



ESTUDO DE CASO - STRAUSS X HÉLICE CONTÍNUA: ANÁLISE DA VIABILIDADE DE EXECUÇÃO

SILVA, Ariane R. L.¹
BASTOS, João G. C. T.¹
SIMÕES, Ricardo²
Universidade São Francisco
arelourenco@gmail.com
joaocenciani@hotmail.com

¹Alunos do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Campus Bragança Paulista

²Professor Orientador Ricardo Simões, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Campus Bragança Paulista.

Resumo. A execução das fundações exige um grande conhecimento sobre a área, por isso, é de suma importância que os profissionais envolvidos sejam capacitados. A análise de viabilidade de execução de fundações consegue mostrar qual o tipo de fundação mais adequado para cada caso, assim como, mostra diferenças nos custos de mão de obra, execução, tempo e qualidade. A pesquisa foi conduzida por revisões bibliográficas e um estudo de caso, no qual o projeto de fundação da obra a ser executado era estaca hélice contínua, mas, com o intuito de mostrar a viabilidade de execução foi elaborado um projeto de estacas Strauss da mesma obra, para realização de um comparativo que é apresentado nos resultados. Para esse comparativo foram utilizadas tabelas dinâmicas, sondagem e pesquisas de campo envolvendo os tipos de maquinário para a determinação de qual o método mais eficaz em termos de custo e eficiência. Cada tipo de estaca tem suas aplicações e benefícios, a Strauss, por exemplo, causa muitas vibrações e ruídos, podendo afetar as construções vizinhas, diferentemente da estaca Hélice Contínua, que em sua execução, não gera vibrações no terreno, preservando a estabilidade do solo e das construções ao redor. Em termos de sustentabilidade, por ter o concreto injetado conforme a perfuração, a Hélice Continua, consequentemente, gera menos resíduos sólidos, pois não há perda de concreto em sua execução. A princípio, conclui-se que a estaca Hélice Contínua tem resultados mais eficientes quando comparados à estaca Strauss, o que faz total diferença, principalmente se tratando de economia, qualidade na execução, e sustentabilidade.

Palavras-chave: fundações profundas, lençol freático elevado, sondagem, estaca hélice, estaca Strauss.

Introdução

As fundações exercem a etapa mais importante da construção civil, pois são as responsáveis por transmitir as cargas da estrutura para o solo de maneira estável e segura. São subdivididas em rasas e profundas, para projetá-las é levado em consideração fatores geotécnicos, como as características do solo e a presença de lençol freático (que são identificados por meio da sondagem executadas conforme a NBR 6484), assim como, as cargas impostas pela estrutura.

Partindo desse pressuposto, segundo Albuquerque e Garcia (2020) grande parte dos problemas do engenheiro, ocorre quando há a necessidade de escavar abaixo da superfície do terreno. Logo, terrenos que possuem lençol freático, representam um desafio ainda maior para os profissionais do ramo, tendo em vista que a presença de água subterrânea pode impactar



diretamente as características do solo, e a capacidade de suporte das fundações. Nesse contexto, a compreensão das técnicas e avaliação cuidadosa da viabilidade de execução das fundações é de suma importância, pois determina não apenas a estabilidade estrutural, mas também os custos envolvidos e os potenciais riscos ao longo da vida útil da edificação.

O presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade de execução das fundações profundas, no caso estacas Hélice Contínua e Strauss, buscando compreender os critérios de seleção do tipo de fundações, o maquinário para sua execução e os aspectos econômicos envolvidos.

A pesquisa baseia-se em um estudo de caso com análise geotécnica (sondagem) e simulações computacionais, visando fornecer um panorama das abordagens utilizadas para enfrentar os desafios encontrados. Além disso, será dada atenção especial à importância da sustentabilidade no contexto das fundações, considerando práticas que minimizem o impacto ambiental e maximizem a eficiência das soluções adotadas.

Por meio deste estudo, espera-se oferecer um comparativo de tempo, custo, qualidade e sustentabilidade, auxiliando os profissionais da área na tomada de decisões, como também, na escolha das melhores práticas para garantir a viabilidade e a estabilidade das fundações profundas em terrenos com lençol freático elevado.

Material e Métodos

Conceitos e características

Fundações são estruturas cuja função é transmitir as cargas da superestrutura para o solo onde a construção está localizada, elas são essenciais para garantir a estabilidade e segurança de uma edificação.

Existem dois grandes grupos de fundações: fundações diretas ou rasas e fundações indiretas ou profundas.

As fundações diretas incluem sapatas corridas ou contínuas, sapatas isoladas e radier, já as fundações indiretas envolvem estacas e tubulões.

Para dimensionar uma fundação, é crucial conhecer as características do solo onde será construída, isso inclui a capacidade de carga do solo, peso específico, ângulo de atrito e coesão, elas também podem ser dimensionadas considerando a capacidade de carga de ruptura, capacidade de carga de segurança à ruptura ou capacidade de carga admissível.

Fundações superficiais ou rasas

Há diferentes tipos de fundações rasas, incluindo blocos, sapatas, radiers e vigas de fundação.

Os blocos são elementos de fundação rasa, e são dimensionados sem a necessidade de armadura. Segundo Velloso e Lopes (2004), o bloco é um elemento de fundação rasa que tem como característica o recebimento de apenas um único pilar. Eles se diferem das sapatas por serem dimensionados sem a precisão de armadura.

As sapatas, por outro lado, podem ser isoladas, corridas ou associadas, dependendo do número de pilares que suportam e são dimensionadas com armadura para resistir às tensões de tração.

O radier é uma fundação superficial que cobre toda a área da edificação e pode ou não incluir vigas.



As vigas de fundação são comuns a vários pilares e têm diferentes rigidezes e recalques dependendo do carregamento e da distribuição das cargas nos pilares associados.

Fundações profundas

Essas fundações transmitem carga ao solo por meio da base e/ou do atrito lateral, conhecidas como resistência de ponta e resistência de fuste, respectivamente. Essa combinação de resistências é adequada para solos menos resistentes e edificações altas.

Elas são caracterizadas por terem uma profundidade de assentamento superior a duas vezes sua menor dimensão ou diâmetro.

O dimensionamento é realizado no Projeto de Fundação, com base na sondagem do solo.

Existem diversos tipos de fundações profundas, como a estaca broca, estaca mega, estaca Franki, estaca metálica ou de aço, estaca pré-moldada de concreto, estaca escavada, estaca raiz, estaca Strauss, estaca hélice, estaca hélice contínua, estaca hélice de posição monitorada, estaca trado vazado segmentado, estaca mista, micro estaca e tubulão.

Cada tipo de fundação profunda tem suas próprias características e aplicações, variando de acordo com as condições do solo e as necessidades de construção.

A NBR 6122:2010 estabelece que as fundações profundas não apenas suportem as cargas através da base, mas também por meio do atrito lateral. Geralmente, a profundidade mínima dessas fundações é de três metros e é superior ao dobro de sua menor dimensão, como é comum em estacas, tubulões e caixões.

Importância das investigações geotécnicas

As investigações geotécnicas desempenham um papel crucial no projeto e na construção de obras civis, uma vez que fornece informações essenciais sobre as características do solo e do subsolo em determinada área. Isso é fundamental para garantir segurança, estabilidade e desempenho das estruturas durante sua vida útil.

Ela envolve a coleta de informações detalhadas sobre o solo e o subsolo, incluindo sua composição, resistência, permeabilidade, nível do lençol freático, entre outros parâmetros. Esses dados são cruciais para:

- Seleção adequada de fundações: ajuda os engenheiros a escolher o tipo de fundação mais apropriado para a obra, com base nas características do solo e nas cargas que a estrutura suportará. Isso inclui fundações superficiais, como sapatas e radier, ou fundações profundas, como estacas e tubulões.
- Avaliação de riscos: permite identificar e avaliar os riscos geotécnicos, como deslizamentos de terra, liquefação do solo durante terremotos e afundamentos de terreno. Isso propicia que medidas de mitigação sejam tomadas para garantir a segurança das estruturas.
- Dimensionamento adequado das estruturas: com base nos dados geotécnicos, os engenheiros podem dimensionar as estruturas de maneira apropriada, levando em consideração a capacidade de carga do solo e outros fatores de segurança.



- Seleção de materiais e métodos construtivos: a investigação geotécnica também influencia na seleção de materiais de construção e métodos construtivos, especialmente em projetos que envolvem contenções de encostas, drenagem e reforço de solos.
- Minimização de custos futuros: uma investigação geotécnica adequada pode ajudar a evitar custos significativos de reparo e reforço de estruturas no futuro, economizando tempo e recursos.

Neste contexto, segundo Albuquerque e Garcia (2020) existem várias variáveis que afetam um programa de investigação do subsolo, incluindo o tipo, escala e custo do projeto, a disponibilidade de equipamentos, o prazo para a investigação, o orçamento alocado para os serviços e as discrepâncias que podem surgir à medida que os trabalhos são realizados.

Sondagem SPT

A NBR 6484:2020 aborda o ensaio de SPT (Standard Penetration Test), que é uma sondagem a percussão amplamente utilizada na área de fundações e engenharia civil para investigar as características do solo subsuperficial. Ela fornece diretrizes e procedimentos para a realização desse ensaio, com foco na mecanização da sondagem e na obtenção de dados geotécnicos precisos.

A principal inovação introduzida por esta norma está relacionada ao sistema de sondagem mecanizada, que inclui o uso de um martelo automático. Anteriormente, a norma não especificava esse tipo de martelo.

A mecanização da sondagem SPT com o uso de martelo automático visa proporcionar maior precisão e uniformidade nos dados geotécnicos coletados, contribuindo para uma investigação mais confiável do subsolo.

Em relação à patologias, problemas de fundação podem surgir devido a investigações geotécnicas inadequadas, incluindo falhas na execução dos ensaios de campo ou laboratório e na interpretação dos dados coletados. Essas falhas podem levar a projetos inadequados e, consequentemente, a problemas de patologia na edificação.

Sondagem a Trado

A sondagem a trado é um método de investigação geológico-geotécnica de solos que utiliza um instrumento chamado trado. Esse método tem como especificação a coleta de amostras deformadas do solo, determinar a profundidade do nível d'água e identificar os horizontes do terreno. O trado é composto por três partes: cruzeta, pressa e trado, podendo ser do tipo concha ou helicoidal.

As condições gerais para a execução da sondagem a trado incluem o uso de pressas retas com rosca em bom estado, a limpeza da área ao redor do furo e o controle das profundidades dos furos.

A execução começa com o trado concha, que pode atingir profundidades superiores a 15 metros, dependendo do tipo de solo, quando atingir a argila mais rija ou argila abaixo do lençol freático, utilize-se o trado helicoidal.



As amostras são coletadas a cada metro perfurado e separadas por material, estas são acondicionadas em frascos para determinação da umidade natural e em sacos de lona ou plástico transparente para outros ensaios geotécnicos. Cada amostra é etiquetada com informações relevantes. Conforme Costa (2012), as amostras devem ser retiradas a cada metro perfurado e organizadas em montes sobre uma lona, de modo a evitar o contato delas com o solo da superfície. Esses montes devem ser separados a cada alteração de material.

A sondagem a trado pode ser encerrada quando atingir a profundidade desejada, ocorrer desmoronamentos nas paredes do furo, o avanço da escavação para inferior a 5 cm em 10 minutos ou quando se atingir um material impenetrável à perfuração, como cascalho, matacão ou rocha.

É importante observar o nível d'água durante a sondagem e registrar qualquer ocorrência.

Esse método pode ser utilizado em diversas aplicações, como pesquisa de materiais terrosos em barragens, caracterização das fundações, amostras de jazidas e determinação de mudanças de camadas.

As vantagens da sondagem a trado incluem sua rapidez, baixo custo e simplicidade. No entanto, suas limitações incluem a dificuldade de atravessar camadas de pedregulhos, a impossibilidade de escavação em materiais consolidados e a progressão limitada em areias inconsolidadas.

Apesar de suas limitações, a sondagem do comércio é amplamente utilizada em pesquisas de áreas de empréstimo de solos e em investigações preliminares das condições geológicas superficiais

A escolha do tipo de fundação

A escolha do tipo de fundação é extremamente importante, e vários fatores podem influenciar esta decisão, incluindo o sistema estrutural do edifício, as cargas aplicadas, as propriedades do solo, o lençol freático e as condições do mercado local: a disponibilidade de equipamentos e mão de obra, e restrições urbanas. Além disso, uma avaliação dos edifícios vizinhos é crucial, dados os potenciais danos que podem ser causados a eles pelo processo de execução da fundação.

A otimização de custos, prazos de entrega e logística também desempenham um papel importante na seleção do tipo de fundação mais adequado para um projeto. Além dos critérios técnicos essenciais mencionados anteriormente, é fundamental levar em conta os aspectos financeiros envolvidos. Em determinadas circunstâncias, alternativas que atendem aos requisitos de segurança podem ser mais vantajosas do ponto de vista econômico. Portanto, o fator de custo desempenha um papel determinante na escolha da fundação a ser adotada.

Além disso, é crucial que o tempo necessário para a execução esteja em conformidade com o cronograma da obra. Segundo Albuquerque e Garcia (2020), sempre que possível, é vantajoso priorizar aspectos de logística e economia de escala, optando por um único tipo de fundação para todo o projeto.



Estacas Franki

A estaca Franki é um tipo de fundação profunda que é moldada no local de execução (“in loco”). Essas estacas apresentam uma base alargada (bulbo), e são projetadas para suportar cargas pela resistência de ponta e resistência lateral.

O processo de execução envolve um bate estacas que faz a cravação das estacas por meio de golpes de um pilão, a formação do bulbo no solo, a colocação de armaduras e a concretagem dos furos. Conforme a NBR 6122/2010, em caso especiais, elas podem ser executadas sem o uso de armaduras, porém, quando as solicitações de carga em que as estacas estarão submetidas não indiquem o uso de armadura, por motivos de ordem construtiva, utilize-se uma armadura mínima.

Embora sejam capazes de suportar grandes cargas e atingir camadas profundas do solo, as estacas Franki geram vibrações no solo, que podem acarretar as edificações vizinhas, e, além disso, exigem tempo na execução, o que pode resultar em custos adicionais.

De acordo com Pereira (2017) é importante a supervisão durante sua execução pois pode ocorrer o levantamento de outras estacas já fixadas.

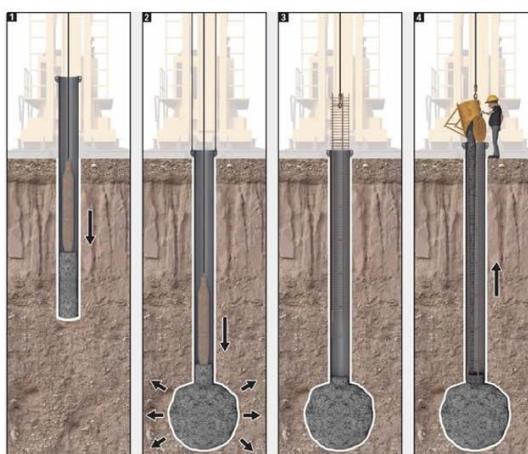


Figura 1: Etapas de Execução Estaca Franki (Fonte: Pereira, 2017)

Estacas Strauss

A estaca Strauss é uma fundação profunda, moldada in loco, geralmente com um diâmetro de 25 a 55 cm, e durante sua execução, as perfurações escavadas são preenchidas com concreto.

Foi criada para substituir estacas pré-moldadas que eram cravadas no solo por meio de percussão, um processo notório por causar muitas vibrações e ruídos.

Albuquerque e Garcia (2020) citam que inicialmente, a Strauss foi desenvolvida para ser executada acima do lençol freático, porém, o que possibilitou a execução abaixo do lençol freático, foi a introdução do tubo de revestimento na sua instalação.

É considerável observar que, se houver água no fundo do furo após a perfuração, pode ser necessário introduzir um volume de concreto seco para selar o furo, nesse caso, a contribuição da ponta da estaca para sua capacidade de carga deve ser desconsiderada.

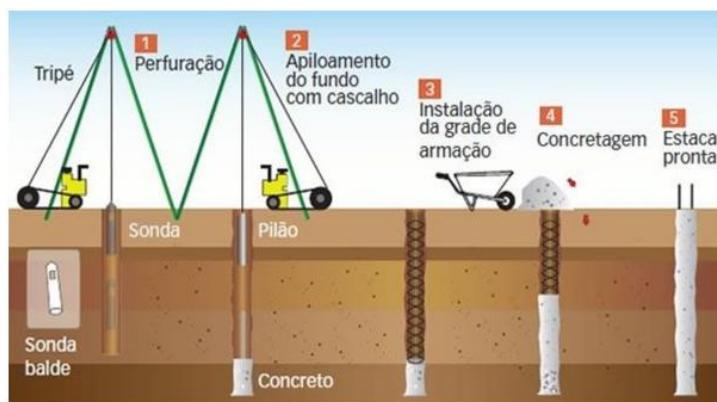


Figura 2: Etapas de Execução Estaca Strauss (Fonte: Terres, 2022)

Estacas Hélice Contínua

A estaca tipo hélice contínua é uma fundação de concreto moldada no local, executada com a introdução de um trado helicoidal contínuo no solo por rotação e injetando concreto pela haste central do trado enquanto ele é retirado. A armadura é adicionada após a concretagem da estaca.

Elas são apreciadas principalmente pela capacidade de produção elevada e baixa vibração durante a execução.

Os diâmetros das estacas podem variar de 25 cm a 100 cm, com comprimentos de até 30 metros.

A NBR 6122/2010 estabelece que sempre que a contribuição da resistência de ponta for considerada no projeto, essa informação deve ser explicitada. Para estacas hélice contínua com escavação do solo, as mesmas condições de carga admissível geotécnica que se aplicam às estacas escavadas tradicionais devem ser atendidas.

O processo executivo pode variar dependendo da relação entre as velocidades de rotação e avanço vertical do trado. Se o avanço vertical for próximo ao produto da velocidade de rotação pelo passo da hélice, o solo não será praticamente deslocado pelo trado, evitando desconfinamento do solo. Além disso, uma pressão de bombeamento de concreto mais alta pode melhorar a capacidade de carga da estaca, mas também resulta em maior consumo de concreto.

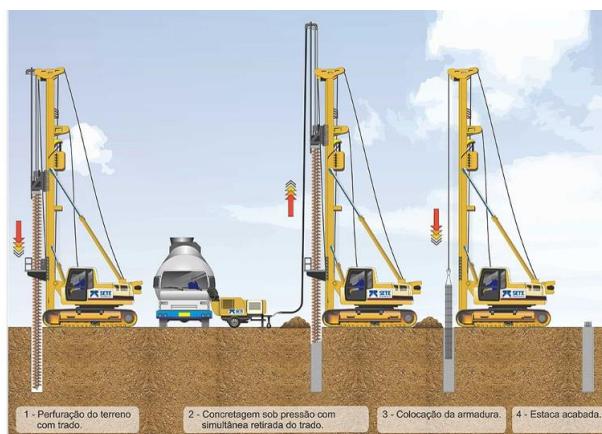


Figura 3: Etapas de Execução Estaca Hélice Contínua (Fonte: Pereira, 2019)

Estacas Mega

A estaca mega, também conhecida como estacas cravadas ou estacas prensadas, é um tipo de estaca que é cravado no solo com a ajuda de um macaco hidráulico. O processo envolve a aplicação de força na estrutura da edificação, como vigas, lajes e paredes, que empurra as peças da estaca para dentro do solo, seguindo o princípio da 3a Lei de Newton.

Essas estacas têm várias aplicações, incluindo a correção de problemas existentes, como rachaduras relacionadas a recalques na estrutura. Elas também podem ser usadas para reforçar fundações, seja para suportar cargas adicionais ou aumentar a segurança da estrutura.

São interessantes para correção de patologias e para reforço, porém requer de mão de obra especializada. Ela é composta por várias “minis” estacas, então não é considerada como estaca única.

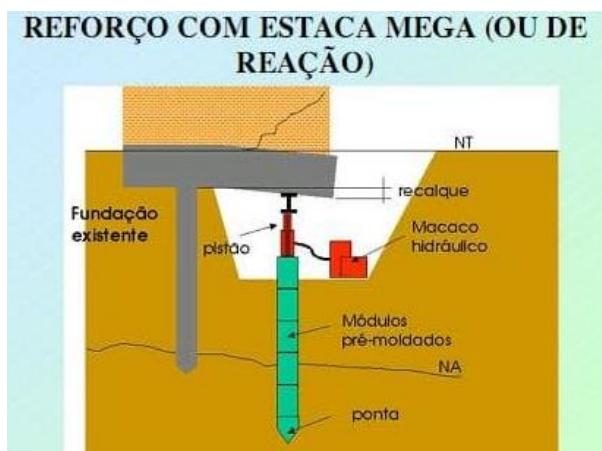


Figura 4: Etapas de Execução Estaca Mega (Fonte: Pereira, 2021)

Capacidade de Cargas das Fundações Profundas

A capacidade de carga de uma estaca (R) é dada pela somatória da resistência de atrito lateral (R_l) e da resistência de ponta (R_p).

$$R = R_l + R_p$$

A determinação da capacidade de carga de uma estaca isolada pode ser realizada por diferentes métodos, incluindo métodos estáticos, métodos dinâmicos e provas de carga.

- Método Estático: este método utiliza relações simples e parâmetros pré-determinados da mecânica dos solos para avaliar a capacidade de carga de uma estaca. É um método convencional e amplamente utilizado.
- Métodos Dinâmicos: esses métodos avaliam a capacidade de carga das estacas com base nos dados obtidos durante a cravação da estaca. Eles dependem do tipo de equipamento utilizado para escavar a estaca. Se baseiam em fórmulas dinâmicas que consideram a penetração da estaca quando ela recebe um golpe



no final da cravação. O princípio fundamental é que o trabalho realizado pelo equipamento é igual ao trabalho resistente da estaca.

- Provas de Carga: a capacidade de carga de uma estaca também pode ser avaliada por meio de provas de carga estáticas. Diferentes métodos de interpretação de curvas carga-recalque podem ser utilizados, como os prescritos na norma NBR-6122, o método de Davisson e o método de Van der Veen. As provas de carga estáticas são geralmente aplicadas em grandes obras ou quando há incerteza significativa sobre o dimensionamento da estaca.

Os métodos citados permitem determinar com precisão a capacidade de carga de uma estaca, o que é fundamental para garantir a segurança e a estabilidade de estruturas apoiadas em fundações profundas.

Método de Aoki e Velloso

Aoki e Velloso (1975), fizeram uma comparação entre resultados obtidos de ensaio CPT, a partir de prova de carga de estacas, e representam a carga última na expressão a seguir:

$$R = Ap \cdot Rp + U \sum (Rl \Delta l)$$

Onde:

Ap = área da seção transversal da estaca

U = perímetro da estaca

Δl = segmento da estaca que está sendo calculado

$$Rp = \frac{k \cdot N}{F1}$$

$$Rl = \frac{\alpha \cdot k \cdot N}{F2}$$

Sendo assim:

$$R = Ap \frac{k \cdot Np}{F1} + U \sum \frac{\alpha \cdot k \cdot Nl}{F2} \Delta l$$

Np = valor do SPT na cota de apoio da ponta da estaca

Nl = índice de resistência à penetração médio na camada de solo de espessura Δl

Segundo Lobo (2005) para fazer a “conversão” da resistência de ponta do cone para Nspt, foi criado o coeficiente k .

A seguir, Tabela 1 - mostrando os coeficientes k e a razão de atrito α e Tabela 2 referentes aos fatores $F1$ e $F2$.



Tabela 1 - coeficientes K e razão de atrito α

Solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1	1,4
Areia siltosa	0,80	2
Areia siltoargilosa	0,70	2,4
Areia argilossiltosa	0,50	2,8
Areia argilosa	0,60	3
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte	0,40	3
Silte argiloarenoso	0,25	3
Silte argiloso	0,23	3,4
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,30	2,8
Argila siltoarenosa	0,33	3
Argila siltosa	0,22	4

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Tabela 2 - Fatores F1 e F2

Tipo de Estaca	F1	F2
Franki	2,5	5,0
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada	1,75	3,5

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Cintra e Aoki (2010) ainda constataram que esse método era conservador demais para estacas pré-moldadas com diâmetro pequeno, por isso realizaram aprimoramentos em F1 e F2, sendo assim:

$$F1 = 1 + \frac{D}{0,80}$$

D = Diâmetro ou lado da seção transversal em metros

Tabela 3 - Fatores de correção de F1 e F2

Tipo de Estaca	F1	F2
Franki	2,5	2F1
Metálica	1,75	2F1
Pré-moldada	$1 + D/0,80$	2F1
Escavada	3,0	2F1
Raiz, Hélice contínua e Ômega	2,0	2F1

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Método de Decourt Quaresma

Decourt-Quaresma (1978) representa a capacidade de carga de estacas, baseando-se nos valores N do ensaio SPT, conforme a seguir:

$$R = Ap Rp + U Rl L$$



Onde:

Ap = área da seção transversal da estaca

U = perímetro da estaca

L = segmento da estaca que está sendo calculado

$$Rp = \alpha C Np$$

$$Rl = 10 \beta \left(\frac{Nl}{3} + 1 \right)$$

Desta forma:

$$R = \alpha C Np + U 10 \beta \left(\frac{Nl}{3} + 1 \right) L$$

Np = valor médio do índice de resistência à penetração na ponta da estaca.

Nl = valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo fuste

α e β são coeficientes de majoração ou minoração, em função do tipo da estaca e do solo, já C , representa os coeficientes característicos do solo, todos expostos nas tabelas a seguir:

Tabela 4 – Valores típicos de α

Solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice continua / Hélice de deslocamento	Raiz	Injetadas sob pressão
Argilas	0,85	0,85	0,30 [*]	0,85 [*]	1,00 [*]
Solos intermediários	0,60	0,60	0,30 [*]	0,60 [*]	1,00 [*]
Areias	0,50	0,50	0,30 [*]	0,50 [*]	1,00 [*]

^{*}Valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis.

Fonte: Albuquerque e Garcia (2020)

Tabela 5 – Valores típicos de β

Tipo de estaca	Tipo de solo				
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice continua / Hélice de deslocamento	Raiz	Injetadas sob pressão
Argilas	0,80 [*]	0,90 [*]	1,00 [*]	1,50 [*]	3,00 [*]
Siltes	0,65 [*]	0,75 [*]	1,00 [*]	1,50 [*]	3,00 [*]
Areias	0,50 [*]	0,60 [*]	1,00 [*]	1,50 [*]	3,00 [*]

^{*}Valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis.

Fonte: Albuquerque e Garcia (2020)

Tabela 6 – Valores típicos de C

Solo	C (kPa)
Argilas	120
Siltos argilosos*	200
Siltos arenosos*	250
Areias	400

*Solos residuais.

Fonte: Albuquerque e Garcia (2020)

Tensão Admissível do Solo

A tensão admissível do solo é determinada, a partir da carga em que determinado de solo resiste, antes de sofrer ruptura ou deformação, essa carga é dividida pelo fator de segurança. Esse fator de segurança é variável, ou seja, ele varia de acordo com o método a ser utilizado. Vale ressaltar que a presença de lençol freático tem influência na tensão admissível.

De acordo com a NBR 6122:2010 a tensão admissível pode ser determinada a partir da utilização e interpretação de um ou mais dos procedimentos a seguir:

- 1) Prova de carga sobre placa: analisa o comportamento da fundação sob a ação das cargas solicitantes da edificação. A partir disso, é gerado um gráfico de tensão-recalque o qual o eixo x e eixo y representam, respectivamente, pressão e recalque, conforme a seguir:

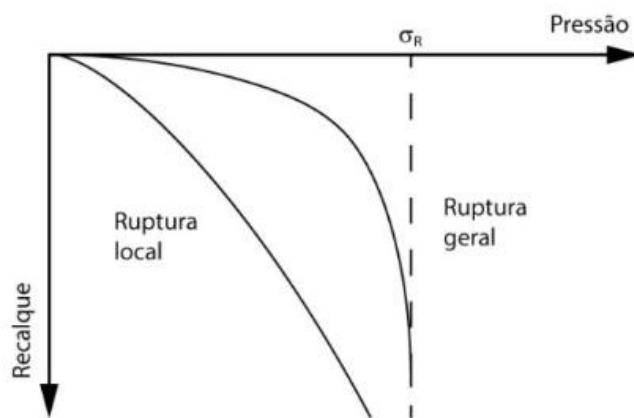


Figura 5: gráfico de tensão-recalque (Fonte: Marinho, 2019)

Baseando-se no gráfico, temos a ruptura geral, e a local.

A ruptura geral utiliza o fator de segurança igual a 2, tendo assim a expressão:



$$\sigma adm = \frac{\sigma R}{2}$$

A ruptura local, apresenta vários métodos para a determinação da tensão admissível. Seguindo o critério de Boston, temos:

$$\sigma adm \leq \begin{cases} \frac{\sigma 25}{2} \\ \sigma 10 \end{cases}$$

- 2) Métodos teóricos: determina a capacidade de carga através de análises teóricas, como Terzaghi, Meyerhoof, Vesic e Skempton.
- 3) Métodos semi-empíricos: conforme a NBR, esses métodos fazem relação entre resultados de CPT ou SPT com tensões admissíveis, além disso, indica que o fator de segurança para esse método é igual a 3.

No Brasil, existem três correlações mais utilizadas, sendo elas:

Correlação 1:

$$\sigma adm = \frac{Nspt}{50} (MPa)$$

Onde $Nspt$ é o valor médio $Nspt$ no bulbo de tensões, não devendo ser menor que 5 ou maior que 20.

Correlação 2 (Teixeira, 1996):

$$\sigma adm = 0,05 + (1 + 0,4B) \frac{Nspt}{100} (MPa)$$

Sendo B o lado da sapata quadrada, e $Nspt$ é o valor de $Nspt$ para a profundidade de assentamento da fundação.

Correlação 3 (Mello, 1975):

$$\sigma adm = 0,01(\sqrt{Nspt}) - 1) (MPa)$$

Onde os valores de $Nspt$ não devem ser inferiores a 4 ou superiores a 16.



Planilha de Cálculo para Previsão da Capacidade de Carga em Estacas

Criada por Ferreira (2014), a planilha faz previsão da capacidade de carga baseada nos principais métodos semiempíricos propostos por Aoki-Velloso (2014), Teixeira (1996) e Décourt-Quaresma (1978).

Nela é possível colocar os principais dados obtidos na sondagem e os dados da estaca (Figura 6). Com base nos dados é gerado um relatório de cada método, assim como, um relatório final consolidando todos os resultados e seus respectivos métodos (Figura 7).

SONDAGEM			N. A.	FUSTE DA ESTACA	DADOS DA ESTACA			
Profundidade (m)	N _{SP}	Composição da Camada			Moldagem	Tipo	Diâmetro (cm)	Cota de apoio (m)
1	0	Areia siltosa			1			
2	2	Areia siltosa			2			
3	1	Areia siltosa			3			
4	2	Areia siltosa			4			
5	8	Areia siltosa			5			
6	30	Sítio arenoso			6			
7	30	Sítio arenoso			7			
8	30	Sítio arenoso			8			
9	5	Sítio arenoso			9			
10	5	Sítio argilosoarenoso			10			
11	8	Sítio argilosoarenoso			11			
12	8	Sítio argilosoarenoso			12			
13	9	Sítio argilosoarenoso			13			
14	8	Sítio argilosoarenoso			14			
15	7	Sítio argilosoarenoso			15			
16	5	Sítio argilosoarenoso			16			
17	7	Sítio argilosoarenoso			17			
18	7	Sítio argilosoarenoso			18			
19	15	Sítio argilosoarenoso			19			
20	23	Sítio argilosoarenoso			20			
21					21			

Figura 6: Dados de sondagem e tipo de estaca (Ferreira, 2014)

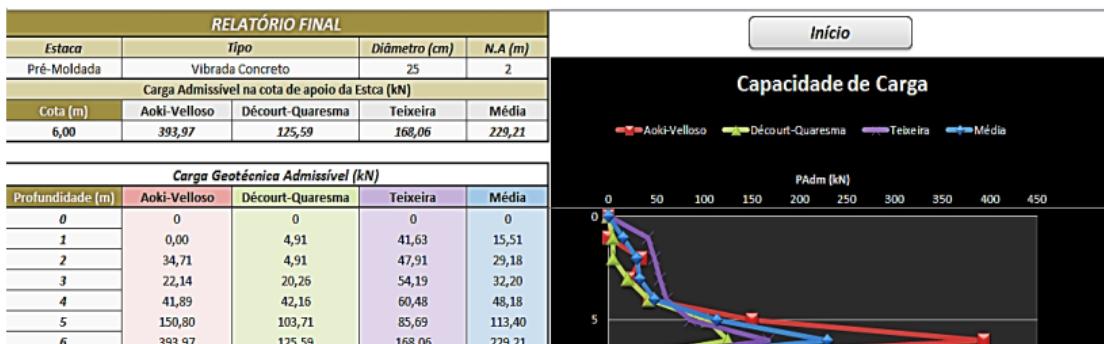


Figura 7: relatório final (Fonte: Ferreira, 2014)

Resultados e Discussão

A eficiência na execução das fundações não apenas impacta o cronograma e o orçamento do projeto, mas também desempenha um papel crucial na sustentabilidade e na qualidade final da obra. Entre os métodos de fundação amplamente utilizados, as estacas Hélice Contínua e as estacas Strauss têm sido objeto de considerável interesse e pesquisa.

Os resultados apresentados visam explorar a análise de viabilidade de execução de fundações, do Projeto de Ampliação de fábrica em Jarinu-SP (fornecido pela empresa Simões Projetos Estruturais), focando especificamente na comparação entre dois métodos amplamente utilizados: estacas Hélice Contínua e estacas Strauss.

Ambos são métodos populares, cada um com suas próprias características e benefícios. No entanto, a escolha entre eles pode afetar diretamente o custo, a eficiência e a sustentabilidade de um projeto de construção. Portanto, este estudo se propõe a avaliar e comparar esses dois



métodos em termos de custo, eficiência operacional, qualidade de execução e impacto ambiental.

Inicialmente, para a obra citada, tem se a sondagem do local, os resultados são apresentados nos anexos 1,2,3 e 4, há também o projeto de fundações feito com estacas hélice contínua, conforme o último anexo. Nele, verificamos que foram projetados blocos de 4 estacas, para cada pilar, tendo assim o total de 40 estacas hélice contínua com diâmetro de 30 cm e profundidade de 15 metros, detalhados na figura 8.

Para o projeto de estaca Strauss, foi necessário o uso da sondagem dos Anexos 2,3 e 4, utilizando o pior caso (SP2 – Anexo 3). Esses dados foram confrontados com a planilha de previsão de carga, elaborada por Ferreira (2014), os resultados são apresentados a seguir.

Podemos observar na tabela 7, que os diâmetros adotados para Strauss foi 38 centímetros, cuja carga catalogada é, respectivamente 400 kN (40tf).

Tabela 7 – Cargas admissíveis por diâmetro da estaca Strauss

Strauss	
Diâmetro (cm)	Carga Adm (tf)
25	20
32	30
38	45
45	55

Fonte: Ferreira (2014)

Tabela 8 – Cargas geotécnicas admissíveis

Carga geotécnica admissível (kN)		
Profundidade (m)	Aoki- Velloso	Décourt-Quaresma
0	0	0
1	131,32	44,23
2	34,32	19,28
3	42,43	28,59
4	39,54	45,64
5	47,25	61,13
6	61,18	73,74
7	54,72	88,44
8	68,64	101,06
9	78,59	123,03
10	94,76	145,49
11	112,42	164,06
12	115,15	180,77
13	128,09	191,14
14	130,82	210,88
15	154,7	226,59

Fonte: Elaboração própria.

Considerando a tabela acima, foram calculadas as cargas admissíveis dos métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso, Decourt-Quaresma respeitando a carga necessária para cada pilar



de 1059 kN. Além disso, foram calculadas as limitações impostas pela norma na relação resistência de ponta e lateral, pelo fato de ser uma estaca escavada.

A partir desses valores, foi adotado a profundidade 15 metros e um bloco de 5 estacas, mostrados na figura 9, para conseguir atender a carga dos pilares, tornando possível a identificação da quantidade de estacas que serão utilizadas no empreendimento.

A maneira que foram dimensionadas, não há nenhum recalque que possa trazer problema à estrutura.

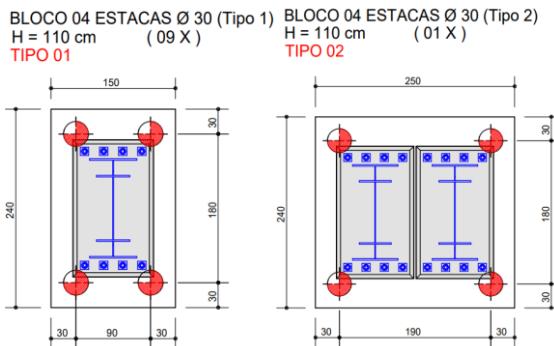


Figura 8: Detalhamento dos blocos de fundação para estaca Hélice Contínua. (Fonte: Simões, 2023)

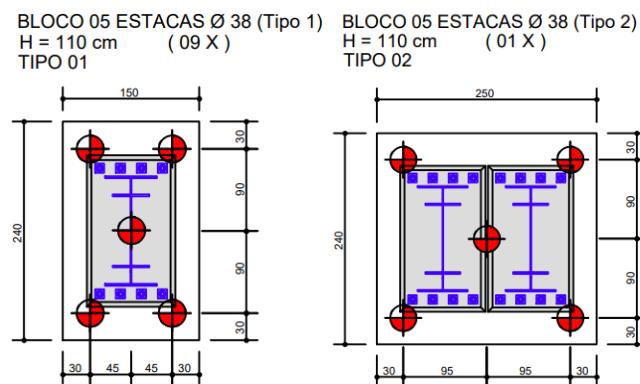


Figura 9: Detalhamento dos blocos de fundação para estaca Strauss. (Fonte: Elaboração própria)

Tabela 9 – Valores para execução da Hélice Continua

Estaca Hélice Continua		
Bobcat ou Retro	R\$ 3.200,00	ORÇAMENTO
2 ajudantes	R\$ 1.200,00	ORÇAMENTO
Bomba de concreto	R\$ 8.000,00	ORÇAMENTO
Execução	R\$ 25.600,00	
Valor total	R\$ 38.000,00	

Fonte: Elaboração Própria



Tabela 10 – Valores para execução da Strauss

Estaca Strauss		
Bobcat	R\$ 1.000,00	ORÇAMENTO
4 ajudantes + 1 encarregado	R\$ 11.700,00	ORÇAMENTO
Execução	R\$ 42.750,00	
Valor total	R\$ 55.450,00	

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 11 – Comparativo Final

	COMPARATIVO FINAL		
	Strauss	Hélice continua	Economia direta
Estacas	50	40	10
Volume de concreto (m ³)	94	53	41
Tempo de serviço (dias)	17	4	13
Armação da estaca (kg)	2416	1997	490
Valor de execução (R\$)	55.450,00	38.000,00	17.450,00

Fonte: Elaboração própria

Observamos a diferença da quantidade total de estacas, volume de concreto e dias de execução, esse fator é afetado diretamente pela capacidade de carga. Além disso é notório a diferença nos valores de execução, essa diferença, pode ser utilizada para outras etapas da obra, por exemplo.

Com a carga necessária para cada estaca foi usado o diâmetro para hélice contínua de 30 centímetros e para o dimensionamento da Strauss com o diâmetro de 38 centímetros para suportar a mesma carga necessária para que não haja recalque da estaca.

A diferença de concreto entre elas é por conta da quantidade de estacas e o diâmetro utilizado no dimensionamento. Para cálculo, conforme o site fundações especiais, devemos considerar o superconsumo de concreto entre 20% a 30% e 10% de desperdícios, para Hélice Contínua e Strauss, respectivamente.

A diferença no tempo de execução entre elas pode ser influenciada por vários fatores. Algumas das razões pelas quais as estacas Strauss podem demorar mais, incluem: processo de perfuração e escavação pois geralmente envolvem um processo mais demorado tendo em vista que são cravadas no solo, enquanto as estacas hélice contínua são parafusadas diretamente no solo.

A profundidade das estacas também pode ser um empecilho, pois, dependendo da profundidade necessária, podem levar mais tempo para serem instaladas devido à necessidade de perfuração e colocação em maiores profundidades.

Conclusões

A pesquisa nos mostra a importância do estudo de viabilidade de execução, desde a análise minuciosa do solo, realizada por meio da sondagem e nos mostrando informações relevantes como o tipo de solo e a existência de lençol freático no local, até a escolha do tipo de fundação e sua execução.

Em suma, a estaca Hélice Contínua possui maiores benefícios que a Strauss, e, nesse caso, podemos destacar que a execução da Hélice é mais econômica que a Strauss, além disso,



ela não gera vibrações no solo, prevenindo a desestabilização e demais danos ao terreno e as construções ao redor.

Outra vantagem notória é relacionada ao dimensionamento, pois além de menor diâmetro, menos estacas são executadas para a mesma carga aplicada. Além disso, há economia no concreto, pois ele é injetado conforme ocorre a perfuração, evitando desperdício e a geração de resíduos sólidos, sendo assim mais sustentável que a Strauss.

Podemos perceber que são exemplos gerais e as razões específicas podem variar de acordo com o projeto, o tipo de solo, as condições do local e as práticas da empresa de construção envolvida.

Com a pesquisa, podemos destacar a importância de consultar engenheiros especializados e profissionais da construção para obter uma análise específica de cada caso.

Enfim, espera-se que essa pesquisa seja uma forma de conscientização da importância da análise e comparação dos tipos de fundações, assim como, seja feita a melhor escolha para cada situação.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, pela oportunidade de estarmos aqui, e por permanecemos firmes e fortes durante todo o processo. Aos pais, familiares e amigos que nos incentivaram até aqui. Ao professor orientador Ricardo Simões pela colaboração e disposição no processo de obtenção de dados, e aos demais professores que contribuíram para a nossa formação profissional e pessoal.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha de; GARCIA, Jean Rodrigo. **Engenharia de Fundações**. Rio de Janeiro: Ltc, 2020. 356 p. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521636977/epubcfi/6/40\[%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter11\]!/4/602/2/2/2](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521636977/epubcfi/6/40[%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter11]!/4/602/2/2/2). Acesso em: 10 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. 3 ed. Rio de Janeiro: -, 2019. 120 p. Disponível em: <file:///C:/Users/Ariane%202/Downloads/NBR6122%20-%20202019%20-%20Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

CARVALHO, Matheus. **Fundações Profundas - Tipos e dicas**. 2023. Disponível em: <https://carluc.com.br/fundacao/fundacoes-profundas/>. Acesso em: 20 out. 2023.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DANGIZER, Bernadete Ragoni; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações em Estacas**. Rio de Janeiro: Ltc, 2022. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595158122/epubcfi/6/20\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcontents\]!/4](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595158122/epubcfi/6/20[%3Bvnd.vst.idref%3Dcontents]!/). Acesso em: 16 set. 2023.

FERREIRA, Tobias Ribeiro; DELALIBERA, Rodrigo Gustavo; SILVA, Wellington Andrade da. **Rotina computacional para a previsão da capacidade de carga em estacas**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 8, n. 3, 2014. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/28149/16594>. Acesso em 15 set. 2023.



PEREIRA FILHO, Edgar. SONDAÇÃO A PERCUSSÃO METODOLOGIA EXECUTIVA. 2016. Disponível em: <https://www.apl.eng.br/artigos/2016-METODOLOGIA-EXECUTIVA-SONDAGEM-PERCUSSAO-SPT.pdf>. Acesso em: 27 set. 2023.

GUIMARÃES, Diego; PETER, Eduardo Alcides. Fundações. Porto Alegre:Sagah Educação S.A, 2018. 222 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595023536/pageid/172>. Acesso em: 15 set. 2023.

LOBO, Bianca de Oliveira. **Método de previsão de capacidade de carga de estacas: aplicação dos conceitos de energia no ensaio SPT**. 2005. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2005.

MARINHO, Filipe. **Cálculo da tensão admissível do solo**. 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/tensao-admissivel-metodos-determinacao/>. Acesso em: 21 out. 2023.

PEDREIRA, Laedson Silva; PACHECO, Thiago Mendonça. **Programa para cálculo de capacidade de carga e dimensionamento estrutural de estacas**. 2016. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unifacs, Feira de Santana, 2016. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/4312/3042>. Acesso em: 20 out. 2023.

PEREIRA, Caio. **Estaca Franki: Processo Executivo, Vantagens e Desvantagens**. Escola Engenharia, 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-franki/>. Acesso em: 2 de setembro de 2023.

PEREIRA, Caio. **Estaca Mega: O que é, processo executivo, vantagens e desvantagens**. Escola Engenharia, 2021. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-mega/>. Acesso em: 16 de setembro de 2023.

PEREIRA, Caio. **Estaca Hélice Contínua – Vantagens e Desvantagens**. 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-helice-continua/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

RESENDE, Priscila Barbosa; GOULART, Letícia Beraldo. **Fundações Superficiais**. 2018. 12 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Unifimes, Mineiros, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/Ariane%202/Downloads/admin,+EC52+FUNDA%C3%87%C3%95ES+SUPERFICIAIS.pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.

SILVA, G. C. F; AZEVEDO, R. B. **AVALIAÇÃO DA SONDAÇÃO SPT VIA ESTUDO DE CASO**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2254/1/Artigo%20-%20Gean%20e%20Rafael.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

SOUZA, Álvaro André de; VENDER, Karolina; MARQUES, Amanda Rodrigues; FURQUIM, Gustavo Oliveira. **Discutindo o conceito de fundações**. 2018. 10 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unifimes, Mineiros, 2018. Disponível em: [file:///C:/Users/Ariane%202/Downloads/admin,+EC47%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Ariane%202/Downloads/admin,+EC47%20(1).pdf). Acesso em: 02 set. 2023.

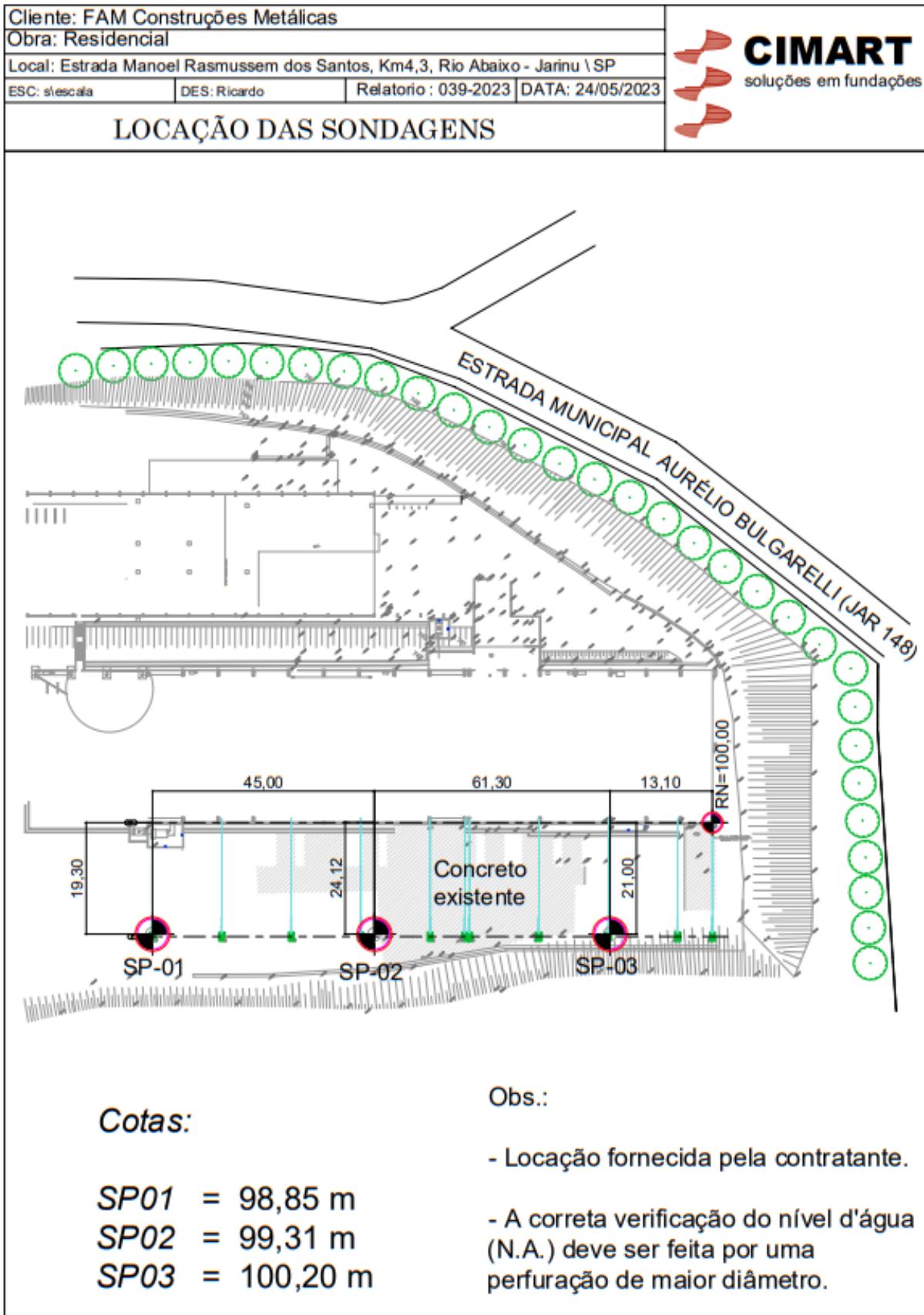


TERRES, Laryssa. **Estaca Strauss.** 2022. Disponível em: <https://carluc.com.br/projeto-de-fundacao/estaca-schaeffler/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

O que é sobreconsumo na estaca hélice contínua e por que você não pode ignorar. 2021. Disponível em: <https://fundacoesspeciais.net.br/o-que-e-sobreconsumo-na-estaca-helice-continua-e-por-que-voce-nao-pode-ignorar/>. Acesso em: 20 out. 2023.



ANEXO 1 - LOCAÇÃO DAS ESTACAS



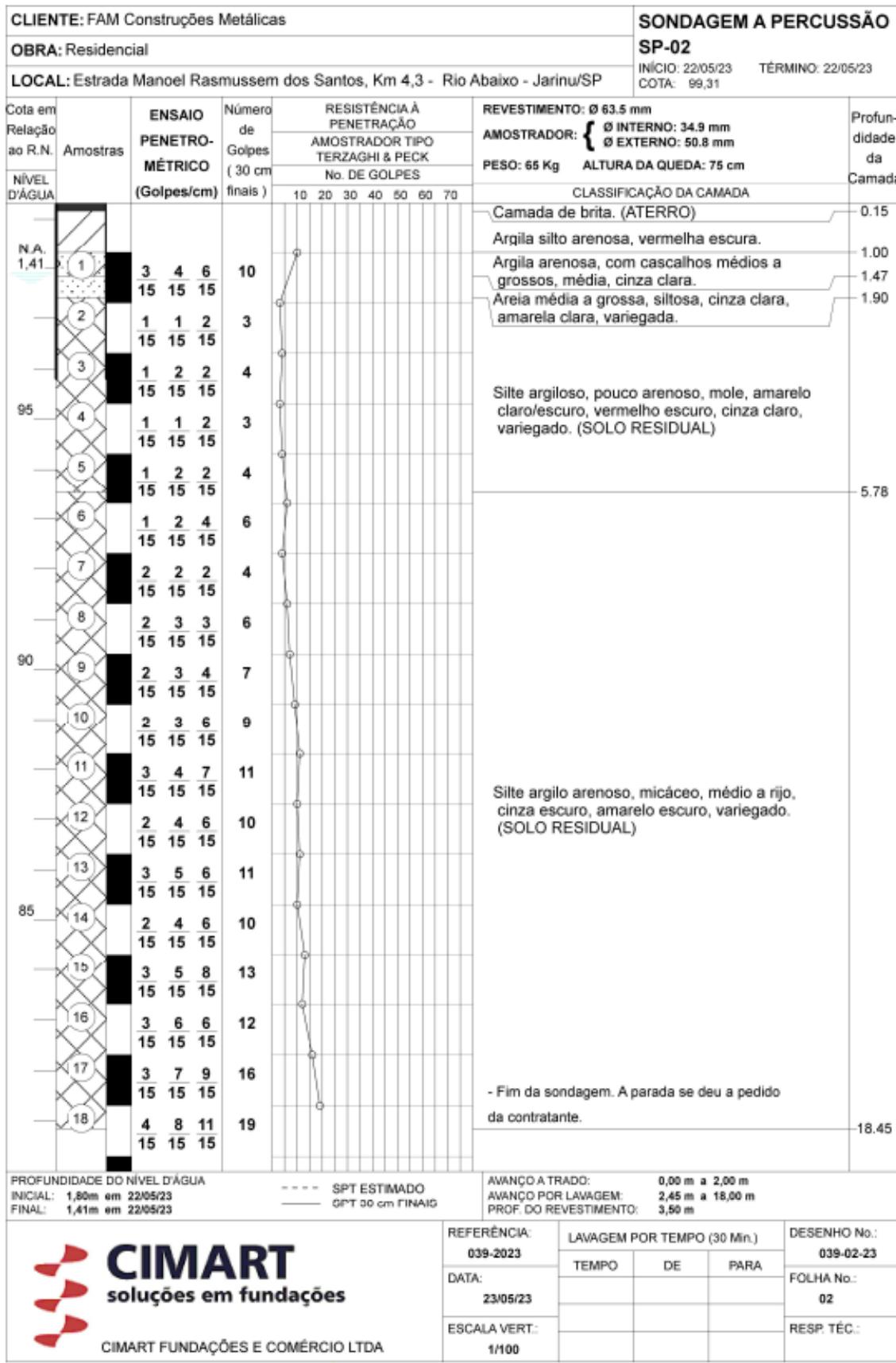


ANEXO 2 – SONDAÇÃO SP01

CLIENTE: FAM Construções Metálicas					SONDAÇÃO A PERCUSSÃO	
OBRA: Residencial					SP-01	
LOCAL: Estrada Manoel Rasmussem dos Santos, Km 4,3 - Rio Abaixo - Jarinu/SP					INÍCIO: 22/05/23	TÉRMINO: 22/05/23
Cota em Relação ao R.N.	Amostras	ENSAIO PENETROMÉTRICO (Golpes/cm)	Número de Golpes (30 cm finais)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK No. DE GOLPES	REVESTIMENTO: Ø 63,5 mm Ø INTERNO: 34,9 mm Ø EXTERNO: 50,8 mm PESO: 65 Kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm	Profundidade da Camada
NÍVEL D'ÁGUA				10 20 30 40 50 60 70	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	
N.A. 1,47					Camada de brita. (ATERRO)	0,17
	1	1 1	30 15	1 15	Argila silto arenosa, vermelha escura.	0,60
	2	1 1 2	15 15 15	3	Argila siltosa, com matéria orgânica, muito mole, preta.	1,36
	3	1 2 3	15 15 15	5	Areia média, siltosa, fofa, cinza escura.	1,73
	4	1 1 2	20 10 20	3	Silte argiloso, pouco arenoso, mole, vermelho escuro, amarelo escuro, cinza claro, variegado. (SOLO RESIDUAL)	3,94
	5	1 1 1	15 15 15	2		5,50
	6	1 2 2	15 15 15	4		
	7	2 2 3	15 15 15	5		
	8	1 2 3	15 15 15	5		
	9	2 3 3	15 15 15	6		
	10	2 2 3	15 15 15	5	Silte argilo arenoso, micáceo, mole a médio, cinza escuro, amarelo escuro, variegado. (SOLO RESIDUAL)	
	11	1 2 2	15 15 15	4		
	12	2 3 4	15 15 15	7		
	13	2 4 4	15 15 15	8		
	14	2 4 5	15 15 15	9		
	15	21 30	15 10	30	Silte areno argiloso, micáceo, com fragmentos de rochas, muito compacto, cinza escuro, amarelo escuro, variegado. (SOLO RESIDUAL)	14,51
						15,2b
- Fim da sondagem. - A parada se deu a pedido da contratante.						
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA		SPT ESTIMADO		AVANÇO A TRATO: 0,00 m a 2,00 m AVANÇO POR LAVAGEM: 2,45 m a 15,00 m PROF. DO REVESTIMENTO: 3,50 m		
INICIAL: 1,84m em 22/05/23	FINAL: 1,47m em 22/05/23	GPT 30 cm FINAG				
CIMART soluções em fundações CIMART FUNDAÇÕES E COMÉRCIO LTDA						
REFERÊNCIA: 039-2023 DATA: 23/05/23 ESCALA VERT.: 1/100						
LAVAGEM POR TEMPO (30 Min.) TEMPO DE PARA FOLHA No.: 01 RESP TÉC.:						



ANEXO 3 - SONDAÇÃO SP02





ANEXO 4 – SONDAÇÃO SP03

CLIENTE: FAM Construções Metálicas				SONDAÇÃO A PERCUSSÃO		
OBRA: Residencial				SP-03		
LOCAL: Estrada Manoel Rasmussem dos Santos, Km 4,3 - Rio Abaixo - Jarinu/SP				INÍCIO: 23/05/23 TÉRMINO: 23/05/23 COTA: 100,20		
Cota em Relação ao R.N.	Amostras	ENSAIO PENETRO-MÉTRICO (Golpes/cm finais)	Número de Golpes (30 cm)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK No. DE GOLPES	REVESTIMENTO: Ø 63,5 mm AMOSTRADOR: Ø INTERNO: 34,9 mm Ø EXTERNO: 50,8 mm PESO: 65 Kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm	Profundidade da Camada
NÍVEL D'ÁGUA				10 20 30 40 50 60 70	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	
N.A. 1,18					Argila silto arenosa, mole, vermelha escura, amarela escura/clara, variegada.	
				4		1.79
				13	Argila arenosa, com cascalhos finos, rijo, cinza clara, vermelha clara, variegada.	2.87
				5	Areia média, siltosa, com cascalhos finos, pouco compacta, amarela escura, cinza escura.	4.90
95				7		
				5		
				12		
				8		
				10		
				9		
90				8		
				9	Silte argilo arenoso, micáceo, mole a muito rijo, cinza escuro, amarelo escuro, variegado. (SOLO RESIDUAL)	
				12		
				14		
85				16		
				19		
				21		
				24		
					- Fim da sondagem.	
					- A parada se deu a pedido da contratante.	
PROFOUNDADE DO NÍVEL D'ÁGUA		SPT ESTIMADO		AVANÇO A TRATO: 0,00 m a 1,00 m AVANÇO POR LAVAGEM: 1,45 m a 17,00 m PROF. DO REVESTIMENTO: 5,50 m		
INICIAL: 1,44m em 23/05/23	FINAL: 1,18m em 23/05/23	— — — SPT ESTIMADO SPT 30 cm FINAG				
 CIMART soluções em fundações CIMART FUNDAÇÕES E COMÉRCIO LTDA				REFERÊNCIA: 039-2023	LAVAGEM POR TEMPO (30 Min.)	DESENHO No.: 039-03-23
				DATA: 23/05/23	TEMPO	FOLHA No.: 03
				ESCALA VERT.: 1/100	DE	RESP. TÉC.:
					PARA	

