

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE FUNDAÇÕES PROFUNDAS: ESTACAS RAIZ, HÉLICE CONTÍNUA E STRAUSS

EURICH, Leonardo¹

ANDRADE NETO, Pedro Teles de²

RESUMO: Este presente estudo tem como finalidade dimensionar e comparar diferentes tipos de fundações profundas, para uma residência situada no município de Prudentópolis-PR. O estudo de caso busca identificar qual a solução mais viável, tanto do ponto de vista técnico, quanto do ponto de vista econômico. Para obter parâmetros foram realizados cálculos de dimensionamento para cada tipo de fundação utilizando o método desenvolvido por Aoki-Velloso. O processo posteriormente incluiu a elaboração de orçamentos para cada alternativa. A análise comparativa indicou que, considerando as condições específicas deste projeto, a estaca de tipo Hélice Contínua se mostrou a alternativa mais adequada para a residência em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações Profundas. Dimensionamento. Viabilidade.

ABSTRACT: *This study aims to design and analyze different types of deep foundations for a residence located in the municipality of Prudentópolis-PR. The case study seeks to identify the most viable solution, both from a technical and economic perspective. To obtain parameters, sizing calculations were performed for each type of foundation using the method developed by Aoki-Velloso. The process subsequently included the preparation of budgets for each alternative. The comparative analysis indicated that, considering the specific conditions of this Project, the Hélice Contínua was the most suitable alternative for the residence under study.*

KEYWORDS: *Deep Foundations. Sizing. Feasibility.*

1 INTRODUÇÃO

O tema do presente trabalho se concentra na área da Geotecnia, aplicando princípios de cálculo no dimensionamento de fundações profundas sob luz da normativa vigente. A relevância deste estudo reside em alinhar a análise técnica com os fatores econômicos, demonstrando a importância da viabilidade nessa etapa de construção. Essa abordagem busca encontrar a melhor alternativa, tanto em termos de segurança, quanto com a otimização de custos. Para aplicação prática do estudo será realizado com um projeto residencial de dois pavimentos, situado no município de Prudentópolis-PR.

Segundo Velloso e Lopes (2011), o projeto de fundações é uma das etapas mais críticas no planejamento e execução de uma obra, uma vez que garante a estabilidade e a segurança da estrutura, a escolha do tipo de fundação é uma decisão complexa, influenciada por uma série de fatores, sendo o tipo e a capacidade de

¹ Graduando, Leonardo Eurich, Engenharia Civil no Centro Universitário Campo Real. engc-leonardoeurich@camporeal.edu.br

² Orientador, Engenheiro Civil, Especialista em docência no ensino superior com ênfase em metodologias ativas de ensino, Professor pelo Centro Universitário Campo Real. prof_pedroneto@camporeal.edu.br

suporte do solo os mais determinantes. De acordo com a ABNT NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações – a sua função primordial das fundações é transferir as cargas provenientes de uma estrutura, como o peso próprio, sobrecargas e vento para o solo de forma segura e uniforme, assim uma fundação adequadamente projetada e executada garante a estabilidade, a integridade e a durabilidade da construção ao longo do tempo, evitando recalques excessivos ou rupturas.

A própria normativa ainda define os tipos de fundações como rasas ou superficiais, e profundas. A distinção entre as duas, reside na profundidade de assentamento do elemento. Uma fundação profunda é definida como aquela em que a base de assentamento está a uma profundidade superior a duas vezes a sua menor dimensão em planta, com uma profundidade mínima de três metros. Nestes casos, a carga da estrutura é transferida ao terreno por meio da resistência de ponta (na base do elemento), e pela resistência do fuste (resistência lateral), ou por uma combinação de ambas. Segundo Massad (2012), a necessidade de uma fundação profunda surge tipicamente quando as camadas superficiais do solo não apresentam resistência suficiente para suportar as cargas da superestrutura.

De acordo ainda com a normativa, as fundações profundas ainda podem ser subdivididas em três categorias principais – estacas, tubulões e caixões – a principal diferença entre as estacas e os tubulões reside no processo executivo, onde as estacas são implantadas por equipamentos, sem a necessidade de descida de operários, enquanto nos tubulões há descida de um trabalhador em pelo menos uma das etapas.

Velloso e Lopes (2011) destacam que, do ponto de vista da segurança, a execução de tubulões é considerada de alto risco para os trabalhadores. O trabalho sob pressão atmosférica elevada submete os operários a condições insalubres e a riscos de acidentes, o que torna este método uma opção a ser evitada sempre que possível. Dessa forma, com o avanço da normativa junto das tecnologias como as estacas escavadas, que não requerem a descida de operários, tornou-se uma alternativa mais segura e viável para a engenharia contemporânea.

Para definição do caixão conforme estabelecido pela antiga ABNT NBR 6122:1996, o define como um elemento de fundação de forma prismática que é primeiramente concretado na superfície do terreno e, em seguida, instalado no subsolo através de escavação interna. No entanto, apesar de sua relevância teórica, a solução caminhou para a obsolescência prática.

O projeto de revisão na normativa de 2019 reconheceu esse fato ao mencionar que não contempla “tipos de fundação que estão em desuso”. Para assim evitar que os projetistas utilizassem técnicas antigas e perigosas, a ABNT então tomou a decisão de não regulamentar mais o Caixão.

Neste cenário de prioridade à segurança e à eficiência, a ABNT NBR 6122:2019, definiu as estacas escavadas como elementos de fundação profunda em concreto, aço ou madeira. Elas são instaladas no terreno por meio de cravação, prensagem, vibração ou escavação, e sem a presença de mão de obra humana no interior do fuste. As estacas escavadas se caracterizam pela retirada de material do solo durante o processo de perfuração, sendo moldadas *in loco*, ou seja, concretadas no próprio local da obra.

No entanto, a viabilidade e a segurança dessas e de outras soluções dependem de um conhecimento aprofundado do subsolo. O comportamento geotécnico do solo apresenta uma variação intrínseca, o que faz exigir estudos detalhados para poder assegurar a estabilidade da fundação (VELLOSO; LOPES, 2011). Diante disso, em qualquer projeto de engenharia, a investigação geotécnica do terreno é um procedimento preliminar e indispensável, sendo a Sondagem a Percussão (*SPT*) um dos exemplos de ensaio mais comuns e padronizados pela ABNT NBR 6484:2020 Solo – Sondagens de simples reconhecimento com *SPT* – Método de ensaio. O estudo de solo fornece os parâmetros de resistência e as características geológicas que guiarão a escolha do tipo de fundação mais adequado. Para Pinto, Carlos de Souza (2006), a negligência desse estudo não se configura apenas como uma falha técnica, mas como um risco substancial à segurança da obra, podendo levar a patologias futuras, recalques diferenciais e custos inesperados, a tomada de decisão sobre o tipo de estaca, portanto, está intrinsecamente ligada à minimização de riscos e à otimização de recursos, e não se limita à simples verificação da capacidade de carga imediata.

Portanto, o presente estudo se concentra em analisar as três soluções definidas e determinar qual delas oferece o melhor custo-benefício. Além da análise dos aspectos técnicos, será realizada a elaboração de um orçamento para realizar a determinação dos gastos necessários para a execução do projeto. Para a análise de custos, este trabalho utilizará a tabela SINAPI, que, conforme Brasil (2019), é um banco de dados de composições de custo unitário de serviços, materiais, equipamentos e mão de obra para a construção civil. A relevância dessa ferramenta

é reforçada pelo fato de que, em 2003, a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) a definiu como referência para orçamentos de obra.

2 METODOLOGIA

O trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada, de abordagem quantitativa e qualitativa, com finalidade exploratória e comparativa. A abordagem quantitativa estará presente no dimensionamento técnico das estacas e na comparação de custos. Já a dimensão qualitativa se manifestará na análise interpretativa das soluções. Quanto aos objetivos, a pesquisa será de natureza exploratória, pois buscará compreender melhor a adaptação das fundações a o tipo de solo em estudo, e também aplicada, uma vez que pretende oferecer soluções reais para o estudo de caso.

Para obter a análise do estudo de viabilidade técnica e econômica entre os tipos de fundação, o trabalho tratou-se de um estudo de caso real. Onde para o desenvolvimento, será considerada a carga proveniente da superestrutura da residência (Figura 01), a qual será utilizada como base para o dimensionamento de todas as estacas.

Figura 01 – Residência destinada à realização do estudo de caso.



Fonte: O autor (2025).

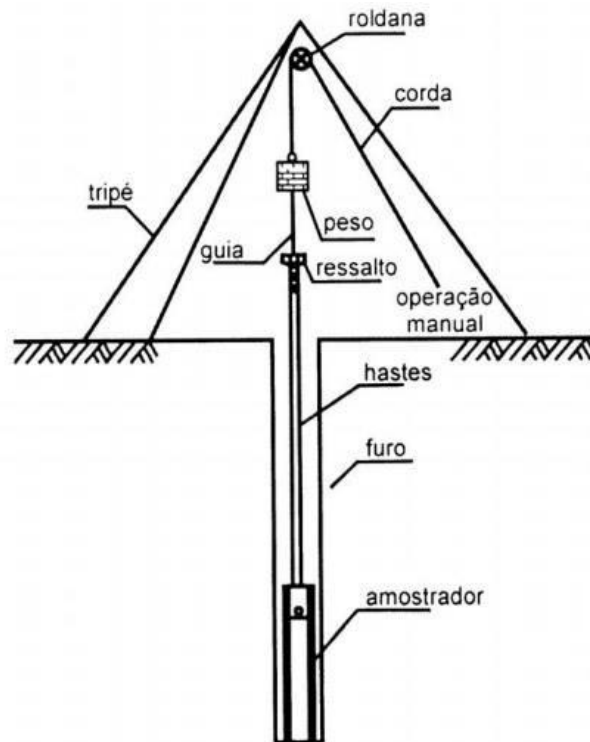
A edificação em estudo possui uma área construída de 215,36 m², e 107,68 m² de área em projeção no terreno, sendo exclusivamente para fins residências com dois pavimentos. Segundo o plano diretor do município de Prudentópolis-PR, o terreno localizado para a construção da residência está localizado em uma área predominante ocupada por edificações residenciais, situada na Rua Amáble Thomas, no bairro Jardim Delmira.

Para a escolha, e para o dimensionamento das fundações, foram realizados com base no laudo de sondagem à percussão *SPT - Standard Penetration Test*. Conforme estabelecido pela ABNT NBR 6484:2020, o ensaio *SPT* fornece dados cruciais como a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência, a posição do nível d'água, e os índices de resistência à penetração para cada metro perfurado, e assim poder ter parâmetros para realizar o dimensionamento das fundações definidas.

Para elaboração do orçamento das estacas, após o dimensionamento. Foi utilizada como referência o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índice de Construção Civil (SINAPI). A escolha da tabela se justifica por ser um banco de dados gerenciado pela Caixa Econômica Federal, que é responsável pelas composições de custo e processamento de dados, e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que realiza a pesquisa mensal de preços, metodologia e formação dos índices (CAIXA, 2025). O orçamento de cada um dos três tipos de estaca foi detalhado, considerando os custos de concreto, aço, mão de obra, mobilização e desmobilização dos equipamentos. A estaca Strauss teve seu orçamento elaborado com a armadura completa, do início ao fim da estaca, como exigido pela norma técnica. Para a estaca Raiz, o orçamento considerou a armadura mínima preconizada pela norma. Por fim, para a estaca Hélice Contínua, foi adicionado o custo de bombeamento do concreto, um item específico devido à sua forma de execução, e também considerada armadura mínima necessária para execução como exigido pela norma técnica.

Segundo a ABNT NBR 6122:2019, o ponto de partida inicial antes da tomada de decisão sobre qual tipo de fundação optar, é primeiramente a investigação do subsolo (Figura 02). Os dados fornecidos pelo laudo de sondagem, como o número de golpes, oferecem a base para o cálculo da capacidade de carga do solo, que é a resistência que ministra a fundação, seja por atrito lateral ao longo do fuste da estaca ou resistência de ponta.

Figura 02 – Equipamento utilizado para execução de sondagem *SPT*.



Fonte: Pereira (2018).

Conforme propõe a ABNT NBR 6484:2020, o *Standard Penetration Test (SPT)*, é a perfuração e a cravação dinâmica de amostrador padrão, a cada metro, resultando na determinação do tipo de solo e de um índice de resistência, bem como da observação do nível do lençol freático. A normativa ainda padroniza equipamentos para utilização, além de definir os procedimentos para realização do teste, classificação do subsolo e critérios de paralisação.

Ainda conforme estabelece a norma, o procedimento em campo do *SPT* consiste na perfuração e cravação dinâmica no terreno de um amostrador padrão com dimensões e energia de cravação normatizadas (pilão com massa de 65 kg e altura de queda de 75 cm) a cada metro, resultando na determinação do tipo de solo e de um índice de resistência, bem como na observação do nível d'água dentro do furo de sondagem. O N_{spt} é a somatória dos últimos 30 cm de golpe ou dos últimos 2 trechos de 15 cm, ou do segundo e dos terceiros segmentos, desconsiderando o primeiro.

Segundo a ABNT NBR 6122:2019, no item 4: Para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagens à percussão, visando a determinação da estratigrafia e classificação

dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração N_{spt} , de acordo com a ABNT 6484:2020.

Após a execução em campo, os dados coletados são compilados em um relatório técnico que se torna o documento fundamental para o projetista. Este relatório apresenta o perfil geológico do subsolo, conhecido como perfil estratigráfico. As diferentes camadas de solo são identificadas por profundidade, juntamente com suas descrições tátil-visuais. O perfil estratigráfico é a base para a correta aplicação dos resultados do N_{spt} no dimensionamento.

Nesse sentido, Danziger e Lopes (2021) observam: O conhecimento da variabilidade do subsolo e de suas características, e a preocupação com os controles executivos são indispensáveis a um bom desempenho da fundação. Assim, quanto melhor o conhecimento do subsolo, através de ensaios específicos, melhor a confiabilidade das previsões do projetista e menores as incertezas, maior economia pode ser alcançada no empreendimento.

E para análise das estacas o método semi empírico escolhido para dimensionamento dos tipos de fundações profundas, é o procedimento para cálculo de Aoki-Velloso proposto em 1975, foi oficialmente apresentado no 5º Congresso Pan-Americano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, realizada em Buenos Aires. A relevância do método para a engenharia civil brasileira, no entanto, decorre de sua subsequente adaptação para a correlação com o ensaio de sondagem à percussão *SPT* (AOKI; VELLOSO, 1975).

Diante da complexidade e dos custos associados a ensaios de prova de carga em grande escala, a prática de engenharia no Brasil tem se apoiado amplamente em métodos semi empíricos para o dimensionamento de fundações profundas. Esses métodos, que combinam formulação teórica com dados de ensaio de campo, são particularmente relevantes no contexto brasileiro, onde o ensaio de sondagem à percussão *SPT* é a investigação geotécnica mais difundida e econômica (ALMEIDA; DANZIGER, 2012).

Dentro deste cenário, o método proposto por Nelson Aoki e Dirceu Velloso, se consolidou como uma das ferramentas mais utilizadas e estudadas no país para o cálculo de capacidade de carga de estacas. O método foi desenvolvido a partir de um estudo comparativo entre os resultados de provas de carga e os dados de sondagem, buscando caracterizar a resistência do conjunto solo e estaca. A equação do método

separa a capacidade de carga total nas parcelas de resistência de ponta e resistência lateral. A equação para capacidade de carga completa é dada por:

$$R_{adm} = U \cdot \Sigma \left(\frac{\alpha K \cdot N_{spt}}{F2} \Delta_L \right) + \frac{K \cdot N_p}{F1} A_p$$

Na equação de capacidade de carga, o que temos é o seguinte: a primeira parcela de cálculo tem relação com a resistência lateral, onde:

U = Perímetro da seção transversal da estaca.

α = Parâmetro em função do solo.

Δ_L = Área lateral (perímetro da seção transversal da estaca x comprimento).

F2 = Fator em função do tipo de estaca.

K = Em função do solo (kN/m²).

E a segunda parcela de cálculo tem relação com a resistência de ponta, onde:

N = Ensaio *SPT*.

K = Em função do solo (kN/m²).

A_p = Área de ponta da estaca.

F1 = Fator em função do tipo de estaca.

O método incluiu os coeficientes K e α , que dependem exclusivamente do tipo de solo. (Tabela 01).

Tabela 01 – Parâmetros em relação ao solo no método Aoki-Velloso.

TIPOS DE SOLO	K (KN/M ²)	α (%)
AREIA	1.000	1,4
AREIA ARGILOSA	600	3,0
AREIA ARGILO-SILTOSA	500	2,8
AREIA SILTO-ARGILOSA	700	2,4
AREIA SILTOSA	800	2,0
ARGILA	200	6,0
ARGILA ARENOSA	350	2,4
ARGILA ARENO-SILTOSA	300	2,8
ARGILA SILTO-ARENOSA	330	3,0
ARGILA SILTOSA	220	4,0
SILTE	400	3,0
SILTE ARENO-ARGILOSO	450	2,8
SILTE ARENOSO	550	2,2
SILTE ARGILO-ARENOSO	250	3,0
SILTE ARGILOSO	230	3,4

Fonte: Aoki e Velloso (1975).

E para fatores de correção F1 e F2, que ajustam os resultados em função do tipo de estaca a ser utilizada, e do método executivo (Tabela 02).

Tabela 02 – Parâmetros de F1 e F2 no método Aoki-Velloso.

TIPOS DE ESTACA	F1	F2
ESCAVADA COM LAMA BENTONÍTICA	3,5	2 F1
ESCAVADA	3,0	2 F1
FRANKI	2,5	2 F1
HÉLICE CONTÍNUA	2,0	2 F1
METÁLICA	1,75	2 F1
PRÉ-MOLDADA	1+D/0,80	2 F1
RAIZ	2,0	2 F1
STRAUSS	4,2	2 F1

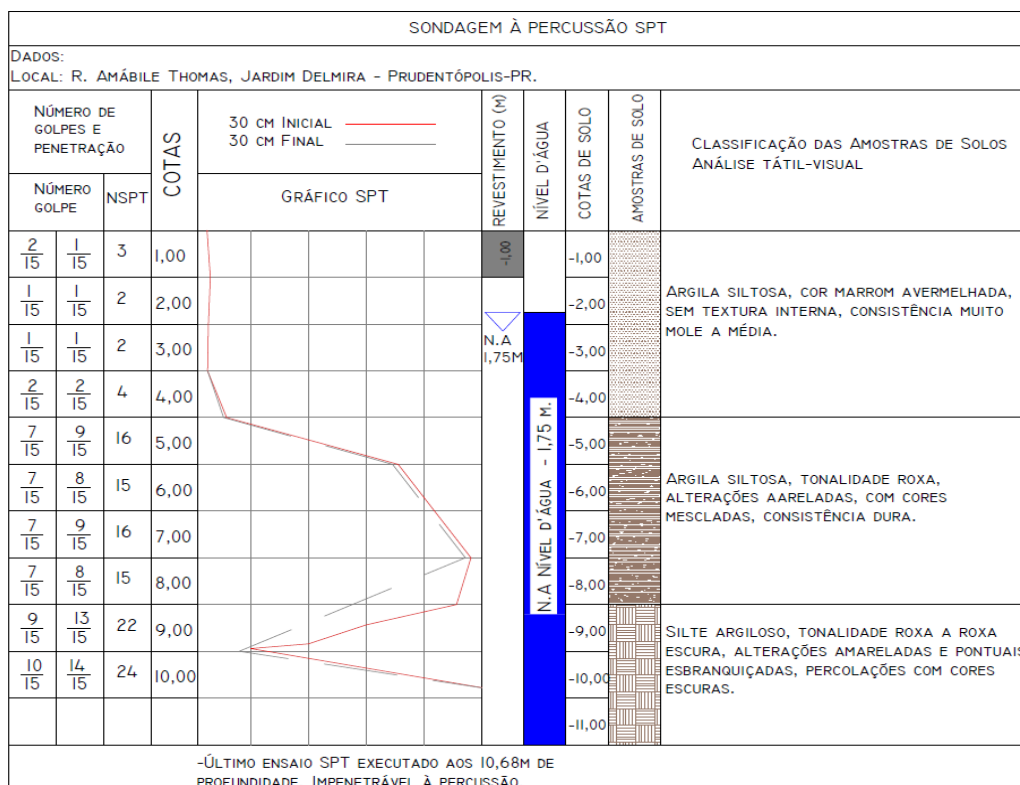
Fonte: Aoki e Velloso (1975).

O método de Aoki-Velloso, correlacionam dados de ensaios de campo com resultados de provas de carga reais, buscando uma estimativa de capacidade de carga mais precisa e prática.

A principal justificativa para a utilização do método reside na sua adaptação ao ensaio *SPT*, o qual é reconhecido por Hachich (2005), como a investigação de solo mais difundida e de baixo custo no Brasil, assim essa característica o torna acessível para a maioria dos projetos de fundação, permitindo uma estimativa de capacidade de carga a partir de dados de campo prontamente disponíveis. A NBR 6122:2019, inclusive recomenda o uso de métodos que considerem a resistência do solo obtida por meio de ensaios de campo como o *SPT*.

O estudo de caso utilizou dados reais obtidos a partir de um laudo de sondagem à percussão *SPT*. Assim fornecendo os valores de número de golpes (N_{spt}) em cada metro de profundidade. O laudo em questão (Figura 03), datada em 2025, descreve a partir de uma análise tátil-visual, uma variação de solo argilosa para siltosa, com as primeiras camadas de solo de baixa resistência, e registrou o nível do lençol freático registrado em 1,75 m de profundidade.

Figura 03 – Relatório técnico *SPT* usado no dimensionamento das estacas.



Fonte: Gaioski sondagens (2025).

Segundo Pinto Carlos de Sousa (2006), em terrenos onde as camadas superficiais não possuem a capacidade de suporte necessária para as cargas da edificação, a adoção de fundações profundas torna-se imperativa. Assim justificando o uso das estacas profundas de tipo Raiz, Hélice Contínua e Strauss. E assim com os dados obtidos a partir da investigação geotécnica, procedesse ao dimensionamento das estacas utilizando o método semi empírico de Aoki-Velloso.

As estacas serão dimensionadas para suportar cargas equivalentes, assegurando isonomia na avaliação das alternativas. O processo de cálculo contemplará a verificação rigorosa da capacidade de carga admissível, considerando tanto a resistência de ponta quanto a lateral. Além disso, serão aplicados os fatores de segurança preconizados pela norma ABNT NBR 6122:2019, assegurando assim a confiabilidade estrutural e a segurança do projeto frente às variabilidades do terreno.

Os valores obtidos serão sistematizados e organizados de maneira a permitir uma comparação objetiva e padronizada entre as alternativas de fundação proposta, utilizando critérios uniformes de avaliação técnica, que assegurem a transparência e a confiabilidade na escolha da fundação mais viável para o caso em estudo. Não serão utilizados nenhum tipo de softwares para simulação e ferramentas estatísticas avançadas, sendo todo o tratamento de dados realizados apenas com base em parâmetros normativos vigentes e procedimentos manuais consolidados na engenharia civil.

Para dimensionamento das estacas, o ponto de partida foi o levantamento detalhado das cargas provenientes dos pilares da residência em estudo (Tabela 03). Esta etapa crucial está em total conformidade com os requisitos de segurança e desempenho estabelecidos pela NBR 6118:2014 – Associação Brasileira de Normas Técnicas que estabelece critérios e procedimentos para o projeto de estruturas de concreto armado e protendido – a precisão na determinação dessas cargas, conforme Carvalho e Pinheiro (2013), é o que garante que a fundação será dimensionada para resistir aos esforços máximos previstos. Assim, ao obter os valores das cargas de serviço da estrutura, foi possível prosseguir com os parâmetros de dimensionamento necessários para que as estacas apresentassem a capacidade de carga requerida, assegurando a correta transferência dos esforços da superestrutura para o solo de apoio.

Tabela 03 – Carga proveniente da superestrutura.

PILAR	SEÇÃO DO PILAR	CARGA (KN)
01	14x40	380
02	14x29	260
03	14x40	350
04	14x29	290
05	14x29	250
06	14x29	240
07	14x40	380
08	14x40	360
09	14x29	260
10	14x40	350
11	14x29	250
12	14x40	340
13	14x29	290
14	14x29	260
15	14x29	240
16	14x40	380
17	14x40	360
18	14x40	350
19	14x29	250
20	14x40	340
21	14x40	370
22	14x29	260
23	14x40	350
24	14x29	250

Fonte: O autor (2025).

Para a análise do dimensionamento pelo método semi empírico de Aoki-Velloso (1975) reforça a justificativa técnica utilizada para a estaca Raiz, Hélice Contínua, e Strauss ao empregar coeficientes de correção F1 e F2 específicos para estes tipos de estacas, que reconhecem e quantificam a contribuição dominante da resistência lateral e de ponta.

A definição de estaca Raiz segundo a ABNT NBR 6122:2019, é uma estaca moldada *in loco*, em que a perfuração é revestida integralmente, em solo, por meio de segmentos de tubos metálicos (revestimento) de 1,0 m a 1,5 m, que vão sendo rosqueados à medida que a perfuração é executada, e o revestimento é recuperado.

A estaca Raiz é armada em todo o seu comprimento e a perfuração é preenchida por uma argamassa de cimento e areia.

O princípio de funcionamento da estaca Raiz (Figura 04) de acordo com a ABNT NBR 6122: 2019, baseia-se na transferência das cargas da superestrutura para o solo, predominante por meio da resistência por atrito lateral entre o fuste e o terreno circundante. A técnica de perfuração e a injeção de argamassa são projetadas para maximizar essa interação, gerando uma aderência superior que é crucial para sua alta capacidade de carga. A combinação da camisa metálica utilizada no processo, da argamassa de alta resistência e da grande área de contato lateral confere à estaca Raiz uma capacidade de carga significativamente superior a outras soluções de fundação.

Figura 04 – Equipamento do tipo estaca Raiz.



Fonte: Pereira (2018).

A norma técnica ABNT NBR 6122:2019, que rege o projeto e a execução de fundações, é a principal referência para o emprego da estaca Raiz. De acordo com as especificações técnicas, a argamassa deve possuir um consumo mínimo de cimento não inferior a 600 kg/m³, garantindo uma resistência característica à compressão

mínima de 25 Mpa. Tais parâmetros são essenciais para assegurar a resistência estrutural adequada e a durabilidade do elemento de fundação.

Ainda sobre a normativa, a execução da estaca Raiz é um processo meticuloso, realizado em etapas que garantem a integridade da fundação. O processo se inicia com a perfuração do solo utilizando perfuratrizes rotativas ou roto-percussivas. Uma característica fundamental é o uso de revestimento metálico integrado do furo, que avança simultaneamente à perfuração, o revestimento é crucial para a estabilidade do furo, evitando o colapso do solo durante a escavação. Após a perfuração atingir a profundidade de projeto, a perfuratriz é removida e a armadura é introduzida no interior do revestimento metálico. A injeção da argamassa é a etapa mais crítica do processo. A argamassa é injeção de baixo para cima garantindo que a argamassa preencha completamente o furo, empurrando a água de perfuração para fora. Simultaneamente, o revestimento metálico é retirado de forma lenta e controlada, enquanto a argamassa é adensada por golpes de ar comprimido aplicados no topo.

A perfuração é realizada com um revestimento metálico que acompanha o avanço da broca. Esse revestimento atua como uma barreira física, impedindo que o solo circundante colapse para o interior do furo e que a água do lençol freático invada a escavação.

A principal justificativa técnica para a escolha da estaca Raiz em solos com presença de água reside em sua metodologia de execução. O uso do revestimento metálico integrado assegura a estabilidade do furo em terrenos instáveis, e o método de injeção de baixo para cima sob pressão expulsa a água, garantindo um preenchimento homogêneo e completo.

A estaca Hélice Contínua (Figura 05) se destaca como uma solução ideal para os casos em que a fundação precisa ultrapassar o nível do lençol freático sem risco de desmoronamento do furo. Ao invés de remover o solo em etapas, a hélice helicoidal penetra continuamente no terreno, escavando e, simultaneamente, mantendo as paredes do furo estáveis. Após atingir a profundidade de projeto, o concreto é injetado sob pressão pelo tubo central da própria hélice, preenchendo o fuste de baixo para cima enquanto a ferramenta é removida. Este procedimento garante que o furo permaneça sempre preenchido (ou com solo ou com concreto), eliminando a necessidade de utilização de revestimento metálico ou de fluido estabilizante para conter o solo (LORENZI, 2022).

Figura 05 – Equipamento do tipo Hélice Contínua.



Fonte: Velloso; Lopes, 2011.

A ABNT NBR 6122:2019 à define como uma estaca de concreto moldada *in loco*, executada mediante a introdução no terreno, por rotação, de um trado helicoidal contínuo de diâmetro constante. A injeção de concreto é feita pela haste central do trado simultaneamente à sua retirada. A armadura é sempre colocada após a concretagem da estaca.

A normativa ainda menciona que, o equipamento deve possuir características mínimas, estabelecidas pelo projetista e pelo executor, as quais assegurem a capacidade de atingir a profundidade especificada no projeto, além do torque e força de arranque adequados à resistência do solo a ser perfurado e ao diâmetro da estaca.

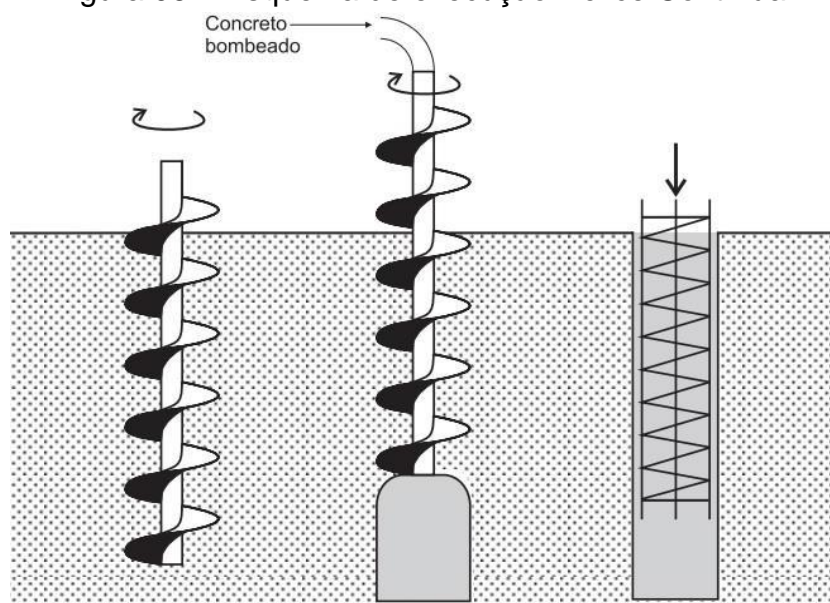
Um diferencial fundamental da Hélice Contínua é o seu monitoramento eletrônico, que garante o controle de qualidade e a segurança do processo. Sensores instalados em pontos estratégicos do equipamento registram em tempo real uma série de parâmetros, como a profundidade de perfuração, o torque do motor, a velocidade de rotação e de avanço do trado, pressão, e a velocidade de injeção do concreto. A

análise desses dados permite uma verificação precisa da conformidade da estaca com o projeto, resultando em uma estaca homogênea e de alta qualidade.

Conforme Almeida Neto (2002), o processo de perfuração e concretagem simultâneas da Hélice Contínua é a principal razão para sua eficácia em solos com lençol freático elevado. O trado helicoidal contínuo atua como uma barreira física que impede o colapso do solo durante a escavação. Enquanto o trado penetra no solo, ele retém o material, mantendo a estabilidade das paredes do furo. Quando a concretagem é iniciada, o concreto é injetado sob pressão pela haste central, o que expulsa o solo e a água de forma controlada, preenchendo o completamente o espaço e criando uma estaca homogênea e sem falhas.

A execução da estaca Hélice Contínua monitorada, conforme os requisitos da ABNT NBR 6122:2019, consiste em três fases principais e contínuas. A perfuração helicoidal contínua, com uma haste central oca, é cravada no terreno por rotação até a profundidade definida em projeto, durante essa etapa o solo escavado é retido nas lâminas da hélice, garantindo a estabilidade das paredes laterais do furo. A concretagem uma vez alcançada a profundidade, o concreto é bombeado sob pressão pelo tubo central da hélice, ao mesmo tempo em que a hélice é lentamente retirada do solo (Figura 06). Esse processo garante que não haja cavidades no fuste e que o concreto ocupe todo o espaço, evitando o colapso das paredes do furo. A inserção da armadura de aço é inserida após a concretagem.

Figura 06 – Esquema de execução Hélice Contínua.



Fonte: APL Engenharia (2025)

Este método de fundação apresenta uma ausência de vibrações, baixo ruído, e o monitoramento eletrônico de parâmetros como a profundidade, torque, velocidade e pressão da concretagem são características fundamentais que garantem a segurança e o controle de qualidade.

Para a estaca Strauss (figura 07). Segundo a definição da normativa NBR 6122, é uma estaca de concreto moldado *in loco*, executado através da escavação, mediante emprego de uma sonda (também denominada piteira), com a simultânea introdução de revestimento metálico, com guincho mecânico, em segmentos rosqueados, até que se atinja a profundidade projetado. Diferente de métodos que utilizam equipamentos pesados e ruidosos, o sistema Strauss se destaca pela sua simplicidade e leveza, a sua composição básica inclui um tripé, um guincho, um soquete, tubos-guia e a sonda Strauss, também conhecida como “piteira”.

Figura 07 – Equipamento Strauss.



Fonte: Lorenzi (2022).

O processo da estaca Strauss é iniciado com a queda livre de um soquete de aproximadamente 300 kg, que cria um furo guia de 1 a 2 metros de profundidade. Em seguida, o primeiro segmento do revestimento metálico, conhecido como “coroa”, é introduzido nesse furo, conforme estabelecido nos procedimentos executivos da NBR 6122:2019.

Ainda sobre a normativa, à estaca Strauss é uma estaca escavada, moldada in loco, sem necessidade de grandes equipamentos (como em outras soluções que utilizam trator, caminhão, escavadeira), apenas se usa o tripé pela sua sonda ou piteira, dois ganchos e o tubo de revestimento. Diante disso, a normativa estabelece parâmetros de segurança mais rígidos quando comparada a outras soluções de fundação mais controladas ou mecanizadas, e isso se deve primeiramente às incertezas inerentes ao seu método executivo, devido ao seu menor controle tecnológico.

Após a introdução da “coroa”, o soquete é substituído pela sonda Strauss. Por meio de movimentos de percussão, a sonda desagrega o solo. A escavação e a inserção dos tubos de revestimento rosqueados ocorrem de forma simultânea, com a profundidade da camisa metálica para evitar o colapso das paredes da estaca. O concreto é lançado no interior do revestimento em uma quantidade suficiente para formar uma coluna de cerca de um metro de altura. Um pilão de aproximadamente 200 kg é usado para apiloar para formar uma base alargada, na ponta da estaca. Esse apiloamento aumenta o atrito lateral com o solo e, conseqüentemente, a capacidade de carga das estacas.

Segundo Caputo (2010), a principal vantagem da estaca Strauss é a sua ausência de vibrações durante a execução, o que a torna uma escolha ideal para obras em áreas urbanas densamente povoadas, onde a proximidade com construções vizinhas requer cuidados especiais para evitar danos estruturais. O processo de perfuração por percussão e a ausência de cravação de elementos pré-moldados minimizam o risco de fissuras ou aborrecimentos com a vizinhança.

Ambos os tipos de estacas são regidos pela ABNT NBR 6122:2019, que estabelece os critérios e requisitos para o dimensionamento, execução e controle de fundações profundas no Brasil. O comprimento das diretrizes desta norma é fundamental para garantir a segurança, qualidade e o desempenho estrutural das fundações.

Para garantir a validade e a consistência metodológica da análise, a seleção dos diâmetros das estacas (Tabela 04) foram realizadas em estrita conformidade com os parâmetros normativos disponibilizados, para uniformizar ao máximo o dimensionamento. Assim, assegurando que as comparações entre as tipologias de estaca sejam baseadas exclusivamente nas suas características intrínsecas, e não em variações arbitrárias de seção.

Tabela 04 – Diâmetros utilizados para dimensionamento.

TIPO DE ESTACA	DIÂMETRO UTILIZADO
RAIZ	310 MM
HÉLICE CONTÍNUA	300 MM
STRAUSS	320 MM

Fonte: O autor (2025).

Por fim, a etapa final do presente trabalho consistirá na avaliação comparativa entre as soluções de fundações abordadas e dimensionadas, considerando integralmente os aspectos técnicos, e econômicos disponibilizados pela tabela SINAPI. A análise consistirá em identificar qual das estacas dimensionadas atende aos critérios técnicos de engenharia estabelecidos pela ABNT NBR 6122:2019, e ao mesmo tempo que apresente o menor custo entre as alternativas avaliadas.

A estrutura metodológica implementada possibilita uma abordagem clara e fundamentada do problema em questão, contribuindo para o aprofundamento técnico da análise e para a proposição de soluções viáveis, tanto do ponto de vista estrutural quanto econômico. Dessa forma, o estudo se mantém alinhado aos princípios da engenharia civil, priorizando a segurança, a eficiência e a racionalização de recursos ao longo do desenvolvimento do projeto.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base no dimensionamento geotécnico realizado, com suporte dos dados obtidos pela análise do laudo de sondagem, constatou-se que as três tipologias de estaca avaliadas no estudo possuem capacidade de carga suficiente para atender aos requisitos estruturais da residência estabelecidos pela normativa. Porém, as análises revelaram que a capacidade de carga de cada tipo de estaca é intrinsecamente

distinta, revelando uma hierarquia clara em termos de capacidade, o que demandou uma quantidade variável de estacas ou uma metragem linear de perfuração distinta para cada solução.

As estacas Hélice Contínua e Raiz se classificaram como de alta capacidade de carga, superando significativamente a estaca Strauss, que apresentou a menor capacidade de carga admissível. O dimensionamento e a comparação das fundações demonstraram que a baixa capacidade da estaca Strauss levou a um aumento no número de estacas, comparada aos outros dois métodos escolhidos (Tabela 05).

Tabela 05 – Análise do desempenho das fundações.

TIPOS DE ESTACAS	QUANTIDADE DE ESTACAS	PROFUNDIDADE MÉDIA DE ESTACAS (M)	METRAGEM LINEAR TOTAL (M)	CUSTO POR METRO LINEAR PERFURADO (R\$)
RAIZ	24	7	201	374,04
HÉLICE CONTÍNUA	24	8	209	253,01
STRAUSS	48	9	412	143,94

Fonte: O autor (2025).

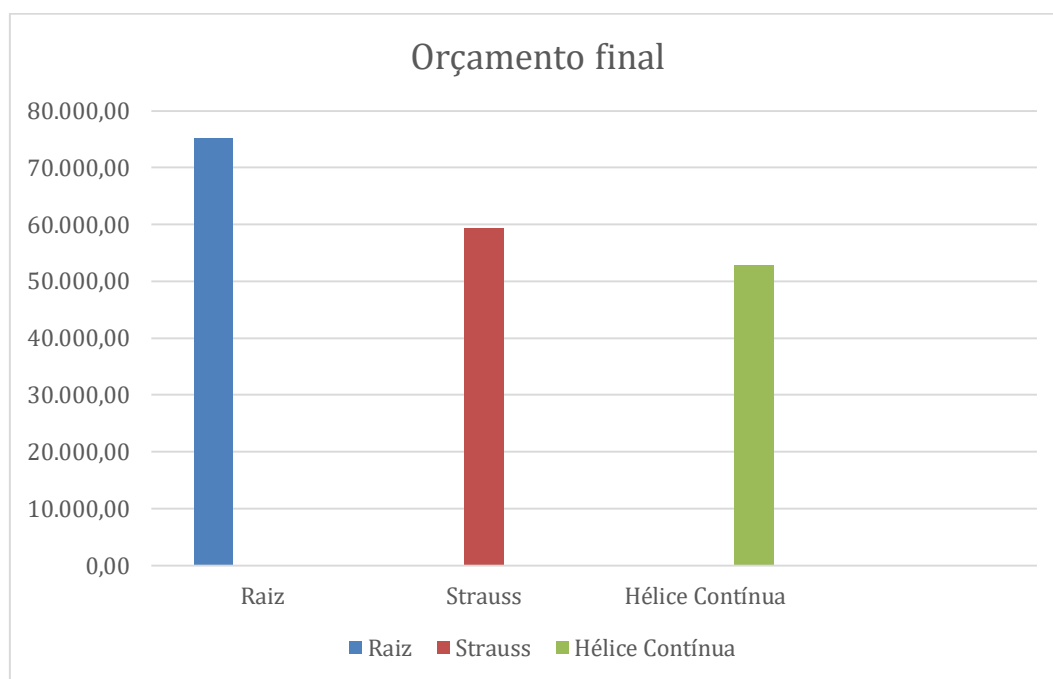
Ao dimensionar a capacidade de cargas das estacas, o método proposto por Aoki-Velloso forneceu parâmetros com coeficientes de segurança que consideram a incerteza de cada método executivo. Quanto maior a incerteza sobre o processo executivo, maior o coeficiente de segurança utilizado, o que assim resultou em maior quantidade de estaca Strauss para suportar a mesma carga. Resultando assim em um maior consumo de materiais, além de ilustrar a menor capacidade individual, que requer mais pontos de apoio para distribuir a carga ao solo.

A estaca Raiz e Hélice Contínua por utilizarem processos mais controlados e mecanizados, o método permitiu o uso de coeficientes de segurança menores, o que refletiu a maior confiabilidade e previsibilidade do desempenho dessas estacas, permitindo assim reduzir a quantidade de elementos necessários para poder dissipar a carga da residência em estudo ao solo.

Com a análise técnica concluída, foi traduzida a eficiência de cada método de fundação em termos financeiros. O comparativo de custos por metro, quando combinado com a metragem total de perfuração necessária para cada caso, revelou

a verdadeira relação custo-benefício de cada tipologia. Embora um método possa ter um custo unitário mais alto, sua eficiência técnica superior pode levar a um custo total de projeto significativamente menor. Em suma, após as análises e dimensionamentos realizados, pode-se concluir que a análise de orçamento obtido pela SINAPI (Tabela 06) demonstrou a otimização financeira alcançada pelas soluções que, a princípio, poderiam parecer mais caras.

Tabela 06 – Orçamento final das fundações.



Fonte: O autor (2025).

Este estudo demonstrou que a escolha da fundação vai além de uma simples decisão de engenharia, é uma análise integrada de eficiência, segurança e viabilidade econômica. Ao poder comparar ainda em fase de projeto as tipologias de diferentes estacas, a análise técnica revelou uma clara hierarquia de desempenho. As soluções mais modernas, como a estaca Hélice Contínua e Raiz, se destacaram por sua maior capacidade de carga individual, resultando na necessidade de menos estacas e, conseqüentemente, em uma menor metragem linear total para atender aos requisitos do projeto em estudo.

No entanto, o ponto mais relevante do trabalho se manifesta ao cruzar a análise técnica com os dados de orçamento. Ficou evidente que a solução tecnicamente mais eficiente – à estaca de tipo Hélice Contínua – também se mostrou a mais vantajosa

financeiramente, mesmo com um custo unitário potencialmente superior comparada à estaca Strauss. Ao demandar menos material, essa tecnologia resultou em um custo total de projeto significativamente menor, solidificando seu status com a opção de melhor custo-benefício.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como propósito analisar a viabilidade técnica e econômica de diferentes tipologias de fundações profundas – Raiz, Hélice Contínua e Strauss – para a residência ainda em fase de projeto. Com a premissa de destacar a relevância de realizar análises comparativas ainda na etapa de planejamento da edificação, possibilitando ao projetista responsável escolher a alternativa que leve em conta, além da segurança estrutural, a eficiência no uso dos recursos financeiros.

Foi verificado que todas as estacas analisadas estão em conformidade com as normas de segurança, demonstrando serem tecnicamente viáveis para o projeto. No entanto, os fatores econômicos foram fundamentais na seleção da opção mais benéfica. Nesse contexto, a estaca de tipo Hélice Contínua, se destacou como a mais eficiente para este exame, combinando uma adequação técnica adequada com um custo de execução mais baixo, em relação às outras tipologias de estacas.

Nesse contexto, o estudo mostra a necessidade de sempre que possível otimizar a escolha do tipo de fundação, considerando não apenas pela capacidade de carga, mas também a viabilidade econômica da execução. E assim contribuindo de forma significativa para aplicações deste estudo para tomada de decisões em eventuais e futuros projetos com as mesmas características geotécnicas da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Márcio de Souza Soares de; DANZIGER, Fernando. Investigações geotécnicas. In: HACHICH, W. et al. (Org.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2012. cap. 3, p. 121-178.

ALMEIDA NETO, José Albuquerque de. **Análise do desempenho de estacas hélice contínua – aspectos executivos**. 2002. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002.

ALONSO, U. R. S. **Fundações: previsão e controle**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2019.

AOKI, N.; VELLOSO, D. A. Na approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 5, Buenos Aires, 1975. **Anais.**: ISSMGE, 1975. p. 116-127.

APL ENGENHARIA. **Fundação em estaca Hélice Contínua: métodos executivos, vantagens e desvantagens.** Disponível em: <https://apl.eng.br/fundação-em-estacas-helice-continua/>. Acesso em: 1 set. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto armado e protendido.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro, 2019. Retificação 1, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. **SINAPI: Metodologias e Conceitos.** 7. ed. Brasília: Caixa, 2019. 178 p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.** Brasília, DF, 2025. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/sinapi> . Acesso em: 29 ago. 2025.

CARVALHO, Dácio de Souza; PINHEIRO, Lúcio de Almeida. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** São Paulo: PINI, 2013.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações:** mecânica das rochas, fundações e obras de terra. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico.** São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

DANZIGER, Bernadete Ragoni; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações em estacas.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

ESTACA STRAUSS: vantagens, desvantagens e características. Carluç Engenharia. Disponível em: <https://www.carluç.com.br/projeto-de-fundação/estaca-strauss>. Acesso em: 1 set 2025.

GAIOSKI SONDAGENS. **Laudo de sondagem de simples reconhecimento SPT**. Ponta Grossa, PR, 2025.

HACHICH, W. et al. (Org.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2005.

LORENZI, Vinicius. **Fundações na prática**. Cascavel, PR: Fundações Sem Complicações, 2022.

MASSAD, F. **Mecânica dos solos: experimental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

PARANÁ. Município de Prudentópolis. Lei nº 2.536, de 25 de agosto de 2022. **Dispõe sobre o Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo no Município de Prudentópolis**. Disponível em: leismunicipais.com.br/plano-diretor-prudentopolis-pr. Acesso em: 16 ago. 2025.

PEREIRA, Caio. **Estaca Raiz: Características, Processo Executivo, Vantagens e Desvantagens**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-raiz>. Acesso em: 1 set. 2025.

PEREIRA, Caio. **Sondagem SPT: O que é e como é feito esse ensaio**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/sondagem-spt>. Acesso em: 1 set. 2025.

PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.