

FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
ENGENHARIA CIVIL

GUSTAVO EMANUEL ALVES
MARCOS VINICIUS DAVID DE REZENDE SILVA

COMPARATIVO DE CUSTO MATERIAL ENTRE ESTACA
ESCAVADA E SAPATA ISOLADA.

PUBLICAÇÃO Nº 25

GOIANÉSIA - GO

2017

**GUSTAVO EMANUEL ALVES
MARCOS VINICIUS DAVID DE REZENDE SILVA**

**COMPARATIVO DE CUSTO MATERIAL ENTRE ESTACA
ESCAVADA E SAPATA ISOLADA.**

PUBLICAÇÃO Nº 25

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: PROFESSOR ME. EDUARDO MARTINS
TOLEDO**

GOIANÉSIA - GO

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

ALVES, GUSTAVO EMANUEL ; SILVA, MARCOS VINÍCIUS DAVID DE REZENDE
COMPARATIVO DE CUSTO MATERIAL ENTRE ESTACA ESCAVADA E SAPATA
ISOLADA.

53P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Solo

2. Sondagem

3. Escavação

4. Fundação

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, Gustavo Emanuel Alves; SILVA, Marcos Vinícius David de Rezende. COMPARATIVO DE CUSTO MATERIAL ENTRE ESTACA ESCAVADA E SAPATA ISOLADA. 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome dos autores: Gustavo Emanuel Alves e Marcos Vinícius David de Rezende Silva.

Título da dissertação de trabalho de conclusão de curso: COMPARATIVO DE CUSTO MATERIAL ENTRE ESTACA ESCAVADA E SAPATA.

Grau: Bacharel em Engenharia Civil Ano: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Gustavo Emanuel Alves

E-mail:

gustavo.emmanuel.alves@gmail.com

Marcos Vinícius David Rezende Silva

E-mail:

marcosrezende_321@hotmail.com

Gustavo Emanuel Alves
Marcos Vinicius David de Rezende Silva

**COMPARATIVO DE CUSTO MATERIAL ENTRE ESTACA
ESCAVADA E SAPATA ISOLADA.**

Goianésia – GO, 08 de Dezembro de 2017

Banca Examinadora:

Professor Me. Eduardo Martins Toledo
FACEG

Professora Me. Wanessa Mesquita Godoi Quaresma
FACEG

Professor Dr. Daniel Ferreira Caixeta
FACEG

RESUMO

A pesquisa se constitui pela análise comparativa de dois tipos de fundações: fundação rasa do tipo sapata e fundação profunda do tipo estaca, avaliando-se a aplicabilidade em obra residencial unifamiliar e destacando qual a opção mais viável quanto aos fatores custo e tempo, para uma mesma edificação em mesmo perfil geotécnico. Tem-se que o peso de uma construção é transmitido ao solo através da fundação, que é responsável por garantir que não ocorram movimentações nos demais componentes estruturais para que, conseqüentemente, não ocorram patologias construtivas por esta causa. Desta forma, torna-se necessário o conhecimento das propriedades do solo e dos esforços atuantes, para que se verifique quais os tipos de fundações atendam e que sejam adequadas à determinada obra. São comumente classificadas em fundação profunda e fundação rasa, de acordo com o nível a ser escavado. As fundações profundas exigem um alcance maior para satisfazer a reação das cargas de projeto e são adotadas em solos com baixas resistências, sendo as estacas o tipo mais utilizado, realizadas por perfuração ou cravação. Já as fundações rasas se caracterizam por aderir ao solo de maior resistência e transmitir os esforços de forma distribuída, necessitando assim, de pouca escavação para atingir a estabilização, sendo os blocos e sapatas os tipos mais utilizados deste grupo. O levantamento das características de cada tipo de fundação se mostra importante tanto para grandes projetos, como para projetos de médio e pequeno porte, o que pode resultar em grandes diferenças financeiras, ou mesmo que por questões culturais, como ocorre em cidades menores, onde grande parte das construções se baseiam no conhecimento empírico dos construtores. Portanto, devem ser consideradas as particularidades de cada tipo de fundação assim como as características do solo, devido a variação existente mesmo em territórios próximos.

Palavras-chave: solo, sondagem, escavação e fundação.

ABSTRACT

The research consists of the comparative analysis of two types of foundations: shallow foundation of the shoe type and deep foundation of the stake type, evaluating the applicability in single-family residential work and highlighting which option is more feasible with regard to cost and time factors, for a same building in the same geotechnical profile. It is assumed that the weight of a building is transmitted to the ground through the foundation, which is responsible for ensuring that there are no movements in the other structural components so that, consequently, there are no constructive pathologies due to this cause. In this way, it becomes necessary to know the soil properties and the working forces, in order to verify which types of foundations meet and that are suitable to the particular work. They are commonly classified in deep foundation and shallow foundation, according to the level to be excavated. Deep foundations require a greater range to satisfy the reaction of the design loads and are adopted in soils with low resistance, being the piles the most used type, realized by drilling or nailing. On the other hand, shallow foundations are characterized by adhering to the soil of greater resistance and transmitting the efforts in a distributed way, thus requiring little excavation to reach stabilization, with blocks and shoes being the most used types of this group. The survey of the characteristics of each type of foundation is important both for large projects and for medium and small projects, which can result in large financial differences, or even for cultural reasons, as occurs in smaller cities, where large part of the constructions are based on the empirical knowledge of the constructors. Therefore, the particularities of each type of foundation as well as the soil characteristics should be considered, due to the variation existing even in close territories.

Keywords: ground, soil survey, excavation and foundation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta baixa de uma sapata isolada	20
Figura 2 – Corte de uma sapata isolada	21
Figura 3 – Corte lateral de uma estaca.	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos solos quanto a resistência a penetração	17
Quadro 2 – Comprimento de ancoragem.....	22
Quadro 3: Valores de F1 e F2 para cada tipo de estaca.....	28
Quadro 4: Utilizada para determinar valores de K e α	28
Quadro 5: Carga e dimensões dos pilares.....	34
Quadro 6: Distribuição de armadura em X.....	37
Quadro 7: Distribuição de armadura em Y.....	37
Quadro 8: Distribuição de armadura em X com Nb otimizado.	37
Quadro 9: Distribuição de armadura em Y com Nb otimizado.	37
Quadro 10: Dimensionamento para as demais sapatas.....	38
Quadro 11: Dimensionamento para as demais sapatas.....	41
Quadro 12: Quantitativo de materiais para execução de sapata.	42
Quadro 13: Quantitativo de materiais para execução de estacas.....	42

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Cálculo para tensão admissível do solo com resultado em MPa.....	17
Equação 2: Cálculo para tensão admissível do solo com resultado em Kgf/cm ² , método 1. ...	17
Equação 3: Cálculo para tensão admissível do solo com resultado em Kgf/cm ² , método 2. ...	17
Equação 4: cálculo da área da base da sapata.....	20
Equação 5: cálculo para o lado A estimado.....	21
Equação 6: cálculo para B estimado.....	21
Equação 7: Área da sapata adotada.	21
Equação 8: Condição para h	22
Equação 9: Cálculo para P_k	23
Equação 10: Cálculo para volume.....	23
Equação 11: Calculo para verificação do solo.....	23
Equação 12: cálculo verificação do concreto.	23
Equação 13: Área de aço.	24
Equação 14: Número de barras.....	24
Equação 15: Espaçamento entre barras.	25
Equação 16: Carga de ruptura.	26
Equação 17: Cálculo para resistência na ponte da estaca.....	26
Equação 18: Cálculo para resistência de atrito lateral da estaca.	27
Equação 19: Cálculo para resistência de ponta.	27
Equação 20: Cálculo atrito lateral unitário.....	27
Equação 21: Cálculo atrito lateral e resistência de ponta.	28
Equação 22: Equação redefinida para cálculo capacidade de carga na ponta e Tensão media da seção transversal.....	29
Equação 23: Equação redefinida de carga de ruptura.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

m – Metro

*m*² - Metros quadrados

*m*³ - Metros cúbicos

cm – Centímetro

*cm*² - Centímetros quadrados

*cm*³ - Centímetros cúbicos

mm – Milímetros

SPT – Standard penetration test

Kgf – Quilograma força

Fck – Resistência característica do concreto a compressão

Tf – Tonelada força

MPa – Mega Pascal

KPa – Quilo Pascal

GPa – Giga Pascal

Ø – Diâmetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. JUSTIFICATIVA	14
4. REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1 INVESTIGAÇÕES DO SOLO	15
4.1.1 MÉTODOS PARA INVESTIGAÇÃO DO SOLO	15
2.2 TIPOS DE FUNDAÇÕES	18
2.2.1 FUNDAÇÕES RASAS	18
2.2.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS	19
2.3 DIMENSIONAMENTO	19
2.3.1 FUNDAÇÃO RASA DO TIPO SAPATA ISOLADA.....	19
2.3.2 FUNDAÇÃO PROFUNDA DO TIPO ESTACA ESCAVADA	25
3. METODOLOGIA.....	30
3.1 CLASSIFICAÇÕES DA PESQUISA	30
3.2 PLANEJAMENTO	30
3.3 OBTENÇÕES DOS DADOS	31
4. RESULTADOS	32
4.1 SONDA GEM DO SOLO	32
4.2 LEVANTAMENTO ESTRUTURAL.....	33
4.3 DIMENSIONAMENTO	34
4.3.1 DIMENSIONAMENTO DA FUNDAÇÃO SUPERFICIAIS TIPO SAPATA.....	34
4.3.1.1 ESTUDO DO PILAR P1	38
4.3.1.2 ESTUDO DO PILAR P12	39
4.3.2 DIMENSIONAMENTO DA FUNDAÇÃO PROFUNDA TIPO ESTACA ESCAVADA	39
4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE	41

5. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS.....	46

1. INTRODUÇÃO

Fundações são todos os elementos estruturais que estão sob o nível do solo e possuem a função de transmitir o peso da construção para o mesmo, oferecendo estabilidade a ela. Devido tamanha importância as fundações tenham para uma obra, o conhecimento de suas propriedades e do solo a ser locada se torna crucial para seu sucesso (VELLOSO; LOPES, 2011).

Sendo compatíveis com a sua acomodação no solo e com a estrutura disposta a ela, a fundação ainda deve ter uma profundidade cabível a fim de evitar problemas com construções de sua vizinhança e se assegurar em caso de ruptura do solo (ARAÚJO, 2010).

De modo geral, fundações se separam em dois grupos: profundas e rasas. As fundações profundas, como sua denominação indica, são aquelas que exigem o alcance de um nível a ser escavado que satisfaça a reação de cargas, geralmente onde o solo tem características pouco resistentes. Estacas são exemplos de fundação profunda, dispostas no solo por perfuração ou cravação. Fundações rasas, de forma contrária as profundas, são aderidas em solos com maior resistência assim necessitando de pouca escavação para oferecer resistência chegando a dispensar a utilização de maquinário para tal etapa. Situadas bem próximo a superfície transmitindo os esforços de forma distribuída. Os blocos e sapatas representam este grupo (ALONSO, 2010).

Teremos como alvo deste trabalho o comparativo do uso de elementos desses dois grupos, onde as estacas representam o grupo das fundações profundas e as sapatas ao grupo de fundações rasas.

Ambas são confeccionadas em concreto armado, porém as suas atuações no solo ocorrem de maneira contrária, variando seus desempenhos em conformidade a composição do solo. Para adaptar em certos casos, os elementos em questão podem variar seus tipos, atendendo as mais diversas situações de uma construção (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em 5 capítulos, estando brevemente mencionados a serem descritos.

Neste primeiro capítulo, apresenta-se a introdução do trabalho, constando de considerações.

No segundo apresenta-se uma breve revisão bibliográfica sobre conceitos e critérios no presente trabalho.

No terceiro é feita a metodologia, onde são mostrados os cálculos para dimensionamento das sapatas e estacas e no quarto uma solução para estes dois tipos.

O quarto é visto o como a apresentação dos resultados obtidos a partir do laudo de sondagem cujo qual terreno se dimensionado as fundações.

No quinto e último, é apresentado a conclusão para fim comparativo dos tipos e assim viabilizando o qual é melhor para o caso abordado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por finalidade a elaboração de um estudo comparativo entre fundação rasa do tipo sapata e fundação profunda do tipo estaca para uma residência unifamiliar, destacando qual delas é a mais viável por custo e tempo, considerando um mesmo perfil geotécnico e mesma edificação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Apresentar o comparativo custo econômico em relação a materiais utilizados para fundações do tipo sapata isolada e estaca para o mesmo perfil geotécnico.
- b) Levantamento de custo de materiais.
- c) Viabilizar a melhor escolha relação custo material.

3. JUSTIFICATIVA

Tamanha seja a importância da fundação em uma obra, Velloso e Lopes (2011) destacam a importância do conhecimento do subsolo cujo qual irá manter a estrutura com segurança para que então com suas propriedades se escolha o melhor tipo de fundação que reaja congruentemente a suas cargas.

Visto que em grande parte das construções em nossa cidade são definidas simplesmente pelo método que o construtor aprendeu a fazer ou pelo conhecimento da fundação da obra vizinha ignorando o fato que o solo pode variar drasticamente em pouca extensão territorial.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Estudos, métodos e técnicas serão abordados com o intuito de mostrar o uso de fundações rasas e profundas sendo definido para um mesmo tipo de solo com laudo de sondagem, salientando o tipo sapata e estaca escavada e então o comparativo para a viabilidade de execução por custo de material, para uma casa construída sobre estes elementos estruturais.

4.1 INVESTIGAÇÕES DO SOLO

Para projetar uma fundação, a obtenção de informações do solo é indispensável quando se visa obter o menor custo, garantindo a segurança da estrutura. Geralmente as investigações só são usadas em obras de grande porte onde a exigência de deste serviço irá trazer a certeza do tipo de fundação a ser usada e evitando gastos desnecessários em superdimensionamento ou problemas futuros, já em obras menores os quesitos para escolha do tipo de estrutura que irá transmitir esforços para o solo são a aparência superficial do solo, afinidade do construtor com apenas um tipo de fundação e tipos utilizados em obras vizinhas.

A investigação do solo visa trazer informações para o projetista por parâmetros, de que forma o solo se comporta com tal força aplicada nele, bem como tipologia e presença de lençóis freáticos (VELLOSO; LOPES, 2011).

4.1.1 MÉTODOS PARA INVESTIGAÇÃO DO SOLO

Atualmente o mercado nacional oferta várias opções de sondagem do solo, embora ainda sejam pouco usadas por terem um custo elevado ou não serem conhecidas fora dos grandes centros construtores. Alguns exemplos são:

- Sondagem a trado
- Sondagem rotativa
- Indução magnética
- Galerias
- Sondagem a percussão

Sendo a última o meio de se obter informações do subsolo mais conhecido e disponível em nossa região, este trabalho irá utiliza-lo como exemplo para que com seus resultados do laudo obtido de um lote na região de Goianésia, tenhamos parâmetros e valores para se viabilizar qual o tipo de fundação melhor se adaptará a ele (VELLOSO; LOPES, 2011).

Podendo vencer solos de vários tipos e níveis de água, a sondagem por percussão se aprofunda no solo por meio de golpes. O seu funcionamento é proveniente de sequentes impactos de um trépano movimentado por uma roldana que por sua vez é sustentada por um tripé.

O SPT (*Standard Penetration Test*), ou ensaio de penetração padrão, por sua tradução direta, segundo a NBR 6484:1980, é o meio de sondagem a percussão executado a cada 1 m de profundidade avançado, constituído por um amostrador que possui o papel de coletar amostras do solo profundo a fim de se obter informações das características da constituição do solo, uma haste para ser o meio de transição do impacto para a extremidade inferior do equipamento, um guia para canalizar a trajetória de um peso normatizado com 65 kgf que é içado por uma roldana fixada em um tripé para sustentação, podendo assim por meio da relação entre a quantidade de golpes deferidos e o avanço do amostrador fornecer informações do solo investigado (VELLOSO; LOPES, 2011).

Ainda, sua execução sendo normatizada pela norma acima, rege que o peso de 65 kgf caia sobre a ponta da haste de uma altura de 75 cm. Realiza-se a contagem de golpes necessárias para a cravação dos 45 cm finais de cada metro escavado, separando em 3 etapas de 15 cm cada. Exemplificando, suponhamos que gastemos 1 golpe para penetrar 15 cm; 3 golpes para penetrar mais 15 cm ou até a cota 30cm e 5 golpes para chegar aos 15 cm finais, ou seja, na cota 45cm. Esses parâmetros indicam a resistência a penetração do solo de acordo com o somatório das 2 últimas etapas denominado $nSPT$, assim podendo classificar o solo pelo quadro 1:

Quadro 1 - Classificação dos solos quanto a resistência a penetração

SOLO	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO (nSPT)	DESIGNAÇÃO
AREIA E SILTE ARENOSO	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
ARGILA E SILTE ARGILOSO	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	> 19	Dura (o)

Fonte: NBR 7250 (1982)

A NBR 6122:2010 apresenta 3 equações para se encontrar a tensão admissível do solo por métodos empíricos a partir do nSPT médio que nada mais é que a média encontrada dos valores de nSPT na mesma cota dos furos efetuados, sendo apresentadas nas equações 1, 2 e 3:

Equação 1: Cálculo para tensão admissível do solo com resultado em MPa.

$$\sigma_s = 0,02 \times NSPT_{\text{médio}}(\text{MPa})$$

Equação 2: Cálculo para tensão admissível do solo com resultado em Kgf/cm², método 1.

$$\sigma_s = NSPT_{\text{médio}}/5 \left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

Equação 3: Cálculo para tensão admissível do solo com resultado em Kgf/cm², método 2.

$$\sigma_s = (NSPT_{\text{médio}})^{0,5} - 1 \left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

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 0,4MPa ou 4,0Kgf/cm²;
- Não fazer o uso de sapatas em solos que seja classificado como fofo ou mole, sendo N ≤ 5.

Ainda, a NBR 6484:2001 deixa clara a ordem de suspensão do ensaio onde:

O processo de perfuração por circulação de água, associado aos ensaios penetrométricos, deve ser utilizado até onde se obtiver, nesses ensaios, uma das seguintes condições:

- a) quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador-padrão;
- b) quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador-padrão; e
- c) quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador-padrão

As amostras coletadas, são enviadas ao laboratório para ensaios e teste que darão a classificação do solo em que se refere a granulometria que implica na percolação de água e composição.

Desse modo, o SPT viabiliza o tipo de fundação ideal para o solo em questão, lembrando que o custo é algo que deve ser mensurado e usado como parâmetro juntamente com o resultado do ensaio.

2.2 TIPOS DE FUNDAÇÕES

As fundações possuem o papel de transmitirem as cargas provenientes das estruturas para o solo de modo que ofereça segurança e durabilidade, sendo então necessário um tipo de solo com tensão admissível condizente com o projeto. A cota deste solo resistente é um dos parâmetros usados para determinar o tipo de fundação que será aplicado, rasa ou profunda (VELLOSO; LOPES, 2011).

2.2.1 FUNDAÇÕES RASAS

Quando a camada resistente de solo está pouco abaixo da superfície, a escolha mais indicada está compreendida no tipo de fundações rasas, sendo as que aplicam a tensão no solo de forma distribuída sendo que a profundidade em que estará disposta seja menor que o dobro de sua menor dimensão da base.

Normalmente, sua execução necessita muito trabalho manual sem exigência de qualificação, o que gera maior tempo se comparado a fundações profundas. Blocos, sapatas e radier, são claros exemplos de fundações rasas como diz a norma técnica NBR 6122 (ABNT, 2010).

2.2.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

A camada de solo resistente situando a uma profundidade maior exige-se a escolha por fundações profundas para o uso em obra, com a ideia de transmitir a carga de serviço ao terreno por resistência de ponta, onde sua base estará no nível de solo rijo. Caso haja limitações para se atingir tal camada de solo, as fundações profundas também podem disseminar a carga por resistência de fuste gerada pelo atrito lateral, trabalhando singularmente ou em conjunto com a resistência de ponta. Assim a definição de fundações profunda se dá pela profundidade ser maior que o dobro de sua menor dimensão em planta, aderindo no mínimo 3 metros.

Sendo usada com maior frequência por técnica e economia, o seu uso está associado à inferioridade da tensão admissível do solo para com ao carregamento provido da estrutura e quando as fundações rasas gerarem recalque maior que o limitado. Estacas e tubulões representam condiz a NBR 6122 (ABNT, 2010)

2.3 DIMENSIONAMENTO

2.3.1 FUNDAÇÃO RASA DO TIPO SAPATA ISOLADA

Em projetos de engenharia, se dá por dimensionamento de um elemento, a definição de suas medidas por meio de cálculos específicos para cada qual. Em nosso estudo, os dimensionamentos dos elementos de fundações serão de grande valia para nossos resultados, visto então a necessidade de uma atenção a este ponto.

O projeto estrutural de uma obra já deve estar concluído para que possa ser feito o dimensionamento da fundação, devido possuir informações necessárias para seu prelúdio. Juntamente a este projeto deve estar o laudo de sondagem que definirá o tipo de solo e suas características (ARAÚJO, 2010).

Para exemplo, usaremos uma sapata isolada com carga centrada sob um pilar de seção retangular, onde por seu projeto estrutural obtêm-se a carga de serviço (Nk) que se majorada multiplicando por 1,4 se torna Nd e se estima o peso próprio (Pk) que se somados e em seguida divididos pela tensão admissível do solo obtida pelo laudo de sondagem (σ_s). Dessa forma podemos obter a área da sapata estimada ($S_{estimado}$) na equação 4:

Equação 4: cálculo da área da base da sapata.

$$\frac{Nk + Pk}{\sigma_s} = S_{estimado}$$

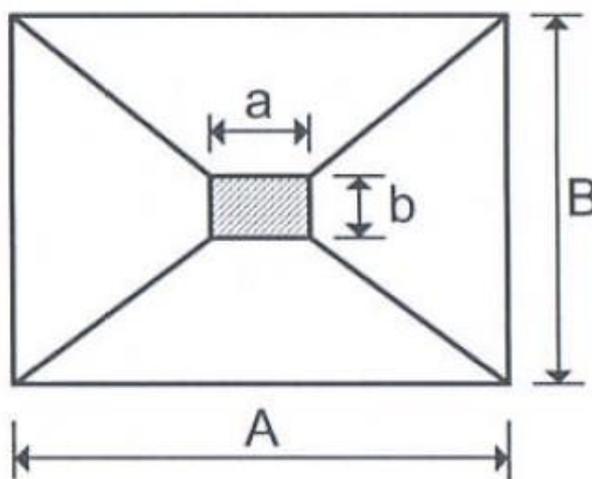
Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Sendo P_k o peso próprio estimado da sapata que é dado por 5% da carga de serviço (N_k).

Segundo a figura 1 o pilar possui as dimensões a e b obtidas no projeto estrutural e por ser retangular a sua área é dado por $ab=s$ sendo s a área de seção do mesmo, e subsequente, a área da base da sapata S será $AB=S$.

Sendo determinada a sua área $S_{estimado}$, para a dimensão estimada dos lados é importante que usemos de modo fixo o lado A da sapata paralelo ao lado a do pilar e desse modo também no outro eixo, mantendo a proporcionalidade.

Figura 1 – Planta baixa de uma sapata isolada



Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Para definir as dimensões estimadas da base da sapata utiliza-se as equações 5 e 6, conforme mostrado abaixo.

Equação 5: cálculo para o lado A estimado.

$$A \text{ estimado} = \sqrt{\frac{a}{b} S \text{ estimado}}$$

Equação 6: cálculo para B estimado.

$$B \text{ estimado} = \sqrt{\frac{b}{a} S \text{ estimado}}$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Obtendo os valores estimados da base da sapata, o aconselhável é adotar o arredondamento na ordem de 5 cm, sendo que sua menor dimensão não seja inferior a 60 cm conforme a NBR 6122:2010 exige. Por exemplo, se $A \text{ estimado}=72,89 \text{ cm}$, adotar $A=75 \text{ cm}$ e se $B \text{ estimado}=38,56 \text{ cm}$, adotar 60 cm.

Sendo então, iremos obter uma nova área para sapata (S), definido pela equação 7:

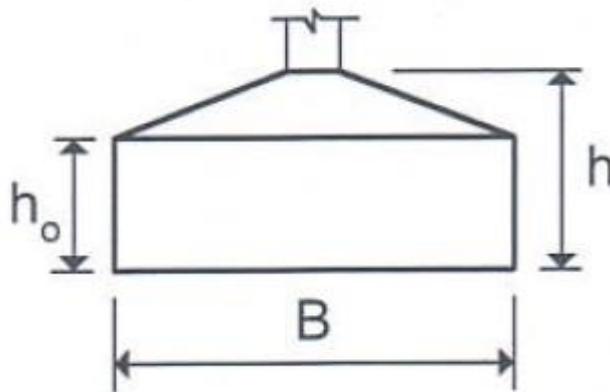
Equação 7: Área da sapata adotada.

$$A \text{ adotado} \times B \text{ adotado} = S \text{ adotado}$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Com a base dimensionada, partimos para a determinação da altura total (h). A figura 2 irá ser usada para melhor compreensão.

Figura 2 – Corte de uma sapata isolada



Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Para a obtenção do valor de h , ele deve satisfazer a equação, de tal forma que adotemos o maior valor encontrado para atendendo os lados, segundo a equação 8:

Equação 8: Condição para h .

$$h \geq \frac{A - a}{4} ; h \geq \frac{B - b}{4} e h \geq 0,6lb + 5cmh$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Milton de Araújo ainda reforça que é necessário garantir que , para que se possibilite a disposição da armadura longitudinal do elemento estrutural da parte superior da sapata, do qual lb é o comprimento básico de ancoragem definido pelo fck do concreto que varia pelo diâmetro e tipo de aço. Nosso estudo conta com a pesquisa para o aço CA-60, que é dado como mostrado no quadro 2.

Quadro 2 – Comprimento de ancoragem.

COMPRIMENTO BÁSICO DE ANCORAGEM (Lb) PARA AÇO CA-60							
Fck (Mpa)	20	25	30	35	40	45	50
Lb (cm)	44Ø	38Ø	33Ø	30Ø	28Ø	25Ø	24Ø

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

A altura h_o é compreendida da base inferior ao topo do elemento de seção retangular ou quadrado, assim definindo a altura de um paralelepípedo. Essa altura, também denominada ‘calcanhar’, é dita por $h/3$ ou 20 cm, adotando o maior caso por fator de segurança.

Já designadas as 3 dimensões da sapata, podemos calcular seu volume e então seu peso próprio, como a equação 9. Devido possuir formatos diferentes, a parte superior um prisma de base quadrada e a parte inferior um paralelepípedo, o cálculo é feito para cada elemento separado e então somado. O seu peso próprio (P_k) se define pelo volume de concreto multiplicado ao peso específico do mesmo, sendo 25 KN/m³ mostrado na equação 10.

Equação 9: Cálculo para P_k .

$$P_k = Volume \cdot Peso\ específico$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Equação 10: Cálculo para volume.

$$Volume = (A \cdot B \cdot h_o) + \frac{(A \cdot B + a \cdot b) \cdot (h - h_o)}{2}$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Para validar as dimensões obtidas, deve-se fazer a verificação desde elemento perante o solo, e ao concreto. Para verificação do solo o dimensionamento deve passar pela equação 11:

Equação 11: Calculo para verificação do solo.

$$\frac{Nk + Pk}{S\ adotado} \leq \sigma_s$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Caso o valor obtido seja maior que a tensão admissível do solo, σ_s , é necessário que a base da sapata seja aumentada.

A verificação de tensão no concreto deve atender a equação 12:

Equação 12: cálculo verificação do concreto.

$$\frac{Nd}{S\ adotado} \leq 0,20 \times f_{cd}$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Uma vez que N_d é a carga N_k multiplicado a 1,4 e FCD o mesmo que f_{ck} multiplicado também por 1,4, assim majorando para efeito de segurança. Se não passar, a solução mais viável é aumentar a seção do pilar modificando o projeto estrutural. Outra solução seria o aumento do FCK.

A área de aço possibilita a distribuição das ferragens ao longo da estrutura bem como sua bitola, onde será estipulada a sua área necessária em relação a área do elemento estrutural. A equação 13 é dada por:

Equação 13: Área de aço.

$$A_s = \frac{ND \cdot (L_s - L_p)}{6,8 \cdot (h - 5\text{cm}) \cdot \frac{A_{\text{aço}}}{1,15}}$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Sendo que:

As: Área de aço;

ND: Carga do pilar majorada (multiplicado por 1,4);

Ls: Lado da sapata;

Lp: Lado do pilar;

h: Altura da sapata.

A área de aço é feita para X e Y, sendo que Ls e Lp devem estar para o mesmo sentido para sucesso do cálculo. O valor de 6,8 pertence à fórmula. Os 5 cm se referem ao cobrimento que deve envolver a armadura de aço. O valor que substitui o espaço do aço na equação será a classificação do próprio em relação a tensão de tração em GPa.

A distribuição da armadura é feita em etapas. Primeiramente em número de barras, como no indica a equação 14:

Equação 14: Número de barras.

$$Nb = \frac{A_s}{A_b}$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

O número de barras Nb é calculado pela divisão da área de aço obtida na equação anterior pela área de aço das barras de bitolas diferentes a fim de se reduzir custos e padronizar os elementos. Para os valores quebrados de Nb, o aconselhável é o arredondamento para o próximo número acima adotando o mínimo de 3 barras.

Então definida a quantidade de barras, se calcula o seu espaçamento de acordo com a equação 15:

Equação 15: Espaçamento entre barras.

$$Espaçamento = \frac{(Ls - 10)}{Nb} - \frac{\emptyset}{10}$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

O espaçamento depende da orientação cuja qual esta sendo dimensionado, o Ls . Para obter o espaçamento em centímetros o diâmetro da barra deve estar expresso em mm . Assim como o número de barras, para valores quebrados do espaçamento, deve haver arredondamento, porém para o próximo numero inteiro abaixo sendo que por otimização de execução o espaçamento mínimo seja de 4 cm e o máximo de 20 cm, isso podendo variar nas diversas espessuras de barras.

Conclui-se o dimensionamento de sapatas assim que a armadura fica dispostas nas duas direções.

2.3.2 FUNDAÇÃO PROFUNDA DO TIPO ESTACA ESCAVADA

Fundações profundas são necessárias quando o solo resistente se encontra muito abaixo da superfície, com o auxílio de maquinários específicos e possível perfurar diferentes tipos de solos como argiloso, arenoso e siltoso entre outros com o objetivo de se encontrar um solo com tensões iguais ou superiores a solicitação de projeto.

Além do uso de máquinas existem também ferramentas que possibilita a perfuração manual de estacas porem exige muito mais tempo para execução do que máquinas e limitado a pequenas profundidades.

Para determinar a profundidade e a quantidade de estacas necessárias para a fundação da estrutura e necessário que se faça um cálculo para Carga de Ruptura.

Para o cálculo de estacas escavadas utilizaremos o cálculo de Carga de Ruptura elaborado por Aoki-Velloso que propõem a equação onde são somadas as cargas resistidas tanto na ponta quando nas laterais da estaca pela equação 16:

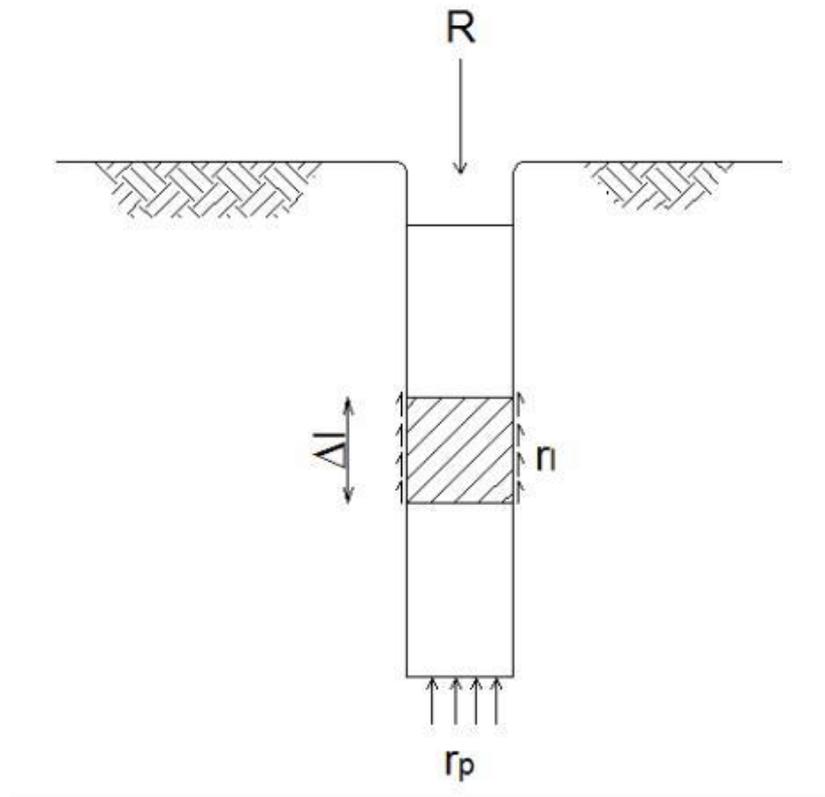
Equação 16: Carga de ruptura.

$$R = R_p + R_l$$

Fonte: ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3. ed.

Utilizando os métodos propostos por Aoki-Velloso para determinar a Carga de Ruptura R e necessário que se determine a Resistencia de Ponta R_p , e Resistencia de atrito Lateral R_l ou resistência do fuste. A figura 3 exemplifica o corte de uma estaca.

Figura 3: Corte lateral de uma estaca.



Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso

Para determinar a carga que e resistida na ponta (R_p) utilizaremos a equação 17:

Equação 17: Cálculo para resistência na ponte da estaca.

$$R_p = r_p \cdot A_p$$

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975)

Onde:

r_p = Capacidade de carga do solo onde se encontra a ponta da estaca.

A_p = Área da ponta da estaca.

Para o cálculo de atrito lateral (R_l) se utilizava a seguinte equação 18:

Equação 18: Cálculo para resistência de atrito lateral da estaca.

$$R_l = U \cdot \sum_1^n (r_l \cdot \Delta l)$$

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975)

Δl = Espessura da camada.

U = Perímetro da seção transversal do fuste (O fuste e a parte da coluna entre o capitel e a base).

r_l = Tensão média de adesão ou de atrito lateral na camada de espessura Δl .

Os valores de r_p e r_l podem ser calculados a partir do atrito lateral unitário f_c e da resistência de ponta q_c que são obtidos através de uma análise do estudo de solo, como indicam as equações 19 e 20.

Equação 19: Cálculo para resistência de ponta.

$$r_p = \frac{q_c}{F1}$$

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975)

Equação 20: Cálculo atrito lateral unitário.

$$r_l = \frac{f_c}{F2}$$

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975).

Também é necessário que se tenha valores de dois parâmetros $F1$ e $F2$ que são tabelados e determinados de acordo com o tipo de estaca a ser utilizados como demonstra no quadro 3.

Quadro 3: Valores de F1 e F2 para cada tipo de estaca.

TIPO DE ESTACA	F1	F2
FRANKI	2,50	2 F1
METÁLICA	1,75	2 F1
PRÉ-MOLDADA	1+D/0,80	2 F1
ESCAVADA	3,00	2 F1
RAIZ, HÉLICE CONTINUA E ÔMEGA	20,00	2 F1

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975).

Caso o valor de f_c não for medido ele poderá ser correlacionado com a resistência de ponta q_c , esse valor pode ser calculado de acordo com a equação 21, com os dados fornecidos pelo índice de resistência a penetração N obtidos através do ensaio do SPT (standard penetration test).

Equação 21: Cálculo atrito lateral e resistência de ponta.

$$f_c = \alpha \cdot q_c \quad q_c = K \cdot N$$

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975)

Os valores para K e α são obtidos através de tabelas conforme demonstra o quadro 4 a seguir:

Quadro 4: Utilizada para determinar valores de K e α

TIPO DE SOLO	K (MPa)	α (%)
AREIA	1,00	1,40
AREIA SILTOSA	0,80	2,00
ARIA SILTO-ARGILOSA	0,70	2,40
AREIA ARGILOSA	0,60	3,00
AREIA ARGILO-SILTOSA	0,50	2,80
SILTE	0,40	3,00
SILTE ARENOSO	0,55	2,20
SILTE ARENOSO ARGILOSO	0,45	2,80
SILTE ARGILOSO	0,23	3,40
SILTE ARGILO-ARENOSO	0,25	3,00
ARGILA	0,20	6,00
ARGILA ARENOSA	0,35	2,40
ARGILA ARENO-SILTOSA	0,30	2,80
ARGILA SILTOSA	0,22	4,00
ARGILA SILTO-ARENOSA	0,33	3,00

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975)

Assim podemos então reescrever r_p e r_l pela equação 22 da seguinte forma:

Equação 22: Equação redefinida para cálculo capacidade de carga na ponta e Tensão media da seção transversal.

$$r_p = \frac{K \cdot N_p}{F1} \quad r_l = \frac{\alpha \cdot K \cdot N_l}{F2}$$

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975)

Com isso pode definir a equação para Carga de Ruptura de uma forma direta utilizando os valores encontrados para r_p e r_l a modo da equação 23:

Equação 23: Equação redefinida de carga de ruptura.

$$R = \frac{K \cdot N_p}{F1} \cdot A_p + \frac{U}{F2} \cdot \sum_1^n (\alpha \cdot K \cdot N_l \cdot \Delta l)$$

Fonte: Adaptada de Aoki-Velloso(1975).

3. METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo dimensionar dois tipos diferentes de fundação com o intuito de que se possa quantificar o consumo de material que cada uma delas necessita para a execução e comparar o custo econômico das mesmas.

3.1 Classificações da pesquisa

Esta é uma pesquisa que se classifica por exploratória, pois a partir da criação de um projeto estrutural foram geradas as cargas em cada pilar em seguida elaborar o dimensionamento das fundações de interesse, utilizando os métodos escolhidos e obedecendo as normas exigidas e citadas neste trabalho.

3.2 Planejamento

Primeiramente será feito o dimensionamento de sapatas utilizando o método presente na literatura de Milton de Araújo levando em consideração as dimensões mínimas de aço e concreto estabelecidas pela NBR 6122:2010, os valores serão contabilizados e comparados com o próximo método.

Para o dimensionamento das estacas utilizaremos o método proposto por Aoki-Veloso demonstrado no referencial teórico considerando tanto os cálculos quanto aos índices adotados para o solo.

Para este tipo de fundações também será levado em consideração dimensões mínimas regidas pela NBR 6122:2010.

Para a análise de viabilidade levaremos em consideração o volume de concreto necessário e quantidade de peso em aço sendo que ambos terão o mesmo FCK para concreto e o mesmo tipo de aço.

O custo dos materiais serão obtidos pela planilha orçamentária TCPOweb com base nos valores encontrados para região de Goiânia consultados em Dezembro de 2017.

3.3 Obtenções dos dados

Através da revisão bibliográfica pode-se determinar que para qualquer dimensionamento de qualquer tipo de fundação é necessário que se tenha a tensão do solo e as cargas que os pilares transmitem para as fundações.

Por meio de um projeto arquitetônico é possível determinar dimensões da estrutura e quantificá-las em peso para então determinar as cargas que os pilares serão submetidos.

O laudo de sondagem foi cedido pela empresa Vieira Braga que permite determinar a tensão do solo em uma determinada área.

4. RESULTADOS

Para uma análise mais precisa possível utilizaremos um laudo de sondagem obtido através da empresa Vieira Braga para determinar a tensão do solo e então dimensionar os tipos de fundação.

Com o laudo de sondagem em mãos e o projeto estrutural é possível dimensionar as fundações tanto tipo sapata quanto estaca. Além dos métodos escolhidos para o dimensionamento, também será levado em consideração os dimensionamentos mínimos estabelecidos pelas normas técnicas citadas.

A pesquisa está dividida nas seguintes etapas: na primeira foi escolhido um projeto arquitetônico de uma casa unifamiliar com área de 67,20 m², em seguida foi feito o projeto estrutural definindo assim as cargas de cada pilar da estrutura.

Após definida todas as cargas da estrutura utilizou-se do laudo de sondagem para determinar a tensão do solo e qual a melhor camada para a acomodação das fundações, pode-se então dimensionar todas as fundações utilizando os dois métodos propostos, sapata isolada e estaca determinando volumes de concreto e área de aço.

Por fim, com os resultados encontrados pode-se determinar qual dos dois tipos de fundação será o mais economicamente viável para este tipo de construção em específico.

Os valores então quantificados podem ser comparados em valor real (moeda) e comparados um com o outro.

4.1 SONDAGEM DO SOLO

A necessidade do laudo de sondagem se torna de extrema importância para a escolha e execução do tipo de fundação, quando obtidos valores que demonstram a resistência a de penetração e o nível d'água.

Para nosso estudo foi necessária a obtenção de um laudo de sondagem de algum lote na cidade de Goianésia, para que assim fizéssemos o dimensionamento de acordo com as características do solo da região afim de conseguir o que buscamos como conclusão, deste modo fomos ao escritório da empresa Vieira Braga Engenharia e Consultoria, empresa especializada em Geotécnica, Segurança de Barragens, Planos de Ações Emergenciais, Fundações, Contenções, Sondagem de Solos entre outras áreas de engenharia, localizado na

rua 28 nº402 que nos forneceu uma cópia de um documento com informações de três furos e sua localização, que foram realizados em um lote do condomínio Vivale, estando disponível no anexo A, obedecendo a NBR 8036 em que determina 1 furo a cada 200m² de projeção da construção até 1200m², caso a área esteja compreendida entre 1200m² e 2400m² seja realizado mais 1 furo para cada 400m² que exceder, em caso que exceder 2400m² a quantidade de furos será determinada de acordo com o plano particular da obra. Não foi revelada a localização exata por regras internas da empresa.

4.2 LEVANTAMENTO ESTRUTURAL

O projeto estrutural deste trabalho se deu após a criação arquitetônica, que se encontra no anexo B, e conta com laje maciça, vigas e pilares de concreto armado sendo apenas pavimento térreo. Seus dados foram obtidos com o auxílio do software EBERICK V8, obedecendo a técnicas e normas para dimensionamento, tal qual como a seção mínima para os elementos estruturais usados. Os valores das cargas de cada pilar são o ponto que mais gera interesse neste projeto estrutural, pois eles recebem as cargas providas das vigas que por sua vez sustentam a laje e as dissipam para o solo. De acordo com estes valores o dimensionamento das fundações poderá assim ser iniciado. O quadro 5 apresenta as cargas resultantes de cada pilar e o projeto estrutural conta com localização e sentido dos pilares e estão representados com clareza no anexo C.

Quadro 5: Carga e dimensões dos pilares

PILAR	CARGA TOTAL (tf)	DIMENSÕES (cm)
P1	3,8	15 X 25
P2	3,8	15 X 25
P3	2,7	15 X 25
P4	5,8	15 X 25
P5	4,4	15 X 25
P6	5,5	15 X 25
P7	4,4	15 X 25
P8	3,3	15 X 25
P9	5,4	15 X 25
P10	4,6	15 X 25
P11	4,4	15 X 25
P12	6,3	15 X 25
P13	4,3	15 X 25
P14	3,1	15 X 25
P15	5,4	15 X 25
P16	3,5	15 X 25

Fonte: Software EBERICK V8.

4.3 DIMENSIONAMENTO

4.3.1 DIMENSIONAMENTO DA FUNDAÇÃO SUPERFICIAIS TIPO SAPATA

O dimensionamento de fundações rasas foi gerado tal como o item 2.3 descreve. A modo de uso do laudo de sondagem efetuado em 3 furos, a tensão admissível encontrada foi de 2Kgf/cm², ou 0,2MPa por utilização da média do índice de penetração na cota em que as sapatas foram acomodadas, sendo pelo método empírico citado na NBR 6122:2010.

As sapatas foram apoiadas na cota -2,0m, sendo o nível da viga baldrame 0m, e seu dimensionamento teve o fim específico para se comparar com o outro tipo de fundação se levando em consideração o índice de penetração do solo para obtenção do nSPT e a classificação do material como parâmetro de tensão do solo.

Assim, o dimensionamento de sapata ocorreu deste modo para o pilar P1:

Usa-se a equação 1, onde para achar a área estimada da base da sapata em cm^2 , deve-se converter a carga de tf para Kn , o multiplicando por 10, e a tensão do solo de MPa para kN/cm^2 se dividindo por 10.

$$\frac{(3,8tf \cdot 10) + (3,8tf \cdot 10 \cdot 0,05)}{0,2MPa/10} = 1995 \text{ cm}^2$$

Em seguida, se calcula os lados da sapata pela área encontrada na seção anterior, para o lado A e o lado B respectivamente.

$$34,60 \text{ cm} = \sqrt{\left(\frac{15cm}{25cm} \cdot 1995cm^2\right)}; \quad 57,66 \text{ cm} = \sqrt{\frac{25 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} \cdot 1995 \text{ cm}^2}$$

Como dito pela NBR 6122:2010, as dimensões laterais não devem exceder a 60 cm, então os lados dessa sapata são adotados como $A = 60cm$ e $B = 60cm$ conseqüentemente gerando uma nova área para a sapata.

$$60 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm} = 3600 \text{ cm}^2$$

Sua altura é definida pela equação 4, a qual terá 3 resultados sendo adotado o maior:

$$11,25 \text{ cm} \geq \frac{60cm - 15cm}{4} ;$$

$$8,75 \text{ cm} \geq \frac{60cm - 25cm}{4} e$$

$$27,8 \text{ cm} \geq 0,6 \cdot 38 + 5cm \text{ então } h = 30 \text{ cm}$$

Já como especificado neste trabalho pela tabela 0 o valor de L_b dependerá do f_{ck} do concreto, neste caso de 25 MPa e do tipo de aço, CA-60. Os valores para as dimensões da sapata devem ser arredondados na ordem de 5 cm. Adotando então para h a altura de 30 cm.

A altura do calcanhar, h_o , é definida por 20 cm ou $1/3$ da altura h , adotando o maior valor.

$$10 \text{ cm} = \frac{30}{3} \text{ ou } 20 \text{ cm}$$

$$h_o = 20 \text{ cm}$$

Para se verificar as tensões no solo e no concreto, é necessário o conhecimento do valor de PK real, cujo qual é encontrado pela multiplicação do volume de concreto pelo peso específico do mesmo.

$$Volume = (A . B . h_o) + \frac{(A . B + a . b) . (h - h_o)}{2}$$

$$91875cm^3 = (60cm . 60cm . 20cm) + \frac{(60cm . 60cm + 15cm . 25cm) . (30cm - 20cm)}{2}$$

$$Pk = Volume . Peso específico$$

$$2,30kN = 91875cm^3 . 25kN/m^3 . 10^{-6}$$

Seu volume é feito pelo somatório dos dois elementos tridimensionais que compõem a sapata, o paralelepípedo e o prisma de base retangular ou quadrada e o peso específico para concreto é de 25kN/m³. Existe a necessidade de se multiplicar o resultado de PK por 10⁻⁶ para que o resultado esteja em kN.

Com PK obtido as verificações podem ser calculadas pelas equações 5 e 6.

Para o solo:

$$\frac{38 + 2,3}{3600cm^2} \leq 0,02kN/cm^2$$

$$0,011kN/cm^2 \leq 0,02kN/cm^2$$

Para o concreto:

$$\frac{38.1,4}{375 cm^2} \leq 0,20 \times \frac{2,5}{1,4}$$

$$0,14 \leq 0,36$$

Após os a conclusão do dimensionamento, é calculado a área de aço:

Para x

$$0,2699 cm^2/m = \frac{53,2 . (60cm - 15cm)}{6,8 . (30cm - 5cm) . \frac{60}{1,15}}$$

Para y

$$0,2099 cm^2/m = \frac{53,2 . (60cm - 25cm)}{6,8 . (30cm - 5cm) . \frac{60}{1,15}}$$

Logo em seguida é feita a distribuição da ferragem pelas equações 14 e 15 que efetuada em planilha gera para direção X e Y respectivamente:

Quadro 6: Distribuição de armadura em X.

ϕ (mm)	Ab (cm ²)	Nb	Nb Adotado	ESPAÇAMENTO	ESPAÇAMENTO ADOTADO	SITUAÇÃO
5,0	0,196	1,377101	1	49,5	49	ERRO
6,3	0,312	0,865102	1	49,37	49	ERRO
8,0	0,503	0,536604	1	49,2	49	ERRO
10,0	0,785	0,343837	1	49	49	ERRO
12,5	1,227	0,219977	1	48,75	48	ERRO

Fonte: Autores (2017).

Quadro 7: Distribuição de armadura em Y.

ϕ (mm)	Ab (cm ²)	Nb	Nb Aotado	ESPAÇAMENTO	ESPAÇAMENTO ADOTADO	SITUAÇÃO
5,0	0,196	1,071078	2	24,5	24	ERRO!
6,3	0,312	0,672857	1	49,37	49	ERRO!
8,0	0,503	0,417359	1	49,2	49	ERRO!
10,0	0,785	0,267429	1	49	49	ERRO!
12,5	1,227	0,171093	1	48,75	48	ERRO!

Fonte: Autores (2017).

O número de barras gerado foi inferior ao mínimo de 3 unidade para X e para Y. Logo então adota-se 3 para barras para a barra de menor diâmetro já que a exigência de aço foi mínima. Após a alteração na planilha em X e Y respectivamente se gera:

Quadro 8: Distribuição de armadura em X com Nb otimizado.

ϕ (mm)	Ab (cm ²)	Nb	Nb Adotado	ESPAÇAMENTO	ESPAÇAMENTO ADOTADO	SITUAÇÃO
5,0	0,196	1,377101	3	16,16666667	16	OK
6,3	0,312	0,865102	1	49,37	49	ERRO
8,0	0,503	0,536604	1	49,2	49	ERRO
10,0	0,785	0,343837	1	49	49	ERRO
12,5	1,227	0,219977	1	48,75	48	ERRO

Fonte: Autores (2017).

Quadro 9: Distribuição de armadura em Y com Nb otimizado.

ϕ (mm)	Ab (cm ²)	Nb	Nb Aotado	ESPAÇAMENTO	ESPAÇAMENTO ADOTADO	SITUAÇÃO
5,0	0,196	1,071078	3	16,16666667	16	OK
6,3	0,312	0,672857	1	49,37	49	ERRO!
8,0	0,503	0,417359	1	49,2	49	ERRO!
10,0	0,785	0,267429	1	49	49	ERRO!
12,5	1,227	0,171093	1	48,75	48	ERRO!

Fonte: Autores (2017).

Se finaliza o dimensionamento da sapata sob o pila P1 gerando uma sapata de 60cm x 60cm de base, altura total de 30cm, altura de calcanhar 10cm e distribuição de aço iguais nas duas direções de 3 barras com diâmetro de 5 mm com 16 cm de espaçamento entre elas, podendo ser transcrito como 3Ø5mmc/16cm.

O quadro 10 mostra o dimensionamento para as todas as sapatas.

Quadro 10: Dimensionamento para as demais sapatas.

Pilar	Lados (X,Y)	H (cm)	H _o (cm)	Volume de Concreto (cm ³)	Asx (cm ² /m)	Asy (cm ² /m)	Distribuição da armadura na direção X	Distribuição da armadura na direção Y
P1	60 x 60	30	20	91875	0,2699	0,2099	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/16cm
P2	60 x60	30	20	91875	0,2699	0,2099	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/16cm
P3	60 x 60	30	20	91875	0,1918	0,1492	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/16cm
P4	75 x 60	30	20	114375	0,4577	0,4120	4Ø5mm c/15cm	4Ø5mm c/12cm
P5	60 x 65	30	20	99375	0,3125	0,2778	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/17cm
P6	70 x 60	30	20	106875	0,3907	0,3907	4Ø5mm c/14cm	4Ø5mm c/12cm
P7	60 x 65	30	20	99375	0,3125	0,2778	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/17cm
P8	60 x 60	30	20	91875	0,2344	0,1823	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/16cm
P9	60 x70	30	20	106875	0,3836	0,3836	4Ø5mm c/12cm	4Ø5mm c/12cm
P10	60 x 65	30	20	99375	0,3267	0,2904	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/17cm
P11	60 x 65	30	20	99375	0,3125	0,2778	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/17cm
P12	75 x 60	30	20	114375	0,4972	0,4475	4Ø5mm c/15cm	4Ø5mm c/12cm
P13	60 x 65	30	20	99375	0,3054	0,2715	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/17cm
P14	60 x 60	30	20	91875	0,2202	0,1712	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/16cm
P15	70 x 60	30	20	106875	0,3836	0,3836	4Ø5mm c/14cm	4Ø5mm c/12cm
P16	60 x 60	30	20	91875	0,2486	0,1934	3Ø5mm c/16cm	3Ø5mm c/16cm

Fonte: Autores (2017).

4.3.1.1 ESTUDO DO PILAR P1

O pilar P1 e um pilar de canto como pode ser visto no anexo C, possui dimensões de 15x25 com carga total considerando a carga permanente e sobrecarga e de 3,8 tf. A utilização do aço CA60 foi necessária, pois no mercado não se encontra outro tipo de aço para barras de

5.0mm. Para a direção x e y o espaçamento é de 16 cm devido a sapata ter dimensões mínimas estabelecidas por norma de 60x60 cm.

4.3.1.2 ESTUDO DO PILAR P12

O pilar P12 é um pilar entre os quartos e o hall, com seção 15x25 mínima estabelecida por norma e carga total de 6,3 tf e o pilar com maior carga. Com dimensões 75x60 cm possui espaçamento das barras de 15 cm com 4 barras de 5.0mm na direção x, o mesmo que para a direção y.

4.3.2 DIMENSIONAMENTO DA FUNDAÇÃO PROFUNDA TIPO ESTACA ESCAVADA

O dimensionamento de fundações profundas foi gerado tal como o item 2.4 descreve. A modo de uso do laudo de sondagem efetuado em 3 furos, utilizou-se do que obteve uma menor média nos primeiros três metros para que as fundações possam ser acomodadas na profundidade mínima exigida pela NBR 6122:2010.

As estacas foram apoiadas a partir da cota -3,0m, sendo o nível da viga baldrame 0m, e seu dimensionamento teve o fim específico para se comparar com o outro tipo de fundação se levando em consideração o índice de penetração do solo para obtenção do NSPT e a classificação do material como parâmetro de tensão do solo.

Assim, o dimensionamento da estaca para o pilar P1 utilizando o método Aoki-Velloso pode ser escrito da seguinte forma:

$$R = R_p + R_l$$

ou

$$R = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_1^n (\alpha \cdot K \cdot N_l \cdot \Delta l)$$

Para que se possa determinar valor de R primeiramente é necessário que se calcule separadamente R_p e R_l :

$$R_p = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p$$

R_p a resistência na ponta, para os cálculos alguns valores foram obtidos por tabela de acordo com o tipo de solo e números dados pelo laudo de sondagem onde:

$F_1=3,0$ (valor tabelado para estaca escavada)

$N_p=12$ (número de golpes na cota da ponta da estaca)

$k=0,22\text{Mpa}$ ou 220Kpa (valor tabelado para argila siltosa)

$$R_p = \frac{220 \cdot 12}{3,0} \cdot 0,07$$

$$R_p = 62,03 \text{ KN}$$

Para R_l a equação será calculada de forma acumulada para cada metro de estaca cravada no solo:

$$R_l = \frac{U}{F_2} \cdot \sum_1^n (\alpha \cdot K \cdot N_l \cdot \Delta l)$$

Onde: $U=3,2,1$.(para cada metro)

$\alpha=4\%$ (valor tabelado para argila siltosa)

$K=220\text{Kpa}$ (valor tabelado para argila siltosa)

$N_l=10,33$ (media de golpes da cota 0 a -3m)

$\Delta l=30\text{cm}$ (Espessura da camada)

$$R_l = \frac{3}{6} \cdot (0,04 \cdot 220 \cdot 10,33 \cdot 0,3) + \frac{2}{6} \cdot (0,04 \cdot 220 \cdot 10,33 \cdot 0,3) +$$

$$\frac{1}{6} \cdot (0,04 \cdot 220 \cdot 10,33 \cdot 0,3)$$

$$R_l = 27,27 \text{ KN}$$

Sendo assim pode calcular o valor final de R:

$$R = 62,03 + 27,27 = 89,03\text{KN}$$

Desse modo houve dimensionamento para as demais estacas considerando todas as camadas antes de se chegar a que a estaca se apoia e gera a resistência de ponta.

O quadro 11 apresenta os valores encontrados por:

Quadro 11: Dimensionamento para as demais sapatas.

CARGAS DE RESISTENCIA ADMISSÍVEL PELA ESTACA									
PROFUNDIDADE (m)	K (Kpa)	α	F1	F2	Rp NA CAMADA (Kn)	R1 POR METRO (Kn)	R1 ACUMULADA (Kn)	R TOTAL (Kn)	P adm (Kn)
1	230	0,034	3	6	54,19	12,28	12,28	66,48	33,24
2	230	0,034	3	6	48,77	11,06	23,34	72,11	36,06
3	230	0,034	3	6	65,03	14,74	38,08	103,11	51,56
4	220	0,04	3	6	51,84	13,82	51,9	103,74	51,87
5	220	0,04	3	6	134,77	35,94	87,84	222,62	111,31
6	600	0,03	3	6	325,15	65,03	152,87	478,03	239,01
7	220	0,04	3	6	155,51	41,47	194,34	349,85	174,93

Fonte: Autores (2017).

Para o conjunto de pilares P1, P2, P3, P5, P7, P8, P10, P11, P13, P14 e P16 utilizou-se a profundidade mínima de 3m, estabelecida pela NBR 6122:2010 para fundações profundas. Para os demais pilares P4, P6, P9, P12 e P15 utilizou-se a profundidade de 5m que fornece a preção admissível necessária para os esforços dos pilares que são superiores a 51,56 KN.

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE

A ideia de selecionar uma um tipo de fundação perante o seu custo faz com que se haja necessidade de um levantamento quantitativo a fim de se comparar os gastos de materiais de cada fundação. Os valores adotados foram adotados em consideração a tabela orçamentaria TCPOweb no mês de dezembro de 2017.

O custo de materiais para o uso de sapatas é representado no quadro 12 por:

Quadro 12: Quantitativo de materiais para execução de sapata.

CONCRETO		
VOLUME (m ³)	CUSTO UNITÁRIO CONCRETO USINADO 25 Mpa (R\$/m ³)	CUSTO ACUMULADO (R\$)
1,5975	420,60	671,9085
AÇO CA-60 5mm		
COMPRIMENTO (m)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m)	
76,6000	0,154	
PESO (Kg)	CUSTO UNITÁRIO (R\$/Kg)	CUSTO ACUMULADO(R\$)
11,7964	5,28	62,2850

CUSTO TOTAL DE MATERIAIS: **R\$ 734,19**

Fonte: Autores (2017).

E o custo de materiais para o uso de estaca é representado pelo quadro 13:

Quadro 13: Quantitativo de materiais para execução de estacas

CONCRETO		
VOLUME (m ³)	CUSTO UNITÁRIO CONCRETO USINADO 25 Mpa (R\$/m ³)	CUSTO ACUMULADO (R\$)
4,0970	420,60	1723,1982
AÇO CA-60 5mm		
COMPRIMENTO (m)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m)	
19,2000	0,154	
PESO (Kg)	CUSTO UNITÁRIO (R\$/Kg)	CUSTO ACUMULADO(R\$)
2,9568	5,28	15,6119
AÇO CA-60 10mm		
COMPRIMENTO (m)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m)	
76,8000	0,573	
PESO (Kg)	CUSTO UNITÁRIO (R\$/Kg)	CUSTO ACUMULADO(R\$)
44,0064	5,28	232,3538

CUSTO TOTAL DE MATERIAIS: **R\$ 1.971,16**

Fonte: Autores (2017)

Como apresentado nas tabelas, a sapata mostrou ser mais viável economicamente na ordem ter diferença de custo material total em R\$1236,97, representando menos que 40% do custo material das estacas.

5. CONCLUSÃO

Para esse estudo em específico analisamos o custo relacionado a produtos de consumo no caso aço e concreto, ambas são eficientes e resistem às solicitações de projetos, porém o tipo sapata para essa estrutura se mostrou mais eficiente e dentro de um padrão de dimensionamento repetitivo, o que proporciona uma execução bastante rápida por convecção e reutilização de formas, apesar de possuir dimensões mínimas estabelecidas por norma.

Para o custo de mão de obra não pode se determinar valores exatos devido ao tempo de escavação oscilar muito entre escavação manual e mecânica, podendo obter preços muito diferentes em uma mesma cidade.

Concluído, sapatas apesar de serem muito pouco utilizadas devido cultura, não deixam de ser uma opção viável na qual se pode ter um custo bem reduzido quando comparado as estacas para construções unifamiliares de baixo padrão com este perfil de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, Urbano Rodriguez. Exercícios de fundações / Urbano Rodrigues Alonso. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 206 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. 91 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1982. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 3 p.

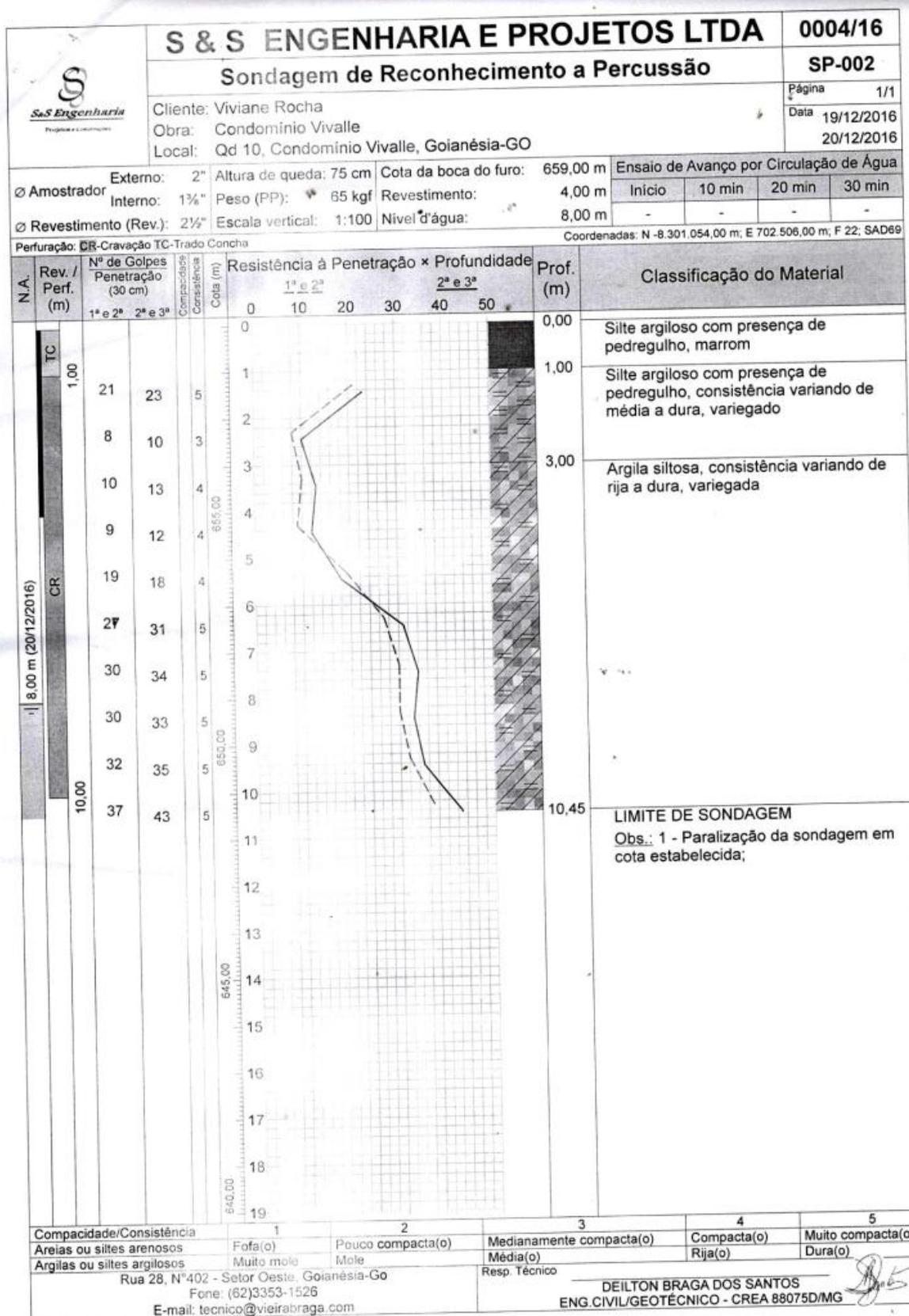
ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. 319 p.

ALONSO, Urbano Rodriguez. Exercícios de fundações / Urbano Rodrigues Alonso. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 206 p.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernandi. **Patologia das fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 89 p.

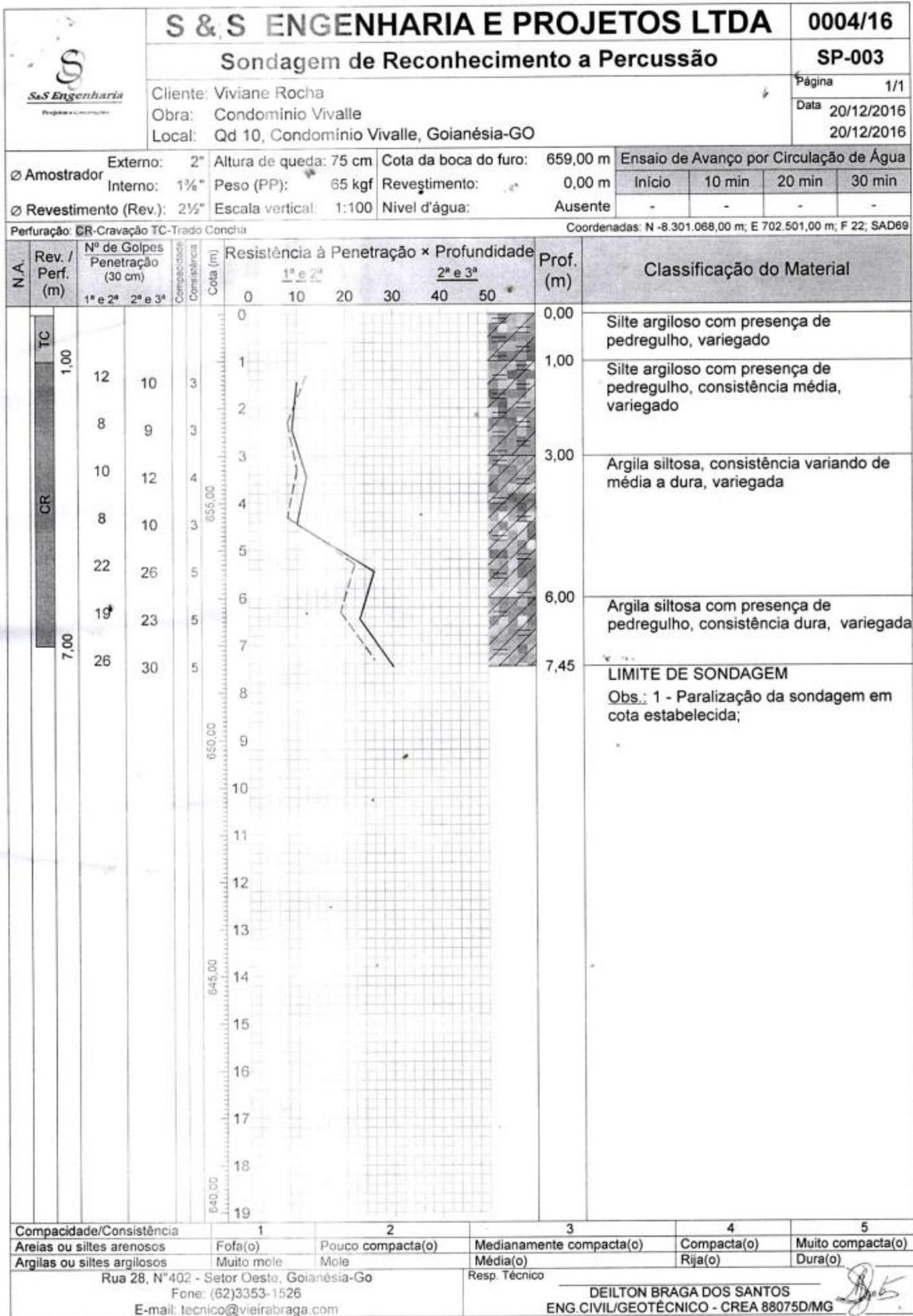
TCPO WEB – Tabela de Composição de Preços Para Orçamento Virtual. Disponível em: <<http://tcpoweb.pini.com.br/PesqServicosTreeView.aspx/>>. Acesso em: 04 de Dezembro de 2017.

Anexo A (parte 2 de 4) – Perfil Geotécnico



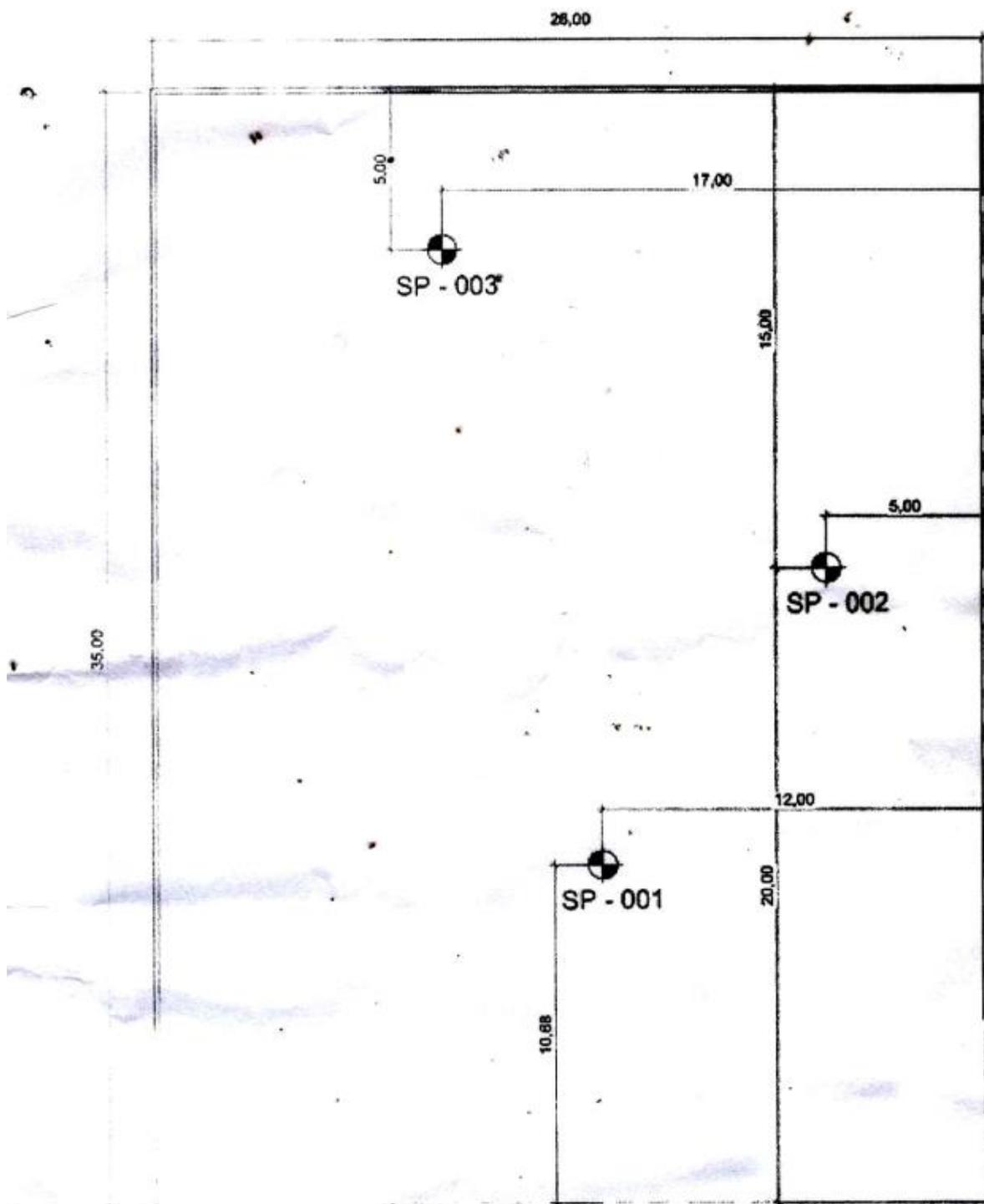
CONFORME NBR 6484-2001

Anexo A (parte 3 de 4) – Perfil Geotécnico

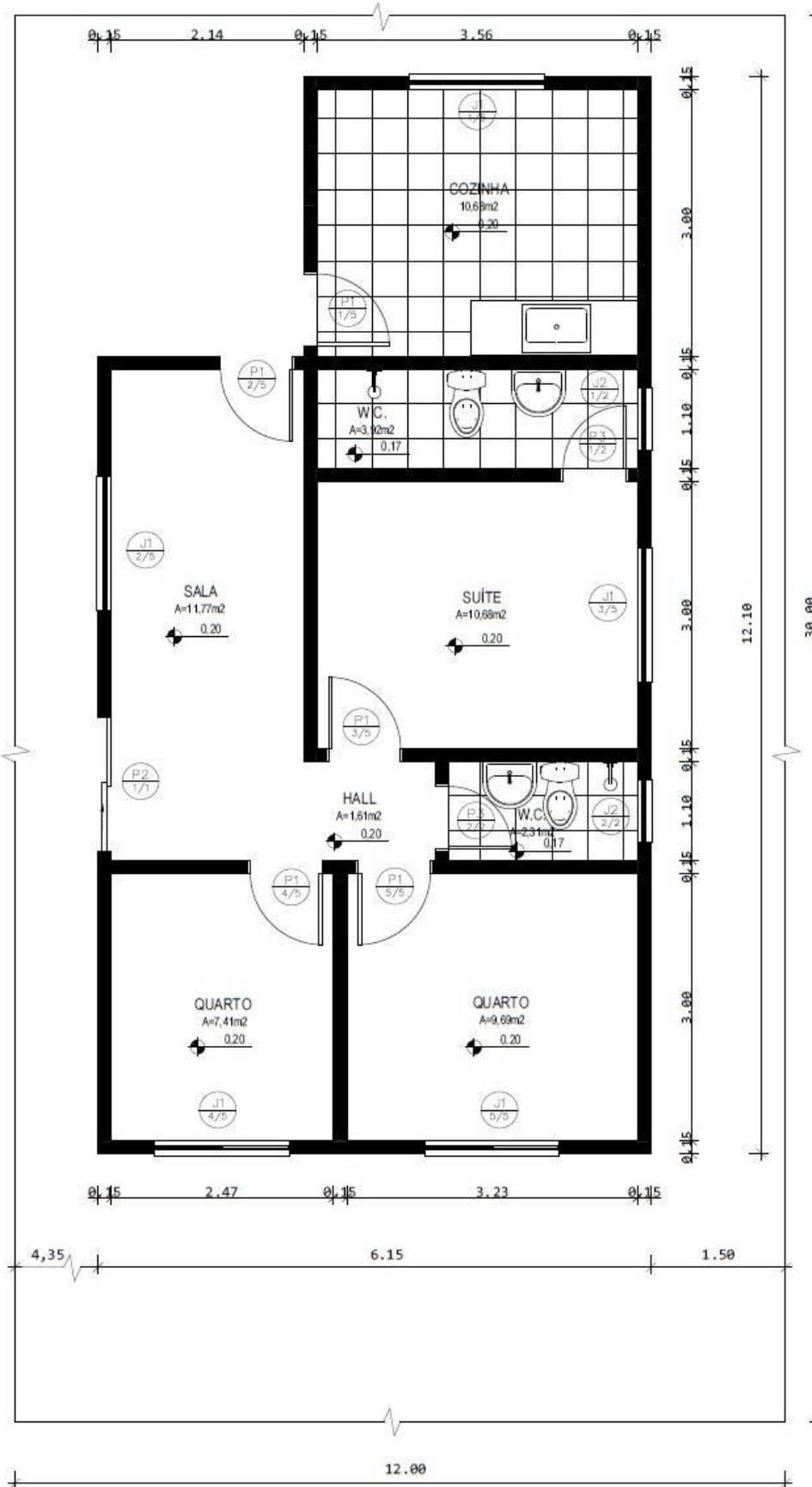


CONFORME NBR 6484:2001

Anexo A (parte 4 de 4) – Locação dos furos



Anexo B – Planta baixa do projeto arquitetônico.



Anexo C - Locação dos pilares

