das principais normas da engenharia civil, do setor de concretagem e do setor de construção. Ela deve ser aplicada para qualquer tipo de empreendimento, para obras de pequeno ou grande porte. Por se tratar de um assunto muito técnico, a NBR 6122 (ABNT, 2022) é bastante extensa e ainda está atrelada a várias outras normas, como por exemplo a NBR 6484, Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio e a NBR 8800, Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios., entre diversas outras.

A norma criada em 1996 já passou por 02 atualizações, sendo uma em 2010 e a versão mais recente realizada em 2019. Em 2022, uma nova emenda foi aprovada contendo novas orientações para os profissionais da área. É muito importante a atualização da norma para obter coerência com as demais normas, garantir maior segurança para as pessoas envolvidas nos processos relacionado a fundação e incluir as novidades do mercado.

Quando for seguir a norma, deve-se tomar bastante cuidado para não estar consultando uma das versões antigas que conseqüentemente possuem orientações ultrapassadas. Na Figura 09, pode-se observar no canto superior direito o número da norma, no caso a NBR 6122 (ABNT, 2022), e a data da atualização da norma que se encontra logo abaixo do número da norma com o tamanho da fonte reduzido.

Figura 09: ABNT NBR 6122 2022 Emenda 01



Fonte: ABNT

Com o conhecimento adquirido do terreno estudado após a realização da sondagem e seguindo as normas técnicas, chega a hora da escolha do método de fundação. Nos próximos tópicos, serão descritos quatro diferentes métodos de fundações profundas que envolvem escavação. O primeiro método, muito popular é o Tubulão. Dando sequência, será analisado as estacas Strauss, as estacas Trado Mecânico e por último as estacas Hélice Continua Monitoradas.

## 2.3 TUBULÃO

### *2.3.1 Execução e vantagens*

Uma das técnicas executivas de fundação mais antigas é o tubulão. Isso se deve principalmente pela capacidade de absorção de grandes capacidades de carga e com a opção do tubulão ser executado de maneira manual, tornando assim o seu método de execução mais simples.

A execução do tubulão se inicia com a perfuração do fuste, sendo de maneira mecanizada ou manual. Após a escavação do comprimento desejado do fuste, é realizado a base. Para isso, é necessário que um operário entre dentro do fuste estando o fuste completamente encamisado e faça a escavação manual da base ou pelo menos a limpeza da mesma. Para ser considerado tubulão, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), é obrigado a descida de um operário para realizar a abertura da base com o diâmetro especificado em projeto. A principal razão dessa obrigatoriedade é devido o tubulão dissipar as suas cargas predominantemente por ponta, na base do tubulão. Outro ponto importante relacionado ao alargamento da base é a realização dos rodapés para a concretagem ser realizada de maneira eficiente. Dessa maneira, o operário realiza a base ou pelo menos faz a limpeza da mesma, deixando-a preparada para a concretagem.

Ao termino do alargamento da base e da limpeza, é realizado a conferência do serviço realizado na base por algum dos responsáveis da obra, mestre de obra ou engenheiro, por exemplo. A base tendo sido alargada de forma correta conforme a orientação do projeto, a armadura é inserida no fuste e amarrada na altura indicada em projeto para em seguida ser realizado a concretagem do tubulão.

As principais vantagens da escolha dessa técnica de fundação são dela ser capaz de realizar a escavação penetrando em diversos tipos de diferentes materiais,

pouca vibração e ruídos durante a escavação, fácil mobilização e desmobilização dos equipamentos, além de permitir a análise e inspeções do solo durante a sua execução pelo material que está sendo escavado durante o processo.

Na Figura 10, é possível observar um operário trabalhando na execução de um tubulão. O operário está responsável por manusear o sarilho, fazendo a retirada do solo do fuste.

**Figura 10:** Operário manuseando o sarilho



**Fonte:** Arquivo Pessoal

**Figura 11:** Limpeza do fuste

**Fonte:** Arquivo Pessoal

Na Figura 11, possui 02 acúmulos de solo provenientes de 02 diferentes fustes, retirados por 02 equipes que trabalham simultaneamente. Apesar de estarem bastante próximos, pode-se observar a diferença do material pela diferença entre a tonalidade entre os montantes de solo.

### *2.3.2 Fragilidades*

As normas regulamentadoras ajudam a executar as fundações com boas práticas, diminuindo a probabilidade de erros e acidentes. A NR 18 (ABNT, 2022), que é responsável por regulamentar a Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção, trouxe novas regras para execução do tubulão para tornar o processo mais seguro para os operários. A partir de 10 de fevereiro de 2022, está proibido a execução de tubulão de ar comprimido, sendo permitido após esse prazo, apenas o termino de atividades já iniciadas. Outros pontos importantes que a NR 18 (ABNT, 2022) trouxe para a execução do tubulão escavado manualmente é a sua profundidade que pode chegar no máximo até 15 metros, ser encamisado em toda a sua extensão e possuir diâmetro mínimo de 90 centímetros. A sondagem ou estudo geotécnico local se tornou obrigatório para profundidade de escavação superior a 3 metros. A escavação manual do tubulão pode ser executada em regiões que o solo não possua risco de desmoronamento, se mantendo estável, sendo

possível controlar a água no interior do fuste, independente se for acima ou abaixo do nível d'água.

Na Figura 12 é possível observar que a execução do tubulão está seguindo as normas técnicas. O fuste está encamisado com diâmetro de 90 cm. Dentro do fuste, possui uma lâmpada para iluminar o local de trabalho do operário. O operário está fazendo a escavação e limpeza simultânea com a ajuda de outro operário que manuseia o sarilho para a retirada do solo escavado de dentro do fuste.

**Figura 12:** Escavação do fuste



**Fonte:** Arquivo Pessoal

Todas essas alterações são significativas para a execução de maneira segura do tubulão escavado manualmente, acidentes graves ou fatais na realização de tubulões já estão sendo evitados. Esses acidentes são as principais desvantagens do tubulão que estão associados a afetar diretamente os operários que estão dentro do fuste devido ao elevado risco de desmoronamento e ao risco de envenenamento do ar.

O tubulão por ser uma técnica que é obrigatoriamente feita com a descida de um operário para a realização da base, torna obrigatório essas regras também quando o fuste é perfurado de maneira mecanizada. Sendo assim, a escolha do método de fundação por tubulão se torna uma técnica economicamente menos viável em comparação a maneira que era executada anteriormente, um dos principais pontos no passado para a escolha desse método de fundação.

## 2.4 ESTACA STRAUSS

### 2.4.1 Execução e vantagens

A estaca Strauss é uma estaca escavada que possui diversos tipos de equipamentos, sendo o mais convencional o tripé. O equipamento Strauss possui 02 guinchos, sendo um responsável por trabalhar com a sonda, também conhecido como piteira, e o outro guincho que trabalha com os revestimentos. O processo executivo é realizado com a perfuração utilizando água. A piteira faz um processo constante de lavagem da estaca sendo que é realizado simultaneamente a inserção do revestimento. O revestimento é um tubo rosqueado em ambos os lados que são interligados. O revestimento possui o comprimento variado, normalmente entre 01 e 02 metros, variando de acordo com o material que o executor possui disponível. O processo deve ser executado até atingir a profundidade determinada no projeto. Na Figura 13 é apresentado um equipamento Strauss montado com o tripé. O operador está com a mão direita em uma das alavancas que comandam o guincho responsável pela perfuração.

**Figura 13:** Equipamento Strauss



**Fonte:** Arquivo Pessoal

Apesar da NBR 6122 (ABNT, 2022) sugerir que a estaca possa ser revestida parcialmente, caso as características do terreno o permitam, é aconselhável realizar o revestimento ao longo de todo o comprimento da estaca. Isso se deve por ser o principal motivo de patologias em estacas Strauss. Os responsáveis pela execução da estaca Strauss podem se enganar, acreditando na coesão do solo, acarretando assim no estrangulamento do fuste, uma sessão que o solo penetrará, tornando a concretagem inadequada. Apenas o revestimento integral da estaca permite a segurança de não ocorrer a mistura do solo com o concreto ou o estrangulamento do fuste.

Atingindo a profundidade especificada em projeto, deve ser realizada a limpeza do fundo da estaca. Após o processo de limpeza, é realizado a concretagem. O concreto é lançado dentro da linha de revestimento e à medida que o concreto é apiloado, é feito a retirada do revestimento. Em caso de estacas que sejam armadas, a armação é inserida antes da concretagem.

Na Figura 14, o operador observa a sonda antes dela ser inserida no fuste. Ao redor do equipamento Strauss, a equipe deixou mobilizado diversos elementos de revestimentos com tamanhos variados, aguardando o momento da sua utilização.

**Figura 14:** Sonda



**Fonte:** Arquivo Pessoal

A facilidade na mobilização e desmobilização devido ao porte dos equipamentos que executam estacas Strauss, além da ausência de vibrações, está diretamente ligado as principais vantagens desse método executivo. Em locais que possuem a acessibilidade reduzida ou em áreas remotas, à estaca Strauss consegue ser executada, como por exemplo em locais confinados, em terrenos acidentados e até mesmo dentro de construções que possuam o pé-direito reduzido. A estaca Strauss pode ser realizada com a presença ou sem a presença do nível d'água e o concreto pode ser produzido no próprio canteiro de obras.

#### *2.4.2 Fragilidades*

Devido a sua execução ser realizada com bastante água, o equipamento Strauss cria muita lama na obra, sendo assim um método que não possui um aspecto limpo para o canteiro de obras.

**Figura 15:** Equipe trabalhando



**Fonte:** Arquivo Pessoal

A Figura 15 apresenta uma equipe trabalhando em um equipamento Strauss. É possível observar a quantidade de lama que o equipamento produz. Os ajudantes por estarem na frente do equipamento, normalmente utilizam bota de borracha devido a quantidade de lama próximo ao equipamento.

As estacas Strauss devem possuir o seu diâmetro com até 50 centímetros, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022). Por ser um processo manual e sem possibilidades de conferência, a eficiência da estaca Strauss fica dependente da qualidade do operador e de sua equipe, além dos mesmos seguirem as boas práticas que as normas sugerem, para não ocorrer patologias pela não concretagem adequada.

Com o avanço da tecnologia, é normal a criação de novos métodos ou equipamentos que executem a mesma função de outro, até esse antigo método ou equipamento se tornar obsoleto. Na área de fundação isso também ocorre. Atualmente, quando chega o momento da escolha do tipo de fundação, é sempre desejado pela construtora que o solo da obra seja bom o suficiente para realizar as estacas com equipamentos do tipo trado mecânico ou por equipamentos do tipo Hélice Continua Monitorada. As estacas escavadas trado mecânico estão cada vez mais tomando o espaço dos tubulões e as estacas hélice continua já tomaram o espaço das estacas Strauss. A Figura 16 possui um equipamento Hélice Continua Monitorada trabalhando ao lado de um equipamento Trado Mecânico.

**Figura 16:** Equipamentos trabalhando simultaneamente



**Fonte:** Arquivo Pessoal

## 2.5 TRADO MECÂNICO

### 2.5.1 Execução e vantagens

O Trado Mecânico executa estacas com um trado acoplado a uma haste telescópica que chega até a profundidade pedida no projeto. Os equipamentos são montados sobre plataforma móvel em caminhões ou sobre esteira. A profundidade que o Trado Mecânico consegue alcançar depende do tipo do equipamento. Porém, considerando os equipamentos mais potentes, consegue ultrapassar os 30 metros de profundidade, realizando estacas com mais de 1 metro de diâmetro.

Existe uma demanda muito alta para execução de estacas com equipamentos do tipo Trado Mecânico em Minas Gerais devido a facilidade que esse método possui. As estacas são moldadas *in loco* com a concretagem do furo realizado pelo trado do equipamento. Esse trado espiral é introduzido no solo e com uma rotação, perfura o local da estaca até o trado ser introduzido por completo no solo. Após isso, o trado é sacado com o solo perfurado em suas hélices e esse solo é despejado ao redor da estaca. Esse processo é repetido diversas vezes até chegar na profundidade desejada do projeto.

Alcançando a profundidade especificada no projeto, a armação deve ser inserida cuidadosamente, conforme especificado em projeto e em sequência, o concreto deve ser inserido através de um funil, que direcionará o concreto, evitando que ele se contamine. A estaca deve ser protegida com areia ou madeirite, buscando também a proteção da estaca contra contaminação.

As estacas executadas com equipamentos de Trado Mecânico, são fáceis de se executarem, possuem uma produtividade bastante elevada, os custos são baixos, possuem uma mobilização rápida, permite análise e inspeções do solo durante a sua execução, não possuem vibração e deslocamentos de solo lateralmente, fazendo com que ela continue competitiva em comparação aos demais métodos.

Na Figura 17 o operador do equipamento está centralizando o equipamento conforme orientações do responsável técnico. Antes de começar a perfuração a haste deve ser centralizada no eixo da estaca, local determinado pela topografia.

**Figura 17:** Centralização do trado

**Fonte:** Arquivo Pessoal

### *2.5.2 Fragilidades*

Com todos benefícios que as estacas trado mecânico possuem, é muito desejável realizar as obras com esse tipo de fundação. Porém, esse método possui algumas fragilidades limitadoras.

O primeiro ponto a se observar é o lençol freático. Estacas realizadas com equipamentos Trado Mecânico tem de estar acima do nível do lençol freático.

Com o avanço da tecnologia, um fator que muitas construtoras se preocupam é o acompanhamento total das estacas de suas obras. Equipamentos Trado Mecânico não monitoram as estacas. Apesar de sabermos o torque máximo que o equipamento pode chegar e a sua profundidade, esses dados não são levantados pelos equipamentos. A profundidade da estaca é acompanhada com trena pela

equipe responsável por executar as estacas e o torque pela experiência do operador do equipamento em sentir se o equipamento conseguirá continuar perfurando um terreno pesado que está exigindo muito do equipamento.

A última fragilidade dos equipamentos Trado Mecânico é que eles não perfuram rochas e matacões. Para tentar vencer matacões, existe um material que se coloca na ponta dos trados chamado bits. Esse material é responsável por tentar triturar as camadas de matacões enquanto é realizado a rotação do trado. O operador tem de ter bastante experiência para sentir se ele está conseguindo vencer a camada de matacão ou se o trado está quebrando. É muito comum a perda de trados que se quebram ou empenam quando são forçados a perfurar rochas e matacões.

## 2.6 HÉLICE CONTINUA MONITORADA

**Figura 18:** Equipamentos Hélice Contínua Monitorada trabalhando



**Fonte:** Arquivo Pessoal

### *2.6.1 Execução e vantagens*

A Hélice Contínua Monitorada executa estacas através de um trado helicoidal contínuo. Esse trado é montado com 03 diferentes elementos de trado que se acoplam, podendo variar a quantidade de elementos de acordo com o modelo do equipamento. A profundidade e diâmetro máximo que a Hélice Contínua Monitorada

consegue alcançar varia de equipamento para equipamento. Porém, pode-se alcançar profundidades superiores a 30 metros e diâmetros de até 01 metro.

A demanda pelo serviço de Hélice Continua Monitorada é muito alta devido a toda segurança e qualidade que esse equipamento possui por ser monitorado eletronicamente, possuindo sensores em todo seu sistema, podendo ser visualizado os relatórios sincronicamente por computadores no escritório da empresa responsável pelo equipamento via internet.

**Figura 19:** Equipamentos Hélice Continua Monitorada



**Fonte:** Arquivo Pessoal

A Hélice Continua Monitorada realiza as estacas *in loco* através da rotação de seu trado no local desejado. O trado penetra o solo até a profundidade especificada em projeto. O operador do equipamento acompanha a evolução de profundidade em seu computador a bordo. Alcançando a profundidade desejada, é a hora da injeção do concreto. O operador controla a injeção do concreto que é realizada pela haste central que o trado possui. Ao mesmo tempo que o operador saca o trado, ele libera a injeção do concreto na estaca. O concreto ocupa o espaço liberado pelo trado na estaca.

Finalizado a concretagem da estaca, a armação deve ser inserida no fuste. Deve-se tomar atenção em relação ao arrasamento da estaca conforme o projeto. A estaca deve ser protegida com areia ou madeirite, buscando a proteção da estaca contra contaminação.

As estacas realizadas por Hélice Continua Monitorada podem ser realizadas em solos com presença de lençol freático ou sem a presença do mesmo. Os equipamentos fazem o monitoramento do torque, profundidade, concretagem, pressão, rotação entre outros sensores que captam dados importantes para a operação. Os equipamentos possuem uma produtividade bastante elevada e não causam vibração e deslocamentos de solo enquanto executam as estacas. Dependendo do equipamento, pode-se executar estacas de divisa.

### *2.6.2 Fragilidades*

As Hélices Contínuas Monitoradas chegaram no mercado eliminando várias barreiras que outros métodos possuem. Porém, ainda existe algumas fragilidades nesse método.

O primeiro ponto a ser levado em consideração é a mobilização dos equipamentos. Por ser um equipamento pesado, é necessário a mobilização com carretas. Sendo assim, não é qualquer local que a Hélice Continua Monitorada terá acesso para trabalhar.

Outro ponto a ser avaliado, assim como os equipamentos do tipo Trado Mecânico, as Hélices Contínuas Monitoradas não perfuram rochas e matacões. Eles seguem a mesma ideia da utilização de bits em suas pontes para tentar triturar as camadas de matacões enquanto é realizado a rotação do trado. O operador também

tem de tomar bastante cuidado para não quebrar ou empenar a hélice durante essa manobra.

## 2.7 DESENVOLVIMENTO E ATUALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Os equipamentos Trado Mecânico e os equipamentos Hélice Continua Monitorada estão em constante evolução. Apesar da grande concorrência que existe, o interesse entre as empresas de fundação e das empresas fornecedoras de equipamentos de fundação é mútuo: garantir obras com segurança e qualidade.

As empresas executoras e as empresas fornecedoras dos equipamentos, possuem uma grande parceria. Um exemplo recente, é um novo modelo de Hélice Continua Monitorada realizado pela CZM, empresa líder em venda de equipamentos de Hélice Continua Monitorada no Brasil. Os equipamentos de Hélice Continua Monitorada, possuem uma grande dificuldade em executar estacas de divisa de terreno devido a sua caixa rotativa que trabalha em uma região central, na direção da cabine do operador. Sendo assim, após muito estudo e conversa com as empresas do segmento, foi entendido que precisava no mercado uma Hélice Continua Monitorada compacta, de menores dimensões, para atender as novas demandas que o mercado exige em seus canteiros de tamanho limitado. E ainda, que esse novo equipamento conseguisse executar estacas de divisa de terreno, para que exista maior liberdade e conforto para os projetistas criarem os projetos e aproveitamento da área do canteiro por inteiro.

A CZM criou o modelo EM400, sucesso absoluto pelos clientes da fornecedora. Esse modelo de Hélice Continua Monitorada surgiu para suprir essas demandas de seus clientes. O equipamento executa estacas de divisa e possui dimensões muito inferior em comparação aos outros equipamentos de Hélice Continua Monitorada do mercado. A sua caixa rotativa trabalha no topo de sua torre, acabando com o habitual problema que os outros equipamentos possuem.

Assim como a Hélice Continua Monitorada modelo EM400 da CZM, a CZM e outras fornecedoras de equipamentos de fundação, estão sempre cooperando com os seus clientes, buscando criar soluções para as barreiras existentes nos equipamentos que estão disponíveis atualmente no mercado e com isso, além de solucionar um problema, elas criam mais demandas e serviços com esses novos equipamentos que chegam para ficar.

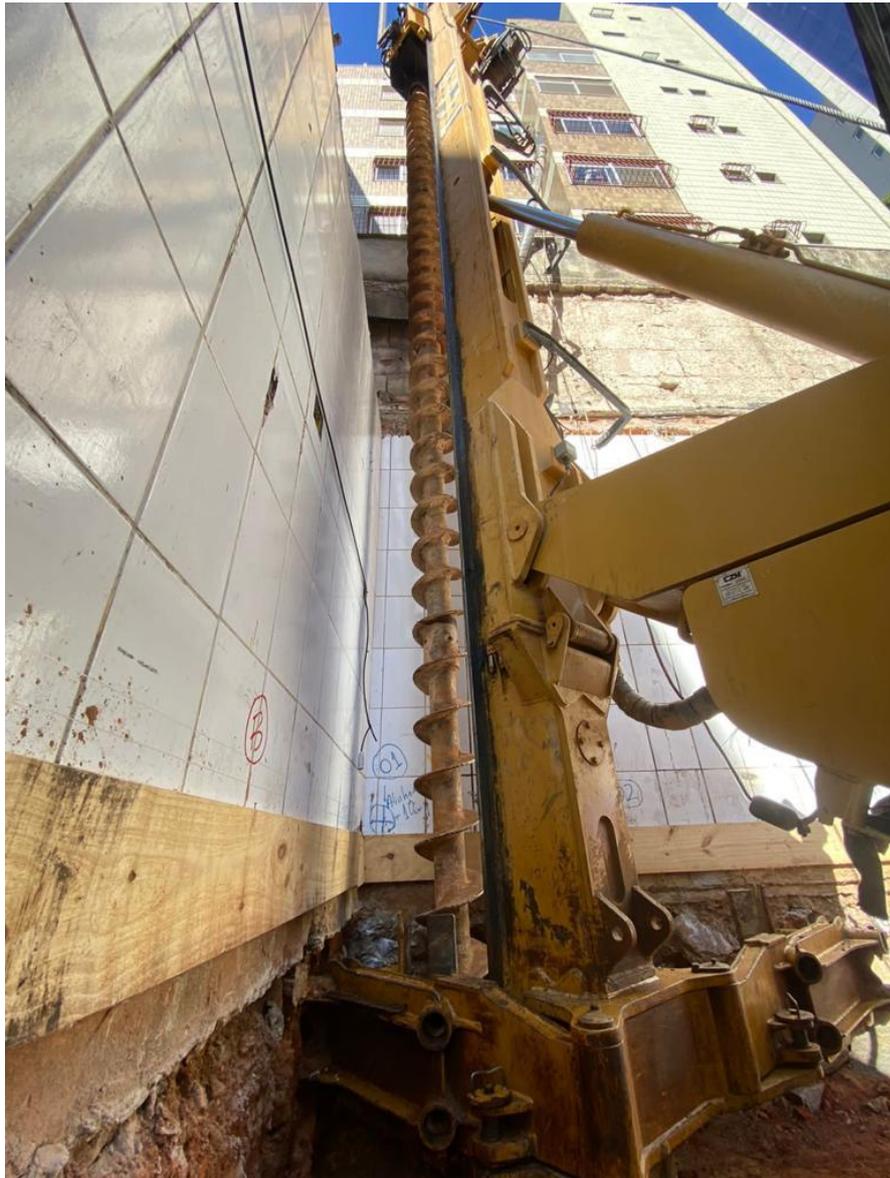
Na Figura 20 é possível notar o menor tamanho do chassi da EM400 em comparação a demais equipamentos Hélice Continua Monitorada, como o equipamento da Figura 19. A caixa rotativa da EM400 está no topo de sua torre, podendo ser observada no topo das Figuras 20 e 21. Na base da Figura 21, os braços centralizadores da Hélice. Os braços são responsáveis em garantir a excentricidade da estaca devido a caixa rotativa estar muito longe do solo e a hélice podendo se deslocar no começo ou durante a perfuração.

**Figura 20:** Hélice Continua Monitorada CZM EM400



**Fonte:** Arquivo Pessoal

**Figura 21:** Torre da EM400



**Fonte:** Arquivo Pessoal

### 3. Discussão

Os resultados desse trabalho foram baseados em observação *in loco* dos equipamentos de fundação da TEC GEO e outras empresas de fundação com obras na região metropolitana de Belo Horizonte, trabalhando em diferentes canteiros de obra. Foi realizada visita na fábrica das fornecedoras de equipamentos de fundação e acompanhamento técnico de estacas das obras acima mencionada.

#### 3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados obtidos nesse trabalho foram coletados presencialmente em diferentes obras no ano de 2021 e 2022. Foi observado o trabalho de diferentes modelos de Hélice Continua Monitorada, diferentes modelos de Trado Mecânico, o tripé Strauss e a execução de tubulão por tubuleiros capacitados.

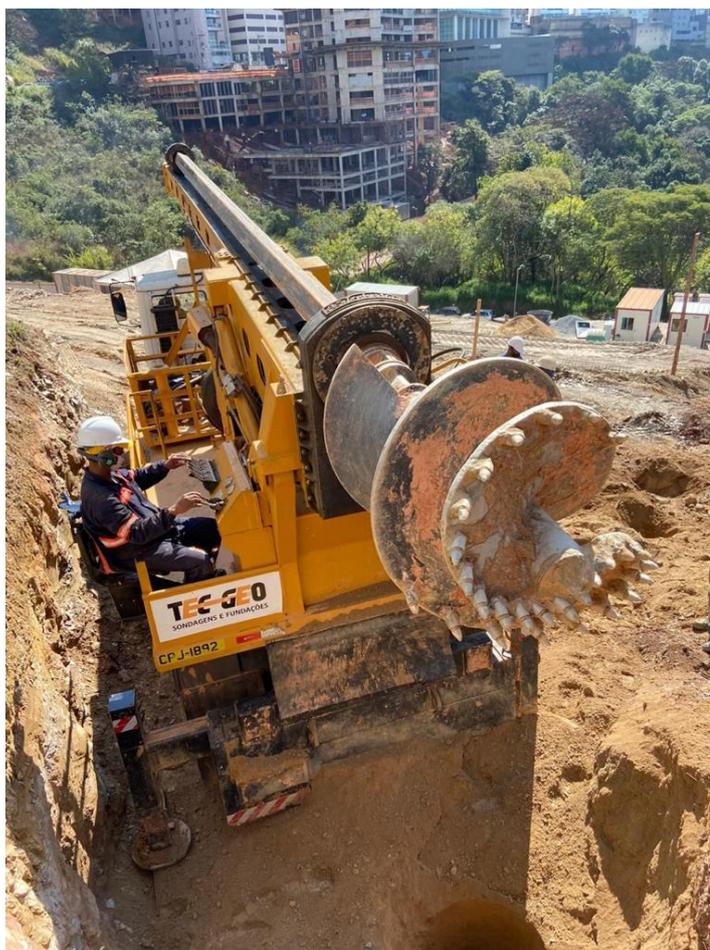
Foi realizado um questionário e acompanhamento para retirada de dúvidas com operadores de equipamentos e também com mecânicos desses tipos de equipamento. As perguntas se baseavam em comparação entre equipamentos e quais alterações ou adaptações eles consideravam necessárias para o melhor funcionamento do equipamento.

Além disso, foram levantadas perguntas e respostas com os fabricantes dos equipamentos e engenheiros que trabalham com geotecnia com vários anos de experiência.

### 3.2 DISCUSSÃO

Responsável pela tentativa de triturar as rochas e matacões, os bits estão presentes em várias ponteiros dos trados dos equipamentos. No exemplo da Figura 22, é possível observar a quantidade de bits que possui na ponteira e a angulação que eles são fixados para trabalharem eficientemente no momento da rotação. Os bits são de encaixe, tornando a sua colocação e retirada simplificada.

**Figura 22:** Ponteira de Bits



**Fonte:** Arquivo Pessoal

Na Figura 23, pode-se observar a Hélice Contínua Monitorada trabalhando próximo ao muro de divisa. No detalhe feito pela Figura 24, é possível visualizar que o trado da Hélice Contínua Monitorada está a poucos centímetros do muro de divisa.

**Figura 23:** Estaca de divisa



**Fonte:** Arquivo Pessoal

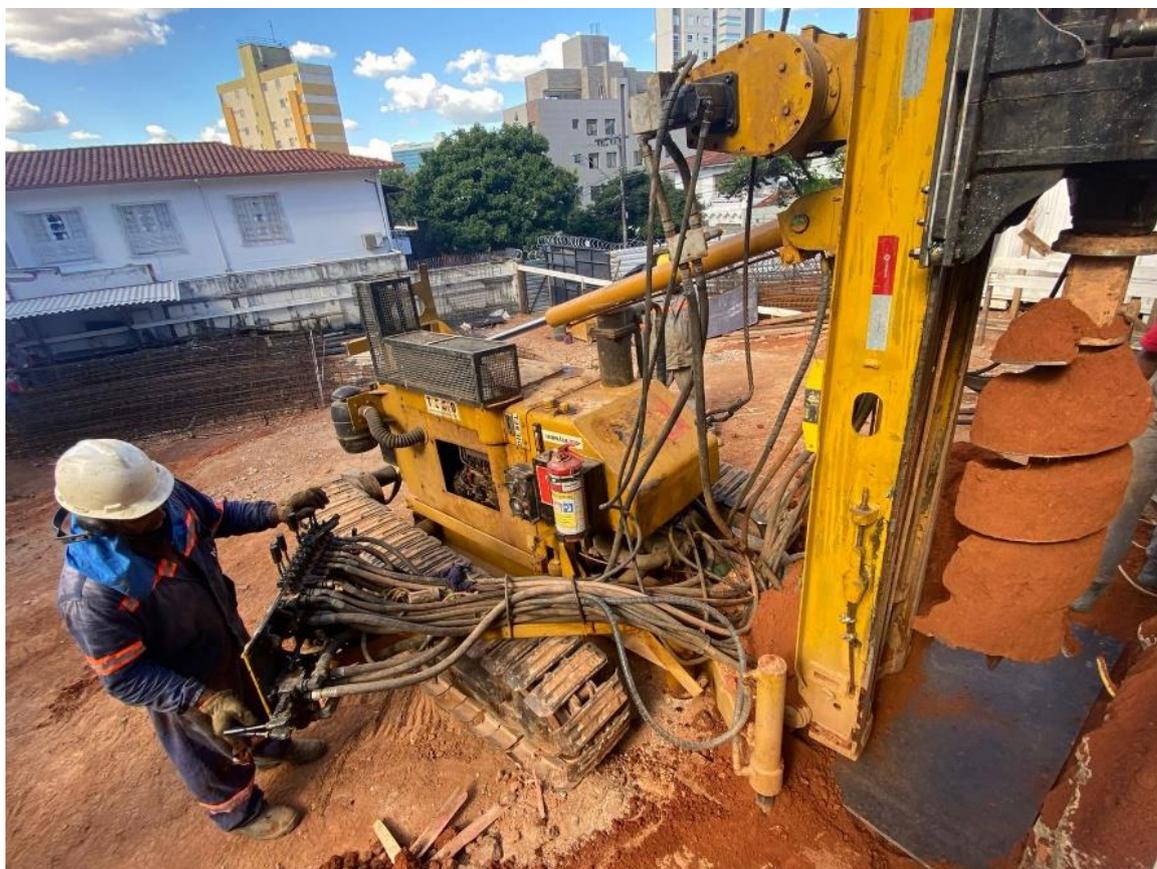
**Figura 24:** Detalhe estaca de divisa



**Fonte:** Arquivo Pessoal

Os equipamentos Trado Mecânico não possuem dificuldade em executar estacas de divisa. A Figura 25 e a Figura 26, possuem exemplos de diferentes equipamentos trabalhando no limite da divisa.

**Figura 25:** Trado Mecânico montado sobre esteira



**Fonte:** Arquivo Pessoal

**Figura 26:** Trado Mecânico montado sobre plataforma móvel



**Fonte:** Arquivo Pessoal

A caixa rotativa das Hélices Contínuas Monitoradas são muito robustas e ficam maiores de acordo com o tamanho do equipamento, uma vez que quanto maior o equipamento, maior será o diâmetro máximo do trado. Na Figura 27, é possível visualizar o tamanho da caixa de uma máquina com diâmetro máximo de 80 centímetros e entender a dificuldade que esse equipamento possui para executar estacas de divisa.

**Figura 27: Caixa rotativa**

**Fonte:** Arquivo Pessoal

Possuir equipamentos em boas condições e mantê-los com suas revisões em dia, é o primeiro passo para conseguir iniciar uma obra e finalizá-la. Apesar dos equipamentos serem muito fortes, o serviço que eles executam exige muito do maquinário, do motor e das peças das máquinas. Sendo assim, realizar inspeções rotineiras e tentar precaver maiores problemas, realizando pequenos reparos diários, é a melhor maneira de manter a saúde da máquina.

#### 4. Conclusões

As máquinas e equipamentos estão em constante evolução. Devido às condições socioeconômicas do Brasil, é um grande peso na escolha dos serviços o valor que ele possui. Para a escolha da fundação, essa regra é mantida para viabilização de projetos.

Com a atualização da NBR 6122 (ABNT, 2022), a execução de tubulão será cada vez menos realizada, abrindo as portas dessa demanda para execução por trado mecânico. As estacas tipo Hélice Continua já tomaram espaço das estacas Strauss. As estacas Strauss não deixarão de existir devido a sua facilidade de execução em condições extremas que outros métodos são inviabilizados por caráter de chegada ao local ou restrição de altura ou pela presença de água.

Apesar de possuir outros métodos mais avançados, eles também são mais caros. Considerando as diversas vantagens que os métodos de Trado Mecânico e Hélice Continua Monitorada possuem, caso o solo da obra não possua rochas, os dois tipos de execução continuarão fortes e tendenciosos a serem escolhidos para a fundação das obras em Minas Gerais por muitos anos.

## Referências bibliográficas

ABEF. Manual de especificações de produtos e procedimentos ABEF. São Paulo: PINI, 1999.

ABEF. Manual de de execução de fundações: Práticas recomendadas. São Paulo: PINI, 2016.

ABEF. Manual de de execução de fundações e Geotecnia: Práticas recomendadas. São Paulo: PINI, 2012.

ABNT NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto – Procedimento

ABNT NBR 6457, Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização

ABNT NBR 6489, Prova de carga direta sobre terreno de fundação – Procedimento

ABNT NBR 6502, Rochas e solos – Terminologia

ABNT NBR 8036, Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios – Procedimento

ABNT NBR 8800, Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

ABNT NBR 9062, Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – Procedimento

ABNT NBR 9603, Sondagem a trado – Procedimento

ABNT NBR 9820, Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem

ABNT NBR 13208, Estacas – Ensaio de carregamento dinâmico

CARVALHO, Celson S., FALCONI, Frederico F. Fundações: Teoria e prática. 2 Ed. São Paulo: PINI, 1998.

Disponível em: CZM, Hélice Contínua Monitorada Modelo EM400. Disponível em: [https://czm.com.br/produtos/helice-continua/helice-continua-em400cfa/?gclid=Cj0KCQiA\\_c-OBhDFARIsAIFg3ew5kmMZu-ZpwIMEt99g7k2yHNEpsue7oSDqFghMQjSbJNmUtaQ3J9EaAlxmEALw\\_wcB](https://czm.com.br/produtos/helice-continua/helice-continua-em400cfa/?gclid=Cj0KCQiA_c-OBhDFARIsAIFg3ew5kmMZu-ZpwIMEt99g7k2yHNEpsue7oSDqFghMQjSbJNmUtaQ3J9EaAlxmEALw_wcB). Acesso em 26 jun. 2022.

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 6484 Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio

NR-18 – Condições de Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção

NBR 14931 – Execução de Estruturas de Concreto

NBR 6122:2022 – Projeto e Execução de Fundações

Disponível em: TEC GEO. <http://www.tecgeo.com.br/>. Acesso em 26 jun. 2022.

VARGAS, Milton. Introdução à mecânica dos solos. 1 Ed. São Paulo: McGRAW-HILL DO BRASIL LTDA, 1977.