

**MÉTODOS E PROCEDIMENTOS PARA ARRASAMENTO DE
ESTACAS DE CONCRETO - ESTUDO DE CASO**

Autor: João Victor Fedumentti Damasio (j.damasio@edu.pucrs.br)

Orientador: Prof. Dr. Abrahão Bernardo Rohden (abrahao.rohden@pucrs.br)

Resumo

Este trabalho analisa métodos para o arrasamento de estacas de concreto do tipo hélice contínua, etapa essencial para a preparação de fundações em edificações. Foram comparados três métodos: o uso do martelo demolidor, tradicional e econômico, mas que exige maior esforço físico; a ferramenta esmagadora, mais rápida, porém com custo elevado e maior complexidade; e o enfraquecimento da seção, que enfraquece o concreto de forma controlada para facilitar a remoção, equilibrando eficiência e custo. O estudo de caso, realizado em Porto Alegre, avaliou produtividade, custos e dificuldades práticas em estacas de diferentes tamanhos. Contudo, cada método apresentou limitações, como maior custo na ferramenta esmagadora ou riscos de erros no planejamento e execução do enfraquecimento. Os resultados indicaram que o método de enfraquecimento da seção, combinado ao martelo demolidor para ajustes, é uma solução vantajosa por aliar segurança, economia e bom desempenho. A pesquisa reforça a importância de adaptar a escolha dos métodos às condições específicas do projeto, bem como a busca por inovação para aumentar a produtividade e reduzir custos no setor da construção civil, promovendo um equilíbrio entre eficiência técnica, segurança e sustentabilidade.

Palavras-chave: arrasamento de estacas, fundações, engenharia civil.

1 INTRODUÇÃO

Fundações são elementos estruturais que transmitem ao solo as cargas da edificação. As forças transmitidas para fundação são elevadas e por esse motivo a execução correta da fundação requer muita atenção e cuidado, visto que assegura estabilidade e segurança da superestrutura. Para diferentes tipos de solos, há diferentes tipos de fundações. A escolha é feita quando as cargas da edificação são calculadas e através de ensaios determina as características do solo e em que profundidade se obtém um terreno adequado. As estacas de um empreendimento podem ser: estacas pré-moldadas de concreto, estacas metálicas, estacas escavadas mecanicamente, estacas Franki, estacas raiz, estacas hélice contínua monitoradas, estacas mega (ABEF, 2022). As estacas hélice contínua monitoradas são amplamente utilizadas no Brasil. Esta classe de fundação reserva-se em utilizar uma máquina para perfurar o solo com um trado metálico

helicoidal atingindo a profundidade desejada, a concretagem simultânea à retirada da hélice do solo até a cota de apoio do equipamento e a instalação da armadura (Antunes e Tarozzo, 1998). É denominada monitorada pois o operador consegue monitorar a profundidade, o volume de concreto injetado, o máximo torque de giro da hélice e um gráfico de perfil da estaca (ABEF, 2022).

A tarefa subsequente à concretagem da estaca por hélice contínua é o arrasamento e preparação do topo da estaca para receber as armaduras de apoio dos blocos. Este procedimento pode ser feito por diferentes métodos, como arrasamento de estaca com a ferramenta de martelo demolidor, quebrando o concreto em volta da armadura da estaca; com um equipamento mecânico que se acopla na máquina escavadeira, gerando pressão hidráulica para esmagar o concreto ao envolver a estaca; ou enfraquecendo a seção do concreto da estaca com determinado material, como madeira ou isopor, tornando-a fácil de ser arrasada. Segundo Joppert (2007), há diversas limitações no arrasamento das estacas, por exemplo na altura de concretagem, gerando perdas da ordem de até 20%.

Com o avanço das tecnologias presentes no ramo da construção civil, cada vez mais se busca utilizar mecanismos que reduzam prazo de execução de determinadas tarefas e apresentem economia de custo para o empreendimento. A questão desta pesquisa foi avaliar o custo real entre alternativas divergentes sobre a etapa de arrasamento, visto que pode trazer uma economia para a obra.

O objetivo deste trabalho foi apresentar três métodos diferentes para o arrasamento de estacas, comparando custos e produtividade dos mesmos. Também foram apresentadas as dificuldades e melhorias que se obtêm na execução da tarefa.

Este estudo se delimitou a métodos de arrasamento utilizados em estacas do tipo hélice contínua. O trabalho compreendeu o estudo de uma única obra construída na cidade de Porto Alegre.

2 EXECUÇÃO DE ESTACAS DE HÉLICE CONTÍNUA

As fundações por hélice contínua monitoradas são uma técnica de perfuração envolvendo o uso de um trado helicoidal vazado que é monitorado durante a perfuração para garantir a qualidade e precisão do trabalho. Diversas etapas fazem parte desta classe de fundações. Entre elas, estão a marcação do piquete, conferência de prumo da máquina, início da perfuração, início da concretagem e retirada do trado, colocação da armadura e arrasamento de estaca. Albuquerque, *et al.* (2001) descreve certas vantagens sobre o uso de hélice contínua em comparação à estaca escavada, sendo as principais: o maior controle no processo executivo, com monitoramento contínuo; a possibilidade de execução em solos de diferentes características, podendo ser executá-la abaixo do nível d'água no terreno e ausência de fluídos, ruídos e descompressão do terreno. O mesmo ainda cita as desvantagens, como a necessidade de um terreno plano e amplo, para movimentação da máquina e uma quantidade mínima de estacas para adequar custos de mobilização

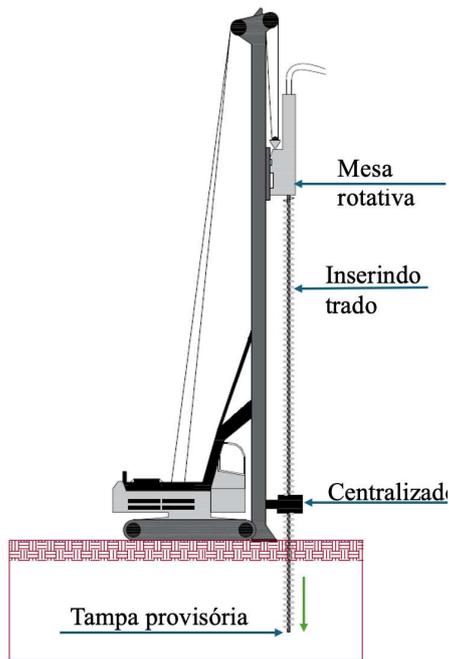
Para início da execução, deve-se limpar o terreno, removendo vegetação, detritos e outros obstáculos que interferem na perfuração. Em seguida, ocorre a marcação da estaca, podendo ser por gabarito ou topografia (figura 1). O gabarito deve manter um nível contínuo para poder ser usado em etapas de conferência de cota. Assim que estiver marcado o eixo da estaca no piquete, a máquina perfuratriz se desloca até o ponto de furação e o operador apruma a torre, deixando-a verticalmente alinhada. Outro membro da equipe de fundação deve verificar, com um prumo, o eixo do trado com a marcação do piquete. Ajustado o eixo, o operador inicia a perfuração do solo girando a hélice contínua até a cota de projeto (figura 2). Quando finalizada, ele autoriza o bombeamento do concreto para a estaca através de uma mangueira conectada na parte oca do trado (figura 3).

Figura 1 - Locação de piquete com gabarito ou topografia



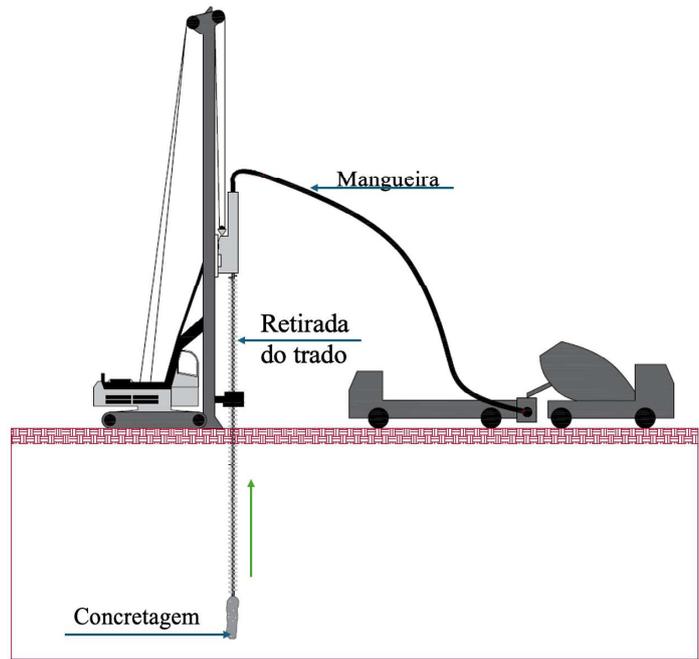
Fonte: O autor (2024)

Figura 2 - Máquina perfurando o solo



Fonte: O autor (2024)

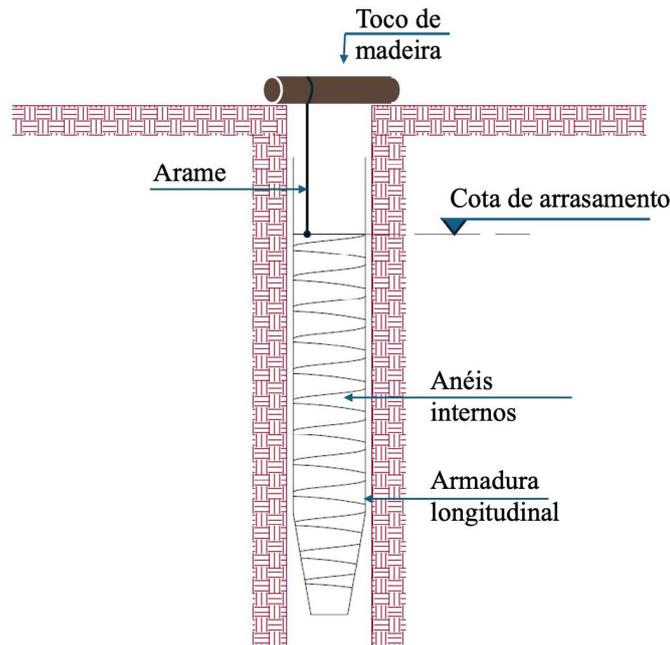
Figura 3 - Concretagem de estaca hélice contínua



Fonte: O autor (2024)

Assim, a tampa provisória irá se soltar com a pressão do concreto e o operador controla a subida do trado até o nível do solo durante a concretagem. Concluída a injeção de concreto, a máquina perfuratriz se afasta da estaca e a escavadeira se aproxima para retirada do solo acumulado para colocação da armadura. A armadura da estaca deve ser preparada anteriormente conforme projeto e introduzida no buraco com concreto, manualmente por ajudantes, a dispendo até o nível de arrasamento, determinado por projeto (figura 4). Para ocorrer a colocação da armadura até a cota desejada, usa-se um nível *laser* ou a cota de topo do gabarito, traçando linhas e afundando a ferragem no concreto. Para evitar a descida contínua da armadura, utiliza-se arame amarrado à ferragem e ancorado a um toco de madeira no nível do terreno.

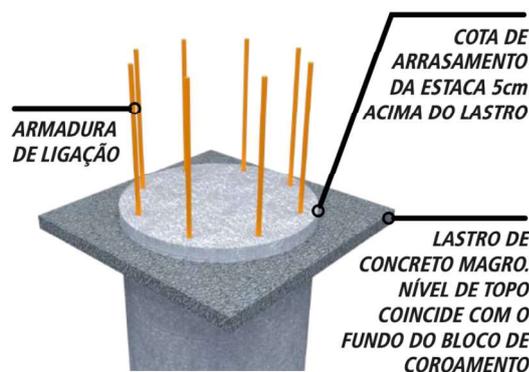
Figura 4 - Estaca concluída



Fonte: O autor (2024)

A cota de arrasamento em um projeto de fundações é determinada pelos blocos de fundação do projeto estrutural. Portanto deve-se remover o excesso de concreto acima da cota de arrasamento para posteriormente, a armadura do bloco de fundação apoiar sobre a estaca arrasada. Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022), o bloco necessita ser executado com lastro de, no mínimo, 5 centímetros de concreto magro, fazendo com que um trecho de concreto da estaca seja envolvido por outro concreto, que servirá de base para as armaduras do bloco (figura 5).

Figura 5 - Estaca arrasada com concreto magro

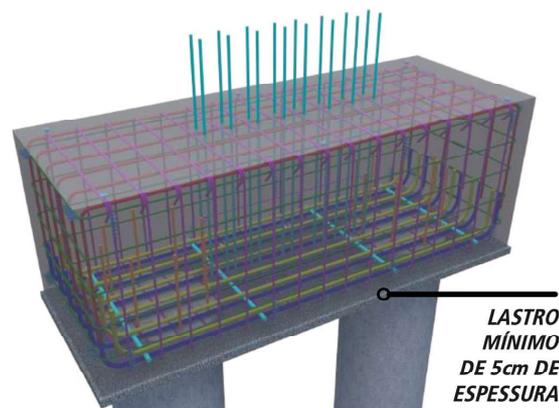


Fonte: Jorge Nakajima *et al.* (Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado. Volume 2, 2022)

O concreto da estaca pode ser mais trabalhável que o concreto da supraestrutura, com maior quantidade de água, resultando em uma maior relação água/cimento, segundo NBR 6118 (ABNT, 2023). Visto que há dificuldade de colocação da armadura da estaca em um concreto mais seco, é fundamental que o *slump* do caminhão seja alto e controlado, tornando-o pronto para ser bombeado e injetado.

Por fim, concretada e colocada a armadura indicada em projeto, deve-se arrasar a estaca até a profundidade da cota de arrasamento para receber as armaduras do bloco de coroamento (figura 6).

Figura 6 - Estaca pronta com armaduras do bloco de fundação



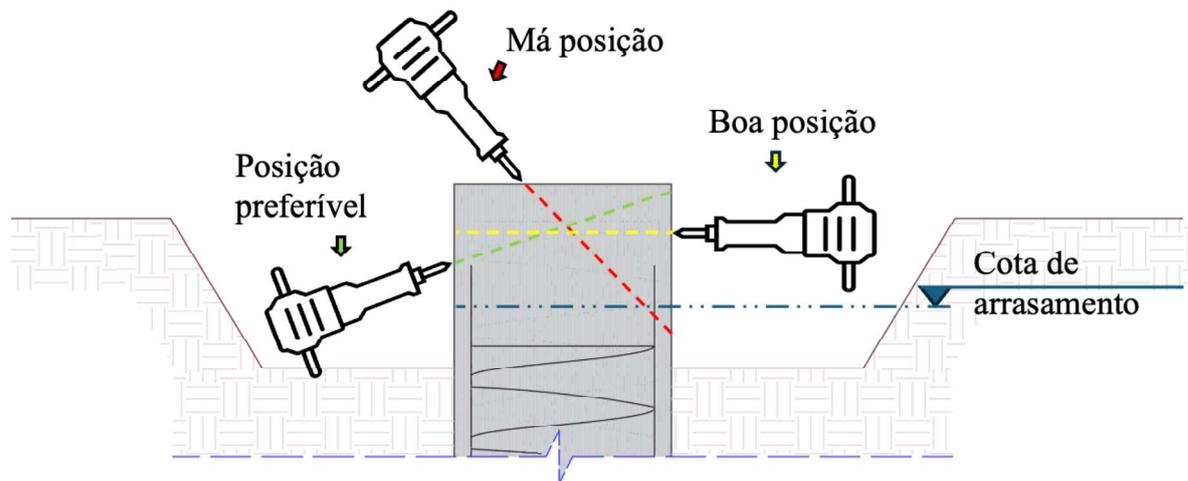
Fonte: Jorge Nakajima *et al.* (Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado. Volume 2, 2022)

2.1 Arrasamento de estacas por martelo demolidor

O arrasamento de estacas por martelo demolidor, ou martelete, é o método mais tradicional utilizado nesta etapa, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022). Ele consiste em remover o excesso de concreto atingindo a cota de arrasamento e mantendo a integridade estrutural do restante da estaca, com procedimentos normativos para executar corretamente.

O martelo rompedor possui diferentes especificações, como mais potente para materiais mais difíceis de serem quebrados ou leves para materiais mais frágeis. Para o arrasamento de estacas, recomenda-se um martelete mais potente, para a quebra do concreto ser feita de forma rápida e eficiente. Segundo a ABEF (Associação Brasileira de Empresas de Fundações e Geotecnia), o martelete deve ser utilizado a 90 graus ou superior, não permitindo transmitir a força rompedora verticalmente, ou de forma que possa trincar ou danificar o restante da estaca (figura 7).

Figura 7 - Práticas do arrasamento por martelo demolidor



Fonte: O autor (2024)

Segundo a ABMS (Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica), o uso de martelos demolidores elétricos é um método bastante difundido devido à sua simplicidade e eficiência em obras. Este método consegue deixar a cabeça da estaca limpa e pronta para receber as armaduras do bloco de fundação, ou bloco de coroamento.

Embora a norma NBR 6122 (ABNT, 2022) não especifique o equipamento ideal para o arrasamento, ele pode ser feito por diferentes potências, sendo o mais comum o demolidor elétrico de concreto com 2.000W com peso de 30kg, segundo Caderno Técnico do Serviço (SINAPI, 2023).

2.2 Arrasamento de estacas por ferramenta esmagadora de concreto

O arrasamento por ferramenta esmagadora de concreto é um método utilizado para nivelar a cabeça da estaca através de um maquinário com força hidráulica acoplada à escavadeira (figura 8).

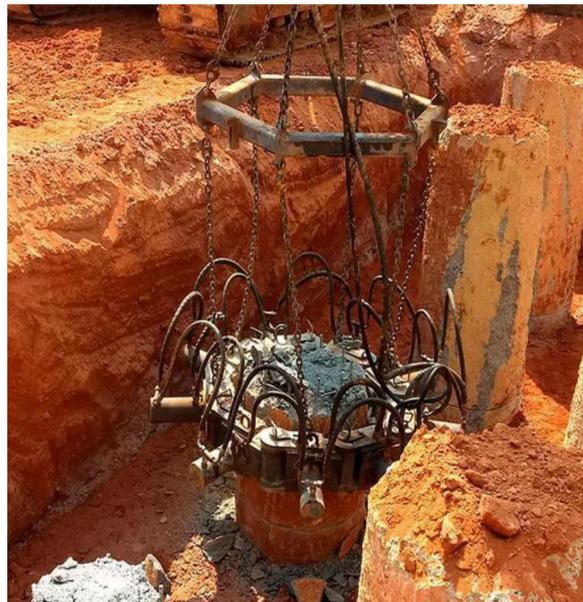
Este consiste em introduzir a ferramenta envolvendo a estaca e esmagando o concreto em etapas, até atingir a cota de arrasamento (figura 9). A ferramenta esmagadora de concreto ou arrasadora de estaca, é uma peça que está sendo utilizada no mercado da construção civil para substituir o método de martelo demolidor elétrico, visto que não necessita de ajuda externa, seja força humana ou maquinário além da escavadeira. Os elos conectores permitem que este tipo de equipamento possa ter diâmetros variáveis, podendo encaixar em diferentes tamanhos de estacas.

Figura 8 - Maquinário hidráulico arrasador de estaca



Fonte: AGF Equipamentos (2024)

Figura 9 - Maquinário hidráulico arrasando estaca



Fonte: MSG Equipamentos (2024)

2.3 Arrasamento de estacas por enfraquecimento da seção da estaca

O arrasamento por enfraquecimento da seção da estaca é um método que se baseia em enfraquecer a estaca a nível da cota de arrasamento, para somente a máquina escavadeira conseguir retirá-la, sem ajuda de força humana ou maquinário externo. Para isso, é preferível que durante a armação da ferragem da estaca, coloca-se uma chapa de madeira circular, com diâmetro pouco inferior ao trado da hélice e levemente maior que a circunferência da armadura. Além disso, deve-se encamisar o ferro longitudinal, que será trespassado com o bloco, com mangueira ou eletroduto flexível (figura 10), não permitindo o concreto aderir a armadura, facilitando o processo de arrasamento. Além disso, foi colocado um sarrafo de pinus 2,5 centímetros por 5 centímetros para reforço do compensado de madeira, para na hora de afundar a armadura no concreto não haver a quebra ou fissura do artefato de compensado.

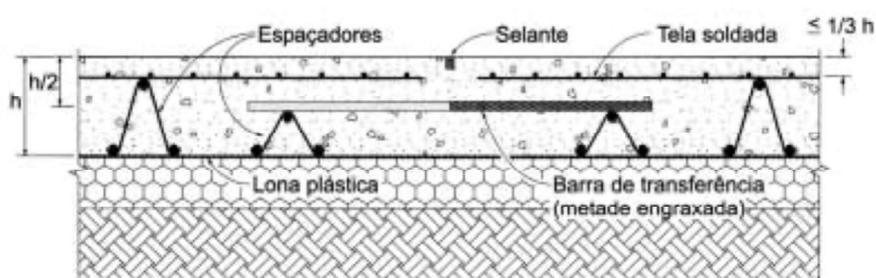
Figura 10 - Estaca com madeira e vergalhão isolado



Fonte: O autor (2024)

Este tipo de arrasamento tem como princípio a junta serrada de dilatação em um piso de concreto (figura 11), que se baseia em forçar uma fragilidade na seção do piso, cortando-o com uma serra a uma profundidade de $1/4$ a $1/3$ do piso, fazendo com que haja uma fissura controlada no restante do concreto (Braga e Pereira, 2014). Este método faz com que o restante da área concretada não sofra interferência de dilatações, visto que será direcionada somente na junta serrada.

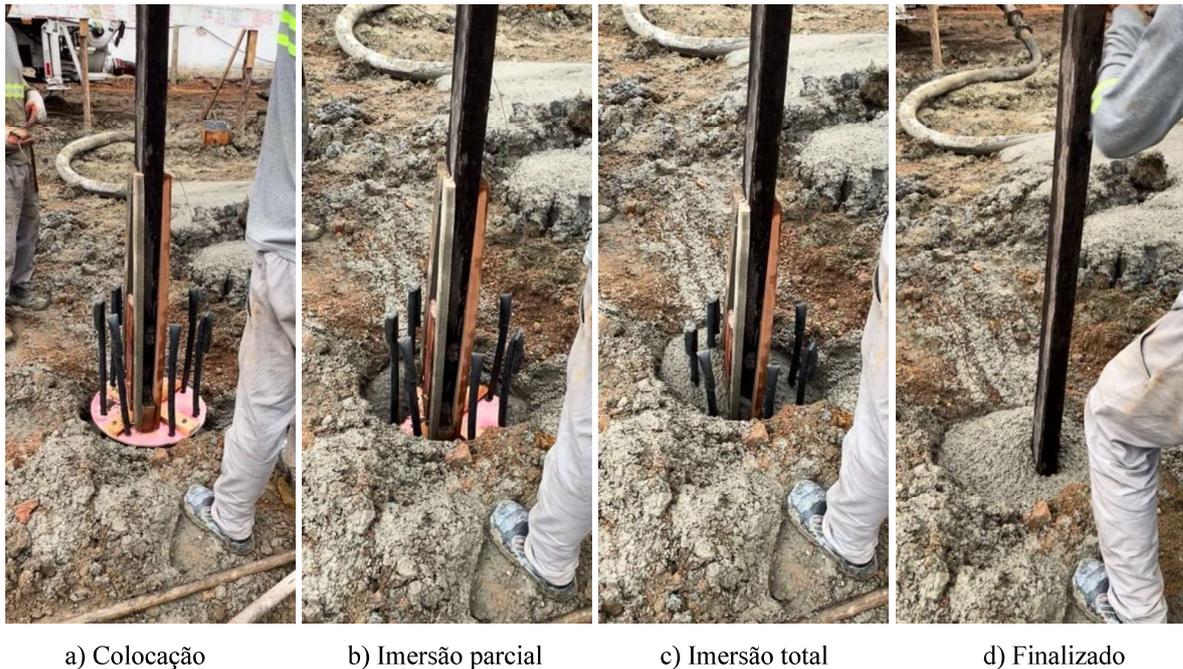
Figura 11 - Junta serrada de dilatação



Fonte: Rodrigues (Projetos e critérios executivos de pavimentos industriais de concreto armado, 2006)

Embora a junta serrada seja feita posteriormente a concretagem do piso, o arrasamento por enfraquecimento na seção precisa ser previsto antes da concretagem da estaca, para que a armadura seja afundada no concreto com a peça de madeira até a cota de arrasamento, com a ajuda de um caibro de madeira (figura 12).

Figura 12 - Colocação de armadura com artefato de madeira



Fonte: O autor (2024)

Posteriormente, a máquina escavadeira provoca uma quebra controlada da estaca no momento da escavação (figura 13). A referida abordagem faz com que diminua a área da seção de concreto, tornando desconexo as duas partes da estaca, sendo a que será arrasada e a parte que será mantida intacta (figura 13).

Figura 13 - Quebra da seção enfraquecida por madeira



Fonte: O autor (2024)

Finalizada a quebra de seção enfraquecida e visualizado boas condições da cabeça da estaca, ela está apta a receber as armaduras do bloco de coroamento. Caso contrário, deve-se limpar o topo da estaca com uma ferramenta demolidora, à exemplo do marteleto, de forma que a superfície se mantenha plana.

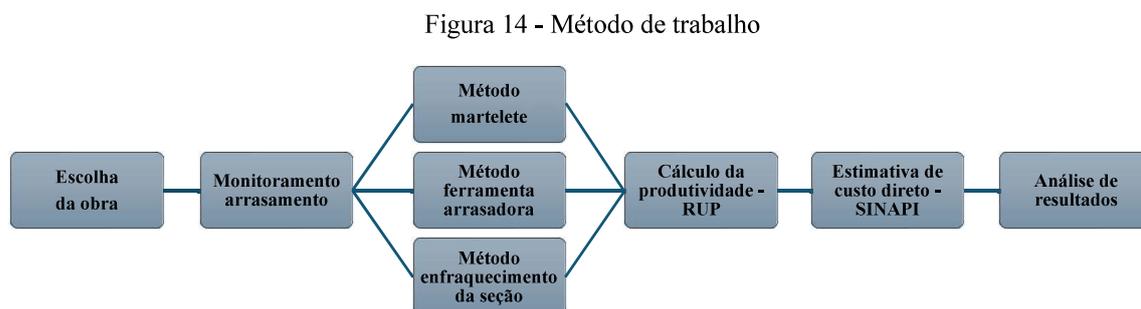
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Método de Pesquisa

O trabalho consiste na abordagem de em um objeto de estudo e um problema de pesquisa. O objetivo é identificar fatores críticos que influenciam a eficácia do arrasamento de estacas, contribuindo para recomendações práticas que visem otimizar esse processo. Inicialmente, foi realizado uma revisão bibliográfica abrangente, incluindo livros, manuais e artigos técnicos, para entender os princípios e práticas existentes. Em seguida, realizou-se a elaboração do referencial teórico, a coleta de dados sobre o tema e a análise dos resultados obtidos. O desenvolvimento do trabalho foi conduzido através de uma análise quantitativa, na qual foram utilizados dados por meio de uma pesquisa descritiva. Essa abordagem permitiu classificar e interpretar os resultados de maneira mais aprofundada, possibilitando uma compreensão abrangente das informações coletadas.

3.2 Método de Trabalho

O desenvolvimento do trabalho seguiu o processo conforme ilustrado no fluxograma (figura 14).

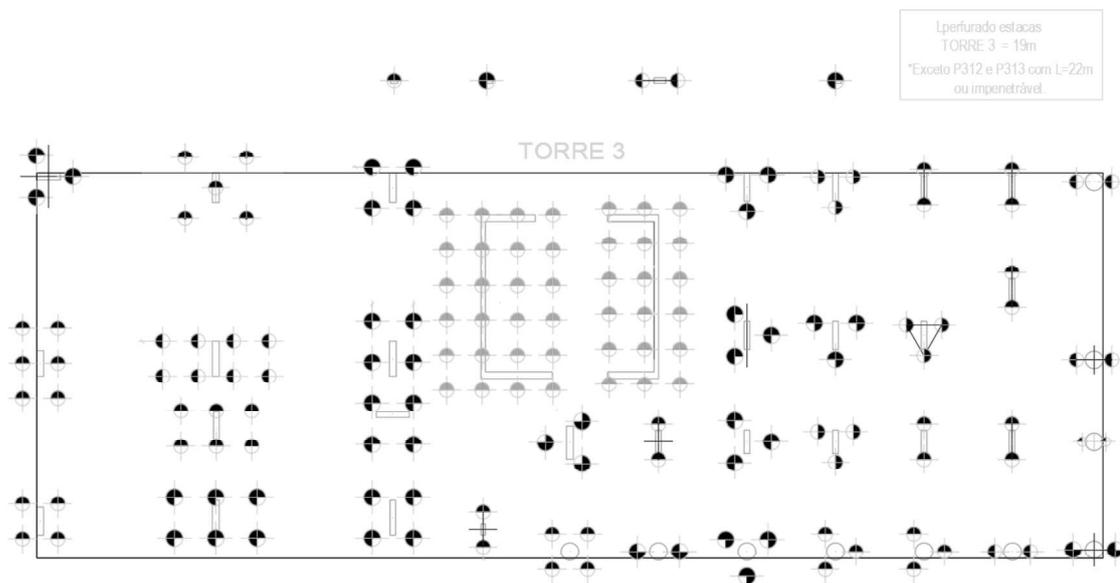


Fonte: O autor (2024)

3.2.1 A obra

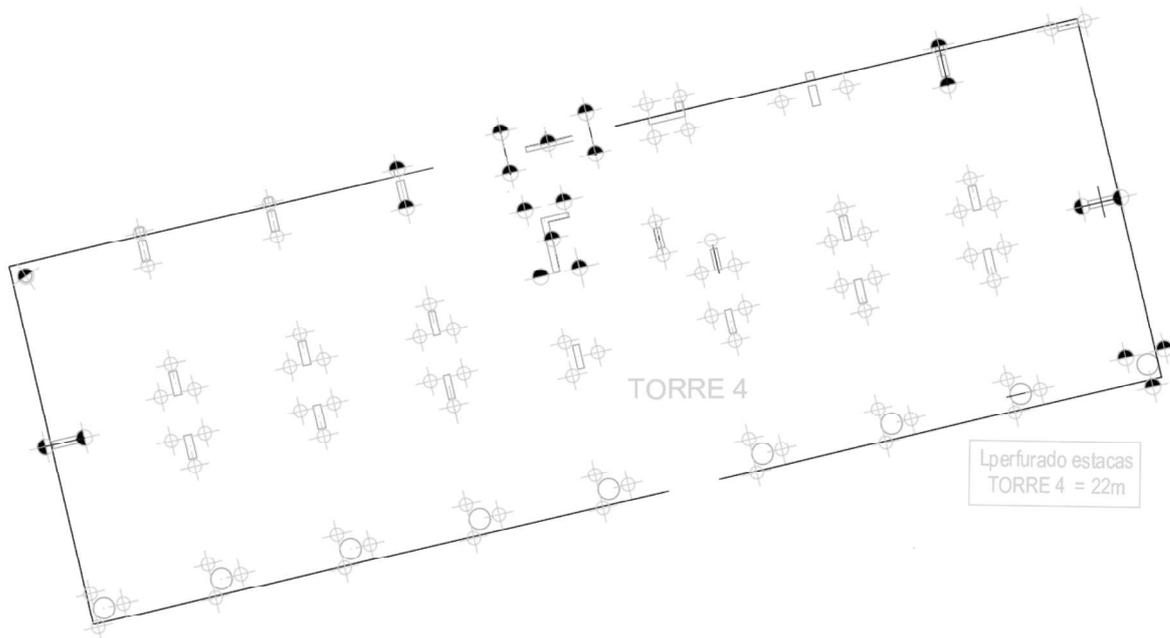
A obra escolhida como objeto deste trabalho situa-se na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. O terreno tem área total de 12.000 metros quadrados e o empreendimento possui, no total, 4 torres que serão construídas em duas etapas. Este trabalho compreende somente uma etapa construtiva, sendo 01 prédio residencial de 16 pavimentos e 01 prédio comercial de 09 pavimentos, iniciados, respectivamente, em fevereiro de 2024 e abril de 2024. O projeto de fundações previa estacas de hélice contínua de diâmetros 40 centímetros, 50 centímetros, 60 centímetros e 70 centímetros (figura 15 e figura 16).

Figura 15 – Parte do projeto de fundações Torre 3



Fonte: Projeto de fundação da empresa X (2024)

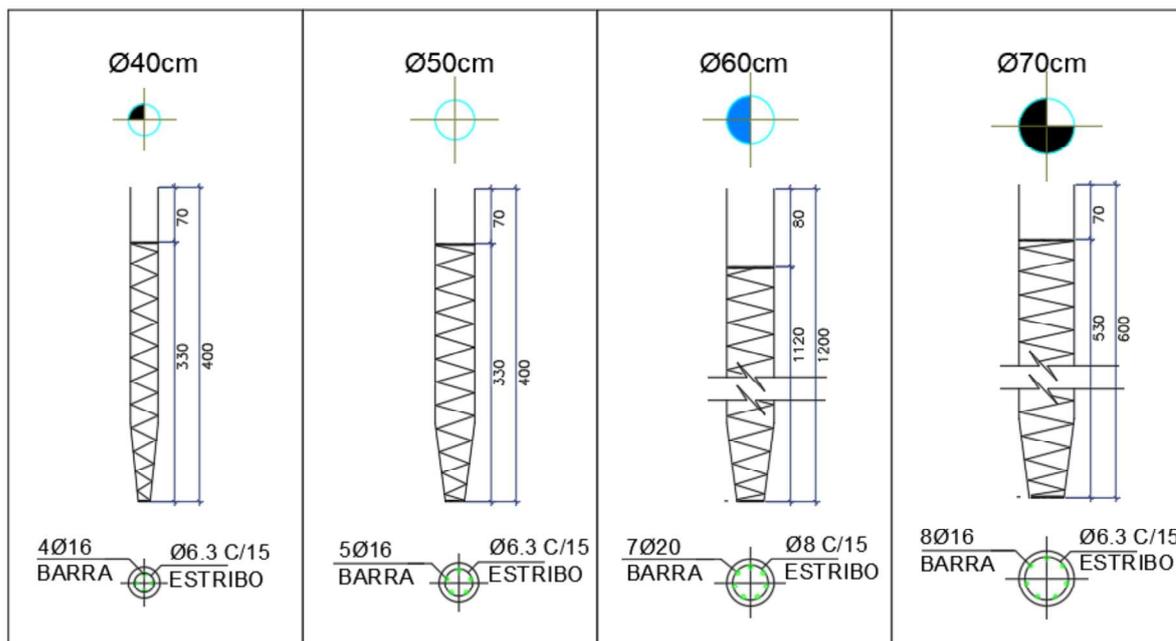
Figura 16 – Parte do projeto de fundações Torre 4



Fonte: Projeto de fundação da empresa X (2024)

As armaduras das estacas estão representadas de acordo com a região das torres de cada etapa, sendo utilizado ferragens de 4, 6 e 12 metros na primeira etapa, de diferentes diâmetros (figura 17).

Figura 17 - Armadura das estacas



Fonte: Projeto de fundação da empresa X (2024)

3.2.2 Método do martelete

O martelete, ou martelo demolidor foi utilizado em 55 estacas do empreendimento. As etapas deste método são descritas conforme o fluxograma (quadro 1).

Quadro 1 - Procedimentos executivos de arrasamento por martelete

Ordem	Descrição
1.	Perfuração e concretagem da estaca;
2.	Colocação da armadura;
3.	Escavação no entorno da estaca até a cota de projeto;
4.	Arrasamento por martelete até a cota de arrasamento;
5.	Verificar nível, integridade e alisamento da cabeça da estaca.

Fonte: O autor (2024)

3.2.3 Método da máquina arrasadora

A ferramenta arrasadora foi utilizada em somente em 42 estacas que possuíam diâmetro 60 e armaduras longitudinais de 12 metros, visto que o acesso humano era limitado para o arrasamento por martelete devido ao terreno possuir muito lodo a uma profundidade grande. Os procedimentos da ferramenta arrasadora estão descritos no fluxograma (quadro 2).

Quadro 2 - Procedimentos executivos de arrasamento por ferramenta arrasadora

Ordem	Descrição
1.	Perfuração e concretagem da estaca;
2.	Colocação da armadura;
3.	Escavação no entorno da estaca até a cota de arrasamento;
4.	Acoplar ferramenta arrasadora na escavadeira, conectando mangueiras e suportes;
5.	Arrasar até a cota de projeto;
6.	Verificar nível, integridade e alisamento da cabeça da estaca.

Fonte: O autor (2024)

3.2.4 Método do enfraquecimento da seção

O método por enfraquecimento da seção foi utilizado em 67 estacas da Torre 3 e em 99 estacas da Torre 4. As etapas deste procedimento estão descritas no fluxograma (quadro 3).

Quadro 3 - Procedimentos executivos de arrasamento por enfraquecimento da seção de concreto

Ordem	Descrição
1.	Montagem da peça de madeira com furação;
2.	Colocação da peça na armadura pronta e cobrir os ferros longitudinais;
3.	Perfuração e concretagem da estaca;
4.	Colocação da armadura com bolacha de madeira;
5.	Escavação no entorno da estaca até a cota de arrasamento;
6.	Quebra da estaca na seção enfraquecida e retirada da estaca arrasada.
7.	Verificar nível, integridade e alisamento da cabeça da estaca.

Fonte: O autor (2024)

3.2.5 Indicador de produtividade

O indicador que calcula a produtividade foi feito com base na fórmula de RUP, ou Razão Unitária de Produção (Loturco, 2022), representada na equação 1:

$$RUP = \frac{Hh}{QS} \quad (\text{Equação 1})$$

- Hh descreve homem-hora da equipe disponíveis para a tarefa; e
- QS descreve a quantidade de serviço realizada em metro de unidade de estaca.

Os métodos possuem diferentes comparações de tempo para execução. O cálculo da produtividade no método de arrasamento por marteleto foi calculado com base no tempo trabalhado desde o começo da quebra da estaca até a finalização, deixando a cabeça da estaca limpa. O método do arrasamento por ferramenta arrasadora foi calculado com base no tempo de acoplamento da ferramenta à máquina escavadeira e o tempo de esmagamento da estaca até a cota necessária. Já a produtividade no método de arrasamento por enfraquecimento da seção

de concreto foi calculada pelo tempo necessário para montagem da chapa de madeira e colocação na armadura, além do tempo necessário para romper a estaca na devida cota.

3.2.5 Estimativa de custo

A estimativa de custo no cálculo de arrasamento por estaca obedeceu às diretrizes e normas propostas além de utilizar a tabela de setembro da SINAPI (2023). O arrasamento por martelete, tabelado pela SINAPI (Cadernos Técnicos de Composições para Estacas – Arrasamento), foi calculado através de insumos não desonerados e custos de composições analítico com base na produtividade de serventes para realização do serviço, a fim de comparar a produção e o custo. A estimativa de custo do método de arrasamento por ferramenta arrasadora foi feita através do preço de aluguel diário da ferramenta, orçada em duas fornecedoras de Porto Alegre e utilizada a de menor custo, além dos custos de composições analítico para máquina escavadeira para realização da tarefa pela SINAPI. O método de arrasamento por enfraquecimento da seção de concreto obteve seu custo estimado através da tabela da SINAPI de insumos não desonerados e custos de composições analítico, somando o que foi necessário para fabricação da peça redonda de madeira, eletrodutos e sarrafos, além do servente para realização da atividade e a máquina escavadeira para realização da tarefa.

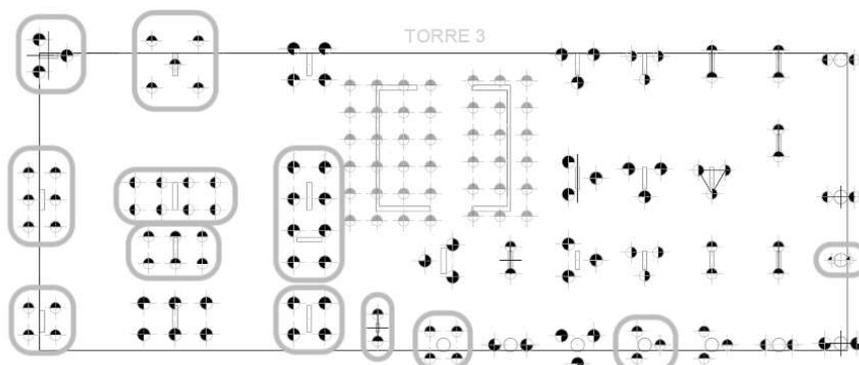
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Produtividade

4.1.1 Produtividade de arrasamento por martelo demolidor

O martelo demolidor foi utilizado para arrasar 55 estacas do empreendimento. Foram necessários diferentes números de serventes para realização do serviço, pois havia grande mudança de diâmetro de estacas e comprimento a ser arrasado, dificultando o trabalho. Na figura 18 está representado quais estacas foram arrasadas através deste método.

Figura 18 – Arrasamento por martelete em Torre 3



Fonte: Projeto de fundação da empresa X (2024)

O indicador de produtividade relacionou o serviço executado em relação ao tempo médio, produtivo e improdutivo, comparando dados obtidos com caderno técnico de composições da SINAPI de março de 2023 (tabela 1).

O tempo total indicado é um cálculo feito através do tempo médio multiplicado pela altura de arrasamento e novamente multiplicado pelo número de estacas do bloco, ou pilar. Há uma diferença no tempo médio de execução para diferentes diâmetros de estaca, levando um maior tempo para diâmetros maiores. A altura de arrasamento foi calculada com base no nível do terreno diminuído pela cota de arrasamento presente no projeto dos blocos de coroamento. Este método de arrasamento não levou em conta a limpeza do local de arrasamento, visto que a SINAPI indica que não se deve apresentar detritos da quebra do concreto no local onde o bloco será feito.

Tabela 1 – Indicador de produtividade em arrasamento por martetele

Pilar	Diâmetro	Número estacas	Altura arrasamento	Tabela SINAPI	Tempo médio por metro de estaca
P301	70,0 cm	3	1,3 m	1,98 horas	2,0 horas
P302	60,0 cm	5	1,7 m	1,16 horas	1,20 horas
P309	60,0 cm	6	1,6 m	1,16 horas	1,20 horas
P328	60,0 cm	4	1,4 m	1,16 horas	1,20 horas
P311	70,0 cm	8	2,1 m	1,98 horas	2,20 horas
P330	70,0 cm	4	1,5 m	1,98 horas	2,0 horas
P351	60,0 cm	2	1,05 m	1,16 horas	1,10 horas
P352	60,0 cm	4	1,4 m	1,16 horas	1,20 horas
P319	60,0 cm	6	1,6 m	1,16 horas	1,25 horas
P333	60,0 cm	3	1,25 m	1,16 horas	1,10 horas
P310	60,0 cm	8	1,9 m	1,16 horas	1,25 horas
P348	40,0 cm	2	0,9 m	0,72 horas	0,80 horas

Fonte: O autor (2024)

4.1.2 Produtividade de arrasamento por ferramenta esmagadora de concreto

O método de arrasamento por ferramenta esmagadora de concreto acoplada à máquina escavadeira foi utilizado em 42 estacas de diâmetro 60 centímetros (tabela 2), onde a altura de arrasamento era elevada, dificultando o trabalho humano com o martetele.

Tabela 2 – Indicador de produtividade em ferramenta esmagadora de concreto

Pilar	Número estacas	Altura arrasamento	Tempo médio por estaca
P312	24	2,5 m	0,2 horas
P313	18	2,2 m	0,2 horas

Fonte: O autor (2024)

Neste cálculo de produtividade, está descrito na tabela 2 o número de estacas que conseguiu-se arrasar, o tempo utilizado e a altura das mesmas. Com isto, foi possível calcular o tempo médio de arrasamento e o tempo total, a fim de comparar os métodos. A altura de arrasamento não é considerada um fator determinante para o cálculo de produtividade para este método, visto que o maquinário desliza até a cota necessária para arrasá-la. Este cálculo também engloba a retirada da estaca arrasada, deixando somente fragmentos pequenos de concreto no solo, oriundos do esmagamento do concreto.

4.1.3 Produtividade de arrasamento por enfraquecimento da seção

O método de arrasamento por enfraquecimento de seção da estaca teve sua produtividade calculada através do tempo utilizado para fabricação da peça de compensado, o corte no sarrafo de pinus e a fixação da mesma na armadura. Esta ação teve em média 2 horas de duração para fabricação de diferentes tamanhos de peças em uma única chapa. O ato de arrasamento por si foi calculado o tempo de quebra da seção e a retirada do restante da estaca, não deixando fragmentos de concreto no solo. A tabela 3 indica a quantidade de horas necessárias para sua fabricação.

Tabela 3 - Indicador de produtividade em enfraquecimento da seção

Diâmetro	Número peças	Tempo médio fabricação por estaca + arrasamento
50 cm	77	0,417 horas
60 cm	55	0,467 horas
70 cm	34	0,717 horas

Fonte: O autor (2024)

A quebra e retirada da estaca arrasada tem tempo total de 1 minuto, independente da altura do arrasamento. Porém, a máquina escavadeira deve possuir força suficiente para quebrá-la e retirá-la, já que estacas com maiores alturas de arrasamento possuem um maior peso e dependem da máquina para o arrasamento.

4.2 Estimativa de custo direto

O custo direto do arrasamento por martelo demolidor foi calculado com diferentes itens utilizados para este método, como servente e martelo demolidor. O item servente foi consultado através da SINAPI, indicando composições de custo com encargos complementares por hora de trabalho. O martelete, ou martelo demolidor manual, foi apresentado o valor de aluguel do equipamento por mês e calculado por hora. Este martelete foi alugado na cidade de Porto Alegre e utilizado na obra em questão, fazendo parte dos cálculos totais.

O custo direto do arrasamento por ferramenta esmagadora de concreto foi calculado com base no aluguel da máquina escavadeira de 21 toneladas com operador através da tabela SINAPI, juntamente com a ferramenta esmagadora contratada por empresa X diariamente pela obra em questão, transformando-a em aluguel horário. Este cálculo visa o uso total da máquina escavadeira exclusivamente para o arrasamento de estacas, excluindo-a de outras funções as quais poderiam ser utilizadas.

O custo direto do arrasamento por enfraquecimento da seção do concreto foi feito com base na tabela de preços da SINAPI de setembro de 2024, consultando insumos não desonerados e custos de composições analítico. Foram consultados os materiais eletroduto flexível e chapa de compensado resinada, além de carpinteiro para a realização deste método.

Os custos diretos de todos os insumos e necessidades dos três métodos diferentes estão descritos na tabela 4.

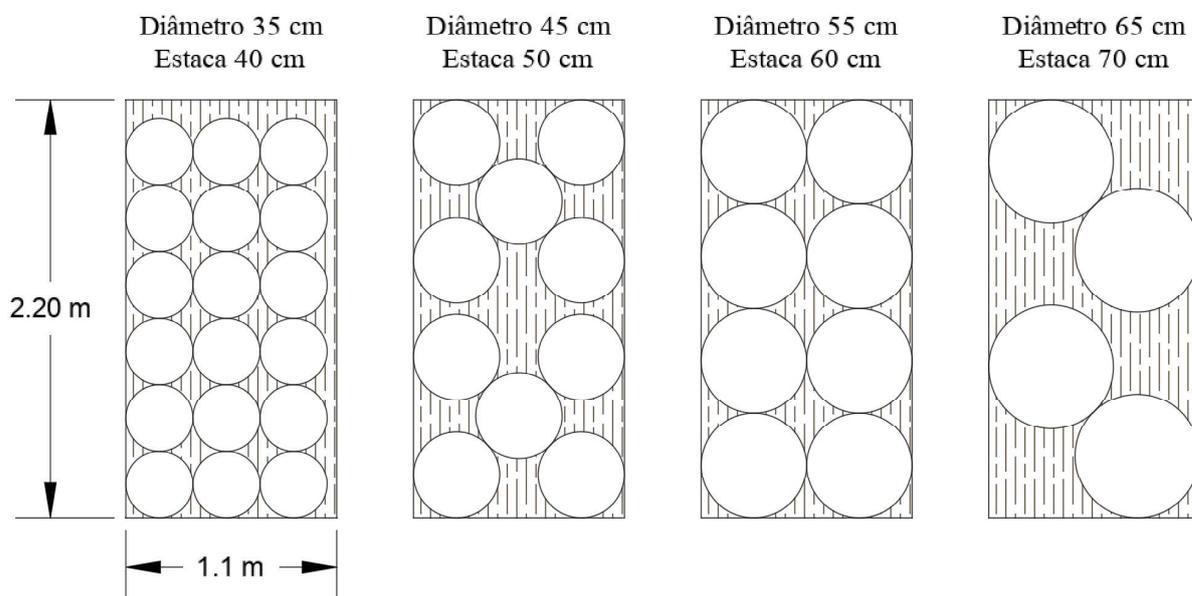
Tabela 4 – Custos diretos do arrasamento

Item	Unidade	Custo unitário
Servente com encargos	h	R\$ 23,08
Carpinteiro de formas com encargos	h	R\$ 27,55
Aluguel martelo demolidor elétrico 2000W	h	R\$ 1,18
Máquina escavadeira com operador	h	R\$ 234,21
Aluguel ferramenta arrasadora	h	R\$ 204,55
Chapa de compensado resinado 12mm - 2,20m x 1,10m	m ²	R\$ 40,78
Eletroduto flexível PVC corrugado 25mm	m	R\$ 3,59
Sarrafo de pinus 2,5cm x 5cm	m	R\$ 1,69

Fonte: O autor (2024)

A chapa de compensado utilizada em questão possuía 2,20 metros de comprimento por 1,10 metros de largura e 12 milímetros de espessura. Como chapa a ser colocada na estaca deve ser de diâmetro inferior ao diâmetro da estaca, foi adotado que a peça deveria conter 5 centímetros a menos de diâmetro, tornando 2,5 centímetros menor em cada lado. Com esta medida, foi possível recortar 18 unidades de diâmetro 35 centímetros, ou 10 unidades de diâmetro 45 centímetros, ou 8 unidades de diâmetro 55 centímetros, ou ainda 4 unidades de diâmetro 65 centímetros, podendo ser realizados diferentes combinações de diâmetros. Já o eletroduto foi inserido um de PVC flexível e corrugado, de uma polegada de diâmetro. O sarrafo para reforço de chapa foi utilizado de 2,5 centímetros por 5 centímetros.

Figura 19 - Disposição de fabricação de peças para o arrasamento



Fonte: O autor (2024)

A ferramenta utilizada para cortar a chapa foi a serra tico tico, que não estará na composição dos custos totais, assim como a furadeira, que foi utilizada para furar as peças para o encaixe dos ferros. Cada chapa de compensado gerou um trabalho, produtivo e improdutivo, de 2 horas, em média, para fabricação das peças. A quantidade de eletroduto flexível para fabricação de uma peça está baseada na quantidade média de ferros longitudinais que contém as estacas armadas. Além disso, é dobrado um trecho pequeno do eletroduto, para não deixar o concreto entrar no vão. Assim, foi calculado uma média de 80 centímetros de eletroduto por ferro longitudinal da estaca.

4.3 Análise de resultados obtidos

Para realizar uma comparação direta de produtividade e custo, foram feitas tabelas com os valores finais de arrasamento. A tabela 5 indica a composição de custo para o método de martelo demolidor por unidade de estaca de diâmetro 40 centímetros.

Tabela 5 – Composição de custo método martelo demolidor em estaca de diâmetro 40cm - Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	1,44	R\$ 1,18	R\$ 1,70
Servente com encargos complementares	h	1,44	R\$ 23,08	R\$ 33,24
			Total	R\$ 34,93

Fonte: O autor (2024)

A tabela 6 indica a composição de custo para o método de martelo demolidor por unidade de estaca de diâmetro 50 centímetros.

Tabela 6 – Composição de custo método martelo demolidor em estaca de diâmetro 50cm - Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	1,7*	R\$ 1,18	R\$ 2,00
Servente com encargos complementares	h	1,7*	R\$ 23,08	R\$ 39,24
			Total	R\$ 41,24

*Valores interpolados através de estacas de 40cm e 60cm de diâmetro.

Fonte: O autor (2024)

A tabela 7 indica a composição de custo para o método de martelo demolidor por unidade de estaca de diâmetro 60 centímetros.

Tabela 7 – Composição de custo método martelo demolidor em estaca de diâmetro 60cm - Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	1,91	R\$ 1,18	R\$ 2,25
Servente com encargos complementares	h	1,91	R\$ 23,08	R\$ 44,08
			Total	R\$ 46,34

Fonte: O autor (2024)

A tabela 8 indica a composição de custo para o método de martelo demolidor por unidade de estaca de diâmetro 70 centímetros.

Tabela 8 – Composição de custo método martelo demolidor em estaca de diâmetro 70cm - Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	3,784	R\$ 1,18	R\$ 4,47
Servente com encargos complementares	h	3,784	R\$ 23,08	R\$ 87,33
			Total	R\$ 91,80

Fonte: O autor (2024)

A tabela 9 indica a composição de custo para o método da ferramenta esmagadora de concreto por unidade de estaca de diâmetros 40, 50, 60 e 70 centímetros.

Tabela 9 – Composição de custo método ferramenta arrasadora de estaca - Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Máquina escavadeira 21T	h	0,2***	R\$ 234,21	R\$ 46,84
Ferramenta esmagadora	h	0,2***	R\$ 204,55	R\$ 40,91
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	0,1	R\$ 1,18	R\$ 0,12
Servente com encargos complementares	h	0,1	R\$ 23,08	R\$ 2,31
			Total	R\$ 90,18

*** Para diâmetros de 40, 50 e 70 centímetros, não há diferença no tempo de execução devido ao tempo de encaixe da ferramenta.

Fonte: O autor (2024)

A tabela 10 indica a composição de custo para o método de enfraquecimento da seção de concreto por unidade de estaca de diâmetro 40 centímetros. Os valores estimados foram interpolados através de resultados de produtividade de diâmetros superiores e os insumos apresentados foram calculados através da necessidade para este determinado diâmetro.

Tabela 10 – Composição de custo método enfraquecimento da seção em estaca de diâmetro 40cm - Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Máquina escavadeira 21T	h	0,017	R\$ 234,21	R\$ 3,98
Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,111	R\$ 27,55	R\$ 3,06
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	0,1**	R\$ 1,18	R\$ 0,12
Servente com encargos complementares	h	0,1**	R\$ 23,08	R\$ 2,31
Chapa de compensado resinado 12 mm	m ²	0,134	R\$ 40,78	R\$ 5,46
Sarrafo de pinus 2,5x5 cm	m	0,35	R\$ 1,69	R\$ 0,59
Eletroduto Flexível PVC corrugado 25mm	m	3,2	R\$ 3,59	R\$ 11,49
			Total	R\$ 27,01

** Valores estimados de produtividade, interpolando diâmetros superiores.

Fonte: O autor (2024)

A tabela 11 indica a composição de custo para o método de enfraquecimento da seção de concreto por unidade de estaca de diâmetro 50 centímetros.

Tabela 11 – Composição de custo método enfraquecimento da seção em estaca de diâmetro 50cm – Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Máquina escavadeira 21T	h	0,017	R\$ 234,21	R\$ 3,98
Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,2	R\$ 27,55	R\$ 5,51
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	0,1	R\$ 1,18	R\$ 0,12
Servente com encargos complementares	h	0,1	R\$ 23,08	R\$ 2,31
Chapa de compensado resinado 12 mm	m ²	0,242	R\$ 40,78	R\$ 9,87
Sarrafo de pinus 2,5x5 cm	m	0,45	R\$ 1,69	R\$ 0,76
Eletroduto Flexível PVC corrugado 25mm	m	4	R\$ 3,59	R\$ 14,36
			Total	R\$ 36,91

Fonte: O autor (2024)

A tabela 12 indica a composição de custo para o método de enfraquecimento da seção de concreto por unidade de estaca de diâmetro 60 centímetros.

Tabela 12 – Composição de custo método enfraquecimento da seção em estaca de diâmetro 60cm – Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Máquina escavadeira 21T	h	0,017	R\$ 234,21	R\$ 3,98
Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,25	R\$ 27,55	R\$ 6,89
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	0,1	R\$ 1,18	R\$ 0,12
Servente com encargos complementares	h	0,1	R\$ 23,08	R\$ 2,31
Chapa de compensado resinado 12 mm	m ²	0,242	R\$ 40,78	R\$ 9,87
Sarrafo de pinus 2,5x5 cm	m	0,55	R\$ 1,69	R\$ 0,93
Eletroduto Flexível PVC corrugado 25mm	m	5,6	R\$ 3,59	R\$ 20,10
			Total	R\$ 44,20

Fonte: O autor (2024)

A tabela 13 indica a composição de custo para o método de enfraquecimento da seção de concreto por unidade de estaca de diâmetro 70 centímetros.

Tabela 13 – Composição de custo método enfraquecimento da seção em estaca de diâmetro 70cm – Unidade

Insumo	Unidade	Índice	Custo unitário	Custo total
Máquina escavadeira 21T	h	0,017	R\$ 234,21	R\$ 3,98
Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,5	R\$ 27,55	R\$ 13,78
Martelo demolidor elétrico 2000W	h	0,1	R\$ 1,18	R\$ 0,12
Servente com encargos complementares	h	0,1	R\$ 23,08	R\$ 2,31
Chapa de compensado resinado 12 mm	m ²	0,605	R\$ 40,78	R\$ 24,67
Sarrafo de pinus 2,5x5 cm	m	0,65	R\$ 1,69	R\$ 1,10
Eletroduto Flexível PVC corrugado 25mm	m	6,4	R\$ 3,59	R\$ 22,98
			Total	R\$ 68,93

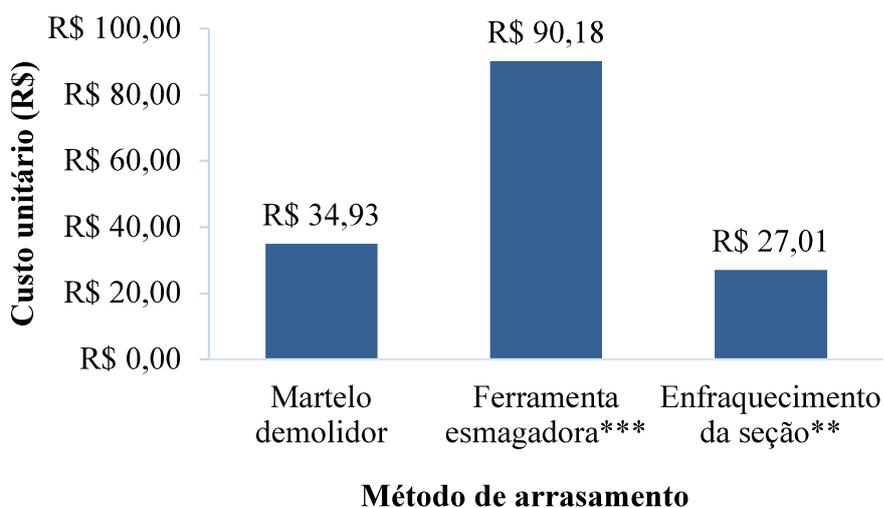
Fonte: O autor (2024)

Os valores de custos unitários no método do martelo demolidor e na ferramenta arrasadora encontrados referem-se a uma média da altura de arrasamento presente na obra em questão, visto que o cálculo de produtividade do martelete coloca este fator como determinante. Já o método do enfraquecimento da seção e o método da ferramenta esmagadora relevam esta

informação pois independe diretamente da altura de arrasamento para o cálculo de produtividade, não gerando alteração no custo.

Comparando os custos totais dos três métodos por diâmetro, a figura 20 apresenta o custo de arrasamento da estaca de diâmetro 40 centímetros demonstrando a eficiência do martelo demolidor e do enfraquecimento da seção, muito por conta da baixa altura de arrasamento. Já a ferramenta esmagadora obtém um valor três vezes maior do que os demais.

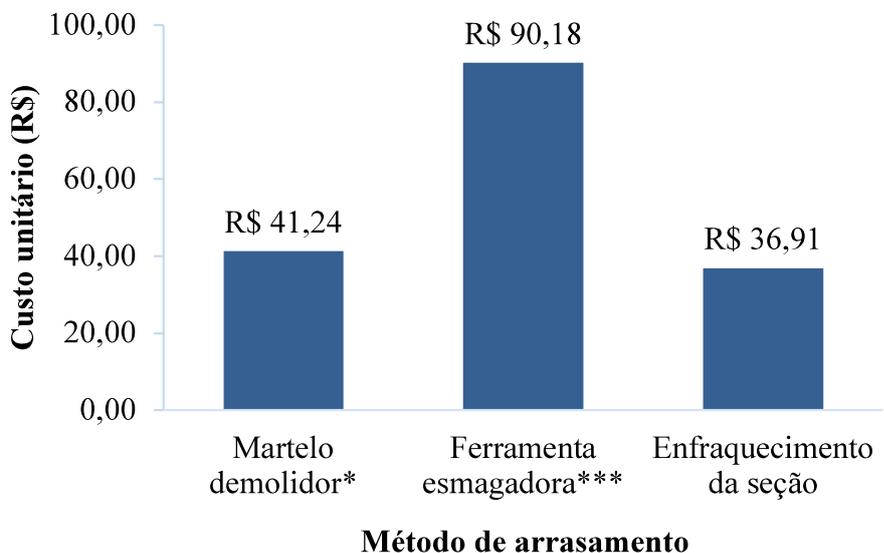
Figura 20 – Custos totais – Estaca de diâmetro 40 centímetros



Fonte: O autor (2024)

A figura 21 apresenta o custo de arrasamento de diâmetro 50 centímetros ainda com custo elevado da ferramenta arrasadora em comparação às outras 2 opções, se mantendo próximas, porém com resultado melhor para o enfraquecimento.

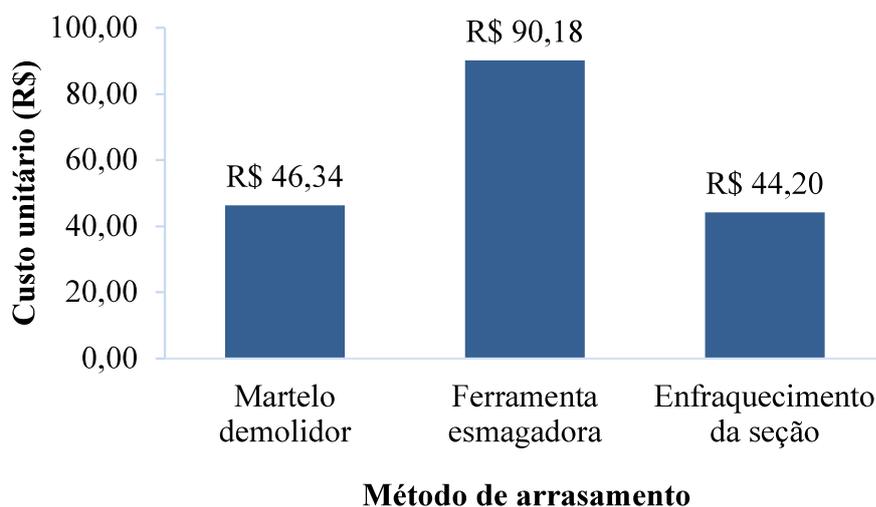
Figura 21 – Custos totais – Estaca de diâmetro 50 centímetros



Fonte: O autor (2024)

A figura 22 apresenta o custo de arrasamento da estaca de diâmetro 60 centímetros com a ferramenta esmagadora atingindo o dobro do custo das demais opções. Neste caso, o enfraquecimento da seção é pouco inferior ao martelo demolidor.

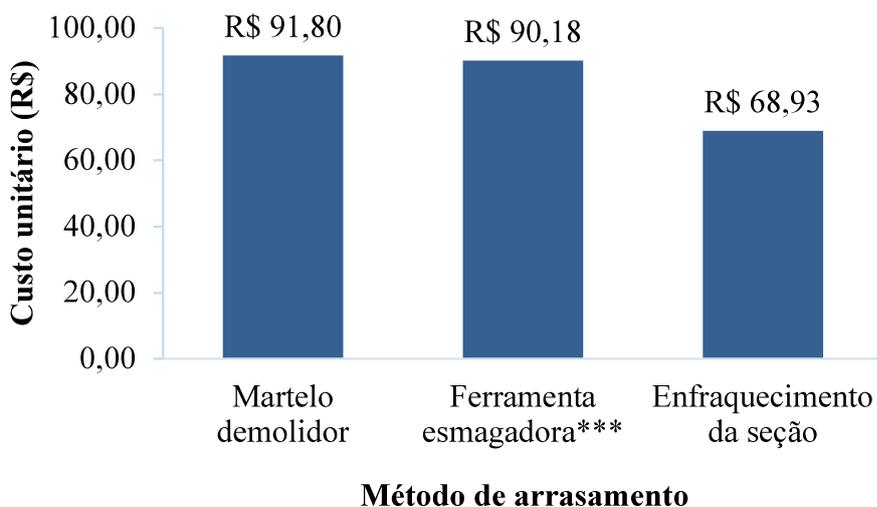
Figura 22 – Custos totais – Estaca de diâmetro 60 centímetros



Fonte: O autor (2024)

A figura 23 representa o custo de arrasamento da estaca de diâmetro 70 centímetros com o marteleto sendo a pior opção, muito por conta das altas alturas de arrasamento, seguido da ferramenta arrasadora e a melhor opção, o enfraquecimento da seção.

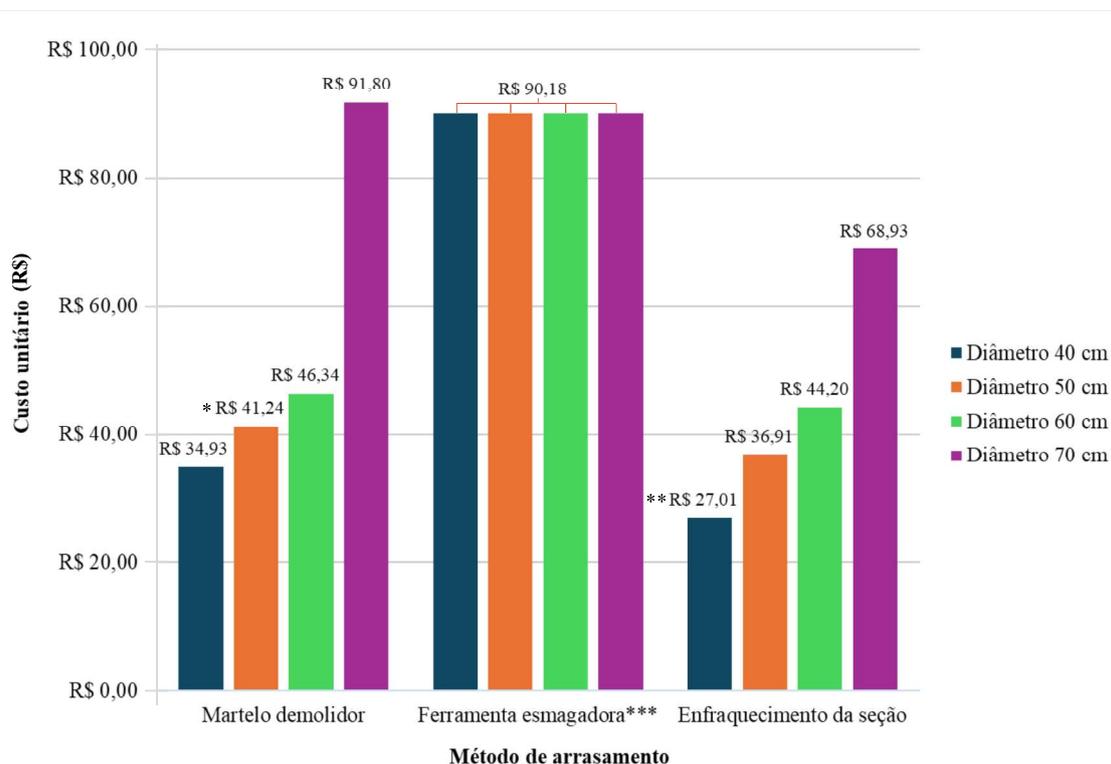
Figura 23 – Custos totais – Estaca de diâmetro 70 centímetros



Fonte: O autor (2024)

Conforme gráficos apresentados, pôde-se comparar todos os diâmetros através da figura 24.

Figura 24 – Custos totais – Unidade de estaca



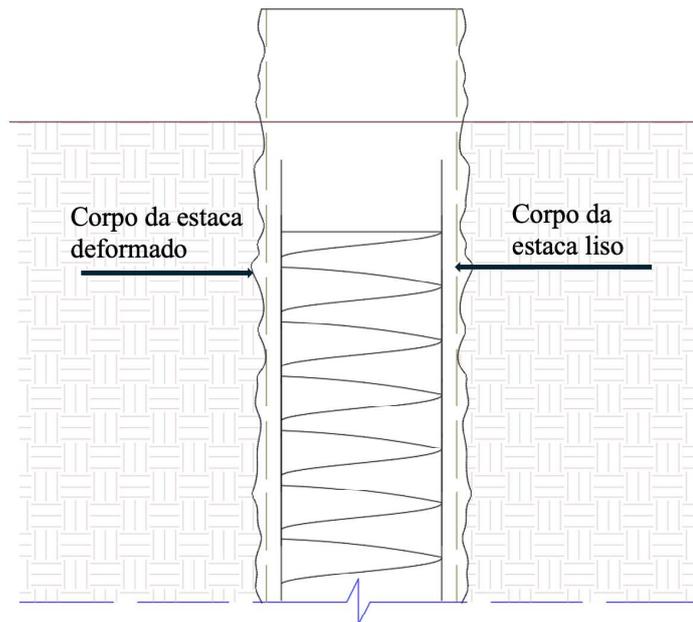
Fonte: O autor (2024)

4.4 Principais problemas do arrasamento

Vários são os erros e desacertos que se pode cometer durante o arrasamento. Conseqüentemente, os problemas apresentados pelo método de arrasamento por martelo demolidor se baseiam no uso incorreto do martelete, fazendo com que haja fissuras abaixo da cota de arrasamento, visto que o servente, depois de algumas horas, cansa de manter o equipamento a 90 graus e começa a virar o equipamento, sentido vertical, para quebra mais rápida da estaca, tornando a ação não recomendável.

O método de arrasamento por ferramenta esmagadora de concreto apresentou problemas no encaixe da ferramenta na estaca, pois para que a ferramenta consiga esmagar a estaca, não é permitido ter folga. Este problema foi encontrado devido a estaca não apresentar um corpo liso em função do solo (figura 25). Pôde-se resolver este problema utilizando um martelete para quebra do corpo excedente da estaca, gerando um custo extra para este método, já contido nas tabelas de custos totais.

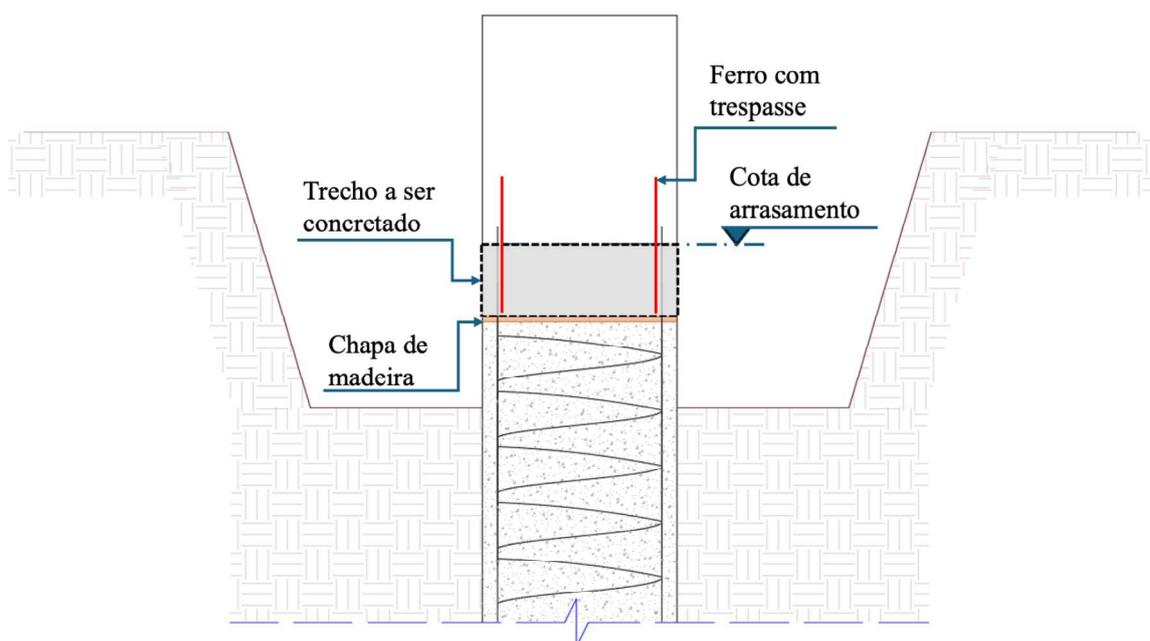
Figura 25 - Problemas do arrasamento por ferramenta esmagadora de concreto



Fonte: O autor (2024)

O arrasamento por enfraquecimento da seção de concreto apresentou problemas de afundamento da armadura com a peça de madeira, podendo ser por esticamento do arame preso à peça, fazendo com que a altura de arrasamento da estaca seja maior do que a de projeto. Conseqüentemente, houve um custo extra para buscar a armadura e concretar a parte faltante da estaca (figura 26).

Figura 26 – Problemas do arrasamento por enfraquecimento da seção de concreto



Fonte: O autor (2024)

Este problema pôde ser consertado deixando a peça de madeira 5 a 10 centímetros acima da cota de arrasamento de projeto. Isto fez com que um gasto extra, calculado para 10 centímetros de arrasamento da estaca por martelo demolidor, com tempo médio de 6 minutos, independente do diâmetro. Assim, mesmo ocorrendo o problema do esticamento do arame, ainda se mantém a cota de arrasamento desejada. Este custo extra está apresentado nas tabelas de custos totais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso analisou diferentes alternativas para o arrasamento de estacas de concreto, permitindo concluir que, conforme os gráficos apresentados para diferentes diâmetros, o elevado custo da ferramenta esmagadora de concreto se destaca devido à sua complexidade e à dificuldade de adaptação ao corpo liso das estacas. Por outro lado, o uso do martelo demolidor e o enfraquecimento da seção mostraram custos semelhantes, com diferenças mais significativas em estacas de maior diâmetro. Além disso, fatores específicos de cada cenário, como a altura de arrasamento prevista no projeto, também podem impactar os resultados.

Entre os métodos avaliados, o método de enfraquecimento da seção de concreto combinado com o martelo demolidor para acabamentos, embora mais trabalhoso em termos artesanais, confere uma maior produtividade com um custo econômico bastante inferior. Além disso, apresenta uma maior segurança ao trabalhador, visto que não se expõe por alta quantidade de horas à uma vibração e força constantes.

Este estudo evidencia a busca perene por novas tecnologias e métodos a fim de reduzir custos e aumentar a produção no ramo da engenharia civil, mantendo a segurança e respeitando as normas vigentes. A decisão estratégica entre as alternativas avaliadas pode influenciar diretamente os resultados operacionais e os benefícios alcançados no processo. Por fim, recomenda-se a realização de estudos adicionais envolvendo diferentes alturas de arrasamento e características de terreno, a fim de ampliar a aplicabilidade e a eficiência das soluções analisadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.

ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. **Fundações: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

ABEF - Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. **Manual de execução de fundações: práticas recomendadas**. São Paulo, 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

BRAGA R. E., PEREIRA, W. A. **Método Executivo De Piso Industrial**, *Revista Pensar Engenharia*. v.2, n. 2, 2014.

RODRIGUES, P. P. F. **Projetos e critérios executivos de pavimentos industriais de concreto armado**. São Paulo, 2006.

TAROZZO, Hélio; ANTUNES, Willian Roberto. **Estacas tipo hélice contínua. Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

AGF Equipamentos, c2024. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<https://agfequipamentos.com.br/produto/arrasador-de-estacas>>. Acesso em: 30 de set. de 2024.

MSG Equipamentos, c2022. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<https://msgequipamentos.com/arrasador-de-estacas/>>. Acesso em: 30 de set. de 2024.

ALBUQUERQUE, P. J. R. **Análise de desempenho de estacas hélice contínua e ômega – aspectos executivos**. 2002. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

JOPPERT, I. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2007.

NAKAJIMA, Jorge; ARAKAWA MARTINS, Larissa. **Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado**. Volume 2. São Paulo: França e Associados Projetos Estruturais, 2022.

LOTURCO, Bruno. **Produtividade na Construção Civil: o que é e como medir**. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/produtividade-na-construcao-civil/>. Acesso em: 30 de set. de 2024.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI: Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. 10ª Ed. Brasília: CAIXA, 2024.