



ANÁLISE DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE BLOCOS SOBRE ESTACAS EM RELAÇÃO À SAPATAS ISOLADAS: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO COMERCIAL DE FEIRA SANTANA - BAHIA

TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION ANALYSIS OF BLOCKS ON PILES IN RELATION TO INSULATED SHOES: CASE STUDY IN THE COMMERCIAL REGION OF FEIRA SANTANA - BAHIA

Gabriela Santana Pereira¹
Osvaldo Santos Ribeiro Neto²
Paulo Victor Carneiro Rios Lima³

¹Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana, Feira de Santana-Bahia, gabrielapereira951@gmail.com

²Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana, Feira de Santana-Bahia, victor-004@hotmail.com

³Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana, Feira de Santana-Bahia, osvaldosantosnetoo@gmail.com

RESUMO

O artigo trata-se de um estudo de caso em que uma análise de avaliação técnica e econômica foi feita por métodos semi-empíricos. O método para o dimensionamento das fundações profundas foram de Aoki-Velloso (1975) e Decourt-Quaresma (1978). Já para o dimensionamento das fundações rasas, utilizaram-se os métodos sugeridos por Blévoit (1967) e os parâmetros da ABNT NBR 6118 (2014). Todos eles integrados aos dados dos métodos já existentes, SPT (Standard Penetration Test). O estudo foi realizado em um terreno localizado no centro comercial de Feira de Santana-Bahia. Os dimensionamentos de fundações foram para um edifício residencial unifamiliar, de sete pavimentos. Com a relação de investigação geotécnica pelo método SPT foi possível identificar as camadas em subsuperfície mais profundas e analisar o perfil do solo encontrado, até as camadas mais resistentes na região. Com isso, foram sintetizados os resultados das duas fundações para melhor compreensão das capacidades de cargas atuantes em cada método, e os resultados poderão ser utilizados para os dimensionamentos das futuras fundações feitas na região para implantação de outras construções, tendo conhecimento da características do subsolo e do método mais usado na região, minimizando assim os riscos e consequentemente obtendo economia de custos durante seus estudos de viabilidade.

Palavras-Chaves: Investigação geotécnica. SPT (Standard Penetration Test). Fundações. Capacidade de carga. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

The article is a case study in which a technical and economic evaluation analysis was carried out using semi-empirical methods. The method for designing deep foundations was by Aoki - Velloso (1975) and Decourt - Quaresma (1978). For the design of shallow foundations, the methods suggested by Blévoit (1967) and the parameters of ABNT NBR 6118:2014 were used. All of them integrated with data

from existing methods, SPT (Standard Penetration Test). The study was carried out on a plot of land located in the commercial center of Feira de Santana-Bahia. The foundation designs were for a seven-story single-family residential building. With the relationship of geotechnical investigation by the SPT method, it was possible to identify the deeper subsurface layers and analyze the soil profile found, up to the most resistant layers in the region. With this, the results of the two foundations were synthesized for a better understanding of the load capacities acting in each method, and the results can be used for the sizing of future foundations made in the region for the implementation of other constructions, having knowledge of the characteristics of the subsoil and of the most used method in the region, thus minimizing the risks and consequently obtaining cost savings during its feasibility studies.

Key-Words: Geotechnical investigation. SPT (Standard Penetration Test). Foundations. Battery capacity. Economic viability.

INTRODUÇÃO

As subestruturas podem ser definidas como estruturas da edificação, responsável por transferir e suportar tensões ao solo pela pressão distribuída na base da fundação, seja o meio de transferência por fundações superficiais (ou diretas, ou rasas), ou fundações profundas (ou indiretas), permitindo a aplicação de uma superestrutura no local da construção (FELIPE; JUNIOR, 2018, p.1).

A segurança dessas infraestrutura atualmente solicita que os engenheiros usem diversos métodos de construção de fundações, para garantir que não ocorram problemas associados a erros de projetos ou a erros de execução (CUNHA; SANTOS; LEITE, 2021, p.2). Presentemente a fundação além de ser uma das etapas fundamentais, ela possui um percentual que varia de 3 a 4% do custo total da obra. Com isto a exigência para a escolha da estrutura da fundação, é um dos atributos que interferem diretamente no percentual de custo total (COFREWIRZ, 2019, p.19).

Na construção civil atualmente encontra-se uma grande concorrência de mudanças técnicas e tecnológicas relacionadas a fundações, a qual pretendem reduzir seus custos enquanto expandem e otimizam seus métodos de execução. Por este motivo muitas empresas de engenharia que empreendem em projetos de construção, têm-se mantido atualizado e competitivo no mercado atual. Como resultado desse movimento, o momento se tornou oportuno para inclusão de novas

soluções viáveis em projetos de construção civil, no qual determina a segurança das infraestruturas e pretende melhorar a eficiência econômica a ser adotada (COFREWIRZ, 2019, p. 19).

Logo, o presente artigo apresenta uma comparação entre duas técnicas de fundações, que são elas blocos de concreto sobre estacas e sapatas isoladas visando a viabilidade econômica significativa e a capacidade de carga mais adequada, por meio de dimensionamentos semi-empíricos e levantamento de custos de materiais e mão de obra na região comercial de Feira de Santana-Bahia.

REVISÃO DE LITERATURA

IMPACTO DO DIMENSIONAMENTO INADEQUADO DE CONTENÇÕES

Para ter um bom ou mau desempenho de uma fundação, ou um aparecimento de problemas pode existir uma variedade de aspectos. Cada procedimento vem com várias estações na vida da fundação surgindo ocorrências, recomendadas pela normalização brasileira para dar maior segurança e confiabilidade para o resultado do trabalho de fundação (PEREIRA; LOPES, 2018, p.4).

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2019, p.2), vários estudos mostraram que existem situações pelo qual o solo apresenta variações e deformações que são causadas por tensões na fundação, levando a uma condição chamada solo problemático.

A investigação do subsolo requer compatibilidade com a estrutura construída, como referência específica que o controle de execução e o conhecimento geotécnico são peças importantes para satisfazer os requisitos fundamentais, tanto no cálculo como na precisão dos modelos de segurança (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.29).

Na etapa de dimensionamento, diferentes abordagens devem ser utilizadas para justificar as condições geológicas, geotécnicas e geométricas do local. Abordagens conservadoras incluem especificações de gerenciamento de materiais, práticas, procedimentos de proteção e manutenção (PEREIRA; LOPES, 2018, p.2).

De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2019, p.2), as condições hidrológicas devem ser consideradas representadas por observações do nível d'água em perfurações de sondagem, alterações devido a presença dos mares, presença de lençóis suspensos ou artesianos.

Dimensionamento inadequado por investigação do subsolo

O planejamento do programa de pesquisa de investigação deve ser elaborado por engenheiros experientes que podem conjugar os custos de dificuldades e complexidade do projeto. Essas patologias são decorrentes de incertezas através de uma simples falta de investigação, investigação ineficiente ou com falhas e má interpretação de sondagens (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.28).

Os problemas de fundação mais comuns são causados por:

a) Falta de investigação do subsolo: obras típicas de pequeno e médio porte. Conforme a normalização vigente (ABNT NBR 6122:2019; ABNT NBR 8036:1990) devem ter profundidade na exploração, no número de furos de sondagem e verificar a categoria de programa de investigação (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.29).

Tabela 1 – Problemas típicos decorrentes da falta de pesquisas de investigação geotécnica sobre variados tipos de fundações.

Tipo de fundação	Problemas típicos
Rasas	Tensão de contato muito alta; Fundações de solos/aterros não uniformes; Fundações de solos compressíveis sem análise de recalques; Fundações suportadas por materiais com comportamentos muito diferentes, sem juntas; E fundação sustentada pela crosta dura de solo mole, sem análise de recalque.
Profundas	Tipo inadequado de estacas para o subsolo; Geometria inadequada; Comprimento ou diâmetro menor que o necessário; Estacas suportadas por camadas resistente sobre solos moles, com recalques incompatíveis com a obra, e ocorrência de atrito negativo inesperado, reduzindo a carga nominal admissível adotada para a estaca.

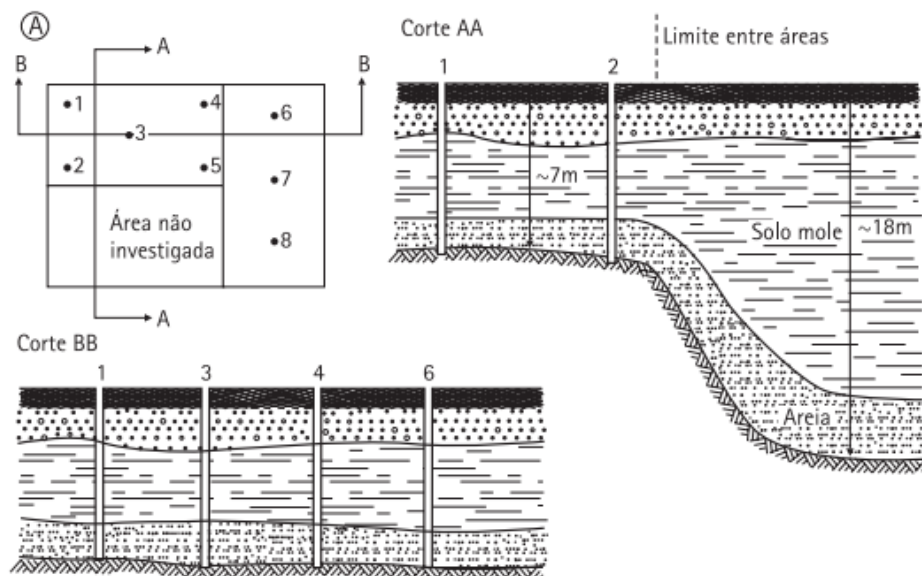
Fonte: PEREIRA; LOPES (2018, p.7).

b) Investigação Insuficiente: deve-se mostrar que os aspectos que afetam o desempenho da infraestrutura projetada são pouco identificados, como: número insuficiente de sondagens, profundidade de investigação inadequada, traços

comportamentais não determinados devido à necessidade de ensaios especiais, e situações com grande variação de propriedades ou situações de ocorrência local não identificadas (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.30).

c) Investigação com falhas: na realização de sondagem são comuns os erros na localização do canteiro de obras, localização incompleta, procedimentos inadequados ou uso de testes não padronizados, uso de equipamentos defeituosos ou não especificados, falta de nivelamento dos furos em relação à referência bem identificada, entre outros. Isso inclui métodos desonestos de produção de resultados e duplicação de furos de sondagem (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.33).

Figura 1 – Número insuficientes de sondagens: resultando em área não investigada com subsolo distinto.



Fonte: MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID (2015, p.33).

d) Interpretação inadequada dos dados de investigação: podem consistir em: análise de projeto, obtido após a investigação geotécnica e solicitação de cargas. Erros na determinação da carga da fundação podem levar a danos à fundação e à deformação do solo (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.34).

e) Problemas relacionados ao comportamento do solo: a avaliação e a estimativa deve ser feita por profissional especializado e experiente. Estes são: aceitar perfis de projeto sem caracterização suficiente de todas as condições típicas

do subsolo; representação inadequada do comportamento do solo por correlação empírica ou semi-empírica que não são aplicáveis à situação em questão; erro na estimativa das características do comportamento do solo devido à extrapolação inadequada da faixa de valores; uso indevido de resultados de testes para estimar propriedades do solo que não se correlacionam com a consulta, como correlações entre testes de penetração (SPT ou CPT) (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.60).

Dimensionamento inadequado por execução

Erros de execução são a segunda causa mais comum de problemas de comportamento das fundações. Depende não somente da caracterização das condições do subsolo, mas do cálculo e do projeto adequado da solução, implantando especificações detalhadas e precisas de materiais através de uso de processos construtivos apropriados (PEREIRA; LOPES, 2018, p.8).

Figura 2 – Estacas escavadas de pequeno diâmetro com problemas disseminados, encontrados na escavação para determinação do não comportamento das fundações de residência.



Fonte: MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID (2015, p.71).

De acordo com normas vigentes (ABNT NBR 6122:2019) Projetos e Execução de Fundações dispõem a preservação das informações das fundações efetivamente construídas para eventuais futuras conforme a necessidade ou em casos especiais.

As fundações superficiais podem ser construtivas e largas conforme a utilização em construções de pequeno porte. São comuns em projetos executados com base em soluções de estruturas ou obras, com base em abordagens empíricas e com indicadores típicos de tensão admissível não adequado ao problema (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.93).

As fundações profundas apresentam peculiaridade em diferentes elementos das edificações. Envolve-se não somente a adoção de perfil típico do solo e a análise através de teoria ou método específico de cálculo conforme suas características de execução (PEREIRA; LOPES, 2018, p.6).

Conforme os autores acima, os problemas genéricos apresentam-se os mesmos nas fundações profundas e os mais comuns são da categoria de procedimentos construtivos, que são eles:

“Erros de locação; erros ou desvios de execução; erros de diâmetro ou lado do elemento; substituição no canteiro da estaca projetada por elementos na ausência de ferramenta ou material; inclinação final executada em desacordo com o projeto; falta de limpeza adequada da cabeça da estaca para vinculação ao bloco; ausência ou posição incorreta de armadura de fretagem; posicionamento indevido de armadura ou falta de efetiva vinculação; e características do concreto inadequado.” (MILITITSKY, CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.115).”

É importante ressaltar a necessidade de utilizar uma empresa qualificada com pessoal qualificado e especializado, com requisito mínimo atingindo condição de confiabilidade necessária para ter um bom resultado (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.161).

A situação do uso de provas de carga tem como garantia de bom comportamento na fundação profunda adequada de premissas do projeto, pelo qual o procedimento construtivo é testado antes do início da execução (PEREIRA; LOPES, 2018, p.6).

Antes de mudar o uso da instalação, é sempre importante considerar as condições em que a fundação foi efetivamente projetada, considerando não apenas

a carga da estrutura, mas também a carga do entorno (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015, p.161).

INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Para se executar um projeto de fundação de excelência deve se ter o conhecimento do local, onde será construído uma edificação, e do solo, já que o mesmo é pouco uniforme e muito imprevisível. Por isto a experiência e a base da engenharia são relevantes para esta análise, visto que o desempenho, economia e segurança de qualquer estrutura de engenharia civil são afetados ou podem até mesmo ser controlados pela sua fundação (ANDRZEJEWSKI, 2015, p. 23).

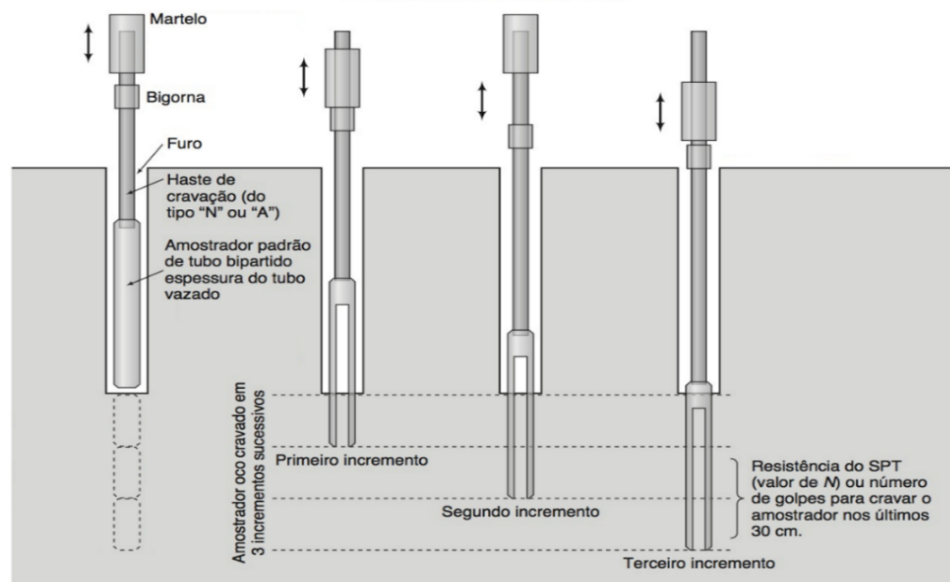
É na etapa da investigação geotécnica que deve se obter a compreensão clara e definida das características do solo, como a tipologia, profundidade e variabilidade do solo rochoso e/ou lençóis freáticos, de modo a colher informações completas para a execução do dimensionamento correto das fundações estruturais, por meio da previsão de recalques e da estimativa da capacidade de carga de ruptura. Já que a caracterização dessas condições não são práticas e nem economicamente viáveis (ANDRZEJEWSKI, 2015, p. 23).

Segundo Nuernberg (2014, p. 95), a identificação e caracterização do solo para fins de construção pode ser feita por ensaios de laboratório ou de campo. No entanto, na prática, os ensaios de campo são mais usados na engenharia, portanto, o uso de ensaios de laboratório é limitado a casos especiais.

STANDARD PENETRATION TEST

O SPT é um procedimento de teste amplamente utilizado na investigação geotécnica para determinar a densidade relativa e o ângulo de resistência ao cisalhamento. Este ensaio de penetração dinâmica surgiu nos Estados Unidos, e atualmente a NBR 6484:2001 descreve o procedimento de ensaio a percussão, como a alternativa mais utilizada para investigações geotécnicas, em praticamente todo o mundo (ANDRZEJEWSKI, 2015, p. 24).

Figura 3 - Sequência de cravação do amostrador no SPT.



Fonte: CHIOSSI (2013).

Segundo Andrzejewski (2015, p.25), este ensaio consiste na cravação de um amostrador tubular (com medidas padronizadas pela NBR 6484 (2020), por um martelo de $63,5 \pm 5$ kg, lançado a uma altura de 76 ± 1 cm na direção vertical.

Em seguida é registrado o quantitativo de golpes necessários para penetrar 45 cm abaixo da superfície, seguidos em 3 seções de 15 cm cada, sendo que os primeiros 15 cm são desprezíveis, servindo-lhes apenas para indicativo.

O número de golpes necessários para cravar os 30 cm finais do segmento é chamado NSPT e representa um indicador de resistência do solo onde pode-se determinar o estado de compactidade e a consistência, identificando o nível do lençol freático e o perfil geológico, utilizado no cálculo da capacidade de carga deste substrato (ANDRZEJEWSKI, 2015, p. 25).

Figura 4 - Execução do ensaio SPT.



Fonte: MACHADO (2020).

Realizado de forma sistemática este ensaio se adéqua a todos as categorias de solos e a rochas muito alteradas, embora seja mais aplicado em solos de baixa coesão (ANDRZEJEWSKI, 2015, p. 25).

FUNDAÇÕES

As fundações são estruturas cuja função transmite para o terreno ações atuantes na estrutura. Onde se deve distribuir e transferir seguramente as ações da superestrutura no solo, de forma que não cause recalques prejudiciais ao sistema estrutural ou ruptura do solo (SILVA, 2017, p.13).

Conforme Silva (2017, p.13) o tipo de fundação deve considerar aspectos que vão desde o solo, até o orçamento geral da obra. São eles: natureza e características do solo no local da obra (investigação geotécnica e ensaios de laboratório); posicionamento do lençol freático (investigação geotécnica e poços de prova); grandeza, disposição e natureza das cargas a serem transferidas ao subsolo; limitações das fundações existentes no mercado e restrições técnicas a cada tipo de fundação; e noções do orçamento completo (mão de obra, material e transporte) com soluções possíveis.

Os tipos de fundações são: fundação direta (sapatas corridas, isoladas e radie); fundação profunda moldadas “in loco” (estacas escavadas de pequeno diâmetro, estacas strauss, brocas manuais, hélice contínua monitorada, Franki, raiz, estacas escavadas de grande ou diâmetro) e fundação profunda pré-fabricadas (estacas de concreto, de madeira e metálicas) (SILVA, 2017, p.13).

Fundações profundas

As fundações profundas são estacas e tubulões que podem ser a céu aberto ou ar comprimido. Segundo a NBR 6122 (2019, p.14), é definida como a transmissão da carga da superestrutura para o solo através da base (resistência pontual), laterais (resistência de fuste) ou uma combinação de ambas. Com isso, a referida norma, determina conforme as fundações profundas que a profundidade de assentamento deve ser pelo menos duas vezes a dimensão mínima planejada do elemento da fundação.

De acordo com a norma, se enquadram nessa definição:

A estaca, elemento de fundação profunda, que é realizada por ferramentas ou equipamentos sem que o operador desça em nenhuma etapa da execução, como prensagem, vibração, escavação, entre outras, podendo ser constituído em aço, concreto, madeira, argamassa, calda de cimento ou qualquer combinação dos anteriores, entre outras (SILVA, 2017, p.16).

Os tubulões que são elementos cilíndricos de fundação profunda, que em fase final, ocorre a descida de operário. Podendo ser executado em base alargada, a céu aberto ou ar comprimido (SILVA, 2017, p.16).

E os caixões que são elementos de fundação de forma prismática, com concreto no solo, instalado por escavação interna, com ou sem ar comprimido, com ou sem base alargada (SILVA, 2017, p.15).

Segundo Cofrewirz (2019, p.23) as fundações profundas são utilizadas quando os solos não suportam altas cargas ou estão expostos a potenciais processos erosivos com a possibilidade da realização de escavação nas obras.

Dimensionamento de fundações profundas

Métodos teóricos de interação estaca-solo têm sido desenvolvidos para projetos de fundações profundas, considerando alguns parâmetros geotécnicos relacionados à natureza do solo, que muitas vezes não é fácil de obter. (COFREWIRZ, 2019, p.28).

Muitos pesquisadores desenvolveram métodos semi-empíricos, métodos empíricos e prova de carga baseados em estudos estatísticos, considerando características do solo em determinada região. Os mais utilizados são: Décourt-Quaresma (1978), Aoki-Velloso (1975), Teixeira (1996), e David Cabral (2000) (COFREWIRZ, 2019, p.28).

O método de Aoki-Velloso (1975) é utilizado para o cálculo geotécnico das estacas. Ele descreve a resistência à ruptura de uma estaca como a soma da resistência lateral mais a resistência de ponta. A resistência lateral é a causa do atrito entre o solo e o concreto. Já a resistência de ponta é causada pelo contato entre o solo na ponta da estaca e a própria estaca (COFREWIRZ, 2019, p. 30).

Pode-se observar que a tensão média das estacas é inferior a 50kgf/cm^2 . Dessa forma, momentos fletores, forças cortantes ou forças de tração não atuam sobre a estaca, de modo que o reforço funciona apenas para ligações (fixação entre o bloco e a estaca). O projeto estrutural é muito simples. A armadura vertical é calculada conforme a relação mínima de aço (COFREWIRZ, 2019, p. 30).

No cálculo da estaca pelo método de Décourt-Quaresma (1978), a capacidade de carga da estaca é determinada apenas a partir do valor de N_{spt} . Como esse método é de fácil aplicação, a principal preocupação não era os valores exatos, mas as estimativas confiáveis e fáceis de determinar (COFREWIRZ, 2019, p. 32).

Segundo Cofrewirz (2019), o método Décourt-Quaresma, assim como o método Aoki-Velloso, consiste em determinar a capacidade de carga lateral e a capacidade de carga de ponta.

Vale lembrar que a capacidade de carga é um carregamento que leva a ruptura do solo ou sua deformação excessiva. Portanto, a NBR 6122 (2010, p.6) recomenda o uso de um fator geral de segurança 2,0 na determinação das cargas admissíveis quando se utilizam métodos semi-empíricos como Aoki-Velloso e

Décourt-Quaresma. Os dois valores de capacidade de carga permitida são comparados, portanto, o menor dos dois valores é usado.

Fundações superficiais

As fundações rasas, ou superficiais se caracterizam por ser estruturalmente adequadas para suportar todas as cargas aplicadas e transmiti-la com segurança para o solo sem assentamento indevido. São recomendadas para estrutura que possuem o peso próprio baixo, ou projetadas para os solos que possuem a capacidade de carga resistente em uma profundidade rasa (AGUIAR, 2015, p. 12).

A ABNT NBR 6122 (2019, p.2) afirma ainda que a profundidade de assentamento de uma fundação superficial em relação ao terreno adjacente deve ser menos de duas vezes a dimensão mínima, em planta, do elemento estrutural.

As sapatas são elementos de fundações rasas, com sua base feita de concreto armado, possuindo geometrias quadradas, retangulares, circulares ou trapezoidais, seu dimensionamento deve ser de modo que as tensões de tração resultantes sejam resistidas pela armadura e não pelo concreto (NBR 6122, 2019, p.2).

De acordo com Bastos (2019, p. 8) as sapatas podem ser classificadas por sapatas isoladas, sapatas associadas, sapatas corridas e sapatas de divisa.

As sapatas isoladas são umas das estruturas mais simples na fundação, e mais comum no Brasil, utilizadas para distribuir para o solo a tensão exercida por apenas um pilar. Este tipo de sapata é recomendada para solos firmes e de boa resistência (BASTOS, 2019, p. 8).

A sapata associada é conhecida como radie parcial. São usadas quando uma mesma sapata é utilizada para suportar dois ou mais pilares. Isso acontece quando os pilares estão muito próximos fazendo com que caso fossem feitas sapatas isoladas para cada pilar as sapatas interfeririam umas nas outras (BASTOS, 2019, p. 7).

Na realização de sapatas associadas é de extrema importância que o centro de gravidade dos pilares coincida com o centro de gravidade da sapata associada, evitando o surgimento de torques e esforços extras (BASTOS, 2019, p. 11).

Sapatas corridas se diferem das sapatas anteriores, pois suportam as tensões provenientes de elementos que possuem cargas distribuídas linearmente ao invés de cargas mais pontuais como os pilares, fazendo com que a sapata corrida possua um comprimento muito maior que sua largura (BASTOS, 2019, p. 10).

As sapatas alavancadas ou sapatas de divisa são utilizadas quando os pilares se encontram muito próximo à divisa com outra estrutura, o que faz com que o centro de gravidade do pilar e da sapata não sejam coincidentes, gerando um momento fletor que precisa ser distribuído para a estrutura com a ajuda das vigas. Sua função é criar uma viga entre duas sapatas para suportar o peso (BASTOS, 2019, p. 12).

As recomendações da NBR 6118 (2014) deferi que para o dimensionamento e cálculo dos blocos são aceitos modelos tridimensionais lineares ou não lineares e modelos biela-tirante tridimensionais.

Na região de contato entre o pilar e o bloco, os efeitos de fendilhamento devem ser considerados, conforme requerido em 21.2, permitindo-se a adoção de um modelo de bielas e tirantes para a determinação das armaduras (NBR 6118, 2014).

Que, como já descrito, pode ser rígido ou flexível.

E sempre que houver forças horizontais significativas ou forte assimetria, o modelo deve contemplar a interação solo-estrutura (NBR 6118, 2014).

No Brasil, um dos modelos de maior aceitação e utilização é chamado Método das Bielas, que devem ser aplicados apenas nos blocos rígidos. No caso de blocos flexíveis, são aplicados métodos clássicos aplicáveis às vigas ou às lajes (BASTOS, 2020).

Dimensionamento de fundações superficiais

O dimensionamento de sapatas se classificam em: placas (peças flexíveis, verificação quanto ao punção); métodos das Bielas (peças rígidas e de grandes dimensões); e ambos os métodos (pressões de contato uniformes e se for rocha) (BASTOS, 2019, p. 16).

O método da biela (na proposta por Blévyot, 1967) é um modelo resistente no bloco e pode ser espacialmente plano. A treliça é resistida pelo concreto e a força exercida nos tirantes é resistida pelas barras de aço (BASTOS, 2019, p. 16).

METODOLOGIA

Este artigo trata-se de um estudo de caso de uma edificação residencial localizada na região do centro comercial de Feira de Santana-Bahia, caracterizada como um estudo exploratório e uma abordagem qualitativa e quantitativa investigada por fornecedores locais.

Inicialmente foram levantadas informações sobre os impactos que um mau dimensionamento de fundações pode causar nas superestruturas. A partir destas informações buscaram-se na bibliografia e normas técnicas, os métodos semi-empíricos para o dimensionamento de fundações de forma eficiente.

Na execução foi proposto uma edificação residencial unifamiliar, em que o projeto da residência é de alto padrão.

E para a escolha da fundação primeiramente foi necessário conhecer os elementos técnicos como, a natureza e características do subsolo através de sondagens.

Em obras correntes de fundações, a sondagem SPT é o ensaio mais utilizado no Brasil, sido utilizada no estudo: ela fornece informações do material, nível d'água e uma medida de resistência (N_{spt}) sendo a relevância para calcularmos a capacidade de carga das estacas no caso de fundações profundas, ou determinarmos a tensão admissível ao solo no caso de fundações superficiais. Também foi preciso conhecer as disposições das cargas que iriam atuar no terreno por meio do projeto estrutural e arquitetônico fornecidos pela empresa que iria realizar a construção, e a fundação e estado dos edifícios vizinhos.

As condições para os dimensionamentos da fundação adotadas foram: a tensão admissível do solo que foi dada pelo método semi-empírico de Urbano R. Alonso, através da correlação com o SPT; para os elementos estruturais, tanto para o dimensionamento de fundações profundas, quanto para o dimensionamento de fundações rasas foi utilizado o concreto usinado de 25 MPA; todas as sapatas e blocos de coroamento no projeto são rígidas sido dimensionadas pelo método de bielas e tirantes de Blévo (1967); e as estacas foram dimensionadas pelos métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978).

Para o levantamento quantitativo e de custos foram realizadas listas dos serviços a serem executados e quanto demandava de insumos em cada etapa dos serviços. Assim podendo listar os materiais e pesquisar o custo médio de cada categoria de fundação, chegando a um valor final.

Por fim, foi constatado a importância de escolher uma fundação economicamente viável considerando que uma escolha errada de uma fundação pode aumentar muito o valor da obra. E em seguida, foi importante identificar se a técnica escolhida está disponível na região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obra para a qual, o projeto da fundação foi desenvolvida é um edifício residencial unifamiliar como mostra a figura 5, situada no centro de Feira de Santana — Bahia.

Figura 5 – Vistas e corte da edificação proposta.



Fonte: Os autores, 2022.

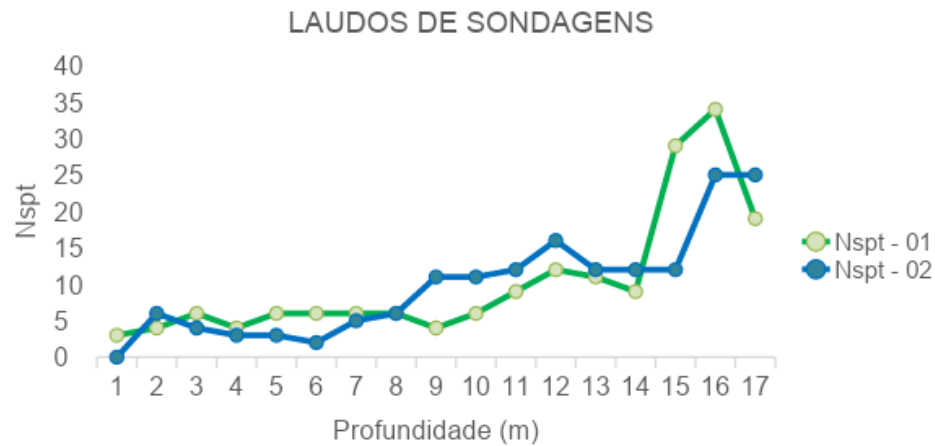
A área do terreno é de 372 m², e o projeto do edifício é dimensionado para sete pavimentos, sendo o térreo destinado à recepção do edifício, e os demais (segundo a sétimo) para apartamentos residenciais.

O edifício contém uma planta vertical com dimensões de 12×31 m, totalizando 30 pilares com cargas que variam de 4,5tf á 96tf e diferentes seções geométricas e posições de pilares.

O levantamento do subsolo para este projeto residencial teve como objetivo obter dados geotécnicos através de furos de sondagem, de modo a classificar e verificar a qualidade do solo. A ABNT NBR 8036 (1990, p.1) aconselha que o número de sondagens para um caso de área com projeção de até 1200 m² é de uma para cada 200 m². Como a área de projeção, neste caso, é de 372 m², foram executados dois furos de investigação, com amostras para caracterização dos materiais até a profundidade somada de 38,48 m, conforme relatório de sondagens. As Sondagens a Percussão (SPT), foram realizadas com tubos de revestimento de diâmetro 48 normal de 64 mm. Todo o procedimento seguiu sistematicamente a NBR 6484:2020.

A investigação geotécnica dos ensaios de SPT-01 e 02, apresentaram valores de número de golpes (Nspt) inferiores a 10, até as profundidades de 11 e 8 m respectivamente. Segundo Berber (2017, p.20), se trata de uma qualificação de camada com baixa resistência, ou seja, um subsolo pouco resistente às grandes cargas, conforme pode ser observado no gráfico 1.

Gráfico 1 – Gráficos das sondagens.



Fonte: Adaptado dos boletins de sondagens (2022).

Considerando que estas camadas, até profundidade de 11m, são compostas por areia fofa, silte arenoso e areia fina pouco compacta, elas não são indicadas para fundações superficiais, o que comprovou os cálculos de capacidade de carga que não é possível a utilização de fundações rasas.

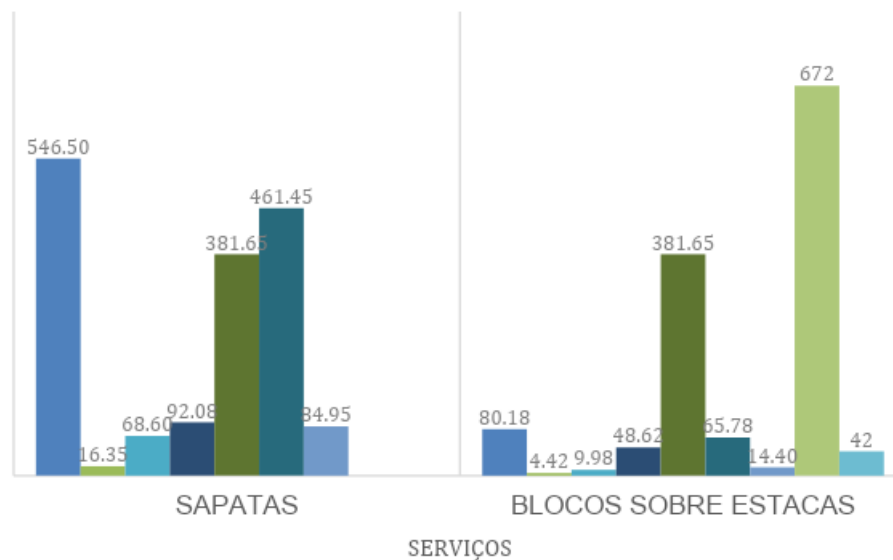
Neste caso a solução de fundação profunda provaram ser eficientes no suporte das cargas. No entanto, observou-se que as perfurações devem ser profundas para atingir a camada resistente que se localiza entre 15 e 16 m, com o número de golpes (Nspt) entre 25 e 35, caracterizando uma camada de qualificação ideal, formada por área silto-argilosa.

Falando sobre avaliação de custos, a fundação que apresentou menor valor, consiste em blocos sobre estacas de hélice contínua. Por meio do gráfico 2, é possível analisar a discrepância no quantitativo de mão de obra para a execução dos mesmos serviços.

Gráfico 2 – Quantitativo de mão de obra.

mão de obra

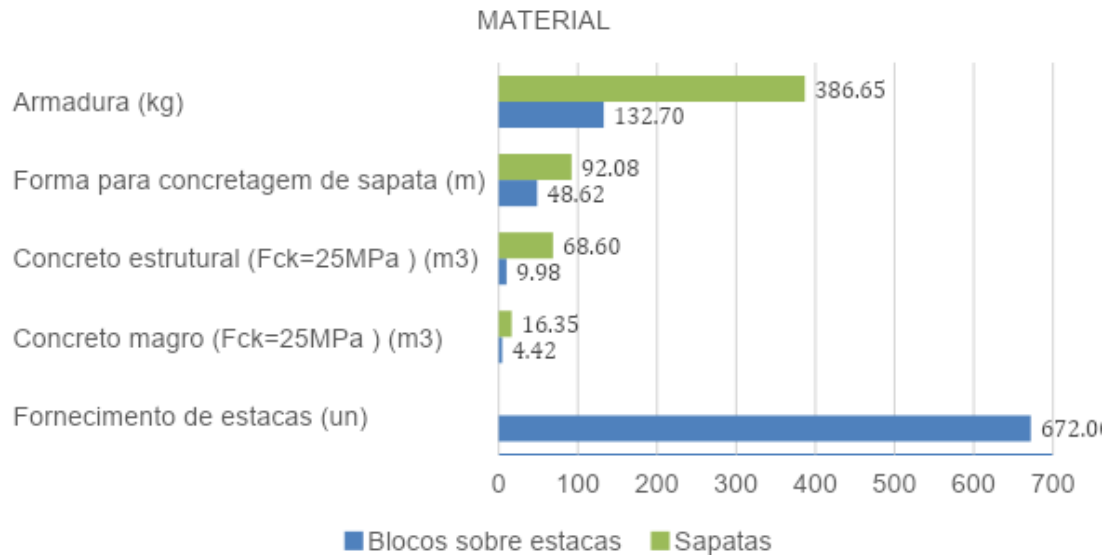
- Escavação mecânizada de vala até 3,00m
- Lançamento e adensamento de concreto magro (e=5 cm)
- Lançamento e adensamento de concreto estrutural
- Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata
- Fornecimento, corte, dobra e montagem de aço em concreto armado
- Reaterro manual de valas com compactação
- Bota fora
- Cravação
- Corte de cabeça



Fonte: Os autores, 2022.

O consumo de materiais empregados para a execução dos mesmos serviços também é muito maior na solução por sapatas, como mostra o gráfico.

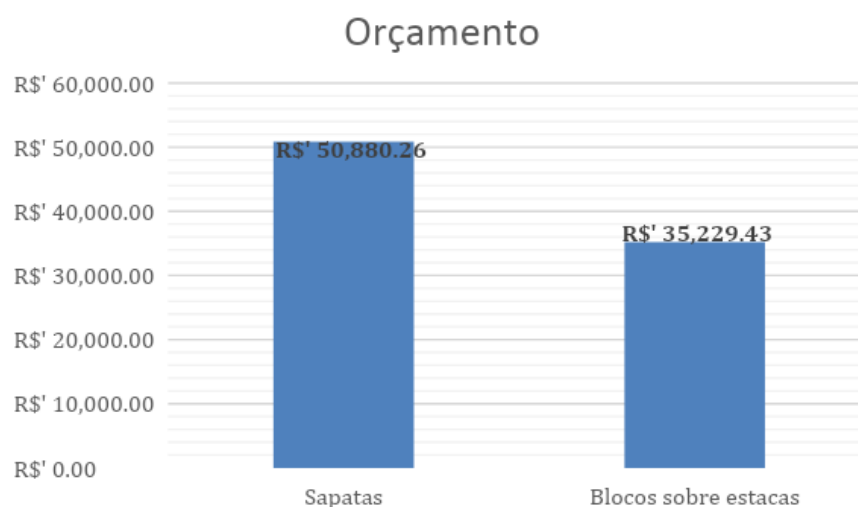
Gráfico 3 – Quantitativo de insumos.



Fonte: Os autores, 2022.

O custo total do projeto de sapatas e blocos com estacas estão apresentados no gráfico 4 (abaixo), onde está ilustrado o comparativo do total dessas composições (incluindo os 30 pilares).

Gráfico 4 – Comparação de orçamentos.



Fonte: Os autores, 2022.

Ao fazer análise dos resultados apresentados nos gráficos acima, pode se notar que a diferença no quantitativo da mão de obra, quanto a quantidade de materiais é menor na solução pelas fundações profundas. Isso porque ao adotar as estacas de hélice contínua pode se ter uma alta capacidade de cargas para o tipo do solo em estudo, conseqüentemente a uma redução significativa em relação aos serviços e insumos empregados na fundação superficial, a qual automaticamente precisaria de uma geometria maior para aguentar os esforços exercidos pelo edifício.

Embora tenha se executado 672 m de profundidade de estacas, esta é a mais viável quando comparada às sapatas isoladas.

Quanto aos custos, o total da fundação pela solução em estacas de hélice contínua se mostrou aproximadamente 30% mais viável que as fundações rasas. Concluindo-se uma diferença no valor equivalente a R\$15.651,13 do custo total economizado.

Portanto, a solução mais indicada, técnica e economicamente para a construção da fundação do edifício em questão é o bloco de coroamento sobre estacas.

É importante destacar que as fundações são uma das principais etapas para a realização de uma obra e a escolha errada uma vez feita de qual o tipo de fundação será executada na edificação, pode-se resultar em prejuízos mesmo em deformação da estrutura, como recalque, fissuras, trincas e até mesmo perda total da estrutura, ou peça estrutural. Isso quer dizer que, mesmo se o custo da fundação apropriada ser mais alto que a fundação inadequada, é melhor escolher a que não possui uma viabilidade de custo favorável, pois na própria execução ou futuramente, o custo total da obra pode se tornar inviável.

CONCLUSÃO

Este artigo atingiu o objetivo inicialmente proposto, qual seja, o estudo de viabilidade técnica, e econômica entre as fundações de sapatas em relação a blocos sobre estacas, utilizando parâmetros de dimensionamentos.

Com o auxílio dos métodos semi-empíricos através das bibliografias existentes foi possível detalhar os elementos de cada fundação estudada, identificando com precisão a geometria, área de aço, volume de concreto e capacidade de cargas das fundações rasas e profundas.

Embora existam várias categorias de sapatas, todas elas são recomendadas para áreas de solo estável e de alta resistência superficial. Já as fundações por blocos sobre estacas, devem ser assentes em profundidades superiores ao dobro da menor dimensão em planta com o mínimo de 3 m.

Sob esse ponto de vista, este estudo mostrou a grande importância do conhecimento a respeito de fundações e sua importância para segurança de obras.

É de fundamental importância realizar o trabalho de construção de imóveis visando a garantia de segurança da população usuários dos imóveis e população circunvizinhas, garantindo um serviço de qualidade para o contratante, evitando possíveis prejuízos causados pelo desenvolvimento de fundações de má qualidade que possam prejudicar a viabilidade, causando interdição ou demolição de imóveis com risco de desmoronamento.

A próxima sugestão de trabalho é comparar outras categorias de estacas visando a capacidade de carga em estacas isoladas e estacas em grupo para esse tipo de solo que se encontra na região do centro de Feira de Santana e no entorno.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, por sempre ter nos sustentando nessa trajetória. Não há nada mais incrível do que enxergar suas ações em nossas vidas.

Aos pais de Gabriela, José Carlos Pereira e Marivalda Santana Pereira. A Anadilson Barberino Lima e Maria Haydée Carneiro Rios Lima, pais de Paulo Victor. A Geane Queiroz do Carmo, mãe e ao irmão Paulo Queiroz de Carvalho, de Osvaldo.

Obrigada pela dedicação e empenho para concretização deste sonho. E pelo apoio, educação, carinho e amor que sempre nos proporcionaram.

Agradecemos aos nossos irmãos, amigos, amigas e familiares, principalmente, Lucas, Geovan, Ana Maria, Antônio Carlos, Thiago, Ivan, Junior e

Itamar, pelo companheirismo e paciência no transcorrer deste curso, por muitas vezes privarem das nossas companhias ao longo deste período.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil, que ao longo de nossa formação estiveram conosco, compartilhando seus conhecimentos e demonstrando o quão importante é o conhecimento técnico no cotidiano de nossa futura profissão.

Enfim, agradecemos a todas as pessoas que fizeram parte de alguma maneira nesta etapa das nossas vidas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Ana Luiza Salgueiro de. **Capacidade de carga de fundação superficial de tanque de armazenamento de grande diâmetro**. 2015. 106 p. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ANDRZEJEWSKI, Ivan Alberti. **Estudo e Dimensionamento de Fundação Profunda por Estacas tipo Raiz**. 2015. 119 p. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122 – **Projetos e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484/2020 – **Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8036 – **Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro, 1990.

BASTOS, Prof Dr. Paulo SSérgio Dos Santos. **Sapatas de fundação**. 2019. 120 p. Apostila — UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Bauru, 2019.

BERBERIAN, Dickran. **Engenharia de Fundações**. Editora UnB, 24ª Edição Experimental. Brasília-DF, 2001.

CHIOSSI, N. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

COFREWIRZ, Andressa. **Avaliação técnica e econômica de grupo de estacas em relação a estacas isoladas**. 2019. 113 p. Trabalho de Conclusão de Curso — Escola de Engenharia Civil da IMED, Passo Fundo, 2019.

CUNHA, Raphael Luiz da; SANTOS, Leandro Camargo dos; LEITE, Patrick Chavier. **Estudo comparativo de custo entre fundações rasas - radier e sapata isolada com viga baldrame.** 2021. 37 p. Trabalho de Conclusão de Curso — Centro Universitário UNISOCIESC, Joinville, 2021.

FELIPE, José Maick Moreira; JUNIOR, José Luiz de Araujo. **Estudo dos tipos de fundações: Sapatas.** In: III Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar e I Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. Centro Universitário de Mineiros. Mineiros, 2018.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo C.; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações: Ocorrência e prevenção.** 2019. 26 p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 244 p.

NUERNBERG, MARCOS FELIPE. **Estacas do tipo hélice contínua monitorada (ehc): dimensionamento através de métodos semi-empíricos.** 2014. 170 p. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade federal de santa catarina, Santa catarina, 2014.

PEREIRA, Breno Rossinholli; LOPES, Wilson Matheus. **Patologia das fundações: recalque diferencial em fundações sobre aterro.** 18 p. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade São Francisco, Bragança Paulista, 2018.

SILVA, Francielle Sampaio de Andrade. **Fundação profunda: estudo de caso em edifício residencial na orla da graciosa em palmas - TO.** 2017. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso — Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.