

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Civil

KEVILLYN MARQUES SILVA
PEDRO VÍTOR MARTINS BUENO

ANÁLISE COMPARATIVA DE FUNDAÇÕES RASAS EM SOLOS ARENOSOS E
ARGILOSOS

Publicação Nº 2

Goianésia - GO
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, KEVILLYN MARQUES; BUENO, PEDRO VITOR MARTINS.

Análise Comparativa de Fundações Rasas em Solos Arenosos e Argilosos [Goiás] 2023 xi, 25P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2023).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Fundação

2. Sapatas

3. Geotecnia

I. ENC/FACEG

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, M. K.; BUENO, M. P. Análise Comparativa de Fundações Rasas em Solos Arenosos e Argilosos. Artigo, Publicação 2 2023/2 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 25p. 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

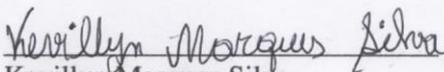
NOME DO AUTOR: Kevillyn Marques Silva e Pedro Vitor Martins Bueno

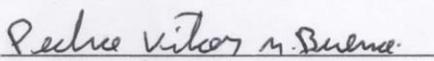
TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Análise Comparativa de Fundações Rasas em Solos Arenosos e Argilosos.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2023

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Kevillyn Marques Silva
Rua 40, Bairro São Cristovão
76381161 – Goianésia-Go – Brasil


Pedro Vitor Martins Bueno
Rua Santa Rita, Centro
76395000 – Stª Rita do N. Destino-Go -
Brasil

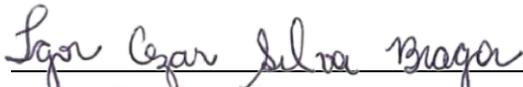
**KEVILLYN MARQUES SILVA
PEDRO VÍTOR MARTINS BUENO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE FUNDAÇÕES RASAS EM SOLOS ARENOSOS E
ARGILOSOS**

Publicação Nº 2

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG**

Aprovados por:



IGOR CEZAR SILVA BRAGA, Me.

(FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA)



ROBSON DE OLIVEIRA FELIX, Me.

(FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA)



JÉSSICA NAIARA DIAS, Ma.

(FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA)

**Goianésia - GO
2023**

ANÁLISE COMPARATIVA DE FUNDAÇÕES RASAS EM SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS

Kevillyn Marques Silva¹
Pedro Vítor Martins Bueno¹
Igor Cezar Silva Braga²

RESUMO

Este estudo aborda a definição de fundação como estruturas destinadas a transferir cargas da edificação para o solo, enfocando a necessidade de resistência para evitar danos como rupturas e fissuras. O objetivo foi dimensionar fundações rasas em dois tipos de solo: arenoso e argiloso visando a análise comparativa que possa auxiliar no dimensionamento geométrico e estrutural das edificações, nos casos em que se detecta também que as características naturais desses tipos de solo possam trazer algum prejuízo. A partir de uma abordagem qualitativa e quantitativa, baseada em literatura técnica, normas da ABNT e coleta de dados, foram analisados o dimensionamento geométrico e estrutural de sapatas isoladas nos solos arenoso e argiloso. Como resultado, o solo argiloso apresentou uma área de base 85,5% maior e detalhamento com uma área de aço 20,84% maior para suportar a mesma carga aplicada em sapatas no solo arenoso. Pode-se concluir a partir do estudo que a escolha e dimensionamento adequados das fundações são essenciais, destacando a importância de uma abordagem personalizada para cada tipo de solo no campo da engenharia civil.

Palavras-chave: Sapatas. Geotecnia. Fundação.

¹ Discentes do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: pedrovitor0810@gmail.com e kevillynmarques@hotmail.com

² Professor do curso da Faculdade Evangélica de Goianésia. E-mail: igorcezar14@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

A definição de fundação é apresentada por Barros e Torres (2018) como estruturas que visam transmitir as cargas da estrutura para o solo. Dessa forma, uma fundação deve ter como característica principal a resistência suficiente para assegurar as tensões que porventura possam causar danos como rupturas e fissuras nas edificações.

A análise comparativa de fundações rasas em solos arenosos e argilosos constituiu-se de um desafio que exigiu alguns conhecimentos teóricos e práticos.

No estudo de caso proposto, a pesquisa referiu-se à análise comparativa de uma sapata em solos distintos. A investigação foi realizada a partir de revisão da literatura técnicas e normas da ABNT que contribuíram para um entendimento sobre o conceito de fundações, capacidade de carga de fundações rasas, considerações sobre o dimensionamento geométrico e estrutural, comparação das sapatas de solos arenoso e argiloso, além da coleta de dados, onde foi definido a sapata como fundação a ser utilizada e mesma proporção de N_{SPT} para favorecer o comparativo.

Elegeram-se como objetivo dimensionar fundações rasas em dois tipos de solo: arenoso e argiloso, visando uma análise comparativa que possa auxiliar no dimensionamento geométrico e estrutural das edificações, nos casos em que se detecta também que as características naturais desses tipos de solo possam trazer algum prejuízo.

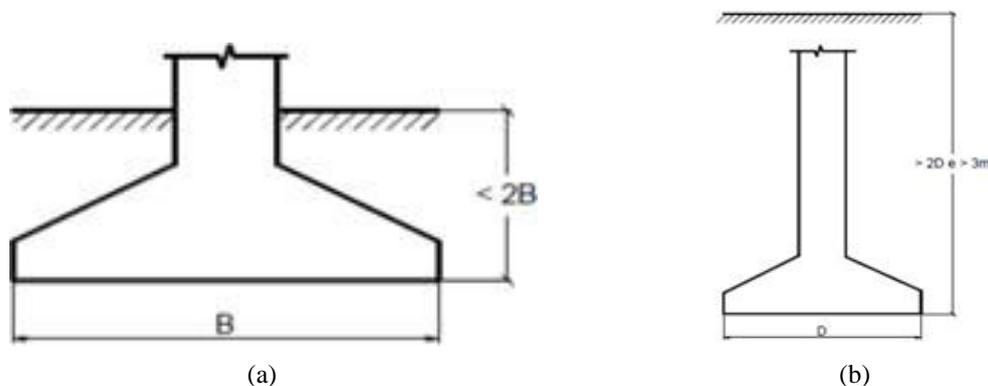
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCEITO DE FUNDAÇÃO

As fundações são definidas como elementos estruturais que visam a transmissão de cargas presentes na estrutura para o solo de apoio. Dessa forma, devem suportar essas cargas e tensões causadas pelos esforços solicitantes (SOUSA *et al.*, 2018).

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022), fundações rasas são os elementos cuja base estão assentadas numa profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação e sobre as quais recebem as tensões distribuídas visando o equilíbrio da carga aplicada, já as fundações profundas são elementos de fundação que transmitem as cargas ao terreno pela sua base ou por sua superfície lateral, podendo também transmitir as cargas pela ação de ambas, cujo apoio tem uma profundidade máxima superior a 8 vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3,0 m. A Figura 1 ilustra os tipos de fundação rasa (a) e profunda (b).

Figura 1 – Tipos de fundação: a) fundação rasa; b) fundação profunda



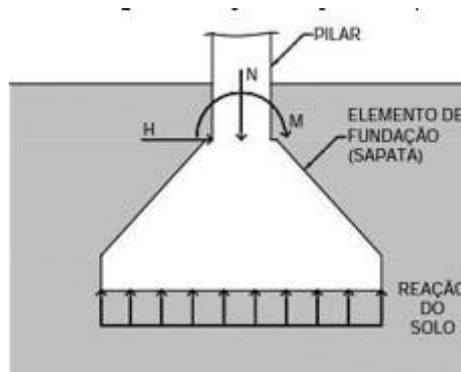
De acordo com Botelho (2016), na escolha entre fundação rasa ou profunda deve ser levado em consideração a intensidade da carga e da profundidade da camada resistente do solo. O principal fator a ser considerado nessa escolha é a resistência ou capacidade de carga do solo, ou seja, o limite de carga que o solo pode suportar sem que haja rompimentos ou qualquer outro tipo de deformação.

2.1.1 Sapatas

Para a norma NBR 6122 (ABNT, 2022), as sapatas são elementos de fundação superficial de concreto armado, de base quadrada, retangular ou trapezoidal, de modo que as tensões de carga sejam suportadas sobre a armadura. Segundo Ramos *et al.*, (2014), há três tipos básicos de sapata: a isolada, corrida e a sapata associada.

As sapatas isoladas são fundações independentes, projetadas para suportar um único pilar, como representado na Figura 2. Trata-se da forma mais comum em edificações e pode adotar várias geometrias, como quadrada, retangular, circular e poligonal. No entanto, devido à prevalência de pilares retangulares, esse formato de sapata é a predominante (RAMOS *et al.*, 2014).

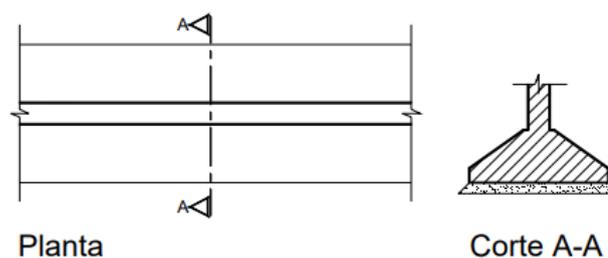
Figura 2 – Sapata do tipo Isolada



Fonte: Bastos (2023)

As sapatas corridas, segundo Ramos *et al.*, (2014), são um tipo de fundação contínua que recebem a carga das paredes, apoiando-se diretamente sobre o terreno. Possui o formato de viga e pode ser feita de concreto simples, armado, solocimento ou canaletas, conforme representado na Figura 3, abaixo.

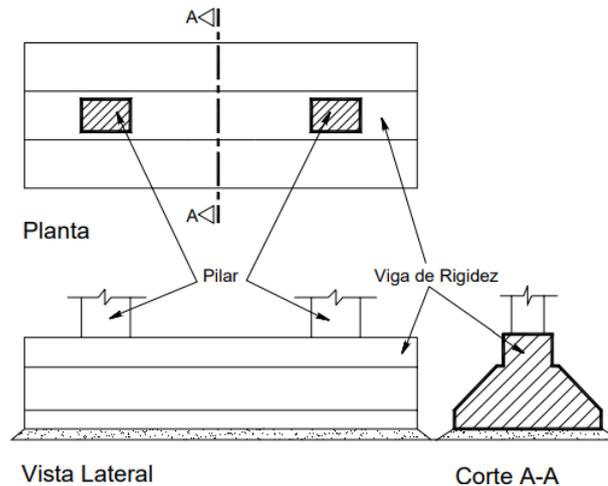
Figura 3 – Sapata corrida



Fonte: Alva (2007)

As sapatas associadas são aquelas que transmitem ações de dois ou mais pilares e são comumente utilizadas como alternativa quando a distância entre duas ou mais sapatas é pequena, podendo ser projetada com ou sem uma viga de rigidez, conforme presente na Figura 4.

Figura 4 – Sapata Associada



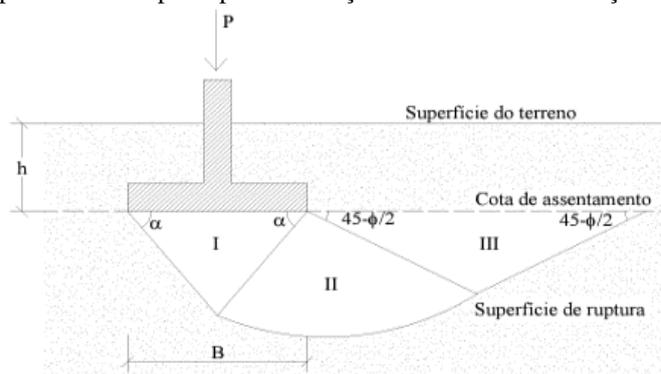
Fonte: Alva (2007)

2.2 CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES RASAS

A capacidade de carga de uma fundação (σ_r) foi definida pela NBR 6122 (ABNT, 2022) como a tensão transmitida pelo elemento de fundação capaz de provocar a ruptura do solo ou a sua deformação excessiva e depende de uma série de variáveis como as dimensões do elemento de fundação, da profundidade do assentamento, das características dos solos, dentre outros.

Terzaghi apresentou em 1943 um método para o cálculo da capacidade de carga de fundações superficiais que levou em consideração os seguintes requisitos (CINTRA *et al.*, 2003). Para ilustrar a metodologia de Terzaghi, a Figura 5 exemplifica o processo de ruptura do maciço de solo, apoiando-se em uma fundação direta.

Figura 5 – Superfície potencial de ruptura para o maciço de solo submetido a ação de uma fundação superficial



Fonte: Cintra *et al.*, (2003).

Na Figura 5, observa-se que a superfície potencial de ruptura do solo é composta por três diferentes regiões, conforme indicado por Cintra *et al.*, (2003).

Região I: cunha imediata abaixo da fundação, na superfície de ruptura;

Região II: Caracteriza-se pela apresentação de uma ruptura na forma espiral submetida às tensões passivas de Rankine;

Região III: Na superfície de ruptura apresenta trecho reto e cunha submetida ao estudo de tensões passivas de Rankine.

Todas essas regiões estão relacionadas diretamente ao comportamento do solo sob tensões passivas de Rankine. A partir da compreensão das características dessas regiões é possível verificar o grau de estabilidade e segurança das estruturas do solo.

Segundo Aoki (2011), há três formas de ruptura:

a) Ruptura geral, na qual a sapata pode girar, levantando uma porção de solo sobre o terreno. Esse tipo de ruptura ocorre nos solos mais rígidos, como areias compactas e muito compactas e argilas rijas e duras.

b) Ruptura por punção, na qual a sapata se desloca para baixo sem perder o alinhamento, ocorre em solos menos resistentes, como areia fofa ou argilas médias e moles

c) Ruptura local, é caracterizada por apresentar uma curva tangente mais suave em comparação com a ruptura geral, e também ocorre em solos mais deformáveis.

A Equação 1, é a fórmula de Terzaghi para medir a tensão máxima do solo:

$$\sigma_r = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma \quad (1)$$

Onde:

σ_r : tensão máxima suportada pelo solo

c : coesão do solo (laboratório ou por tabelas de aproximação)

q : tensão efetiva ao nível da base ($\gamma \cdot h$)

γ : peso específico do solo onde se apoia a fundação

N_c, N_q, N_γ : fatores de capacidade de carga

B : menor dimensão da base da sapata

S_c, S_q, S_γ : fatores de forma (circular, retangular, corrida)

Os fatores de capacidade de carga são dados pelas Equações 2,3 e 4, segundo Terzaghi:

$$N_q = e. \pi. \text{tg}(\phi). \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

$$N_c = \text{cotg}(\phi). (N_q - 1) \quad (3)$$

$$N_\gamma = 2. (N_q - 1). \text{tg}(\phi) \quad (4)$$

As Equações 2, 3 e 4 são utilizadas em situação de ruptura geral, enquanto para solos que apresentam ruptura local ($N < 5$ para areias fofas e $N < 6$ para argilas moles), Terzaghi propôs adotar valores reduzidos (ϕ' e c') para ângulo de atrito e coesão, sendo utilizada as Equações 5 e 6:

$$c' = \frac{2c}{3} \quad (5)$$

$$\text{tg}(\phi)' = \frac{2\text{tg}(\phi)}{3} \quad (6)$$

Os fatores de forma são determinados a partir da Tabela 1:

Tabela 1 – Fatores de Forma

| Fundação | S_c | S_q | S_γ |
|------------|-------|-------|------------|
| Corrida | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Retangular | 1,3 | 1,0 | 0,8 |
| Circular | 1,3 | 1,0 | 0,6 |

Fonte: Terzaghi, 1943.

Em relação à tensão admissível, adotando um fator de segurança a ruptura igual a 3 (FS = 3) Terzaghi propôs a Equação 7:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_R}{FS} \quad (7)$$

Para Terzaghi, não se pode desprezar que sobre a coesão do solo os ângulos de atrito e peso específicos são obtidos mediante testes no solo, além de análise laboratoriais. Na falta dessas informações, os parâmetros utilizados devem ser estimados com os dados do relatório de sondagem a percussão SPT (*Standard Penetration Test*).

2.3 DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO E ESTRUTURAL

O dimensionamento adequado de uma fundação deve ser considerado em todos os aspectos da edificação, desde a tomada de decisão até sobre o início de sua execução. Para que se realize um dimensionamento de forma adequada, é preciso conhecer as propriedades geotécnicas e geológicas do solo sob o qual se estabelecerá a estrutura, como a tipologia, a estratigrafia e a sua resistência. Dessa forma, o tipo de fundação tem associação intrínseca tanto com os parâmetros geotécnicos e geológicos quanto às solicitações estruturais da obra (CABRAL *et al.*, 2022).

No caso de solos argilosos, o levantamento geométrico e estrutura das fundações rasas como sapatas e radiers visa compreender a distribuição de partículas, forma e arranjo. Novak (2021) destaca a importância desse levantamento para compreensão sobre propriedades como retenção de água, plasticidade e compactação, influenciando propriedades agrícolas e de engenharia. Além disso, o dimensionamento de estacas em fundações superficiais envolve a avaliação do comportamento em serviço (assentamento).

O dimensionamento geométrico das sapatas de fundação pode ser realizado de acordo com as seguintes etapas, segundo Duarte Júnior (2016).

1. Determinação da área da sapata (S): A área da sapata pode ser determinada a partir da relação entre a carga do pilar (P), Peso Próprio (P_p) e a tensão admissível do solo (σ_{adm}), conforme a Equação 8:

$$S = \frac{P + P_p}{\sigma_{adm}} \quad (8)$$

2. Cálculo das dimensões da sapata: Com a área da sapata determinada, as dimensões da sapata podem ser calculadas utilizando as seguintes Equações 9, 10, 11, 12:

$$LH = \frac{(h_p - b_p)}{2} + \sqrt{\frac{(h_p - b_p)^2}{4} + S} \quad (9)$$

$$LB - LH = b_p - h_p \quad (10)$$

$$h \geq \frac{LB - b_p}{3} \quad (11)$$

$$h_0 \geq \left\{ \begin{array}{l} 20cm \\ \frac{h}{3} \end{array} \right. \quad (12)$$

Onde:

LH : menor dimensão da sapata

LB : maior dimensão da sapata

h_p : menor dimensão do pilar

b_p : maior dimensão do pilar

S : área da sapata

h : altura total da sapata

h₀ : altura da aba da sapata

Essas etapas permitem determinar as dimensões adequadas para a sapata de fundação, levando em consideração a carga do pilar e a capacidade de carga do solo.

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022) o dimensionamento estrutural de sapatas de concreto deve atender à ABNT NBR 6118.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa se caracteriza como estudo de caso, ou seja, foi determinado um projeto de edificação com 6 pavimentos e uma área de 914,16 m² (Anexo 4), nos quais foram coletados dados de dois solos distintos (arenoso e argiloso), em laudos de sondagem (Anexo 1 e Anexo 2) para realização dos cálculos.

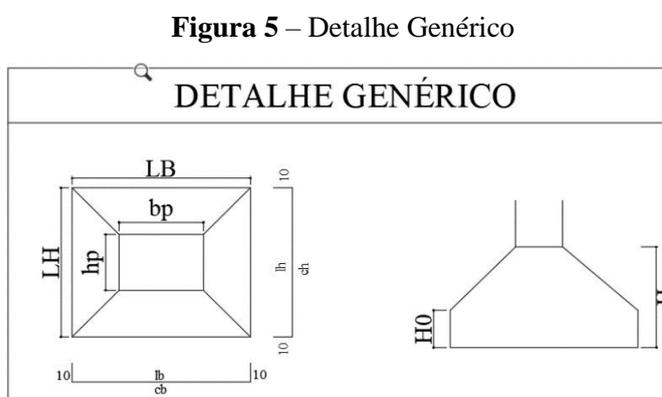
Para a realização da análise comparativa desse estudo do caso foi necessário obter alguns dados importantes como: a planta de carga do edifício; e o valor do N_{SPT}, no qual foi determinado o valor de 13, referente a profundidade de 2 metros, conforme especificado nos

laudos de sondagem contidos no Anexo 1 e Anexo 2, para que haja uma comparação legítima, entre outros parâmetros relevantes para o dimensionamento da fundação.

Com base nos dados coletados, foi realizados os cálculos do dimensionamento da sapata em cada tipo de solo, utilizando métodos e critérios de cálculos adequados. A partir do dimensionamento da sapata foi calculado o volume de concreto, relação de aço, área efetiva.

Por fim, foi realizado a comparação dos resultados obtidos para o dimensionamento da sapata em solo arenoso e argiloso. Analizando os quantitativos encontrados, como dimensões das sapatas, área, quantidade de armadura, volume de concreto, área de aço. No Anexo 4 e Anexo 5 mostram a planta de locação das sapatas no solo arenoso e no solo argiloso, respectivamente.

A Figura 5 apresenta o detalhe genérico das sapatas isoladas retangulares e quadradas, sendo LH e LB as dimensões da base da sapata, b_p e h_p as dimensões do pilar, H_0 a altura do colarinho da sapata e H a altura da sapata.



Fonte: Próprio Autor, 2023

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CAPACIDADE DE CARGA

A partir da Equação 7 obteve-se um resultado de tensão admissível igual a 378 kPa para o solo arenoso e um valor de 204 kPa para o solo argiloso. Sendo portanto, o solo arenoso um solo 85% mais resistente que o solo argiloso.

4.2 COMPARAÇÕES DE RESULTADOS

Conforme mencionado na introdução, foram comparadas as sapatas em solo arenoso e solo argiloso.

Em relação à área e volume das sapatas foi realizado o cálculo e foi obtido o resultado conforme a Tabela 2 (Para consultar ver Apêndice A e Apêndice B):

Tabela 2- Somatório da área e do volume das sapatas

| Tipo de solo | Área (m²) | Volume (m³) |
|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Arenoso | 33,29 | 34,69 |
| Argiloso | 61,75 | 51,55 |
| Diferença | 85,50% | 48,60% |

Fonte: próprio autor (2023).

A diferença nos valores indica que as sapatas no solo argiloso têm dimensões consideravelmente maiores do que as do solo arenoso, sendo a área de sapata de solo argiloso aproximadamente 2 vezes maior que do solo arenoso e volume 48,60% maior.

A partir do cálculo da área de aço para cada tipo de solo, obteve-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 3 (Para consultar ver Apêndice A e Apêndice B):

Tabela 3 – Somatório da área de aço efetiva das sapatas

| Tipo de solo | Área de Aço (A_s – cm²) |
|---------------------|---|
| Arenoso | 26,87 |
| Argiloso | 32,47 |
| Diferença | 20,84% |

Fonte: próprio autor (2023).

A Tabela 3 apresenta a área de aço efetiva das sapatas nos dois tipos de solo. Novamente, os valores para o solo argiloso são maiores, sendo necessário um aumento de 20,84% na área de aço.

De acordo com o cálculo das áreas de aço, foi feito o detalhamento das sapatas para os solos arenoso e argiloso, conforme apresentado na Tabela 4 (Para consultar ver Apêndice C):

Tabela 4- Somatório da quantidade de barras nas sapatas

| Tipo de solo | Quantidade de Barras – 10mm (N) |
|---------------------|--|
| Arenoso | 36 |
| Argiloso | 48 |
| Diferença | 33,3% |

Fonte: próprio autor (2023).

A Tabela 4 apresenta o somatório do quantitativo de barras nas sapata. Enquanto que para as sapatas de solo arenoso foi necessário o uso de 36 barras com bitolas de 10mm, nas sapatas de solo argiloso foi preciso um aumento de 33,3% de barras da mesma bitola para suportar a mesma carga.

De acordo com a tabela de custo disponibilizada pela GOINFRA (Verificar Anexo 6), o custo total gasto para as barras de cada bitola está indicada na Tabela 5:

Tabela 5- Custo total das barras de aço

| Tipo de solo | Bitola da barra | | | |
|--------------|-----------------|------------|------------|------------|
| | 8mm | 10mm | 12,5mm | 16mm |
| Arenoso | R\$3207,04 | R\$3091,91 | R\$5068,83 | R\$4271,73 |
| Argiloso | R\$4163,52 | R\$4122,55 | R\$5068,83 | R\$6170,27 |
| Diferença | 29,82% | 33,33% | 0 | 44,44% |

Fonte: próprio autor (2023).

A Tabela 5, mostra que as barras de 10mm apresentam uma maior economia nos dois tipos de solo. Portanto, para análise foi determinado as barras com bitolas de 10mm. (Para consultar tabela de detalhamento ver Apêndice C)

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise comparativa detalhada entre fundações rasas em solos arenosos e argilosos. Através de uma metodologia que combinou estudos qualitativos e quantitativos, baseando-se em literatura especializada e normas técnicas, no qual foi possível identificar diferenças significativas no dimensionamento de sapatas isoladas em diferentes tipos de solo.

Na primeira análise, onde a fundação foi simulada em solo arenoso, as principais características deste tipo de solo são a presença de particulares de areia, baixa compressibilidade, coesão nula, o que influencia na resistência ao cisalhamento e a estabilidade do solo; enquanto na segunda análise, as principais características do solo argiloso encontradas são grande quantidade de partículas de argila, baixa permeabilidade e alta plasticidade.

Dessa forma, os resultados demonstraram que para um projeto de edificação com 6 pavimentos e uma área de 914,16 m², as fundações em solo argiloso requerem uma área de base 85,5% maior e um detalhamento mais robusto em comparação com as fundações em solo arenoso. Vale ressaltar também que a escolha do aço com bitola de 10mm é a opção mais econômica, sendo portanto no solo argiloso um custo de 33,3% maior que o custo no solo arenoso. Isso se deve às características intrínsecas dos solos, como a capacidade de carga e comportamento frente às variações de umidade. Essas diferenças influenciam diretamente no volume de concreto, na quantidade de aço necessário e, conseqüentemente, nos custos e na técnica construtiva.

O estudo também destaca a importância de uma análise criteriosa do tipo de solo na fase de planejamento de uma obra. A escolha de uma fundação inadequada pode levar a problemas estruturais sérios, como recalques diferenciados, que comprometem a segurança e a durabilidade da estrutura.

Em suma, a pesquisa reforça a necessidade de uma abordagem individualizada para o projeto de fundações, considerando as especificidades de cada tipo de solo. Isso contribui não apenas para a segurança estrutural, mas também para a otimização de recursos e sustentabilidade das construções.

Este trabalho, portanto, oferece uma contribuição valiosa para a prática da engenharia civil, especialmente no campo de geotecnia e fundações, e pode servir como referência para futuros projetos e pesquisas na área, além disso, sugere-se que outros estudos complementares sejam realizados sobre a análise dos solos arenosos e argilosos, com comparações entre

fundações visando aprofundar o entendimento das características geotécnicas desses tipos de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2022** - Projeto de fundações.

BARROS, M. R. S.; TORRES, R. T. C. **Fundações**. IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, Formosa, 2018. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br>. Acesso em: 06 dez. 2023.

ALVA, G. M. S. **Projeto estrutural de sapatas**. Santa Maria: UFSM, 2007. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?cluster=15569533949940944290&hl=pt-BR&as_sdt=2005&scioldt=0,5#d=gs_qabs&t=1703305230444&u=%23p%3Dok2d9KIYEtgJ. Acesso em: 22 dez, 2023.

BOTELHO, M.R. Princípios da mecânica dos solos e fundações para construção civil, 2 Ed. São Paulo. Edgard Blucher, 2016.

BASTOS, P. S. S. **Sapatas de fundação**. 2019. Disponível em: <https://www.pf.ufpa.br/pbastos/pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.

BASTOS, P.S. Notas de aula de sapatas de fundação. Curso de graduação em engenharia civil. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2016.

CABRAL, J. M. Estudo comparativo sobre o dimensionamento de fundações em diferentes cotas de assentamento. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v.14, n.4, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.uepg.br>. Acesso em; 20 jul. 2023.

CINTRA, J. C; AOKI, N.; HENRIQUE, J. **Fundações Diretas: Projeto Geométrico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 140 p.

DUARTE JÚNIOR, H. M. **Dimensionamento de sapatas de fundação através do software mathcad**. 67 f. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal São João Del-Rei, 2016.

NOVAK, E., *et al.* Composição química do solo em diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Florestal**, v.31, n.3, disponível em:<https://doi.org/10.5902/1980509828995>. Acesso em: 23 jun. 2023.

RAMOS, C. et al. Utilização da sapata na construção civil. **Cadernos de Graduação**, Aracaju, v.2, n.1, 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.set.edu.br>. Acesso em: 23 jun. 2023.

SOUSA, A. A. *et al.* **Discutindo o conceito de fundações**. II Colóquio de Pesquisa Multidisciplinar e I Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar, mineiros, 2018. Disponível em: <https://unifimes.edu.br/ii-coloquio-estadual-de-pesquisa-multidisciplinar/>. Acesso em 23 jun. 2023.

GOINFRA - Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes. **Tabela de custos de obras civis - t221 - agosto/23 - sem desoneração**, 2023. Disponível em:

https://www.goinfra.go.gov.br/arquivos/arquivos/Obras%20Civis/T221_S/Custo_Referencial_de_Servi%C3%A7os.pdf. Acesso em 20 dez. 2023.

APÊNDICE A: TABELA SOLO ARENOSO

| Sapata | Área (m²) | Volume (m³) | Área de Aço (A_s – cm²) |
|---------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| S1 | 1,23 | 1,56 | 1,48 |
| S2 | 2,21 | 2,66 | 1,49 |
| S3 | 0,57 | 0,78 | 1,48 |
| S4 | 0,75 | 0,88 | 1,48 |
| S5 | 2,18 | 2,63 | 1,48 |
| S6 | 1,28 | 1,56 | 1,48 |
| S7 | 1,68 | 1,88 | 1,48 |
| S8 | 2,29 | 2,49 | 1,48 |
| S9 | 2,21 | 2,45 | 1,48 |
| S10 | 2,47 | 2,58 | 1,54 |
| S11 | 2,30 | 2,51 | 1,49 |
| S12 | 1,66 | 1,88 | 1,48 |
| S13 | 1,50 | 1,85 | 1,48 |
| S14 | 2,89 | 3,75 | 1,54 |
| S15 | 1,83 | 2,29 | 1,48 |
| S16 | 1,83 | 2,29 | 1,48 |
| S17 | 2,86 | 3,75 | 1,54 |
| S18 | 1,55 | 1,88 | 1,48 |

APÊNDICE B: TABELA SOLO ARGILOSO

| Sapata | Área (m²) | Volume (m³) | Área de Aço (A_s – cm²) |
|---------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| S1 | 2,28 | 1,94 | 1,48 |
| S2 | 4,11 | 4,34 | 2,02 |
| S3 | 1,06 | 0,99 | 1,48 |
| S4 | 1,40 | 1,14 | 1,48 |
| S5 | 4,04 | 4,34 | 2,02 |
| S6 | 2,37 | 1,98 | 1,48 |
| S7 | 3,11 | 2,66 | 1,65 |
| S8 | 4,24 | 4,14 | 2,02 |
| S9 | 4,11 | 4,08 | 2,02 |
| S10 | 4,58 | 4,60 | 2,14 |
| S11 | 4,26 | 4,14 | 2,02 |
| S12 | 3,08 | 2,66 | 1,65 |
| S13 | 2,78 | 2,32 | 1,48 |
| S14 | 5,36 | 6,44 | 2,19 |
| S15 | 3,39 | 3,44 | 1,82 |
| S16 | 3,40 | 3,44 | 1,82 |
| S17 | 5,30 | 6,44 | 2,19 |
| S18 | 2,88 | 2,35 | 1,49 |

APÊNDICE C: TABELA DE DETALHAMENTO

| Sapata | Detalhamento | |
|---------------|---------------------|----------------------|
| | Solo arenoso | Solo argiloso |
| S1 | 3 N1 10 mm | 3 N1 10 mm |
| S2 | 3 N1 10 mm | 5 N1 10 mm |
| S3 | 3 N1 10 mm | 3 N1 10 mm |
| S4 | 3 N1 10 mm | 3 N1 10 mm |
| S5 | 3 N1 10 mm | 5 N1 10 mm |
| S6 | 3 N1 10 mm | 3 N1 10 mm |
| S7 | 3 N1 10 mm | 4 N1 10 mm |
| S8 | 3 N1 10 mm | 5 N1 10 mm |
| S9 | 3 N1 10 mm | 5 N1 10 mm |
| S10 | 4 N1 10 mm | 5 N1 10 mm |
| S11 | 3 N1 10 mm | 5 N1 10 mm |
| S12 | 3 N1 10 mm | 4 N1 10 mm |
| S13 | 3 N1 10 mm | 3 N1 10 mm |
| S14 | 4 N1 10 mm | 5 N1 10 mm |
| S15 | 3 N1 10 mm | 4 N1 10 mm |
| S16 | 3 N1 10 mm | 4 N1 10 mm |
| S17 | 4 N1 10 mm | 5 N1 10 mm |
| S18 | 3 N1 10 mm | 3 N1 10 mm |

ANEXOS

Anexo 1 – Furo de Sondagem SPT do solo arenoso

| Profundidade (m) | Número da amostra | Nível D'água (m) | Soma do número de golpes | | RESIST. A PENETRAÇÃO DO BARRILHETE TIPO SPT | | | | | DESCRIÇÃO DO MATERIAL | |
|------------------|-------------------|------------------|--------------------------|----|---|----|---------------|--|--|-----------------------|---|
| | | | | | GRÁFICO DO N.º GOLPES | | | | | Perfil Geológico | DESCRIÇÃO TÁCTIL VISUAL |
| | | | | | PRIMEIROS 15 cm | | ULTIMOS 30 cm | | | | |
| 1º+2º | 2º+3º | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | | | | | |
| -1,00 | 0 | | | | | | | | | | Areia marrom |
| -2,00 | 1 | | 15 | 13 | | | | | | | Areia rija marrom |
| -3,00 | 2 | | 4 | 4 | | | | | | | Areia rija marrom |
| -4,00 | 3 | | 14 | 13 | | | | | | | Areia rija marrom com veios variegados |
| -5,00 | 4 | | 10 | 9 | | | | | | | Areia rija marrom com veios variegado e cascalho |
| -6,00 | 5 | | 8 | 9 | | | | | | | Silte arenoso medianamente compacto com veios variegado |
| -7,00 | 6 | | 10 | 11 | | | | | | | Silte arenoso medianamente compacto com veios variegado |
| -8,00 | 7 | | 17 | 18 | | | | | | | Silte arenoso medianamente compacto com veios variegado |
| -9,00 | 8 | | 17 | 17 | | | | | | | Silte arenoso medianamente compacto amarelo com veios variegado |
| -10,00 | 9 | | 19 | 21 | | | | | | | Silte arenoso compacto amarelo com veios variegado |
| -10,45 | 10 | | 23 | 25 | | | | | | | Silte arenoso compacto amarelo com veios variegado |
| | 11 | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | |
| | 16 | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | |
| | 19 | | | | | | | | | | |

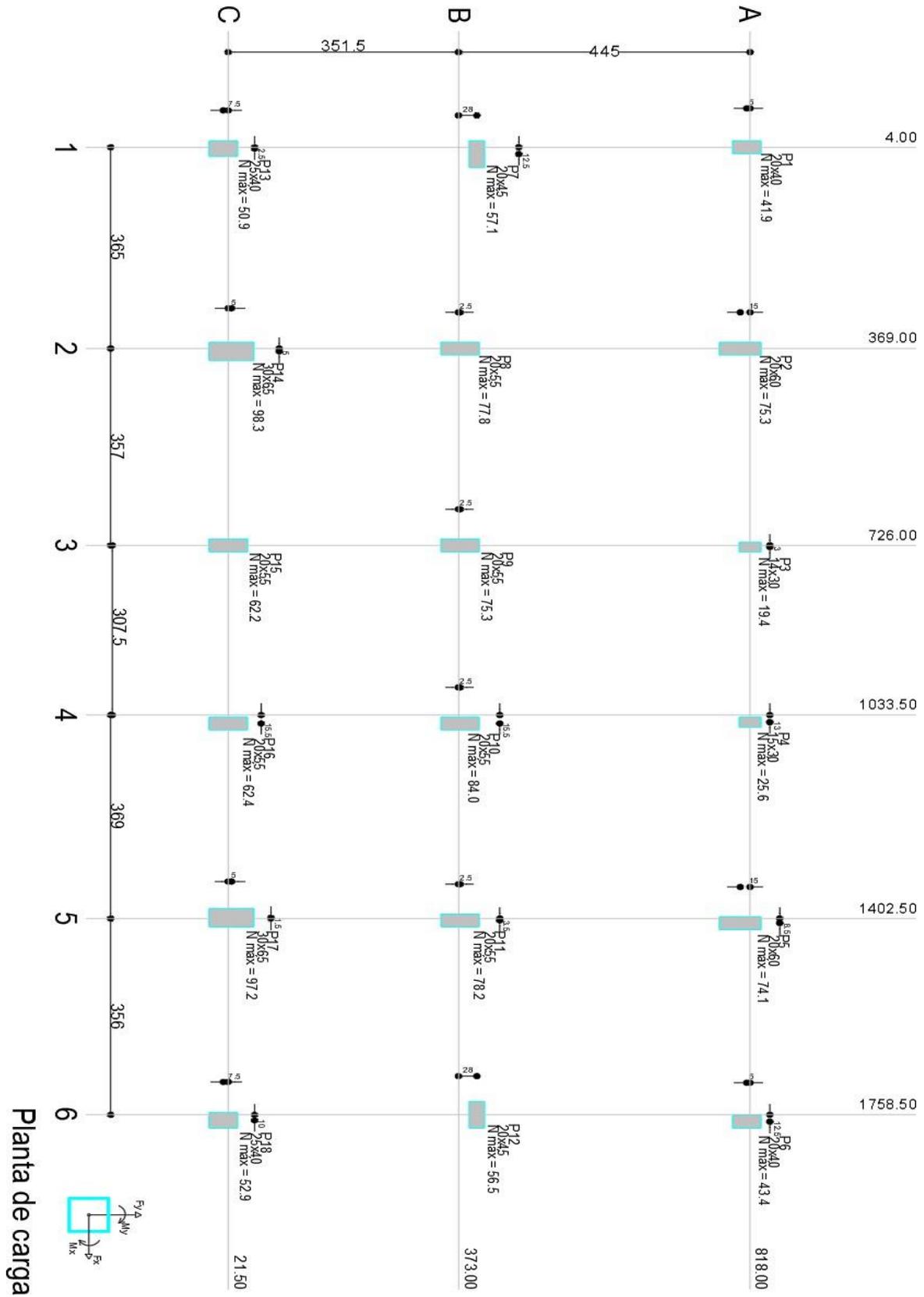
Fonte: Próprio autor (2023)

Anexo 2 – Furo de Sondagem SPT solo argiloso

| Profundidade (m) | Número da amostra | Nível D'água (m) | Soma do número de golpes | | RESISTÊNCIA PENETRAÇÃO DO BARRILHETE TIPO SPT | | | | | Perfil Geológico | DESCRIÇÃO DO MATERIAL |
|------------------|-------------------|------------------|--------------------------|----|---|-------|---------------|----|----|------------------|---|
| | | | | | PRIMEIROS 15 cm | | ULTIMOS 30 cm | | | | DESCRIÇÃO TÁTIL VISUAL |
| | | | | | 1º+2º | 2º+3º | 10 | 20 | 30 | | |
| -1.00 | 0 | | | | | | | | | | Argila arenosa marrom |
| -2.00 | 1 | | 15 | 13 | | | | | | | Argila arenosa rija marrom |
| -3.00 | 2 | | 4 | 4 | | | | | | | Argila arenosa mole marrom |
| -4.00 | 3 | | 14 | 13 | | | | | | | Argila arenosa rija marrom com veios variegado |
| -5.00 | 4 | | 10 | 9 | | | | | | | Argila siltosa média marrom com veios variegado e cascalho |
| -6.00 | 5 | | 8 | 9 | | | | | | | Silte arenoso medianamente compacto marrom com veios variegado |
| -7.00 | 6 | | 10 | 11 | | | | | | | Silte arenoso medianamente compacto marrom com veios variegado |
| -8.00 | 7 | | 17 | 18 | | | | | | | Silte arenoso medianamente compacto marrom com veios variegado |
| -9.00 | 8 | | 17 | 17 | | | | | | | Silte arenoso medianamente compacto amarelo com veios variegado |
| -10.00 | 9 | | 19 | 21 | | | | | | | Silte arenoso compacto amarelo com veios variegado |
| -10.45 | 10 | | 23 | 25 | | | | | | | Silte arenoso compacto amarelo com veios variegado |
| | 11 | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | |
| | 16 | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | |
| | 19 | | | | | | | | | | |

Fonte: Próprio autor (2023)

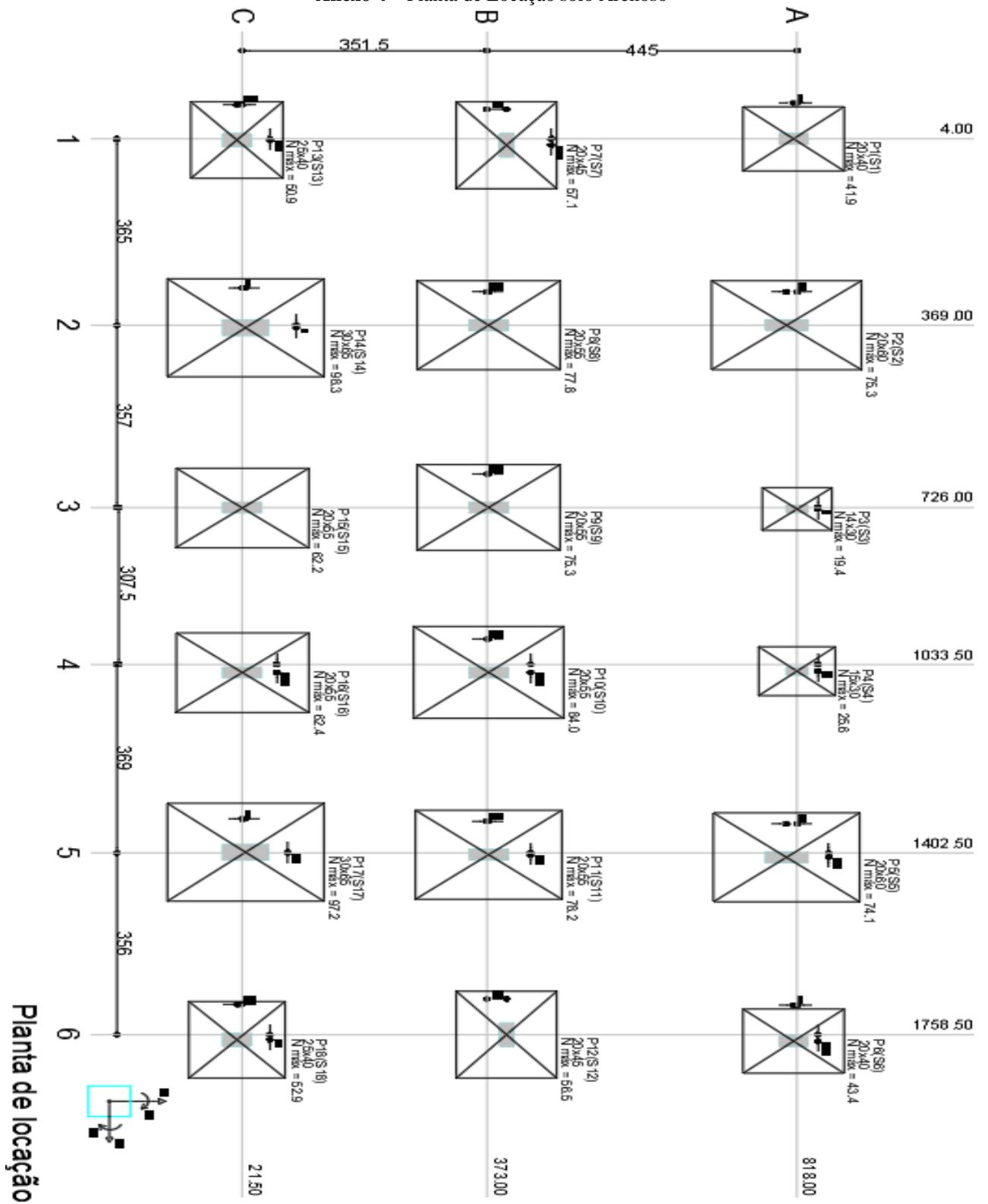
Anexo 3 – Planta de Carga



Fonte: Próprio autor (2023)

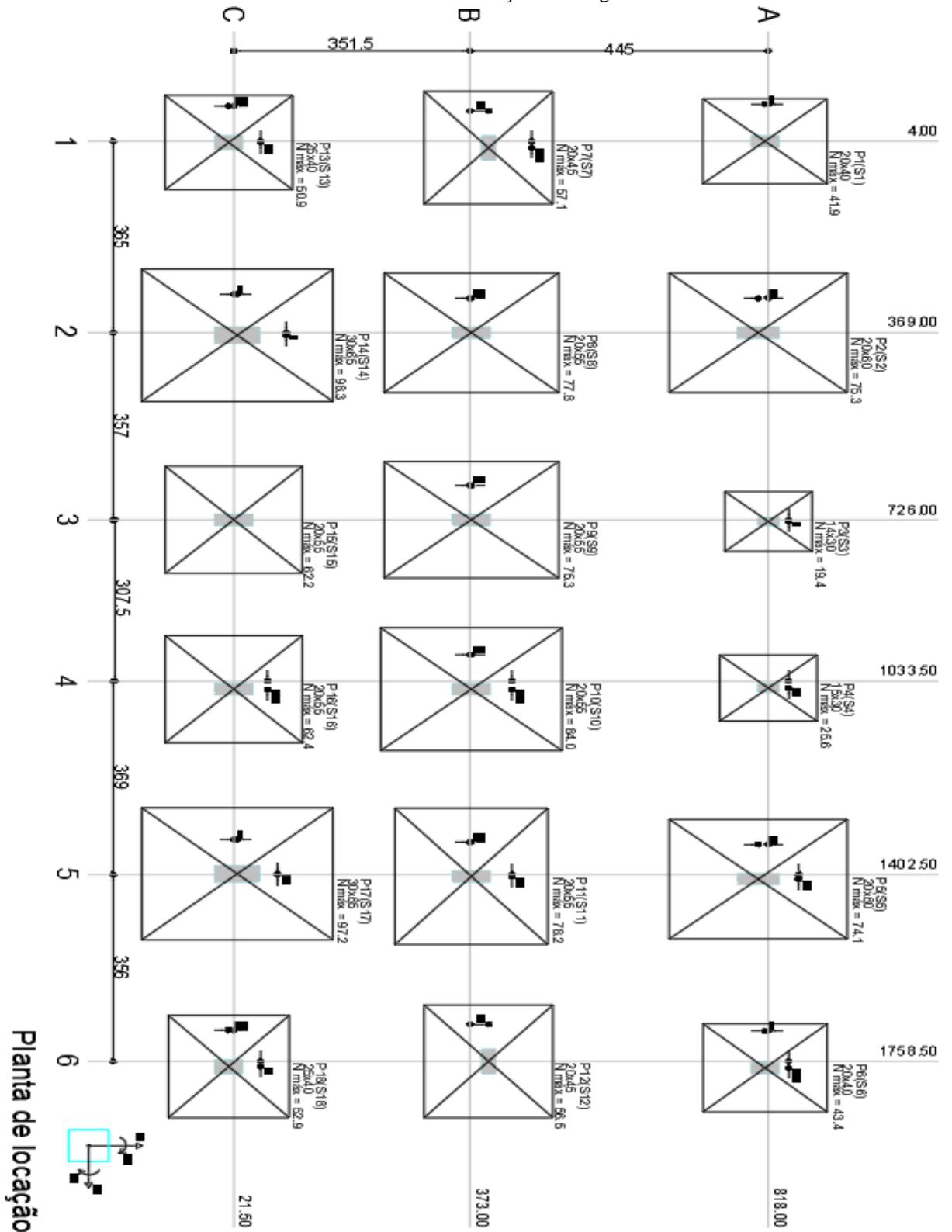
| Pilar | | |
|-------|---------------|--------------------|
| Nome | Seção (cm) | Carga Máx. (tf) |
| P1 | 20x40 | 41.9 |
| P2 | 20x60 | 75.3 |
| P3 | 14x30 | 19.4 |
| P4 | 15x30 | 25.6 |
| P5 | 20x60 | 74.1 |
| P6 | 20x40 | 43.4 |
| P7 | 20x45 | 57.1 |
| P8 | 20x55 | 77.8 |
| P9 | 20x55 | 75.3 |
| P10 | 20x55 | 84.0 |
| P11 | 20x55 | 78.2 |
| P12 | 20x45 | 56.5 |
| P13 | 25x40 | 50.9 |
| P14 | 30x65 | 98.3 |
| P15 | 20x55 | 62.2 |
| P16 | 20x55 | 62.4 |
| P17 | 30x65 | 97.2 |
| P18 | 25x40 | 52.9 |

Anexo 4 – Planta de Locação solo Arenoso



Fonte: Próprio autor (2023)

Anexo 5 – Planta de Locação solo Argiloso



Fonte: Próprio autor (2023)

Anexo 6 – Tabela de custos sem desoneração

| Tabela de Preços: TABELA DE CUSTOS DE OBRAS CIVIS - T221 - AGOSTO/23 - SEM DESONERAÇÃO Data Base: 01/08/2023 | | | | | |
|--|--|---------|----------|-------------|-----------|
| Código auxiliar | Serviço | Unidade | Material | Mão-de-obra | Total |
| 052002 | ACO CA-25 - 6,3 MM (1/4") - (OBRAS CIVIS) | Kg | R\$ 9,74 | R\$ 2,62 | R\$ 12,36 |
| 052003 | ACO CA-50A - 6,3 MM (1/4") - (OBRAS CIVIS) | Kg | R\$ 9,16 | R\$ 2,99 | R\$ 12,15 |
| 052004 | ACO CA 50-A - 8,0 MM (5/16") - (OBRAS CIVIS) | Kg | R\$ 8,88 | R\$ 2,99 | R\$ 11,87 |
| 052005 | ACO CA-50A - 10,0 MM (3/8") - (OBRAS CIVIS) | Kg | R\$ 8,61 | R\$ 2,99 | R\$ 11,60 |
| 052006 | ACO CA 50-A - 12,5 MM (1/2") - (OBRAS CIVIS) | Kg | R\$ 8,43 | R\$ 3,75 | R\$ 12,18 |
| 052007 | ACO CA - 50 - 16,0 MM (5/8") - (OBRAS CIVIS) | Kg | R\$ 8,78 | R\$ 3,75 | R\$ 12,53 |
| 052008 | ACO CA-50 A - 20,0 MM (3/4") - (OBRAS CIVIS) | Kg | R\$ 8,64 | R\$ 3,75 | R\$ 12,39 |

Fonte: Goinfra (2023)