

ESTUDO COMPARATIVO DE FUNDAÇÕES TIPO ESTACA E SAPATA SUBMETIDOS A CARREGAMENTO AXIAL EM SOLO RESIDUAL

Ana Clara Nogueira Silva

Bacharelada do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (nsanaclara@hotmail.com)

Paulo Ricardo Sardinha Dias

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (engpaulo.dias@outlook.com)

Stefany Silva Santos

Bacharelada do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (stefany_pref@hotmail.com)

Tharsis Willie Lima Garcia

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (eng.tharsisgarcia@gmail.com)

Eduardo Martins Toledo

Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (eduardomtoledo@gmail.com)

RESUMO

As fundações são de extrema importância para as edificações, pois tem a função de transmitir todos os esforços das estruturas para o solo, com um custo relativamente baixo comparado ao resto da obra. Para que este elemento tão importante na engenharia seja bem dimensionado, é necessário realizar uma investigação do subsolo, conhecendo os tipos de solos e as suas características, além das cargas de projeto obtidas no projeto estrutural, para escolha adequada do tipo de fundação que será utilizada, de forma que o projeto possa ser econômico, mas tecnicamente viável e seguro. O método mais utilizado para a prospecção do subsolo é a sondagem à percussão SPT (*Standard Penetration Test*). As fundações rasas ou superficiais se caracterizam por uma profundidade inferior a 2 vezes o menor lado da fundação, necessitando de pouca escavação para estabilizar e transmitir os esforços, os mais utilizados são as sapatas e os blocos. As fundações profundas são utilizadas quando é exigido uma maior profundidade para suportar os esforços do projeto, sendo divididas em dois grupos quanto a implantação: estaca escavada ou cravada. Todos os tipos de projetos, desde o pequeno até o de grande porte, é de grande importância o levantamento das características de cada tipo de fundação, o que pode resultar em grandes diferenças financeiras, evitando gastos desnecessários como ocorre em cidades menores, onde a maioria das construções se baseiam no conhecimento empírico dos construtores. Sendo assim, faz necessário considerar as particularidades de cada tipo de fundação assim como o tipo e as características do subsolo. O presente estudo de caso de uma edificação residencial, localizado em Anápolis, Goiás, onde foram obtidas as cargas reais e em função da sondagem do solo, sendo proposto um comparativo técnico utilizando sapatas isoladas e outro utilizando estacas modadas *in loco*. Foi realizado um comparativo dos resultados obtidos do *software Eberick* analisando todas as variáveis que cada solução de fundação propôs, podendo-se concluir que a fundação superficial do tipo sapata se adequa melhor ao terreno, obtendo uma economia de R\$ 30.600,55 no valor final da fundação.

PALAVRAS-CHAVE: fundações; investigação do subsolo; sondagem SPT; fundações rasas; fundações profundas.

1 INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento da construção civil, a escolha do tipo de fundação mais adequado para projeto tem se baseado não só em especificações técnicas, mas também em fatores mais econômicos para a obra, aliado a compreensão e experiência do projetista quanto ao comportamento dos solos e recalque nas estruturas (REBELLO, 2008).

As fundações são de extrema importância para a construção civil, são elas que tem a função de transmitir as cargas da estrutura ao terreno em que ela se apoia. Segundo Milititsky (2015), o custo usual de uma fundação é variável que em casos correntes pode se situar na faixa de 3% a 6% do custo da obra, com isso a superestrutura escolhida corretamente não tem um grande impacto no orçamento em comparação com o custo global da obra. Entretanto é de suma importância fazer a escolha correta da fundação, pois uma das consequências negativas é o superdimensionamento, que gera valores que podem ser muitos maiores que o real custo e impactando assim de forma negativa o orçamento.

A causa mais frequente de problemas nas fundações é a falta de investigação do subsolo que vai suportar as cargas, pelo simples fato do solo ser inerentemente heterogêneo à sua formação natural. Sendo assim, é imprescindível conhecer o tipo do solo e suas características, e as solicitações de cargas do projeto estrutural, fornecida pelo engenheiro projetista, para a escolha do melhor tipo de fundação. Esta escolha deve aliar a viabilidade técnica e econômica de forma que o projeto possa ser econômico, mas tecnicamente viável e seguro.

Segundo a norma NBR 6122 (ABNT, 2019), as fundações são divididas em dois tipos: superficiais, cujo aquelas em que as cargas são transmitidas para o solo pelas tensões distribuídas na base do elemento, em que sua profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, e profundas cujo aquelas que transmitem as cargas ao solo pela resistência de ponta (base), ou pela resistência de fuste (superfície lateral), ou por uma combinação de ambas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, com no mínimo 3 metros.

No presente trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico dos tipos de fundação, sapata (fundação rasa) e estacas (fundação profunda), apresentando o processo construtivo e a metodologia de cálculo para o dimensionamento analítico dos dois tipos, utilizando-se do software Eberick da Altoqi para isto.

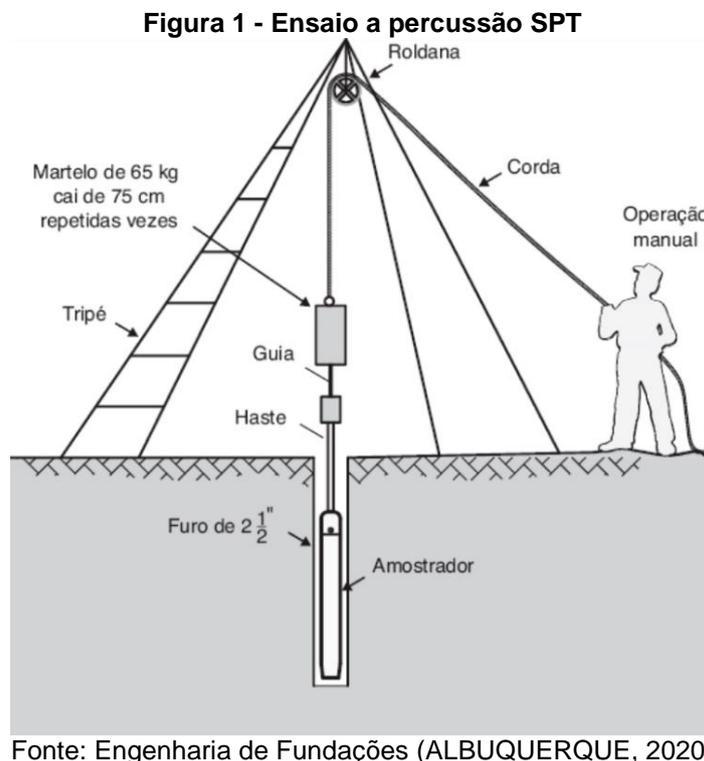
2 MÉTODOS PARA INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

O solo é o meio que vai suportar as cargas advindas da estrutura, sua identificação e a caracterização de seu comportamento são essenciais pra evitar patologias nas fundações e solucionar qualquer problema (MILITITSKY, 2015). Na atualidade, existem vários métodos que permitem identificar e conhecer as características do perfil de um solo, entretanto todos eles requerem um conhecimento amplo para interpretação dos resultados. Os mesmos, são indispensáveis quando se visa obter um custo menor e segurança da estrutura, evitando futuros problemas. No entanto, essas investigações só são usadas em obras de grande porte onde a exigência deste serviço trará a certeza da escolha do tipo de fundação, sem sofrer gastos desnecessários ou superdimensionamento da estrutura. Já em obras menores, os quesitos levados em consideração muitas das vezes é a aparência superficial do solo, preferência do construtor e tipos usados em obras vizinhas (REBELLO, 2008).

O mercado nacional oferta várias opções de sondagem de solo, como por exemplo, sondagem mista, sondagem rotativa, sondagem geofísica, sondagem à percussão, sondagem a trado. O mais comum e utilizado entre eles é a sondagem à percussão SPT (Standard Penetration Test).

O seu funcionamento é proveniente de sequências de impactos no solo por meio de golpes, através de um trépano movimentado por uma roldana que é sustentada por um tripé, segundo a NBR 6484 (ABNT, 2020), o ensaio é realizado em campo com a cravação dinâmica de um amostrador padrão de diâmetro externo de $50,8 \pm 2$ mm e diâmetro interno de $34,9 \pm 2$ mm no solo pelo impacto de um martelo de ferro (65 kgf).

Durante a execução da sondagem de simples reconhecimento, é feito o ensaio a percussão SPT (Figura 1) que consiste a definição da resistência mecânica do solo, por meio de números de golpes necessários à cravação de um amostrador padrão. O furo é feito por trado ou circulação de água utilizando um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. Essas amostras características do solo são apanhadas a cada metro de profundidade por meio do amostrador padrão. Esse método de ensaio equivale à cravação no fundo da escavação, usando o peso normatizado com 65 kgf que cai a uma altura de 75 cm. A cravação do amostrador é feita em três trechos iguais de 15cm cada, e o NSPT será valor do número de golpes para o amostrador padrão penetrar 30cm após a cravação inicial de 15 cm (ALBUQUERQUE, 2020).



A NBR 6122 (ABNT, 2019) apresenta as Equações 1 e 2 para encontrar a tensão admissível do solo por métodos empíricos através do NSPT médio. Contudo, esses métodos só são válidos para situações em que: o valor de N esteja compreendido entre 5 e 20; a tensão admissível máxima deve ser de 0,4 MPa ou 4,0 kgf/cm² e não deve se fazer o uso de sapatas em solos que seja classificado como fofo ou mole, sendo $N_{spt} \leq 5$.

Cálculo para tensão admissível do solo com resultado em kgf/cm².

$$\sigma_s = \frac{NSPT_{médio}}{5} \quad (1)$$

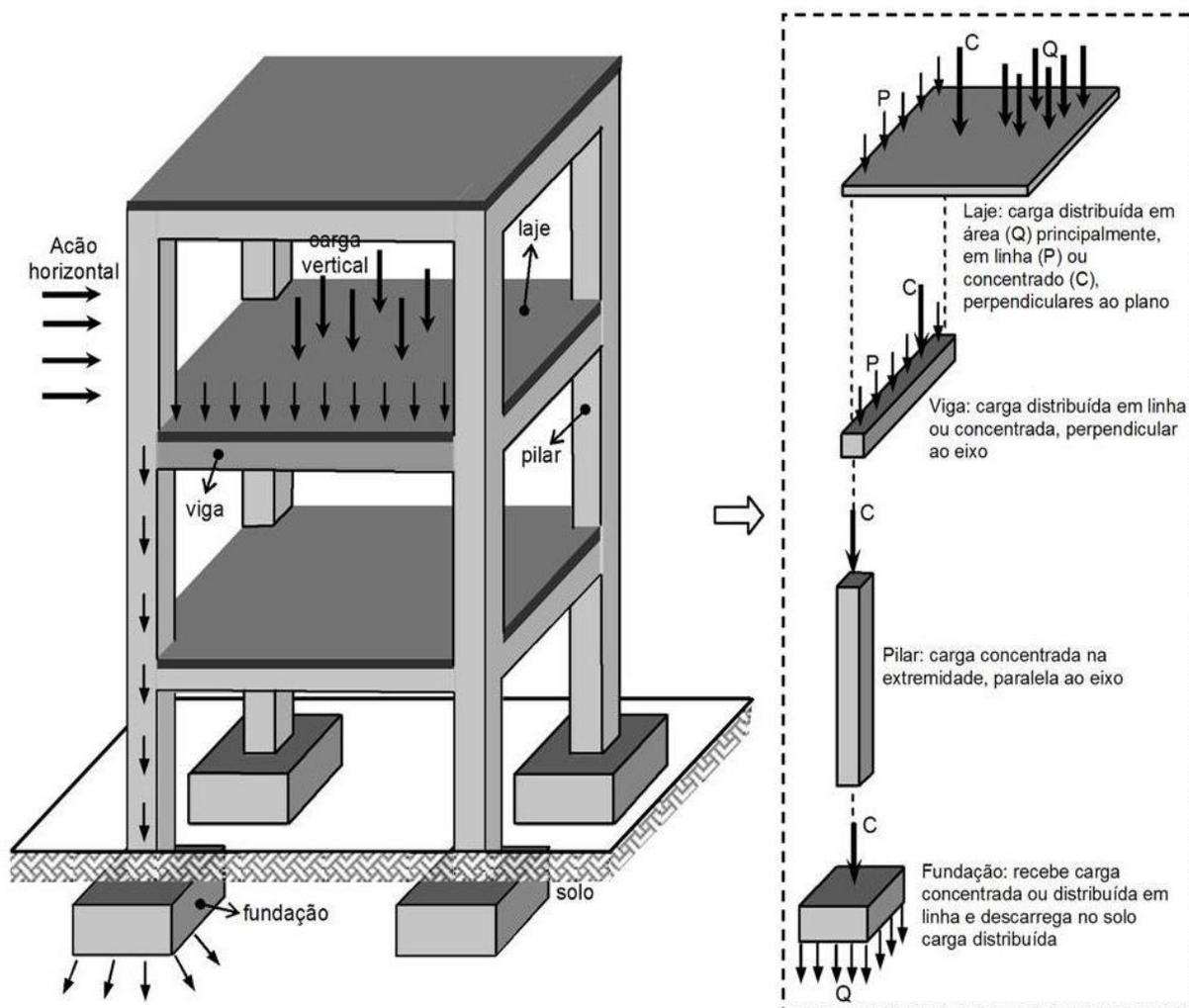
Onde: σ_s é o cálculo da tensão admissível do solo (kgf/cm²)
 $NSPT_{média}$ é o média dos valores de Nspt considerando a zona de plastificação

As amostras coletadas, são levadas ao laboratório para testes e ensaios que darão a classificação do solo que se refere a granulometria que implica na percolação de água e composição. Dessa forma, o ensaio SPT viabiliza o melhor tipo de fundação para o solo analisado.

3 FUNDAÇÕES

A fundação é um elemento que compõem a infraestrutura de uma edificação (abaixo do solo) responsável por receber e transmitir todo o carregamento proveniente da estrutura para o solo de forma segura e eficaz. A Figura 2, representa, de forma bastante didática, o fluxo de cargas da estrutura até o solo.

Figura 2 - Fluxo de cargas em uma estrutura até o solo



Fonte: (MELO, 2013. Adaptado de ENGEL, 2003).

Com relação ao tipo, conforme a NBR 6122 (ABNT, 2019), na construção civil, tem-se alguns parâmetros para projetar as fundações, onde se dividem em dois grupos, fundações rasas e fundações profundas. Conhecer qual o tipo de fundação a ser empregada em determinada edificação é fundamental para que não ocorra um

superdimensionamento ou problemas futuros, evitando gastos desnecessários. Sendo assim, é necessário uma busca constante pela análise e avaliação dos métodos de cálculos frequentemente empregados (JESUS, 2017).

3.1 FUNDAÇÕES RASAS

Elemento de fundação, também conhecido como superficiais ou diretas, em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento (H) em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação (B) NBR 6122 (ABNT, 2019).

Em casos em que a camada de solo superficial apresenta resistência e características para suportar a carga proveniente das estruturas, emprega-se esse tipo de fundações, que geralmente são apoiadas em solo onde devem ter profundidade mínima de 1,5m da superfície do terreno, exceto quando apoiada diretamente sob rochas (ALBUQUERQUE, 2020).

Geralmente, sua execução necessita muito trabalho manual, sem exigência de qualificação, o que leva maior tempo para ser executada quando comparado as fundações profundas.

São tipos de fundações rasas ou diretas: sapata de fundações, blocos de fundação e radier.

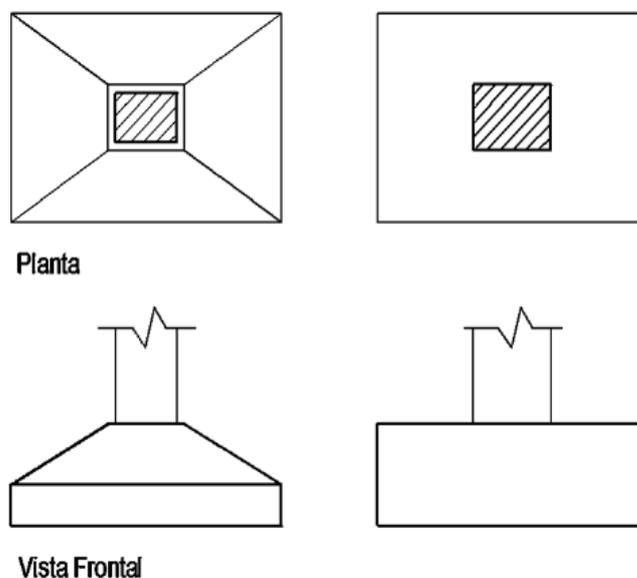
3.1.1 SAPATAS

São elementos de apoio de concreto armado, dimensionados de modo que as tensões de tração neles resultantes, devido a flexão, sejam resistidas pela armadura mínima, podendo ser rígida ou fléxivel. Normalmente possuem altura menores que os blocos (ALBUQUERQUE, 2020).

Podem ser divididas em: sapatas isoladas, corridas, associadas e de divisa.

3.1.1.1 SAPATAS ISOLADAS

Figura 3 - Sapata isolada



Fonte: (CARVALHO, 2015)

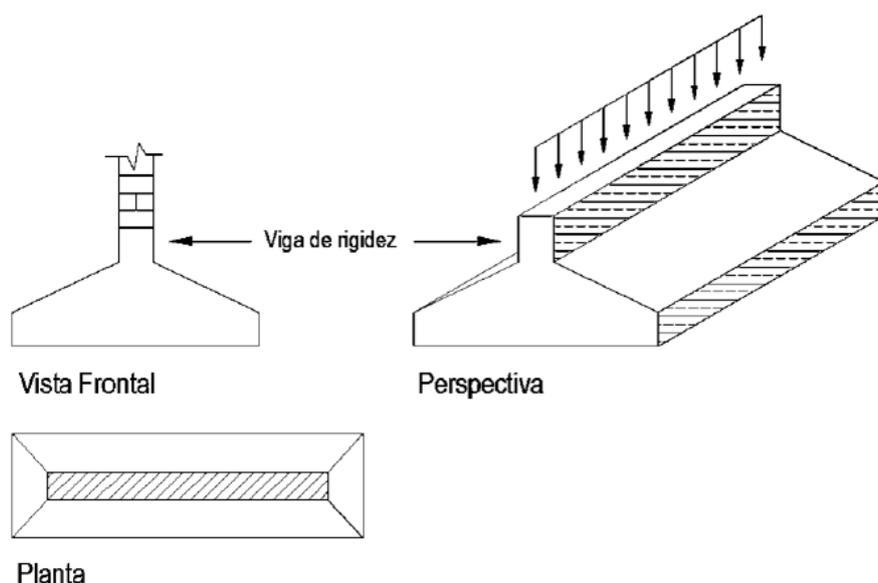
Elemento que recebe um único pilar (Figura 3), onde o seu centro de gravidade (CG) é o mesmo que o da sua base, independente do formato do pilar, sustentando as ações centradas ou excêntricas. A sapata isolada é a mais utilizada na construção civil (DELALIBERA, 2006).

3.1.1.2 SAPATAS CORRIDAS

Elemento sujeito à ação de uma carga distribuída linearmente (Figura 4) ou de um conjunto de três ou mais pilares em sequência no mesmo alinhamento, representando menos de 70% das cargas da estrutura NBR 6122 (ABNT, 2019).

É a sapata mais viável das fundações rasas quando o solo apresenta capacidade de carga suficiente para pequenas profundidades, muito utilizada em construções de pequeno porte (BASTOS, 2016).

Figura 4 - Sapata corrida sob carregamento linear distribuído



Fonte: (CARVALHO, 2015)

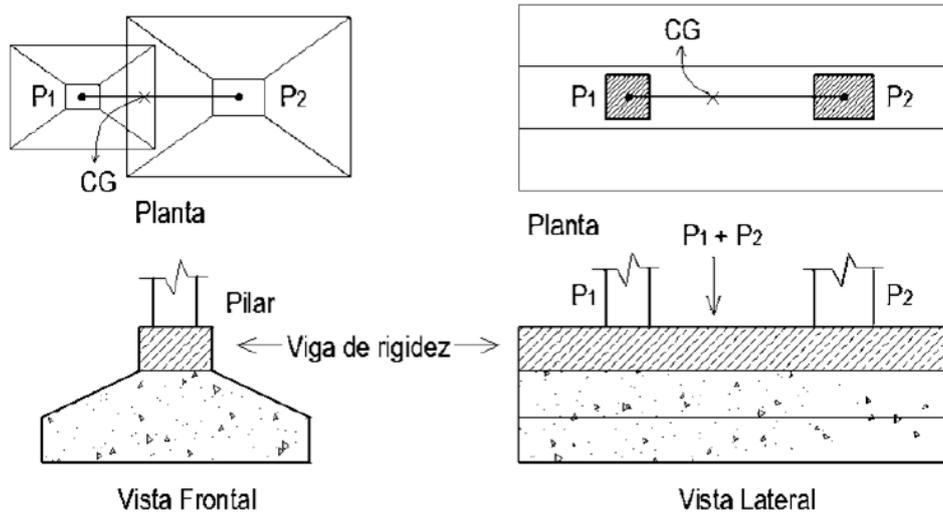
3.1.1.3 SAPATAS ASSOCIADAS

Sapata comum a mais de um pilar, sendo uma alternativa quando a distância entre as sapatas é pequena e se sobrepõem, conforme Figura 5, representando menos de 70% das cargas da estrutura NBR 6122 (ABNT, 2019).

3.1.1.3 SAPATAS EM DIVISA

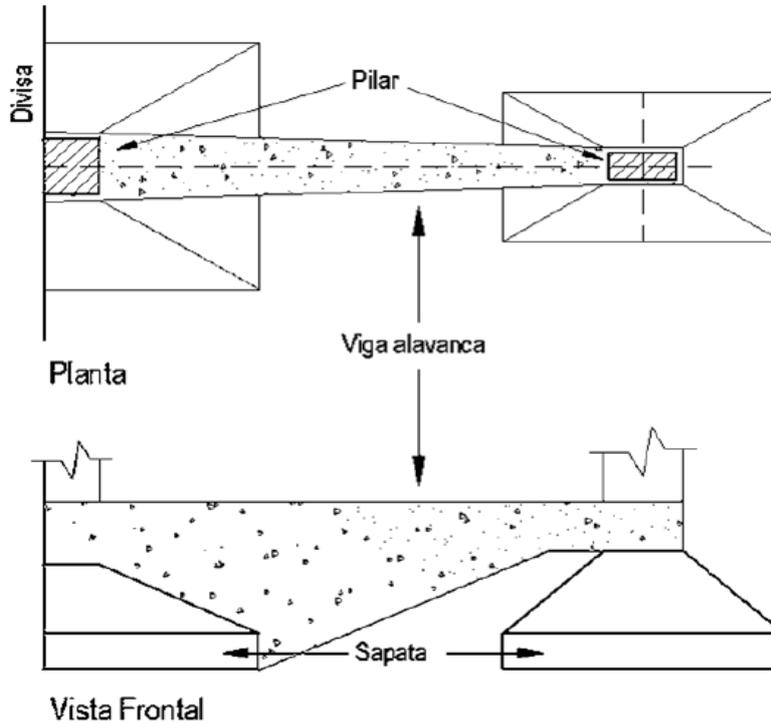
Elementos que suportam a carga proveniente de apenas um pilar (Figura 6) fora do centro de gravidade da sapata, de forma excêntrica, ou seja, em muros de divisas. Dessa forma provoca uma distribuição não uniforme das tensões no solo, gerando momento fletor no pilar. Quando a transmissão das tensões da sapata não atinge toda sua extensão, a mesma perde sua rigidez, sendo necessário uma viga de equilíbrio, com função resistir aos esforços provocados pela excentricidade da carga do pilar em relação ao centro da sapata (CARVALHO, 2015).

Figura 5 - Sapata associada



Fonte: (CARVALHO, 2015)

Figura 6 - Sapata de divisa

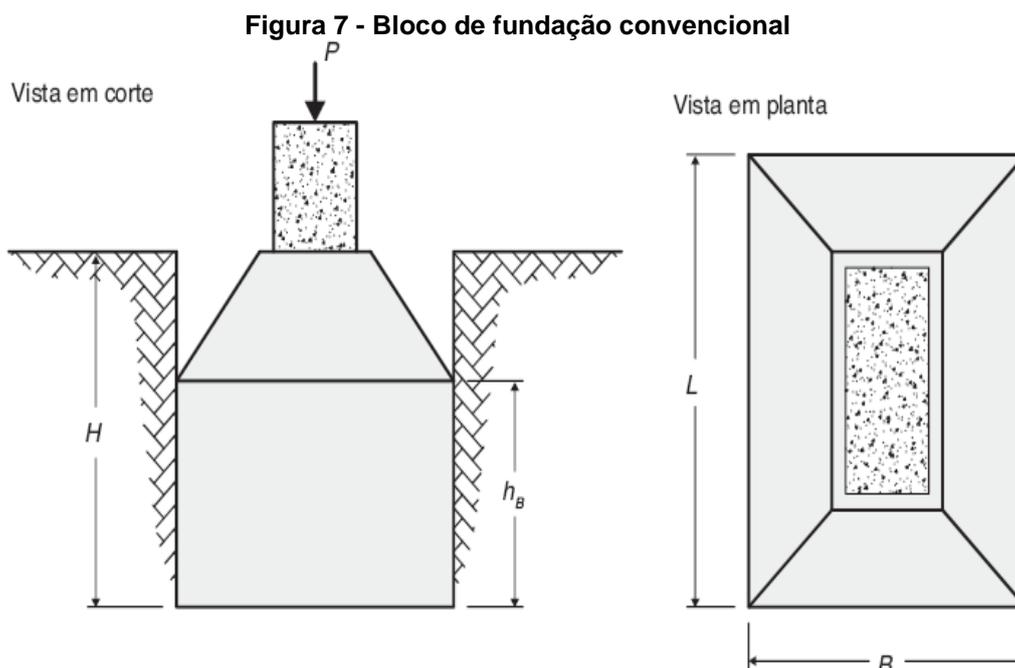


Fonte: (CARVALHO, 2015)

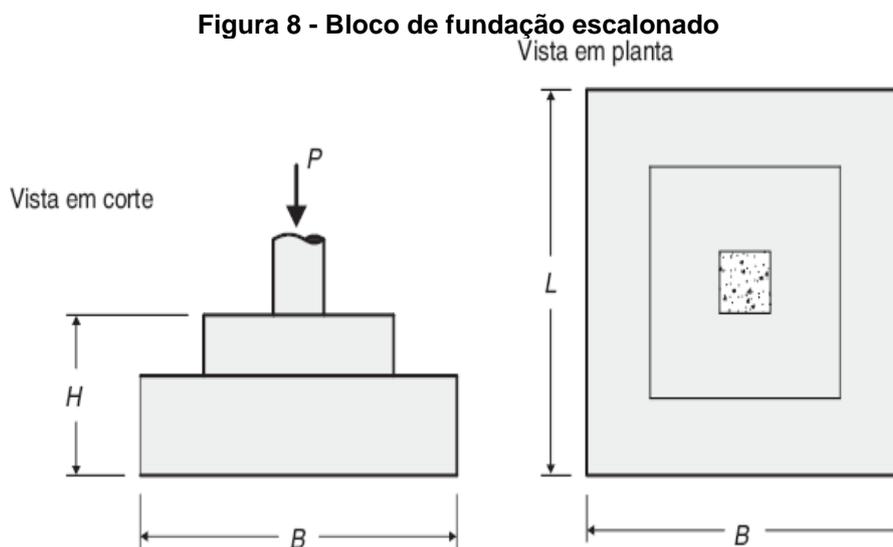
3.1.2 BLOCOS

São elementos rígidos de concreto armado, que apresentam resistência principal por compressão, uma vez que suas alturas são relativamente elevadas, mostrado na Figura 7, com vista em corte e em planta. Para reduzir o volume de concreto utilizado, assumem a forma de bloco escalonado (Figura 8) ou pedestal, ou de um tronco de cone (ALBUQUERQUE, 2020).

Deve-se calcular a altura de um bloco de forma à absorver as tensões de tração atuantes no concreto, sem necessidade de armar o piso da base (TEIXEIRA E GODOY, 2019).



Fonte: Engenharia de Fundações (ALBUQUERQUE, 2020)



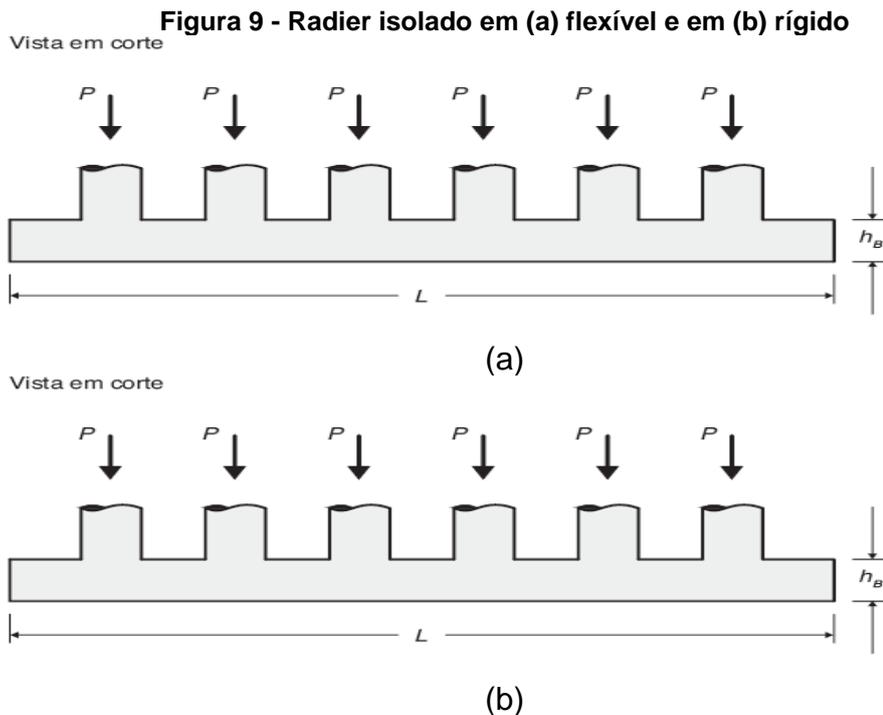
Fonte: Engenharia de Fundações (ALBUQUERQUE, 2020)

3.1.3 RADIER

É um elemento de concreto armado constituído de um único elemento, onde as cargas são transmitidas diretamente ao solo por meio da sua base em forma de laje (REBELLO, 2008).

É mais utilizada quando as sapatas ocupam cerca de 70% da área ou quando deseja reduzir os recalques diferenciais, tornando uma solução economicamente mais viável, podendo ser rígida ou flexível, conforme a Figura 9 (ALBUQUERQUE, 2020).

Para Velloso e Lopes (2010), esse tipo de fundação é empregado quando deseja uniformizar os recalques e as áreas das sapatas do projeto se sobrepõem, ou até mesmo quando as mesmas tiverem uma área superior à metade da área da construção.



Fonte: Engenharia de Fundações (ALBUQUERQUE, 2020)

3.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Elemento de fundação, segundo a norma NBR 6122 (ABNT, 2019), que transmite a carga ao terreno, ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste), ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade (H) superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta (B), e no mínimo 3,0m.

Quando a camada do solo próximo a superfície do terreno possui baixa capacidade de carga ou elevada compressibilidade, onde as fundações rasas não suportam as cargas estruturais, as mesmas devem ser transferidas a um subsolo mais resistente em maiores profundidades, através das fundações profundas (ALBUQUERQUE, 2020).

São tipos de fundações profundas ou indiretas: estacas e tubulões.

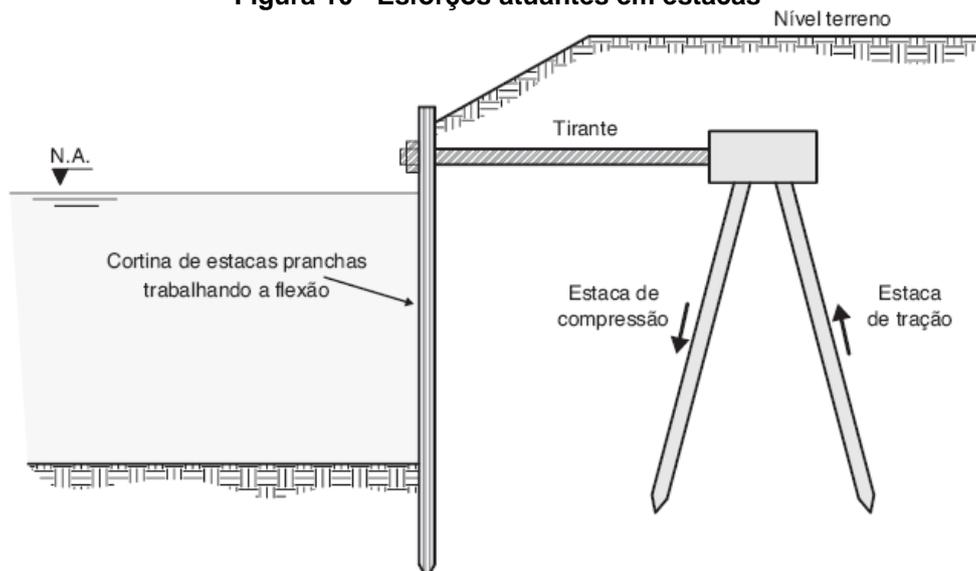
3.2.1 ESTACAS

São caracterizados pela elevada relação entre o seu comprimento e sua seção transversal, com função de transmitir os esforços da estrutura para o subsolo que tenha a capacidade de carga adequada a solicitação e baixa compressibilidade, com a função de conter os empuxos laterais de água ou terra, (Figura 10) controlar o recalque em edificações ou aterros e melhorar as condições de subsolo. São elementos alongados de seção circular ou prismática, podem ser estacas cravadas, moldadas in loco ou até mesmo prensadas por equipamento próprios para a execução (ALBUQUERQUE, 2020).

Segunda a norma NBR 6122 (ABNT, 2019) são executados mecanicamente, com equipamento e ferramentas, sem a necessidade de trabalho manual, quanto ao material

empregado podem ser de aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco, argamassa, calda de cimento, madeira ou mistas.

Figura 10 - Esforços atuantes em estacas



Fonte: Engenharia de Fundações (ALBUQUERQUE, 2020)

3.2.1.1 ESTACAS DE SUSTENTAÇÃO

Geralmente utiliza-se uma estaca sob cada pilar, permitindo a rigidez nas direções em x e y, com três estacas sendo o ideal. É subdividida em estacas flutuantes, onde em solos de baixa resistência de suporte, considera somente a resistência por atrito lateral, desprezando a resistência de ponta, e em estacas de ponta, no qual o fuste está embutido no solo de baixa resistência e estaca apoiada sob o solo resistente, considerando somente a resistência de ponta (ALBUQUERQUE, 2020).

3.2.1.2 ESTACAS MOLDADAS IN LOCO

Uma das grandes vantagens ao ser utilizada na construção civil é a execução da concretagem no comprimento necessário e pelo fato de não necessitar de transporte como nas estacas pré-moldadas. A sua desvantagem é a falta de controle quanto a concretagem, apesar de existirem métodos sofisticados de controle, ainda há necessidade de uma fiscalização mais rigorosa, para evitar segregação do material, quando lançado de forma incorreta em grande alturas, a utilização correta do tamanho da brita que não deve ser superior ao número 2 (ALBUQUERQUE, 2020).

Segundo Albuquerque (2020), podem ser subdividida em:

- Estacas brocas cuja perfuração é executada por trado manual, sem revestimento acima do nível d'água, lançando o concreto o auxílio de um funil, para evitar a contaminação do solo e logo após inserindo a armadura.
- Estacas escavadas mecanicamente sem fluido, executadas acima do nível d'água com perfuratrizes rotativas devendo ter muito cuidado no lançamento para não contaminar o concreto com o impacto do material nas paredes do fuste.
- Estacas escavadas executada com auxílio de fluido estabilizante (lama bentonítica ou polímero) no interior da perfuração, a medida que o concreto é lançado de baixo para cima, o fluido vai sendo expelido.

- Estaca raiz é executada através da aplicação de ar comprimido imediatamente após a moldagem do fuste quando removido parte do revestimento.
- *Hollow Auger* executada por perfuração rotativa com hélice dupla nas laterais para garantir a estabilidade dos furos, geralmente são empregadas em local de difícil acesso.
- Estaca Strauss sua escavação é feita com perfuração com lançamento de água, por um equipamento especial (sonda ou piteira), de modo que o solo no interior do tubo esteja viscoso para ser retirado pelo mesmo.
- Estaca hélice contínua constituída por hélices em torno do tubo central vazado, essa estaca apresenta uma grande vantagem pois não causa vibrações no terreno e menos ruídos, sua escavação é feita com trado contínuo.
- Estaca hélice de deslocamento é cravado com trado crônico por rotação, no qual o solo é deslocado para baixo e para os lados da perfuração, apresenta a vantagem em solos contaminados já que o solo não é extraído.
- Estacas Franki são executadas com um soquete de duas a quatro toneladas de massa, por meio de golpes de pilão, na “bucha” de concreto seco, que com o elevado atrito com o tubo de aço, se arrasta junto.

3.2.1.3 ESTACAS DE MADEIRA

Elemento produzido com diferentes tipos de madeira, considerando a fundação que será utilizada, geralmente indicado para ser utilizada em ambiente submerso, porém se submetida a variação no nível de água sua vida útil sofre declínio. São cravadas de maneira que não ocorra retirada de solo, sua cravação pode ser realizada por vibração ou prensagem (GUIMARÃES, 2018).

3.2.1.4 ESTACAS DE AÇO

Elemento produzido tanto em perfis soldados ou laminados, trilhos e chapas dobradas, são produzidos de maneira que resistam a corrosão, caso não seja possível deixar a estaca totalmente aterrada deve ser feito tratamento para que resista há um meio agressivo. Apresenta elevado custo, mas em contra-partida gera pouca vibração ao ser cravada e tem resistência à flexão (GUIMARÃES, 2018).

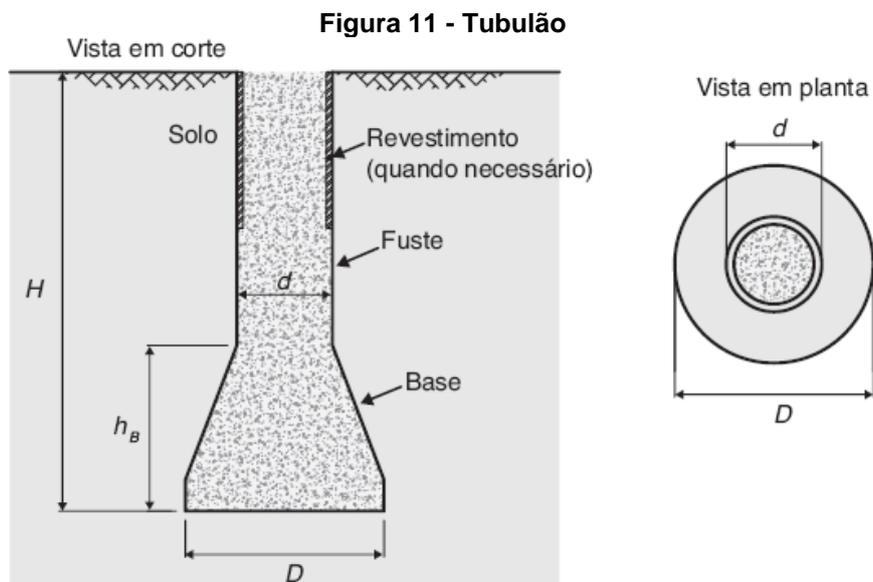
3.2.1.5 ESTACAS CRAVADAS

Elemento caracterizado pela cravação à percussão, prensagem ou vibração, no qual não há substituição do solo. Podem ser constituídas de madeira, aço (metálica), concreto armado ou protendido, ou pela associação dos mesmos, conhecido como estaca mista (ALBUQUERQUE, 2020).

3.2.2 TUBULÕES

São caracterizados pela sua base alargada, construídos em concreto um poço, revestido ou não, aberto no terreno (Figura 11). A diferença desse tipo de fundação para as estacas é em sua etapa final, onde tem a necessidade da descida de um operário, seja para o alargamento da base ou em casos onde não há base, realizar a limpeza do fundo (ALONSO, GOLOMBEK; 2019).

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019) deve-se evitar alturas (H) superiores a 2 metros, e também o trabalho simultâneo em bases alargadas de tubulões, cuja distância, seja inferior o diâmetro da maior base. Quando é necessário executar abaixo do nível de água (NA) utiliza-se o recurso do ar comprimido.



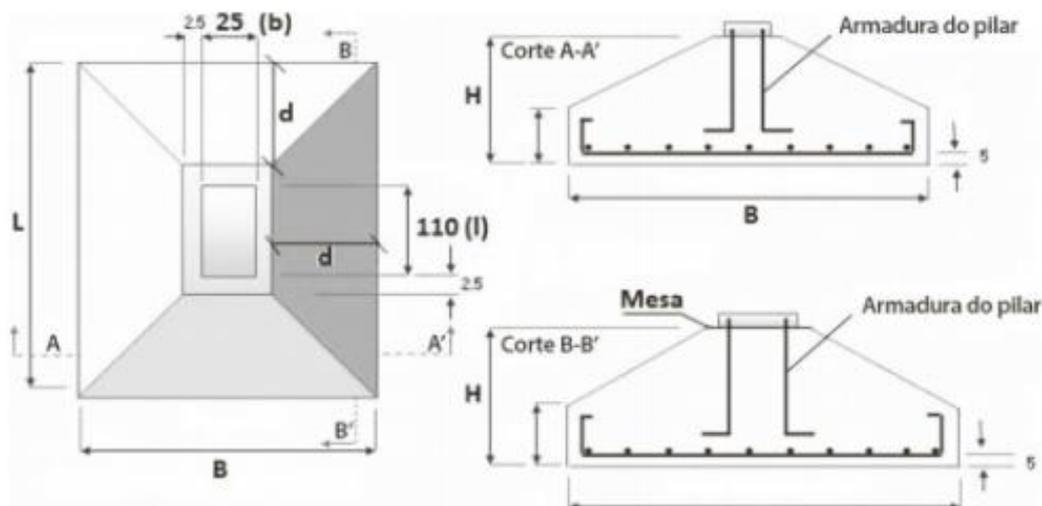
Fonte: Engenharia de Fundações (ALBUQUERQUE, 2020)

4 SAPATAS

4.1 PROCESSO EXECUTIVO

Geralmente o processo executivo das sapatas, é em sua maior parte manual, e não exige mão de obra demasiadamente qualificada, tendo este fator sendo considerado o tempo de execução é maior quando comparado com as fundações profundas onde é utilizado maquinário. De maneira simples, deve-se escavar, colocar as formas, impermeabilizar a base, posicionar as armaduras e finalmente concretas as formas, conforme preescreve a NBR 6122 (ABNT, 2019).

Figura 12 - Vista em planta, cortes de uma sapata isolada



Fonte: Fundações (GUIMARÃES, 2018)

4.2 DIMENSIONAMENTO

O exemplo de dimensionamento será o de sapata isoladas, com carga centrada sob um único pilar de seção retangular, ao utilizar o projeto estrutural obtêm-se a carga de serviço (N), que deve ser majorada, multiplicando por 1,4, assim ela se torna carga de cálculo (N_d), também considera-se a carga (P), que é o peso próprio, que deve ser somada a carga de cálculo. Com o ensaio de sondagem obtêm-se a tensão admissível do solo (σ_s) em questão, ao dividir o somatório das cargas pela tensão admissível obtendo a área estimada da sapata ($S_{estimado}$), Equação 2 (ALBUQUERQUE, 2020).

$$S_{estimado} = \frac{(N+P)}{\sigma_s} \quad (2)$$

A partir da área da sapata estimada, e as dimensões do pilar (l e b) sobre a mesma, pode-se igualar algumas equações matemáticas e aplicando cálculos teóricos, é possível chegar a equações para obter as dimensões estimadas para a sapata, como mostrado nas equações 3 e 4, conseqüentemente recalcula a área da sapata multiplicando as dimensões das sapatas (L e B) (ARAÚJO, 2010).

$$L_{estimado} = \sqrt{\frac{l}{b} \times S_{estimado}} \quad (3)$$

$$B_{estimado} = \sqrt{\frac{b}{l} \times S_{estimado}} \quad (4)$$

Logo após obter as dimensões estimadas, adota-se múltiplos de 5 cm, arredondamento para o múltiplo maior, e a mínima dimensão aceita pela NBR 6122(ABNT, 2019) é 60cm. Obtendo-se as dimensões adotadas, recalcula-se a área da sapata ($S_{adotado}$), o cálculo é simples e pode-se observar a fórmula na Equação 5 (ARAÚJO, 2010).

$$L_{adotado} \times B_{adotado} = S_{adotado} \quad (5)$$

Com o valor da base da sapata, utiliza-se de equações equivalentes para calcular a altura total da sapata, adotando o maior valor obtido, assim como o observado no conjunto de Equações 6 e 7.

$$h \geq \frac{(L-l)}{4} \quad (6)$$

$$h \geq \frac{(B-b)}{4} \quad (7)$$

Na equação 9, l_b é o comprimento básico de ancoragem, este definido pelo f_{ck} (resistência à compressão) do concreto usado na sapata, variando pelo tipo e diâmetro do aço. Seguindo deverá ser calculado o volume de concreto da sapata, conforme mostrado na Equação 8 e a partir dele se calcula o peso próprio da sapata (P), mostrado na Equação 9 (ARAÚJO, 2010).

$$Volume = (L \times B \times h_0) + \frac{(L \times B + l \times b) \times (h - h_0)}{2} \quad (8)$$

$$P = Volume \times peso \text{ específico} \quad (9)$$

Onde h é a altura base até o topo da seção retangular ou quadrada, também conhecida como “calcanhar”, geralmente adotada como $h/3$ ou no mínimo 20 cm. Com isto pode se concluir o dimensionamento geométrico, após validação das medidas obtidas inicia-se o dimensionamento das armaduras longitudinais, apresentada na Equação 10, onde é possível observar que é determinada por uma relação entre a carga de cálculo (N_d), a diferença entre as medidas dos lados da sapata e do pilar, sendo ainda considerada a força de cisalhamento do aço e a altura encontrada para a sapata (ARAÚJO, 2010).

$$A_s = \frac{N_d \times (L_s - L_p)}{6,8 \times (h - 5cm) \times \frac{f_y}{1,15}} \quad (10)$$

Onde:

L_s : Lado da Sapata;

L_p : Lado do Pilar;

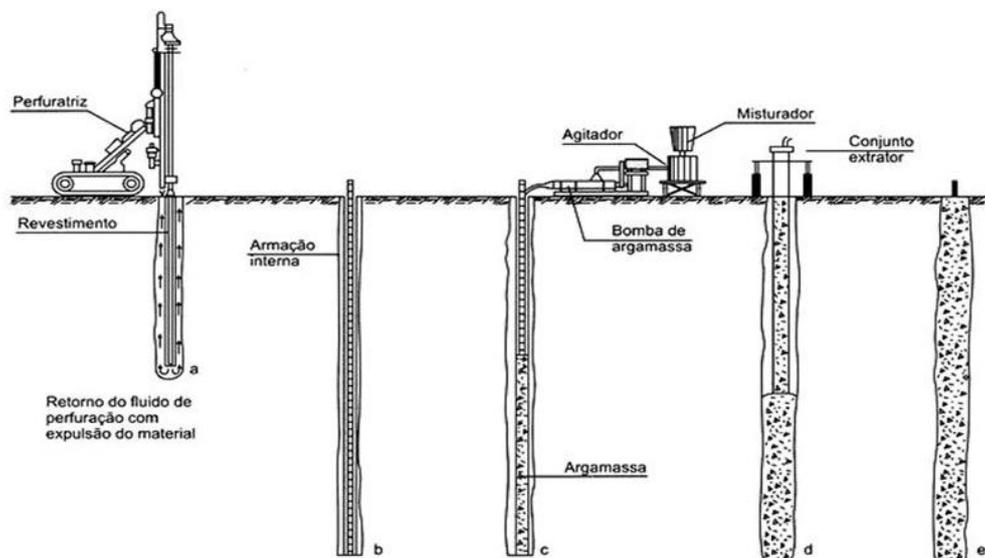
f_y : Tensão de escoamento do aço utilizado.

5 ESTACAS

5.1 PROCESSO EXECUTIVO

A necessidade de uma fundação em estaca ocorre quando o solo firme se encontra a uma profundidade abaixo do que seria possível com uma fundação direta, o seu método executivo em geral é bem simples, cava-se o local onde será realizada a estaca, seja manualmente ou por maquinário, coloca-se armadura e concretiza-se o local, dependendo do método inverte-se os dois últimos passos NBR 6122 (ABNT, 2019).

Figura 13 - Etapas de execução de uma estaca raiz



Fonte: Fundações teoria e prática (CORREA, 2019)

5.2 DIMENSIONAMENTO

No que tange ao dimensionamento de estacas deve-se considerar a carga resistida na ponta (R_p) e a carga resistida nas laterais (R_l), tal método foi proposto por Aoki-Veloso(1975) buscando o cálculo da carga de ruptura, Equação 11.

$$R = R_p + R_l \quad (11)$$

Observando a Equação 11, visa-se calcular-se as duas cargas resistidas antes de ter a carga de ruptura, inicia-se calculando a carga resistida da ponta, mostrada na Equação 12.

$$R_p = r_p \times A_p \quad (12)$$

Onde:

r_p é a capacidade de carga do solo, na qual se encontra a ponta da estaca;
 A_p é a área da ponta da estaca.

Seguindo será mostrada na Equação 13 para o cálculo da carga resistida nas laterais.

$$R_l = U \times \sum_1^n (r_l \times \Delta l) \quad (13)$$

Onde:

Δl é a espessura da camada;
 U é o perímetro transversal do fuste.
 r_l tensão média de adesão ou de atrito lateral na Δl .

Seguindo para o cálculo da armadura da estaca, ainda seguindo o método Aoki-Veloso, inicia-se calculando a tensão na cabeça da estaca, apresentada na Equação 14.

$$\sigma_{cabeça} = \frac{\alpha \times K \times P_{adm}}{A_{estaca}} \quad (14)$$

Onde:

α e K são coeficientes que dependem do tipo do solo;
 P_{adm} é a carga admissível;
 A_{estaca} é a área da estaca;
 $\sigma_{cabeça}$ é a tensão na cabeça da estaca.

A armadura interna tem como objetivo transferir os esforços da superestrutura para a própria estaca. A mesma é calculada nas Equações 15 e 16.

$$A_s = \frac{P_{adm} \times 1,4}{f_{yd} - 0,85 \times f_{cd}} - \frac{0,85 \times f_{cd} \times A_{estaca}}{f_{yd} - 0,85 \times f_{cd}} \quad (15)$$

$$A_{s \min} = 0,5\% \times A_{seção \ transversal} \quad (16)$$

Onde:

f_{cd} é a resistência em projeto do concreto;
 f_{yd} é a resistência em projeto do aço;
 A_s é a Área de aço;
 $A_{s\ min}$ é a Área de aço mínima;
 $A_{seção\ transversal}$ é a área de seção transversal;

6. ESTUDO DE CASO

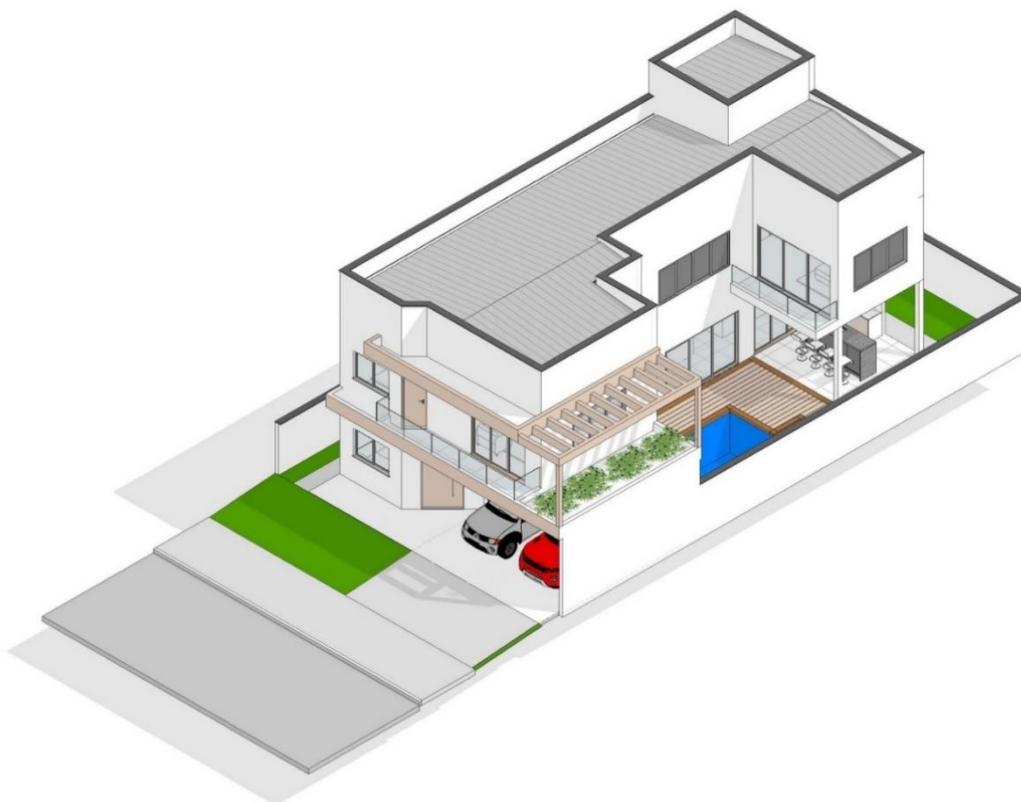
6.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Com intuito de compreender quais dos dois tipos de fundação (sapata ou estacas) apresentaria melhor custo benefício e, por sua vez, melhor indicação para utilização em edificações unifamiliares de dois pavimentos para o solo típico da nossa região. Para tanto, este estudo de caso foi formatado de modo a obter e comparar os parâmetros como área de aço, volume de concreto e área de formas.

Para o estudo de caso, foi escolhida uma edificação residencial unifamiliar fictícia, de alto padrão. O projeto de arquitetura foi desenvolvido no *Autodesk Revit* e cedido pelo Professor e Engenheiro Civil Eduardo Toledo para realização deste trabalho. A partir da arquitetura, desenvolveu-se o projeto de Estruturas de Concreto Armado e posteriormente o projeto de Fundações (dos dois tipos: sapatas e estacas), ambos modelados, dimensionados e detalhados através do *software* *Alto Qi Eberick*. A Licença do *software* *Eberick* foi gentilmente cedida, pelo Professor e Engenheiro Civil Agnaldo Antônio.

6.2. ARQUITETURA

Figura 14 - Vista panorâmica da residência



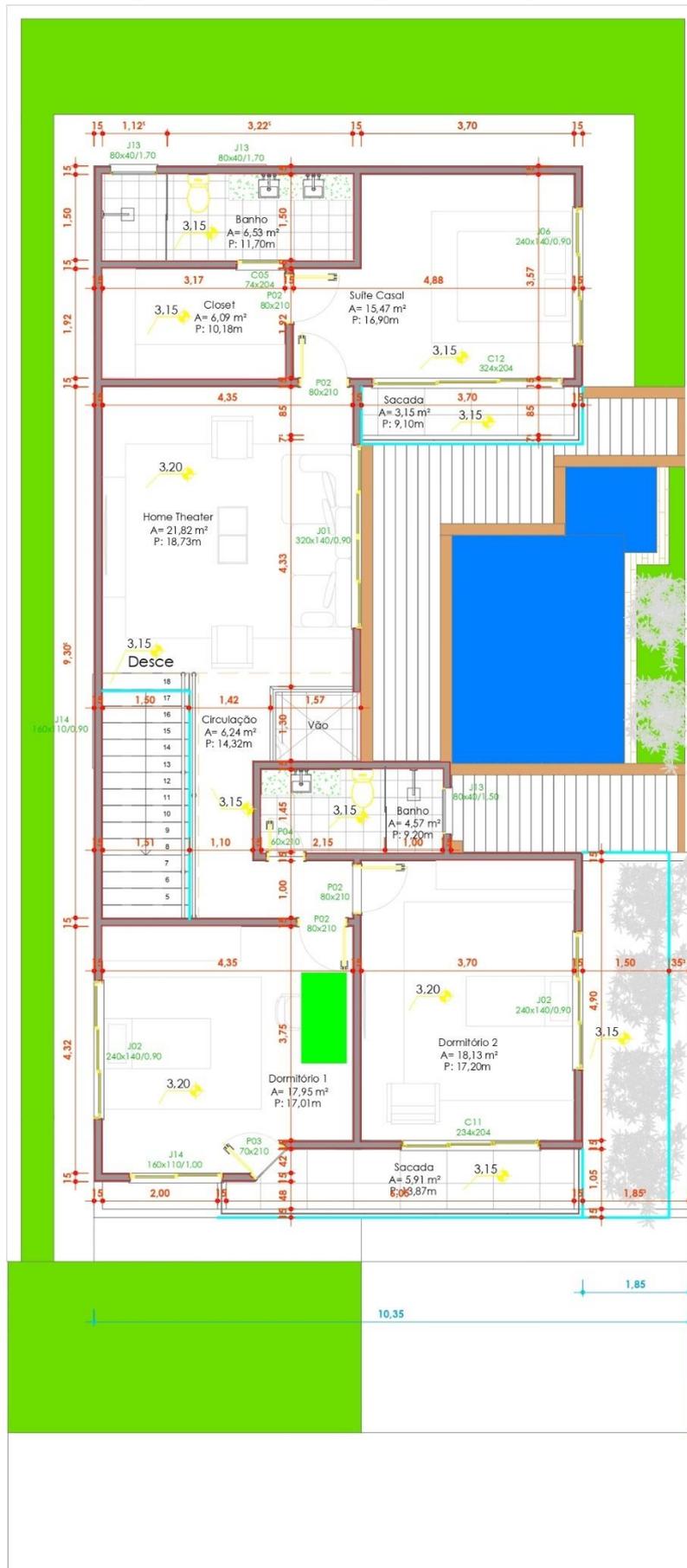
Fonte: Autor do projeto de arquitetura (2022).

Figura 15 - Planta baixa térreo



Fonte: Autor do projeto de arquitetura (2022)

Figura 16 - Planta baixa pavimento superior



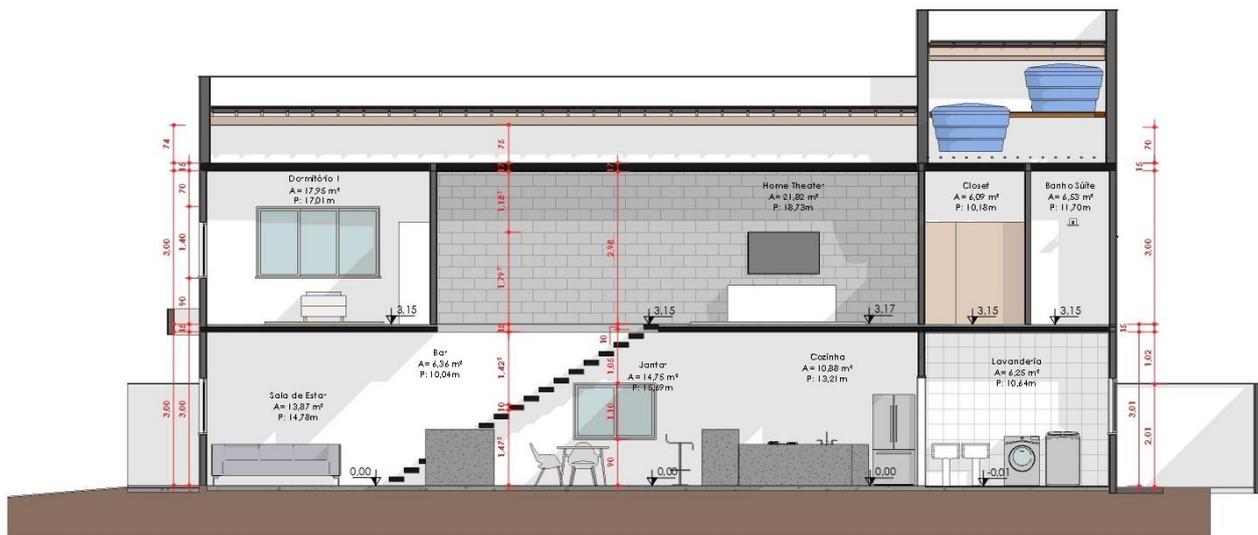
Fonte: Autor do projeto de arquitetura (2022)

Figura 17 - Corte AA



Fonte: Autor do projeto de arquitetura (2022)

Figura 18 - Corte BB



Fonte: Autor do projeto de arquitetura (2022)

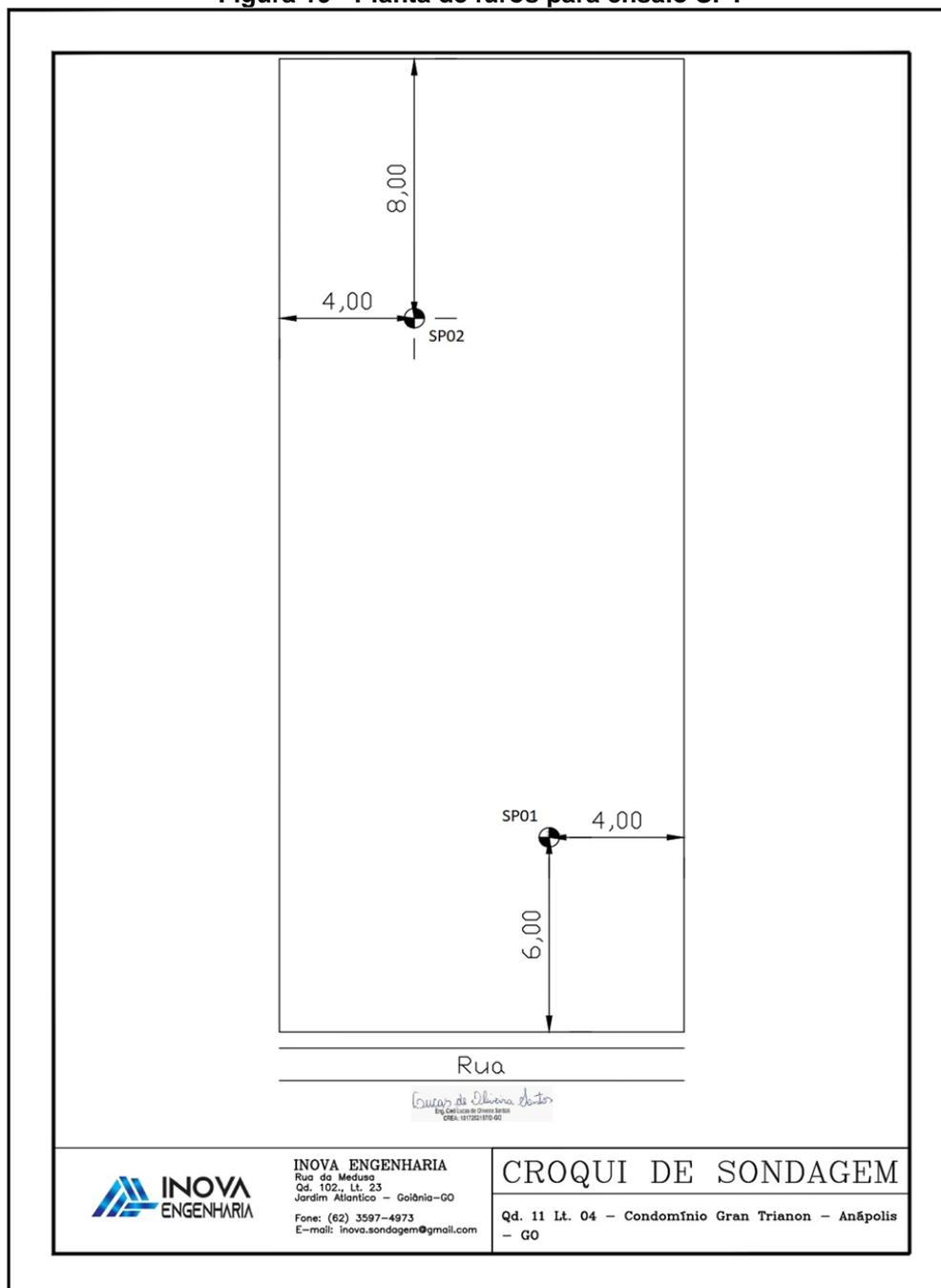
A residência, objeto de estudo de trabalho, conta com dois pavimentos e apresenta uma sala de estar e jantar, cozinha, bar, lavanderia, despensa, banheiro, varanda gourmet, garagem, deck e piscina no térreo, já no pavimento superior têm-se três quartos, sendo um deles com banheiro e closet, banheiro social, *home theater* e sacada em dois dos quartos citados. O projeto apresenta uma área construída de 263,57 m² em um terreno de 300 m².

A estrutura foi pensada para ser executada no sistema convencional de pilares, vigas e lajes de concreto armado e nas figuras 14, 15, 16, 17 e 18 pode-se observar respectivamente a vista panorâmica, planta baixa do térreo, planta baixa do pavimento superior, corte AA e corte BB.

6.3. ESTUDO DO SOLO

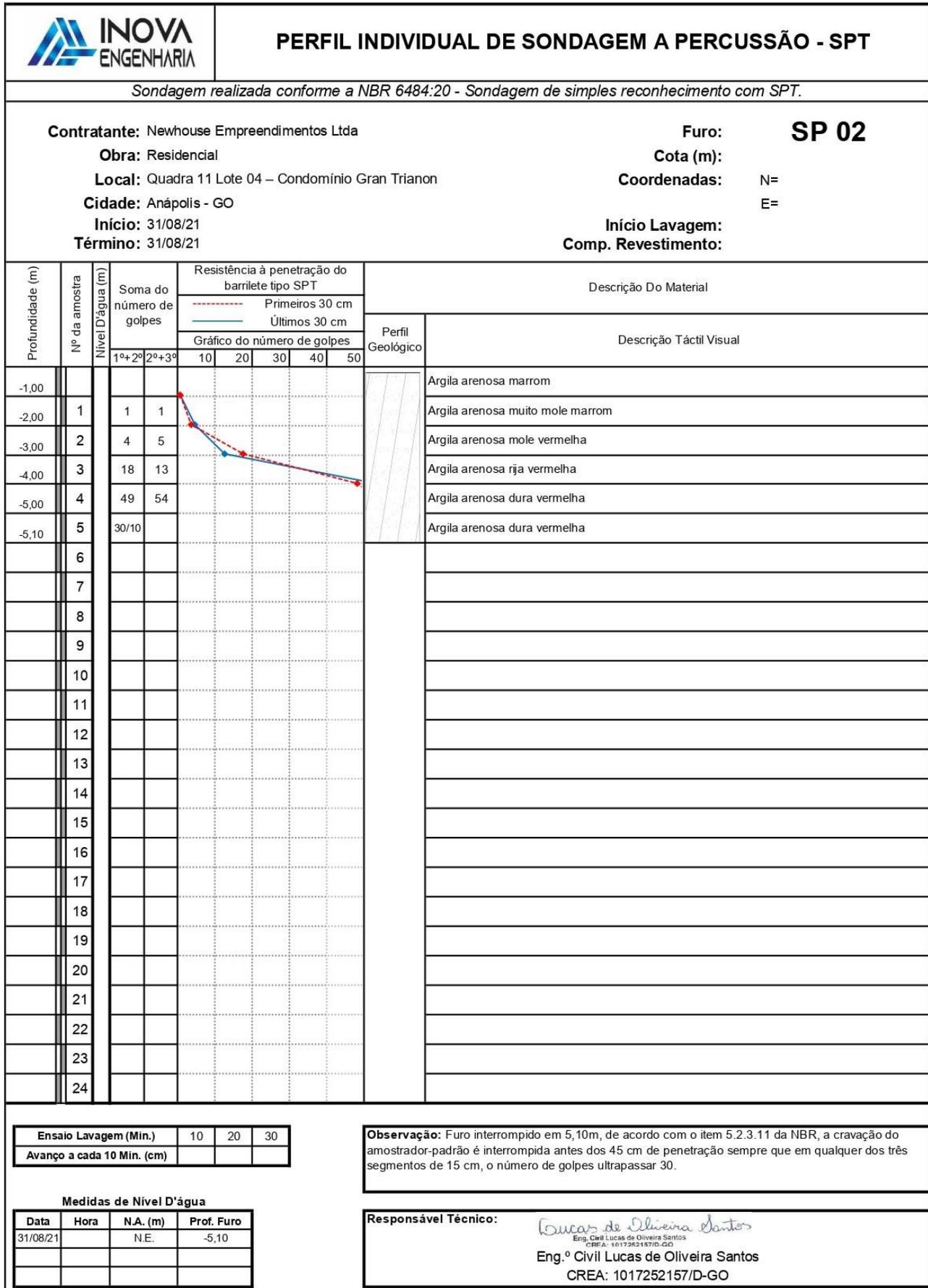
Para o correto dimensionamento de uma fundação, é necessário realizar o estudo do solo. O dos principais métodos de investigação do subsolo é o SPT. Para o estudo de caso, foi considerado um laudo de sondagem do ensaio SPT, cedido pela empresa Inova Engenharia. Para o ensaio cedido, foram realizadas duas perfurações, com locações ilustradas na Figura 19.

Figura 19 - Planta de furos para ensaio SPT



Fonte: Inova Engenharia

Figura 20 - Perfil individual de sondagem do ensaio SPT



Fonte: Inova Engenharia

A partir do ensaio SPT (Figura 20), obteve-se valores de NSPT diferentes para o SP 01 e SP 02, como o objetivo do trabalho era abordar um único valor de NSPT, utilizou-se, o menor valor apresentado no ensaio, o SP 02. Assim, também garantiríamos um dimensionamento a favor da segurança. Não foi encontrado o nível de água (N.A) na profundidade de 5,10m que foi onde o furo foi interrompido. A classificação da camada impenetrável foi argila arenosa dura vermelha, o resultado encontrado nessa textura indicou um solo com ótima resistência.

6.4. MODELO DE CÁLCULO

Ao passo que foi escolhido o tipo edificação e obtido seu projeto, foi feito o lançamento de pilares e vigas ainda no AutoCAD, outro *software* utilizado no artigo, este fornecido pela *Autodesk* e utilizado para desenho técnico, em sua versão estudantil. Sendo finalizado a etapa de lançamento, foram utilizadas ferramentas do *Eberick* para transferir o projeto com os elementos estruturais lançados para o mesmo.

Com o projeto devidamente lançado no *software*, foi dado início ao cálculo da estrutura, tendo como objetivo ao final deste processo obter-se uma estrutura estável com nós fixos e os parâmetros como largura e altura dos elementos estruturais utilizados para o pré-dimensionamento. Importante salientar que o *software* utilizado neste trabalho possui todos os seus parâmetros limites baseados na NBR 6118 (ABNT, 2014) - Projeto de estruturas de concreto.

Para análise dos esforços e deslocamentos optamos pelo modelo de cálculo integrado, que por sua vez, inclui as barras de todos os pavimentos em um modelo espacial único, e realiza a análise do pórtico espacial de maneira completa para obter os esforços em lajes, vigas e pilares da estrutura. Adotando este modelo permite que seja considerado a presença de lajes na análise da estabilidade global da estrutura, bem como calcular esforços de temperatura e de retração nos elementos estruturais. Para a análise dos esforços horizontais foi utilizada a verificação da estabilidade global da estrutura através do processo Gama-z.

6.5. ESTRUTURA

O sistema construtivo para esta edificação é o concreto armado com alvenaria de vedação. Assim, a estrutura do projeto conta com vigas, lajes e pilares. Os parâmetros utilizados como base para a realização do projeto de estruturas e posterior projeto de fundação foram:

- Classe de agressividade ambiental: II moderada – urbana
- Resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}): 30 MPa
- Módulo de elasticidade do concreto (E): 210 GPa

Ressalva-se que todas as cargas foram majoradas com os fatores de segurança descritos em Norma, sendo estes dois: coeficiente de majoração das ações e coeficiente adicional para pilares, este usado em pilares onde a menor dimensão do pilar é inferior à 19 cm, como descrito na NBR 6118 (ABNT, 2014) pois, alguns pilares na estrutura apresentam tal condição. A Tabela 1 mostra todas as dimensões dos pilares, vigas e lajes considerados no projeto e nas figuras 19 e 20 dispõe da planta de locação dos pilares dos pavimentos térreo e superior respectivamente e a Tabela 2 dispões das cargas mínimas e máximas que cada elemento estrutural descarrega na fundação, exceto pelos elementos PG1, PG2 e PG3, que são os blocos genéricos, os mesmos não possuem pilar que descarrega nos mesmos sendo a carga descarregada neles proveniente de vigas.

Tabela 1 – Dimensões dos pilares, vigas e lajes

Pilares Térreo		Pilares Superior		Vigas Térreo		Vigas Superior		Lajes Térreo		Lajes Superior	
Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)	Nome	Altura (cm)	Nome	Altura (cm)
P1	15x60	P1	15x60	V1	20x80	V1	14x30	L1	10	L1	10
P2	20x50	P2	20x50	V2	14x30	V2	14x30	L2	10	L2	10
P3	20x60	P3	20x60	V3	14x30	V3	14x30	L3	10	L3	10
P4	20x20	P4	20x20	V4	14x30	V4	14x30	L4	10	L4	10
P6	14x60	P6	14x60	V5	14x30	V5	14x30	L5	10	L6	10
P7	14x60	P7	14x60	V6	20x90	V6	14x30	L6	10	L7	10
P8	20x60	P8	20x60	V7	14x30	V7	20x40	L7	10	L8	10
P9	20x20	P9	20x20	V8	20x60	V8	20x50	L8	10	L9	10
P10	20x70	P10	20x70	V9	20x60	V9	14x30	L9	10	L10	10
P11	20x60	P11	20x60	V10	16x80	V10	20x50	L11	10		
P12	20x30	P12	20x30	V11	14x30	V11	14x30	L12	8		
P13	18x30	P13	18x30	V12	14x30	V12	14x50	L13	8		
P14	20x30	P15	15x60	V13	14x30	V13	14x30	L14	10		
P15	15x60	P16	20x30	V14	14x30	V14	20x50	LE1	12		
P16	20x30	P17	20x30	V15	14x30	V15	14x30				
P17	20x30	P19	20x60	V16	20x80	V16	14x30				
P18	20x30	P20	20x30	V17	14x30	V17	14x30				
P19	20x60	P24	20x50	V18	18x60						
P20	20x30	P25	20x20	V19	14x30						
P23	20x40	P26	20x50	V20	20x30						
P24	20x50	P27	14x30								
P25	20x20										
P26	20x50										

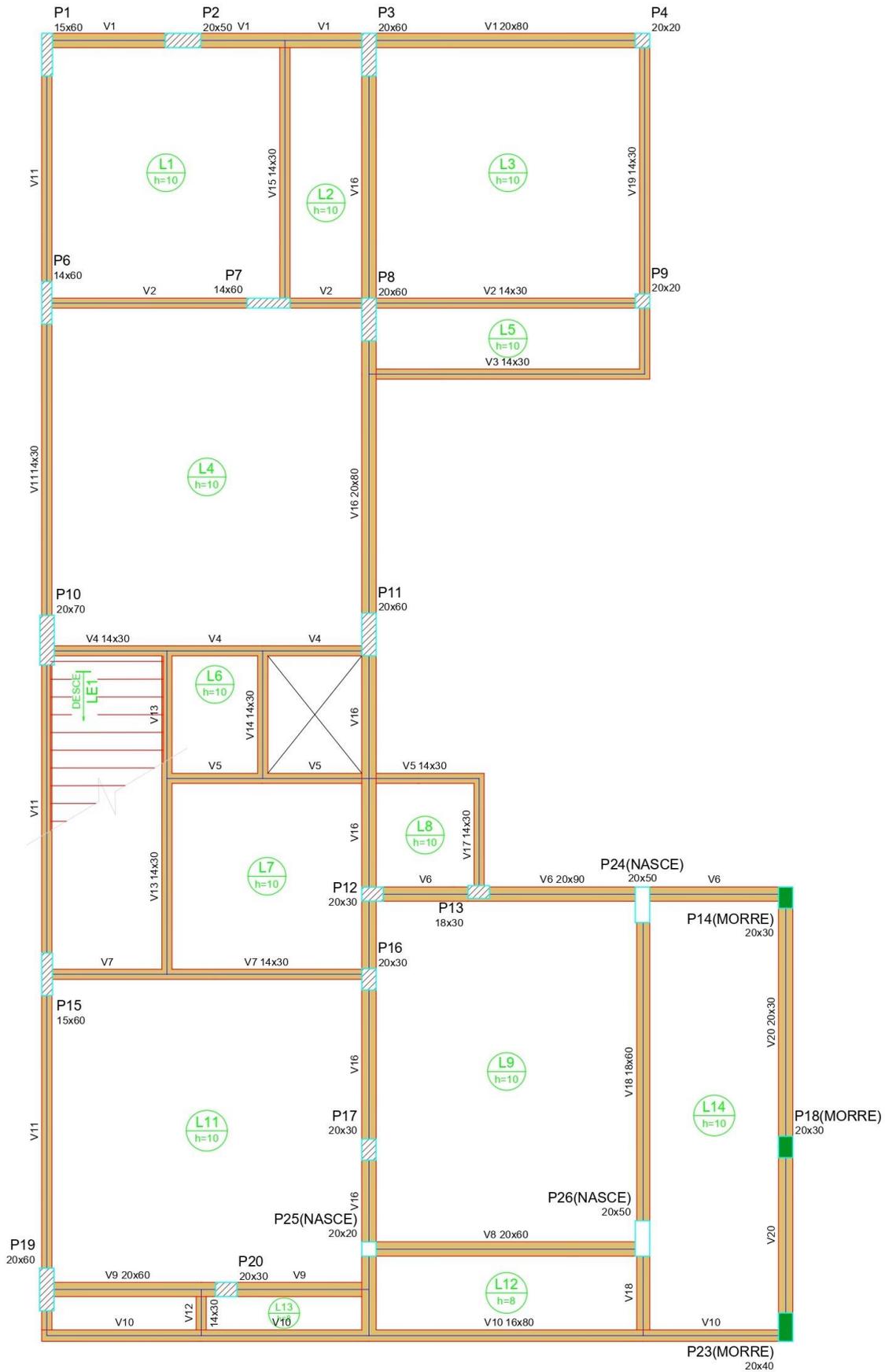
Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Tabela 2 – Cargas na fundação

Fundação		Carga máxima (tf)	
Nome	Seção (cm)	Positiva	Negativa
PG1	14X30	2,51	0,00
PG2	14X30	0,86	-0,03
PG3	14X30	0,96	0,00
P1	15X60	13,77	0,00
P2	20X50	13,36	0,00
P3	20X60	25,87	0,00
P4	20X20	10,26	0,00
P5	14X60	20,17	0,00
P6	14X60	23,37	0,00
P7	20X60	31,35	0,00
P8	20X20	11,58	0,00
P9	20X70	25,81	0,00
P10	20X60	24,81	0,00
P11	20X30	17,09	0,00
P12	18X30	26,44	0,00
P13	20X30	13,08	0,00
P14	15X60	21,33	0,00
P15	20X30	9,80	0,00
P16	20X30	37,82	0,00
P17	20X30	6,15	0,00
P18	20X60	14,03	0,00
P19	20X30	24,17	0,00
P20	20X40	13,27	0,00
Total:		352,87	

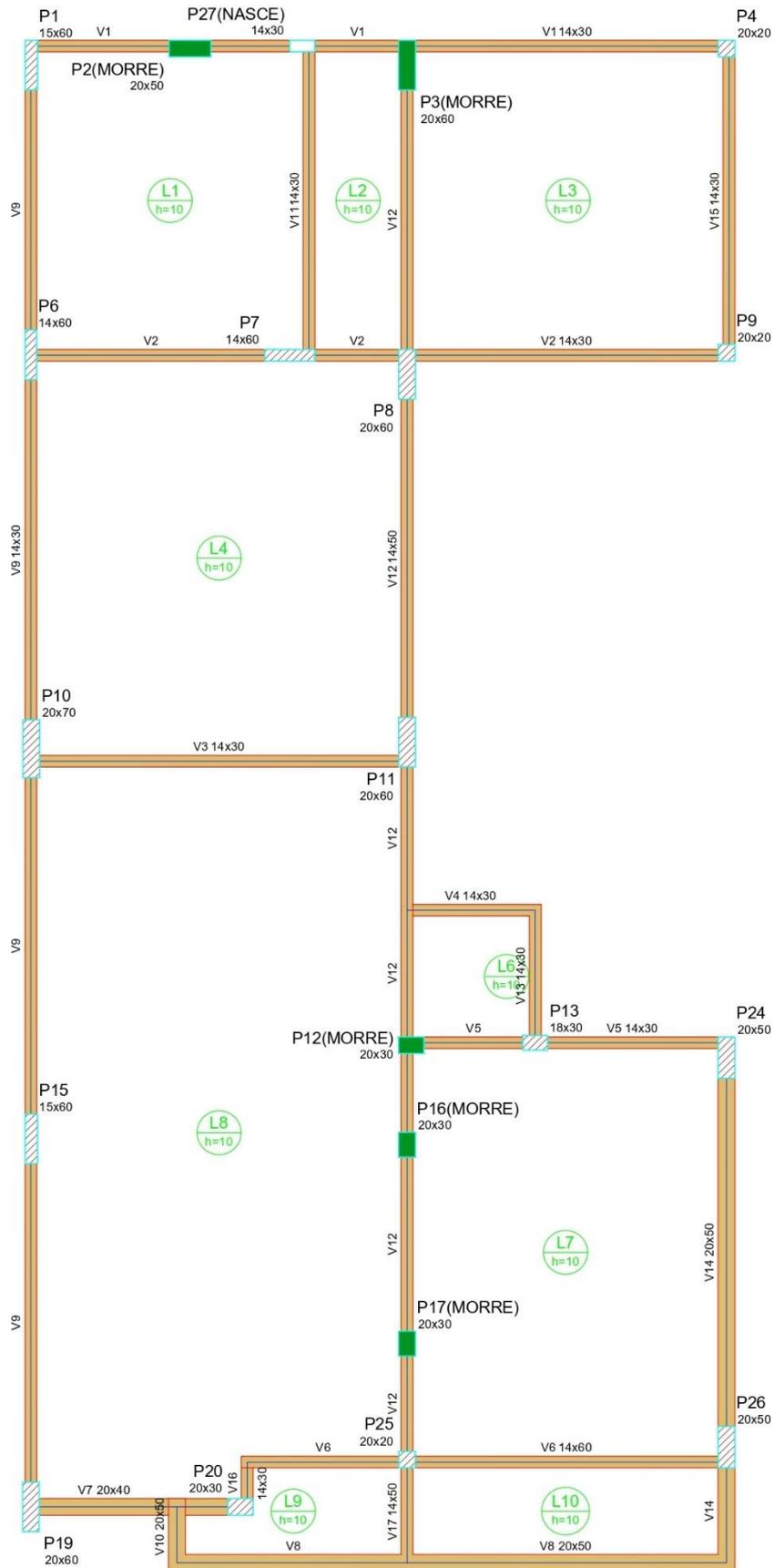
Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 21 – Planta de locação dos pilares no térreo



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 22 – Planta de locação dos pilares pavimento superior



Fonte: Elaborado pelos autores

6.6. FUNDAÇÕES

6.6.1. Dimensionamento das fundações Rasas (Sapatas isolada)

O dimensionamento das fundações foi realizado no mesmo *software*, Alto Qi *Eberick*, utilizado para o dimensionamento dos elementos estruturais. O mesmo utiliza a carga mínima e máxima que cada pilar do pavimento fundação irá descarregar em sua respectiva sapata. Os parâmetros e limites que garantem a funcionalidade da estrutura estão fundamentados na NBR 6122 (ABNT,2019).

Foram dimensionadas 20 (vinte) sapatas isoladas e 3 (três) blocos genéricos para estacas, que foram utilizados em pontos críticos da estrutura, cada um destes blocos contendo uma estaca, assim totalizando 3 (três) estacas com 20 cm de diâmetro cada. A seguir, na Tabela 3, estão listados as sapatas e os blocos de estaca com suas respectivas dimensões.

Tabela 3 – Dimensões dos elementos de fundação rasas

SAPATAS				
Nº	Seção (cm)	Volume (m ³)	Aço (kg)	
			CA - 50 Ø8.0	CA - 60 Ø5.0
S1	70X120	0,228	6,888	0
S2	100X125	0,335	10,056	0
S3	105X145	0,408	11,928	0
S4	80X80	0,170	4,984	0
S5	90X130	0,312	9,596	0
S6	110X150	0,435	13,5	0
S7	110X150	0,441	13,5	0
S8	80X80	0,170	4,984	0
S9	110X150	0,444	13,5	0
S10	105X145	0,408	11,928	0
S11	105X115	0,318	9,024	0
S12	115X125	0,435	12,344	0
S13	90X95	0,228	6,496	0
S14	90X130	0,313	9,596	0
S15	80X90	0,193	5,62	0
S16	130X140	0,511	15,532	0
S17	80X80	0,173	4,984	0
S18	90X130	0,317	9,596	0
S19	115X125	0,377	11,056	0
S20	90X110	0,266	8,164	0
BG1	70X70	0,3185	0	2,767
BG2	70X70	0,3185	0	2,767
BG3	70X70	0,3185	0	2,767

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 23 – Planta de locação das sapatas



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Ao consultar os resumos de materiais juntamente com outros relatórios gerados pelo *Eberick*, é possível observar os quantitativos de materiais que seriam utilizados na execução do método de fundação citado. Nesse quantitativo, têm-se que o consumo total de concreto para execução das fundações, foi considerado para cálculo o concreto C-30, para execução das sapatas foram consumidos 7,4 m³ do mesmo, além do concreto viabilizou-se o quantitativo de aço de diversas bitolas, mas segundo o resumo, seriam necessários 218,6 kg de aço para a armação das sapatas, juntamente foram consideradas as ferragens e ancoragens dos pilares e vigas que participam do pavimento fundação.

Além de concreto e aço, foi calculado a quantidade de formas que seriam utilizadas na execução da fundação. Obteve-se que seriam necessários 22,90 m² de formas para execução de todas as sapatas.

6.6.2. Dimensionamento das Fundações Profundas (estacas de concreto moldado *in loco*)

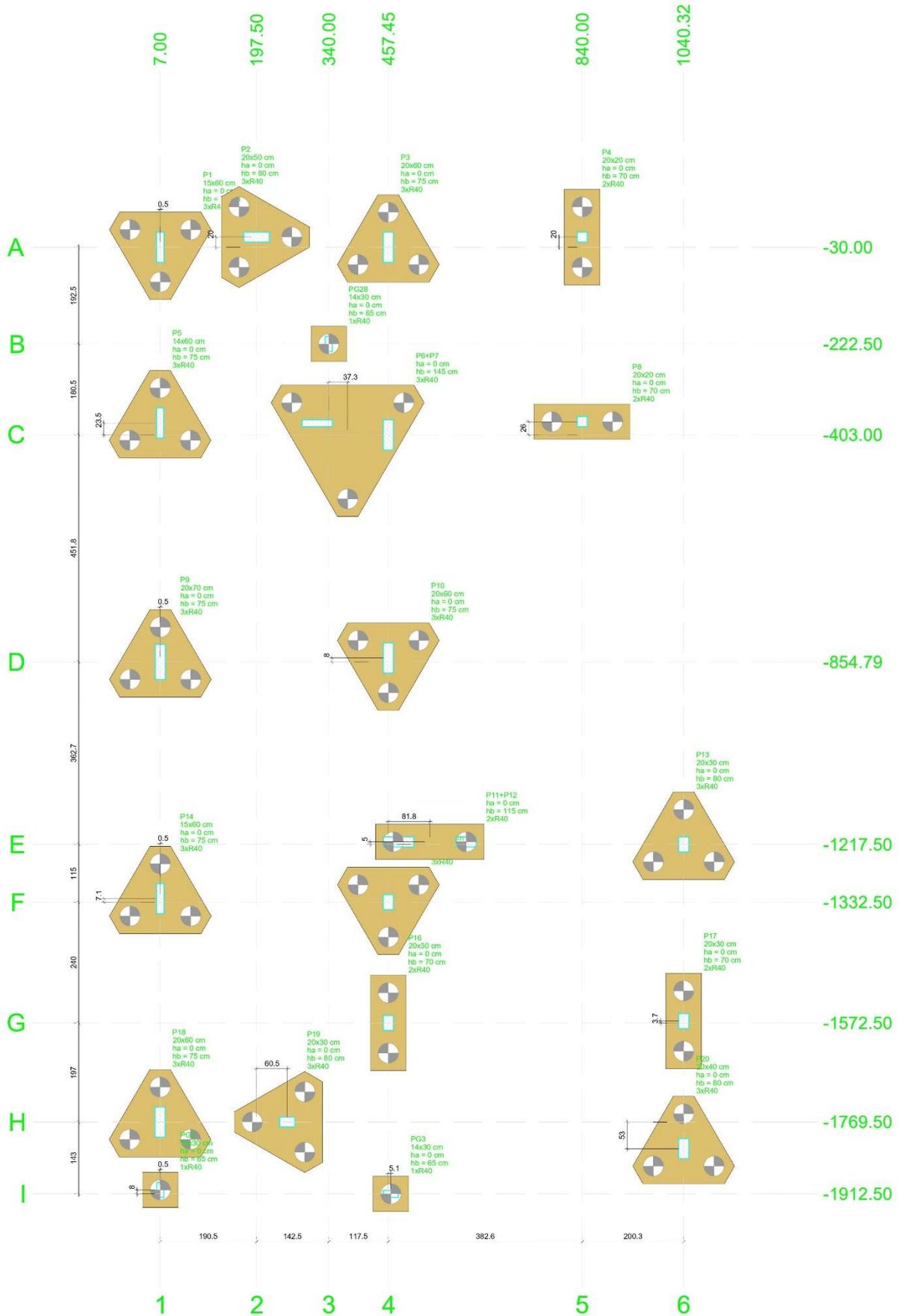
Com o propósito de manter a assertividade, foram considerados os mesmos pilares e características de solo para o cálculo e dimensionamento das estacas. Sendo a força total a ser dissipada no solo por meio das estacas de 3460,45 kN. Para dissipar tal carga foram necessários 21 blocos estaqueados, e 52 estacas sendo que todas as estacas foram dimensionadas em um padrão de 40 cm de diâmetro. A seguir, na Tabela 4 pode-se observar informações sobre os blocos para as estacas moldadas *in loco*.

Tabela 4 – Blocos de estacas

BLOCO DE ESTACAS				
Nº	Área (cm ²)	hb (cm)	Volume (m ³)	Quantidade de estacas por bloco (und)
B1	23072	75	1,730	3
B2	23072	80	1,846	3
B3	23072	75	1,730	3
B4	13300	70	0,931	2
B5	23072	75	1,730	3
B6 -7	48583	145	7,045	3
B8	13300	70	0,931	2
B9	23072	75	1,730	3
B10	23072	75	1,730	3
B11 -12	14980	115	1,723	2
B13	23072	80	1,846	3
B14	23072	75	1,730	3
B15	23072	80	1,846	3
B16	13300	70	0,931	2
B17	13300	70	0,931	2
B18	23072	75	1,730	3
B19	23072	80	1,846	3
B20	23072	80	1,846	3
BG1	4900	65	0,319	1
BG2	4900	65	0,319	1
BG3	4900	65	0,319	1

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 24 - Planta de localização estacas



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Por ser necessária execução de blocos para intermediarem a passagem de cargas dos pilares para as estacas, o consumo de concreto e aço neste método mostrou-se um tanto elevado, mesmo tendo menos elementos. Observa-se que o total de concreto que seria utilizado para esta hipótese seria de 33,8 m³ de concreto C-30, enquanto que o consumo total do aço, este englobando todos os tipos de aço e as respectivas bitolas calculadas, foi obtido um valor de 1039,30 kg de aço. Além do quantitativo de formas que mostrou um valor de 95,4 m².

Tabela 5 - Comparativo entre volume, área de aço e formas para sapatas e estacas

Tipo de fundação	Volume de concreto (m ³)	Área de aço (kg)	Área das formas (m ²)
Estacas	33,8 m ³	1039,3 kg	95,4 m ²
Sapatas	7,4 m ³	218,6 kg	22,9 m ²

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

6.7. DISCUSSÕES

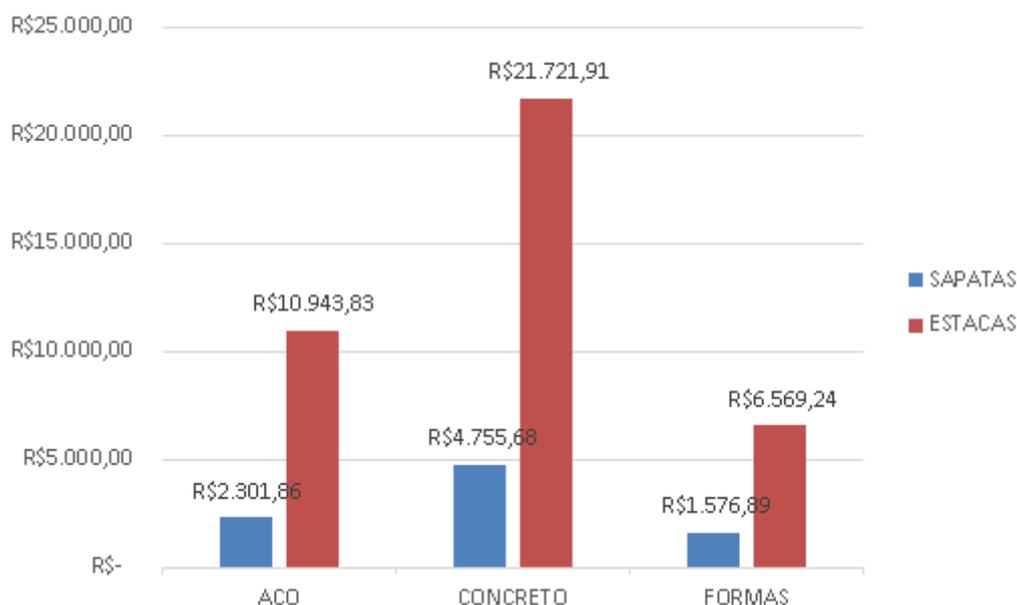
Após dimensionamento, tendo o quantitativo de materiais que seriam utilizados em cada uma das hipóteses apresentadas neste artigo, foi consultada os dados da tabela SINAPI, foi utilizada a tabela mais recente disponível no site, sendo essa a composição de agosto de 2022, ao acessar o site é dado opção de duas referências de insumo para download, para os estudos propostos neste artigo foi usada a referência de insumos desonerados.

Ao iniciarmos pelo concreto, é possível ver uma grande diferença em consumo entre os dois tipos de fundação. Enquanto na fundação tipo sapatas são consumidos apenas 7,4 m³ de concreto para execução de toda a fundação, ao se utilizar blocos estaqueados o consumo é de 33,8 m³ de concreto, ao compararmos os dois métodos nota-se que o consumo das estacas é 356,75% maior que se utilizado fundação em sapatas, colocando isso em valores, retirado da tabela SINAPI o valor do concreto usinado bombeável, classe de resistência C-30, com brita 0 e 1 e *Slump* = 130 +/- 20 mm, excluindo serviço de bombeamento, que será o utilizado para análise dos dois casos, seu valor é de R\$ 642,66 reais por m³.

Em posse desses valores é possível observar que as estacas custariam R\$ 16.966,23 reais a mais para serem executadas, mas continuando a análise dos insumos utilizados, em seguida será feita a análise em relação ao aço, ao final do dimensionamento foi constatado que seriam utilizados 218,6 kg de aço na execução das sapatas, ao passo que nas estacas seriam utilizados 1039,30 kg de aço, novamente tendo um quantitativo mais de 4 vezes maior, o mesmo efeito pode ser observado nas formas utilizadas nas hipóteses, nas estacas seriam utilizadas um total de 95,40 m² de forma, nas sapatas foram previstos apenas 22,90 m², valor este que representa somente 24,004% da quantidade prevista anteriormente no método dos blocos estaqueados.

No Gráfico 1 é possível ter um vislumbre claro da disparidade de valores entre um tipo de fundação e outro.

Gráfico 1: Orçamento sapatras x estacas



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Tabela 6 - Valor final para fundações profundas (estaca) e rasas (sapata)

Valor Final	
Estacas	R\$ 39.234,98
Sapatras	R\$ 8.634,43

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

7. CONCLUSÃO

Esse artigo foi escrito com o propósito de ser um estudo com fundamentos teóricos, buscando através de estudos e informações oficiais e atualizadas fornecer um comparativo entre dois tipos de fundações: estacas e sapatras. Partindo das análises e comparações apresentadas no trabalho, além do laudo geotécnico, que faz toda diferença, observa-se que para o terreno do estudo o mais viável são as sapatras.

Na cidade de Anápolis - Goiás, onde o estudo foi realizado, o método das estacas é o mais usual, por ter um tempo de execução menor e por ser o mais conhecido. Na edificação do estudo foram realizadas estacas justamente por esses motivos citados acima. Porém, através deste estudo, foi possível observar que uma obra de porte residencial, de alto padrão, onde a maior prioridade é a qualidade do trabalho executado, o método que seria mais econômico e geraria menos entulho por consumir menos materiais, é o método das sapatras.

Através do estudo de caso foi possível mostrar através de comparativos que em matérias de volume de concreto (m³), peso total de aço (kg) e em formas de madeira (m²) a serem aplicadas na obra para execução das fundações, a sapata se mostrou no mínimo 4 (quatro) vezes mais eficiente e econômica que as estacas, que teve uma diferença de R\$ 30.600,55 entre os dois tipos de fundação. Tornando assim, um custo menor da obra.

Espera-se que após este estudo haja o início de reeducação na cidade de Anápolis, e os indivíduos e empresas do meio da construção civil, em particular os que oferecem serviço de infraestrutura, possam começar a utilizar sapatas como escolha para fundação, visto que elas são mais econômicas e viáveis para solos com essa mesma característica.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. J. R. de; GARCIA, J. **Engenharia de fundações**: 1ª ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2020.

ARAÚJO, J. M. de; **Curso de concreto armado**: 3ª ed. Rio Grande: Dunas, 2010. 319p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT): **Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Classificação, NBR 6484. Rio de Janeiro, 2020. 17p.

BASTOS, P. S. S. **Estudo de sapatas de fundações**: Estrutura de concreto III. Bauru São Paulo: UNESP, 2016

BELL, B. J. **Fundações em Concreto Armado**: Tradução por Alexandre Verski. 2ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985. 268p.

CARVALHO, M. D. de; **Análise comparativa entre fundação superficial do tipo sapata isolada e radier liso em obra de edificação**: Minas Geras, 2015. 91p

CORREA, C. N.; ORLANDO, C.; SCHIMDT, C.; FALCONI, F.; ALBUQUERQUE, P. J. R. de; NIYAMA, S.; HACHICH, W. **Fundações: teoria e prática**: 3ª ed. - São Paulo: Oficina de Textos, 2019

DELALIBERA, R. G. **Tópicos especiais em concreto armado**. 2006. 44 f. - Curso de Especialização, Unilins, São Paulo, 2006.

GUIMARÃES, D. **Fundações**, 2018.

JESUS, A. D. **Análise de métodos semiempíricos para previsão de capacidade de carga em estacas raiz**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**: 2ª ed.- São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 89 p.

REBELLO, Y. C. P., 1949 – **Fundações: guia prático de projetos, execução e dimensionamento**: São Paulo: Zigurate Editoria, 2008

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações: critérios de projeto, investigação de subsolo, fundações Superficiais, fundações profundas**: São Paulo: Oficina De Textos, 2010