

Estudo da interação solo-estrutura em um edifício residencial na cidade de Itaperuna/RJ a partir do respectivo projeto estrutural

Study of soil-structure interaction in a residential building in the city of Itaperuna/RJ based on the respective structural project

DOI:10.34117/bjdv8n2-404

Recebimento dos originais: 07/01/2022

Aceitação para publicação: 24/02/2022

Rebeca Freitas Damieri

Engenheira Civil

Instituição: Centro Universitário Redentor

Endereço: BR 356, n° 25, Cidade Nova, CEP: 28300-000 - Itaperuna - RJ

E-mail: rebeca.freitas31@gmail.com

Luccas Coimbra de Oliveira

Engenheiro Civil

Instituição: Centro Universitário Redentor

Endereço: BR 356, n° 25, Cidade Nova, CEP: 28300-000 - Itaperuna - RJ

E-mail: luccas.coimbra@hotmail.com

Juliana de Souza Costa

Engenheira Civil

Instituição: Centro Universitário Redentor

Endereço: BR 356, n° 25, Cidade Nova, CEP: 28300-000 - Itaperuna - RJ

E-mail: julianadesouzacosta@hotmail.com

Muriel Batista de Oliveira

Doutora em Educação

Instituição: Centro Universitário Redentor

Endereço: BR 356, n° 25, Cidade Nova, CEP: 28300-000 - Itaperuna - RJ

E-mail: muriel1078@gmail.com

Vivianne Rosestolato Daruich P. Tannus

Mestre em Engenharia de Materiais

Instituição: Centro Universitário Redentor

Endereço: BR 356, n° 25, Cidade Nova, CEP: 28300-000 - Itaperuna - RJ

E-mail: viviannetannus@hotmail.com

Cristiano Pena Miller

Mestre em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário Redentor

Endereço: BR 356, n° 25, Cidade Nova, CEP: 28300-000 - Itaperuna - RJ

E-mail: cristiano.miller@redentor.edu.br

RESUMO

O presente artigo explora a interação do solo e estrutura em um edifício residencial de 12 pavimentos projetado na cidade de Itaperuna-RJ por meio de seu respectivo projeto estrutural. Para análise foram utilizados laudos de sondagens fornecidos por empresa especializada, afim

de julgar a relação da estrutura projetada com os solos disponíveis. É essencial que se obtenha os laudos de sondagem para posterior seleção da fundação a ser projetada e executada. A investigação qualitativa detalhada teve por início na apuração dos laudos de sondagem em distintos terrenos situados no município de Itaperuna-RJ, e posteriormente foi definido o projeto estrutural. A exploração se desenvolveu por intermédio da inserção das informações contidas nos laudos de sondagem e da mesclagem da mesma com a projeção estrutural, através do *software* de projeção estrutural, que demonstrou as interações gráficas, que a fundação definida teve com cada solo. Informações daí aferidas impulsionaram a análise comparativa da fundação para os diferentes solos. O programa utilizado para as representações estruturais e gráficas foi o Eberick em função dos laudos apresentados e trabalhados em planilha específica. Pode-se entender o laudo da região proveniente da menor capacidade de carga para a estaca, como modelo para a projeção da fundação profunda (estaca raiz) no software e aplicando assim a mesma linha de raciocínio para o estudo comparativo das demais regiões aplicadas a mesma fundação profunda. A interação foi considerada satisfatória, atendendo a resistência que cada pilar exerce em razão de cada capacidade de carga da estaca.

Palavras-chave: interação solo-estrutura, laudos de sondagem, projeção estrutural, estaca.

ABSTRACT

This article explores the interaction of soil and structure in a 12-story residential building designed in the city of Itaperuna-RJ through its respective structural design. For efficiency in exploration, survey reports provided by a specialized company were used, in order to judge the relation of the projected structure with the offered soils. In order to provide data collection, it is essential to obtain the survey reports for subsequent selection of the foundation to be designed and executed. The qualitative and detailed investigation began with the investigation of the drilling reports in different lands located in the municipality of Itaperuna-RJ and later concluded with the definition of the structural project. The exploration was carried out through the insertion of the information contained in the survey reports and its merging with the structural projection within the structural projection software, demonstrated the graphic interactions that the defined foundation had with each soil. Information gathered from there boosted the comparative analysis of the foundation for the different soils. The program for structural and graphical representations was Eberick, based on the reports presented and worked on in a specific spreadsheet. The report of the region from the lower load capacity for the pile can be understood as a model for the projection of the deep foundation (root pile) in the software and thus applying the same line of reasoning for the comparative study of the other regions applied to the same deep foundation. The interaction was considered satisfactory, in order to meet the resistance that each column exerts due to each load capacity of the pile.

Keywords: soil-structure interaction, survey reports, structural projection, stake.

1 INTRODUÇÃO

Muito se sabe que há uma vinculação no que se refere a edificações e solos. Ao passo que, no momento em que a sociedade primitiva é comparada à contemporânea é possível a investigação e detecção das mudanças nos procedimentos de utilização e apropriação do solo; e até mesmo nas técnicas utilizadas para a criação de edificações, sejam essas a nível de pequeno, médio ou grande porte, incorporadas ao seu destino final.

Na concepção estrutural de um edifício podem ser identificadas três partes distintas: a superestrutura, a estrutura de fundação ou infraestrutura e o maciço de solos, no qual se assentam as fundações. Através de métodos como a sondagem pode-se conhecer as camadas do solo e suas respectivas espessuras, além da resistência e localização do lençol freático, caso exista no terreno em análise. Pode-se dimensionar uma fundação que atenda a todos os requisitos demonstrados nos estudos e laudos técnicos de sondagem (obtidos previamente por empresa especializada) e que consiga transmitir de maneira homogênea para as camadas do solo os esforços oriundos da edificação.

O estudo analítico das patologias presentes em fundações, no ramo da construção civil, busca atentar para que se tenha uma seleção e posterior execução precisa da fundação no solo (partindo do pressuposto que será feita primeiramente a análise do solo). Aliada inclusive, a alternativas construtivas que garantam um melhor comportamento e funcionalidade na obra em questão, evitando problemas futuros.

A partir do momento em que identifica a patologia nas fundações é importante que se busque sua origem para que haja garantia na estabilidade global da estrutura. Com o monitoramento de seus intervalos de ocorrência, é possível oferecer uma medida assertiva na resolução do problema, levando em consideração aspectos como: normas técnicas, lotes vizinhos e características do solo que possam vir a influenciar em seu estudo.

Este trabalho se justifica pela importância do conhecimento da interação solo fundações, que quando não são previamente estudados, podem gerar consequências danosas no âmbito estrutural, por conta da instabilidade da estrutura, que utiliza o solo como sustentação já que recebe todos os esforços provenientes da própria estrutura e demais cargas da edificação. Assim, torna-se importante esse estudo que definirá a melhor fundação para cada tipo de solo.

Levando em consideração a verificação da análise estrutural, estudo do solo e fundações, este trabalho tem como objetivo principal a análise, a partir da elaboração de um projeto estrutural, da adequação de fundações para diferentes tipos de solos. Analisados a partir de laudos de sondagem, na composição de um edifício residencial de 12 pavimentos, projetado para Itaperuna - RJ.

Como metodologia para a análise foram necessárias as seguintes etapas: analisar o projeto de engenharia civil da edificação com fins a elaboração de projeto estrutural; elaborar o projeto estrutural, contendo lajes, vigas, pilares, reservatório, escada e demais elementos estruturais que se fizerem necessários; analisar os laudos de investigação solo (sondagens) realizadas previamente em diferentes terrenos e fornecidos por empresa especializada; elaborar

o projeto de fundações profundas adaptado a cada tipo de solo; apresentar um estudo comparativo do projeto de fundações considerando cada tipo de solo.

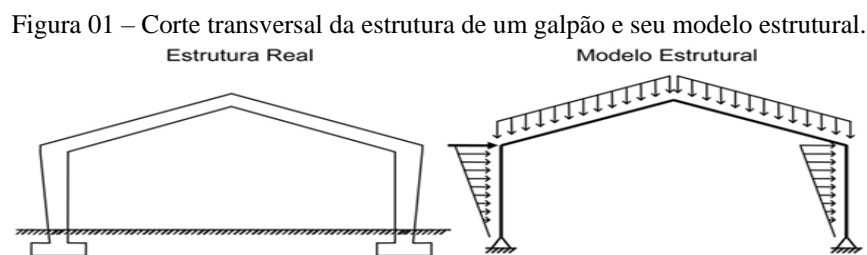
2 REVISÃO LITERÁRIA

Fez-se uma investigação teórica dos parâmetros que concernem a um empreendimento na esfera da Engenharia Civil, afim de que possa aplicar a teoria exposta à prática implementada como objeto desse artigo.

2.1 PROJETO ESTRUTURAL

A estrutura de uma edificação mantém intacta a forma da edificação sob a influência das forças, cargas e fatores ambientais aos quais ela está sujeita. A estrutura deve ser projetada para que não desmorone, rompa ou se deforme a um grau inaceitável quando está sujeita a forças e cargas. Estudar as estruturas é analisar as forças e tensões que ocorrem na mesma e desenvolver um projeto de componentes que serão capazes de lhes suportar.

Em uma estrutura, as lajes têm a função de receber o carregamento externo e transmitir para as vigas que, por sua vez, servem de suporte para a laje. Posteriormente, as cargas da viga são transferidas para os pilares e, por último, para a fundação, que descarrega as solicitações no solo. Na figura 01, observa-se a comparação do corte transversal da estrutura e de seu modelo estrutural.



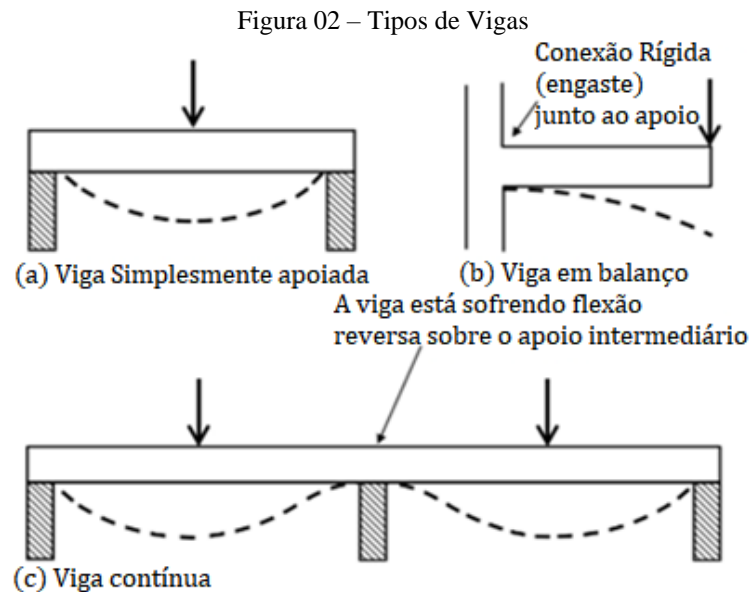
Fonte: MARTHA (2017).

Segundo Bastos (2015), as lajes são classificadas como elementos planos bidimensionais, que são aqueles onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão, a espessura. As lajes são também chamadas elementos de superfície, ou placas.

A laje recebe a maior parte das ações aplicadas numa construção, como pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais variados tipos de carga que podem existir, sendo essa a finalidade a

qual esse elemento faz parte. As ações são normalmente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser divididas em distribuídas na área, distribuídas linearmente ou forças concentradas.

As vigas são “elementos lineares em que a flexão é preponderante” (NBR 6118, 2014). Elemento linear é aquele em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominado “barra”. A figura 02 apresenta os tipos de vigas existentes.



Fonte: MARTHA (2017)

Apoiada em pilares e, geralmente, embutida nas paredes, a viga transfere para os pilares o peso da parede apoiada diretamente sobre ela e as reações das lajes. De uma maneira geral, engenheiros e arquitetos preferem que as vigas fiquem embutidas nas paredes de vedação, para que não sejam percebidas visualmente. Para que isso ocorra, a largura das vigas deve ser escolhida em função da espessura final da parede, que depende basicamente das dimensões e da posição de assentamento das unidades de alvenaria e da espessura da argamassa de revestimento, nos dois lados da parede.

Os Pilares são “Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes” (NBR 6118, 2014, item 14.4.1.2). São verticais e suportam carga axial estando, assim, sujeitos à compressão. Quando um pilar é esbelto ou quando sustenta um arranjo assimétrico de vigas, ele também pode sofrer flexão. Pilares de concreto ou de alvenaria podem apresentar seção transversal quadrada, retangular, circular ou cruciforme. De acordo com Bastos (2015), os pilares são os elementos estruturais de maior importância nas estruturas, tanto do ponto de vista da capacidade resistente dos

edifícios quanto no aspecto de segurança. Como elementos verticais, são os principais responsáveis na estabilidade global dos edifícios, compondo o sistema de contraventamento juntamente com as vigas e lajes.

Em se tratando de reservatórios, segundo a NBR 5626 (2020), a capacidade dos reservatórios de uma edificação deve atender ao padrão de consumo de água no edifício e, se possível, obter informações, considerar a frequência e duração de interrupções do abastecimento. Apresentando grandes esforços de tração, os reservatórios devem dispor de paredes espessas para que não sejam provocadas fissuras com aberturas inadmissíveis nas faces em contato com a água. Por serem, em muitos casos, executados em concreto armado, os reservatórios podem assumir vários tamanhos e formatos, sendo os mais usuais os retangulares e cilíndricos. Outra classificação importante é quanto a posição do reservatório em relação ao solo, que pode ser: enterrado, semienterrado, apoiado no solo e elevado.

As escadas são elementos de circulação vertical que permitem passagem entre diferentes planos de uma edificação. Atualmente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT define regras obrigatórias para a concepção de um projeto através da NBR 6118 (2014) - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, NBR 9050 (2020) - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaço e equipamentos urbanos e NBR 9077 (2001)¹ - Saídas de emergência em edifícios. Visando atender às normas citadas, diversos tipos de escadas podem ser utilizados em edificações. Os modelos mais frequentes são: escada de um lance, armada longitudinalmente ou transversalmente; escada em balanço, engastada em viga lateral ou com degraus isolados; escada de dois lances com um patamar intermediário e escada de três lances (ARAÚJO, 2010). O modelo de escada utilizado no projeto foi o de dois lances com patamar intermediário.

2.2 INVESTIGAÇÃO DESCRITIVA DO SOLO

O estudo das propriedades geotécnicas dos solos, visto que serve de base para sustentação da edificação. Existem diversos métodos que fornecem as características do solo, mas neste estudo, será utilizado o procedimento da sondagem de simples reconhecimento com SPT, visto que é a de maior aplicabilidade na construção civil pelo seu custo-benefício. A sondagem consiste em averiguar as camadas de solo com suas respectivas resistências à penetração e caso exista e a localização do nível de água.

Uma das vantagens da sondagem de simples reconhecimento, além do seu custo ser baixo, se comparado com outros métodos de sondagem, é de fácil execução e não necessita de

¹ A NBR 9077 (2001) atualmente encontra-se em fase de revisão.

equipamentos de alto custo, além de poder ser executado em locais de difícil acesso. Com isso, partindo-se das ferramentas, deve-se levar em consideração a complexidade dos detalhes a serem coletados e estudados, onde a equipe responsável deve ser treinada para executar a sondagem com precisão.

Uma sondagem mal executada pode gerar tomadas de decisões errôneas e comprometer na futura tomada de decisão para a escolha da fundação e conseqüente dimensionamento da edificação, de forma que gere um aumento desnecessário de custos na planilha orçamentária. Logo, utilizando a NBR 6484 (2011), aliada com os conhecimentos adquiridos ao longo da formação profissional, obtém-se uma sondagem com perfeita execução e resultados precisos.

2.3 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

A engenharia moderna busca métodos que possam gerar produtividade e controle de qualidade das fundações existentes. A NBR 6122 (2010) determina que fundações profundas são aquelas em que o carregamento é transmitido ao terreno por sua resistência de ponta (base), por sua resistência lateral (superfície lateral) ou pelo arranjo de ambas. Para se enquadrarem na categoria de fundação profunda suas bases devem estar assentadas a uma profundidade superior, ou até mesmo duas vezes a sua menor grandeza e a pelo menos três metros de assentamento. Neste tipo de fundação, incluem-se as estacas e os tubulões. Inclusive, tais fundações são empregadas quando na superfície do maciço terroso não apresenta resistência suficiente, ou quando há condução de recalques em excesso.

A fundação profunda definida como objeto de estudo e aplicação será a estaca Raiz, que é uma estaca de argamassa armada de fuste contínuo e dotado de rugosidades ao longo da profundidade, constituída por um aglomerado de areia e cimento eventualmente aditivado e injetado sob pressão. Existem diversos modos de uso da estaca raiz, que podem ser citados como: controle de recalques; reforço de fundações; reforço de cais de atracação; fundações de difícil execução pelos métodos tradicionais, quer pela ocorrência de matacões no subsolo, quer pela exiguidade de espaço em superfície. Possui uma série de vantagens como: utilizar equipamentos de pequeno porte; atravessa facilmente diversos tipos de formação de solo; resiste à compressão e à tração; não causa perturbação de ruídos e vibrações, pode ser construída em qualquer tipo de direção espacial.

Um elemento que merece destaque é o bloco de coroamento. Para a ABNT NBR 6122 (2010), bloco de coroamento nada mais é do que “bloco estrutural que transfere a carga dos pilares para os elementos de fundação profunda”, que segue até a camada mais resistente do

solo. Seu dimensionamento e suas variadas proporções são dependentes da grandeza do pilar e também do arranjo das estacas.

Os blocos de coroamento são de concreto armado e maciços, localizados na extremidade inferior das estacas, com a função de disseminar as cargas dos pilares e baldrame, além de absorver as solicitações. A atuação e a dimensão dos blocos dependerão de sua especificação, que é flexível ou rígida. A disposição das estacas dentro do bloco de coroamento deverá atender às situações de economia e segurança.

Um dos problemas pertinentes às fundações de uma estrutura são os deslocamentos verticais, que são ocasionados pela aplicação de um determinado carregamento, em outras palavras, recalques, que comprometem a integridade estrutural, a trabalhabilidade da edificação e seu conforto (PRELLWITZ, 2018).

Entendendo sobre a transição das cargas da estaca para o maciço é possível compreender seu comportamento e aferir o recalque consequente de uma fundação profunda. Neste contexto, a NBR 6122 (2010) prediz que um projeto de fundação deve atender aos requisitos fundamentais: deformações aceitáveis sob as condições de trabalho, segurança adequada ao colapso do solo de fundação e do elemento estrutural.

3 METODOLOGIA

Em relação a especificação da investigação, mediante à sua abrangência, o presente trabalho é realizado em formato de pesquisa explicativa/revisão narrativa de literatura, aplicada e desenvolvida sob a forma de um estudo de caso, juntamente com a aplicação da teoria à prática no que se refere a modelagem do projeto estrutural. As informações referentes aos solos na estrutura serão inseridas para que haja a interação e que se alcance a verificação da fundação em cada solo aplicado no programa.

Conforme Gil (2012) a pesquisa explicativa tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, sendo o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade. A fonte dos dados é de origem primária, sendo eles obtidos por meio de laudos de sondagem em diferentes tipos de solo na cidade de Itaperuna-RJ.

Com a definição do projeto de Engenharia Civil, foi possível a elaboração para um projeto estrutural através do software Eberick, possibilitou a geração das pranchas referentes ao estrutural. Definido a estrutura posteriormente, fez-se uma análise correlacionando os solos e a estrutura, a fim de gerar um material para um estudo comparativo.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO ESTRUTURAL

Para o desenvolvimento estrutural de qualquer empreendimento é indispensável o entendimento dos estágios pertinentes ao mesmo, desde a seleção do terreno até mesmo sua execução final. O presente projeto de engenharia civil está situado no município de Itaperuna/RJ, no bairro Cidade Nova e se trata de um edifício residencial de 12 pavimentos. Após a determinação de todos os critérios fundamentais foi escolhida a fundação profunda, visto que se trata de uma projeção cuja a intensidade de carga será expressiva devido a quantidade de pavimentos a serem projetados, além do seu método executivo.

Para conclusão do estudo que relacionará a fundação profunda com os variados tipos de solos (analisados por intermédio dos laudos de sondagem do terreno fornecidos por empresa especializada) será essencial a utilização do *software* Eberick. O programa permite criar um documento único com o memorial de cálculo da edificação, contendo uma série de relatórios referentes à análise global, esforços e dimensionamento dos elementos e cargas nas fundações (ALTOQI, 2021). Inclusive, o programa permite a otimização durante cada processo executado para a produção final da interação solo-estrutura e reduz a margem de erro nos processos de cálculos.

3.2 ANÁLISE DESCRITIVA DO SOLO INVESTIGADO

Os laudos de sondagem referentes a ensaios no solo realizados em diferentes locais da cidade de Itaperuna-RJ foram fornecidos por empresa especializada, e sua análise será fundamental para proporcionar um melhor conhecimento das características do solo.

As etapas do ensaio, segundo a NBR 6424 (2001), são feitas partindo pela cravação de um amostrador padrão do tipo Raymond, se repetindo a cada metro do solo, determinando a resistência dele, ou seja, o SPT. Leva-se em consideração todas as particularidades existentes no terreno que possam vir a influenciar durante o processo da execução da sondagem.

Após a colocação dos equipamentos necessários, ocorre a perfuração do solo, onde é coletado uma amostra do solo para experimentos laboratoriais. Após isso, o laudo de sondagem é gerado e possibilita um estudo detalhado das características do solo. Para conclusão da sondagem, deve-se cravar piquetes nos furos para marcar a área, para caso haja necessidade de retornar ao local para coletar alguma outra informação relevante ao estudo.

Os critérios de paralisação da sondagem, segundo a NBR 6484 (2020), referem-se como: quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador-padrão; quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30

cm iniciais do amostrador-padrão; e quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador-padrão.

Durante a etapa de perfuração do solo, deve-se atentar para qualquer indício do nível d'água. Caso isso ocorra, a perfuração deve ser interrompida e anotada a posição e sua variação durante 30 minutos. Após o tempo determinado, o procedimento é repetido após a finalização da sondagem para determinar novamente o nível freático.

Partindo-se de todas as etapas da sondagem e respectivos laudos de sondagem gerados, pode-se analisar se é viável o uso do solo para construção e caso seja, até qual camada será de maior proveito para complementar decisões futuras por parte do profissional.

3.2.1 Primeiro laudo de sondagem

3.2.1.1 Furo 1

Tabela 1 – Dados de sondagem – Furo 1

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 1,97m	Plástico, com resistência à penetração igual a 4.	Solo de baixa resistência.
1,97 - 2,69m	Consistência granulosa, alta porosidade e pouca umidade, com resistência à penetração igual a 7.	Solo de baixa resistência.
2,69 - 3,99m	Solo com difícil desagregação e plástico, com resistência à penetração igual a 20.	Solo de alta resistência.
3,99m +	Solo impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021)

3.2.1.2 Furo 2

Tabela 2 – Dados de sondagem – Furo 2

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 1,64m	Argila com entulho, de coloração marrom, com resistência à penetração igual a 3.	Solo de baixa resistência.
1,64 - 2,50m	Residual maduro, com argila arenosa mole, de coloração mesocrática ou cinzenta, com resistência à penetração igual a 4.	Solo de baixa resistência.
2,50 – 3,85m	Residual jovem, com areia fina pouco argilosa, de coloração amarela. Solo com difícil desagregação e plástico, com resistência à penetração igual a 60.	Solo de alta resistência.
3,85m +	O solo se torna impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021)

3.2.1.3 Furo 3

Tabela 3 – Dados de sondagem – Furo 3

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 1,80m	Argila com entulho, de coloração marrom, com resistência à penetração igual a 3.	Solo de baixa resistência.
1,80 - 2,51m	Residual maduro, com argila arenosa mole, de coloração mesocrática ou cinzenta, com resistência à penetração igual a 4.	Solo de baixa resistência.
2,51 – 3,40m	Residual jovem, com areia fina pouco argilosa, de coloração amarela. O resultado indica ser um solo com difícil desagregação e plástico, com resistência à penetração igual a 18.	Solo de alta resistência.
3,40m +	O solo se torna impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021)

3.2.2 Segundo laudo de sondagem

3.2.2.1 Furo 1

Tabela 4– Dados de sondagem

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 0,40m	Caracterizado por matéria orgânica, variegada. O resultado indica ser um solo com alto teor de material orgânico, com número de golpes de 4.	Solo de baixa resistência.
0,40 – 1,68m	Aterro de granulação variada, de cor vermelha, possui um número de golpes igual a 5.	Solo de baixa resistência.
1,68 – 3,74m	Solo residual com areia média, de coloração cinza. O resultado indica ser um solo compacto, com um número de golpes igual a 27.	Solo de baixa resistência.
3,74m +	O solo se torna impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021).

3.2.2.2 Furo 2

Tabela 5– Dados de sondagem

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 0,30m	Caracterizado por matéria orgânica, variegada. O resultado indica ser um solo com alto teor de material orgânico, com número de golpes de 7.	Solo de baixa resistência.
0,30 – 1,76m	Aterro de granulação variada, de cor vermelha, possui um número de golpes igual a 8.	Solo de baixa resistência.
1,76 – 2,48m	Solo residual com argila-arenosa, de coloração cinza, possui um número de golpes igual a 8.	Solo de baixa resistência.
2,48 – 3,80m	Solo residual com areia compacta média, de coloração cinza. O resultado indica ser um solo com baixa coesão, com um número de golpes igual a 12.	Solo de média resistência.
3,80 – 5,90m	Solo com difícil desagregação e plástico, com um número de golpes igual a 31.	Solo de alta resistência.
5,90m +	Solo se torna impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021)

3.2.2.3 Furo 3

Tabela 6– Dados de sondagem

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 0,26m	Matéria orgânica, variegada. O resultado indica ser um solo com alto teor de material orgânico, com número de golpes de 4.	Solo de baixa resistência.
0,26 – 1,70m	Aterro de granulação variada, de coloração vermelha, possui um número de golpes igual a 5.	Solo de baixa resistência.
1,70 – 2,40m	Solo residual argila-arenosa, de coloração cinza. O resultado indica ser um solo plástico e mole, com um número de golpes igual a 5.	Solo de baixa resistência
2,40 – 3,70m	Solo residual com areia compacta média, de coloração cinza. O resultado indica ser um solo compacto com baixa coesão, com um número de golpes igual a 22.	Solo de média resistência.
3,70 – 4,65m	Solo residual com arenoso, de coloração amarela. O resultado indica ser um solo com difícil desagregação e plástico, com um número de golpes igual a 30.	Solo de alta resistência.
4,65m +	Solo se torna impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021)

3.2.3 Terceiro laudo de sondagem

3.2.3.1 Furo 1

Tabela 7– Dados de sondagem

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 2,52m	Argila arenosa mole, de coloração vermelha. O resultado indica ser um solo plástico e com alto teor de porosidade, com número de golpes de 5.	Solo de baixa resistência.
2,52 – 3,60m	Solo sedimentar com argila siltosa plástica muito mole, de coloração amarela, número de golpes de 7.	Solo de baixa resistência.
3,60 – 4,00m	Solo residual maduro com areia média pouco fofa, com mica e de coloração amarela. Solo com baixa coesão, com um número de golpes de 23.	Solo de média resistência.
4,00 – 5,00m	Solo residual maduro com areia média compacta, com mica, de coloração mesocrática ou cinzenta. O resultado indica um solo com baixa coesão, com um número de golpes de 19.	Solo de média resistência.
5,00 – 5,80m	Solo residual maduro com areia grossa com pedregulho médio compacta, com mica, de coloração mesocrática ou cinzenta, possui um número de golpes equivalente a 20.	Solo de média resistência.
6,00m +	Solo se torna impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021)

3.2.3.2 Furo 2

Tabela 8– Dados de sondagem

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 2,65m	Argila siltosa com entulho mole, de coloração marrom. O resultado indica um solo plástico e com alto teor de porosidade, com número de golpes igual a 7.	Solo de baixa resistência.
2,65 – 3,50m	Solo sedimentar com argila siltosa plástica mole, de coloração amarela, possui um número de golpes de 10.	Solo de baixa resistência.
3,50 – 5,50m	solo residual maduro com areia média siltosa medianamente compacta, de coloração amarela. O resultado indica um solo com baixa coesão, com um número de golpes de 11.	Solo de média resistência.
6,00m +	Solo se torna impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021)

3.2.3.3 Furo 3

Tabela 9– Dados de sondagem.

PROFUNDIDADE	TIPO DE SOLO	RESULTADO
0 – 2,80m	Argila siltosa com entulho mole, de coloração marrom. O resultado indica ser um solo plástico e com alto teor de porosidade, com número de golpes de 8.	Solo de baixa resistência.
2,80 – 4,50m	Solo sedimentar com argila siltosa plástica mole, de coloração mesocrática, número de golpes de 22.	Solo de alta resistência.
4,50 – 5,60m	Solo residual maduro com areia média siltosa medianamente compacta e de coloração mesocrática ou cinzenta. O resultado indica um solo com baixa coesão, com um número de golpes de 12.	Solo de média resistência.
6,62m +	Solo se torna impenetrável ao trépano de lavagem por presença de rocha ou matacão.	

Fonte: Autores (2021).

3.3 PARÂMETROS RELEVANTES PARA A SELEÇÃO DO MODELO DE FUNDAÇÃO

Para a composição de um projeto de fundações são necessários o projeto executivo e o memorial de cálculo. Considerando juntamente os levantamentos: laboratoriais, de campo e descrição regional, referentes a construções vizinhas e os projetos de: locação, carga dos pilares e de infraestrutura. Vale ressaltar que a visita técnica ao local do empreendimento é a avaliação efetuada por parte do projetista para que sejam vistoriadas as características de influência para a elaboração de um devido projeto.

No projeto de uma estrutura existe a preocupação de que se a mesma irá desempenhar funções às quais são destinadas com eficiência, buscando um projeto econômico que permita segurança, resistência, estabilidade e durabilidade. Dois conceitos básicos em geral, abrangem estudos sobre as ações, a vida útil e o estado de desempenho de uma estrutura, estes, podem ser classificados como qualitativos, quando se deseja definir se uma estrutura possui ou não segurança ou como quantitativos, quando a intenção é de estabelecer um número que sirva como medida de segurança existente.

Para a seleção de um modelo de fundação são verificadas as variantes predominantes a cada situação de projeto. Dentre os fatores dominantes, estão citados os que fizeram parte da aplicação para o estudo de caso, sendo esses: aspectos do solo (ter o conhecimento do perfil do maciço, reconhecer as posições do solo, as respectivas profundidades, seu nível resistente, se o mesmo possui compacidade e/ou consistência, sua compressibilidade e até mesmo a que posição se identifica o lençol freático) e os aspectos estruturais (distinguir qual o modelo geométrico e estrutural, determinar sua proporção, ou seja, se será pequeno, médio ou grande

porte). Vale reforçar a importância dos laudos fornecidos por empresa especializada para a posterior dimensionamento da fundação.

3.4 INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA PARA A SITUAÇÃO DO SOLO DE MENOR RESISTÊNCIA

Como descrito anteriormente, para o dimensionamento das fundações é necessária a avaliação de parâmetros diretamente proporcionais a sua projeção estrutural, juntamente com a situação em que o projeto está contido. De acordo com os dados gerados pelos laudos de sondagem e a capacidade de carga do pilar (elaborado com a projeção estrutural) foi possível a inserção de seus respectivos valores em uma planilha específica (que foi desenvolvida pelo próprio orientador ao longo da formação dos integrantes) para o cálculo referente a fundação profunda, o que possibilitou determinar o quantitativo de estacas para cada pilar e a geometria do bloco de coroamento.

Na planilha utilizada contém informações referentes aos laudos de sondagem, métodos de cálculos (criados por autores, dentre eles estão: Aoki-Velloso, Laprovitera Benegas, Monteiro, Décourt-Quaresma e Teixeira) para o encontro da capacidade de carga da estaca e a interação das capacidades de carga dos pilares, bem com a da estaca definida. A interação das capacidades de carga se dá pela carga máxima do pilar em razão da capacidade de carga da estaca (esta é encontrada pelo valor médio das capacidades idealizada pelos processos de cálculo dos autores). De acordo com a inserção dos dados referentes de cada região pode-se mensurar sua respectiva capacidade de carga para a estaca em função dos respectivos autores. Após a geração das capacidades de cargas encontrou-se um valor médio (fez-se a média dos autores) para cada região, com a média gerada por cada furo foi selecionado o furo da região que demonstrou a menor resistência, furo este que fora utilizado como modelo de comparação qualitativa do presente estudo e, inclusive, projeção estrutural da fundação.

Na planilha, o furo de menor resistência foi selecionado através da avaliação da situação mais desfavorável. Em tese, se a menor resistência gerada suporta a carga máxima dos pilares, subentende-se que as demais cargas dos demais furos também suportarão as cargas proveniente deste elemento estrutural. Já na prática, o ideal seria que o laudo de sondagem fosse extraído em função da locação exata dos pilares. Ter o diagnóstico do perfil existente em função da locação do pilar é mais coerente e viável para a determinação da fundação que simplesmente perfurar o solo com a fundação pré-selecionada e com a falta de conhecimento do seu perfil em que a mesma será inserida. Vale lembrar que os procedimentos da extração dos laudos de

sondagem são normatizados, mesmo que sejam furos representativos estes atendem a norma vigente.

O furo encontrado como o de menor resistência por intermédio da comparação das capacidades de carga da estaca foi o furo 01 do último laudo de sondagem, descrito abaixo o seu processo de estaqueamento. Vale ressaltar que a estaca raiz possui diâmetro de 40 centímetros, sua cota de apoio se encontra na profundidade de 5 metros (para este furo) e a capacidade proveniente da carga da estaca é de 633,34 KN. O número de estacas total encontrado foi de 233 unidades, e sua geometria em função da quantidade específica de estacas para cada pilar.

4 RESULTADOS

Na sequência serão apresentados resultados obtidos a partir da análise dos laudos de sondagem que foram utilizados como parâmetro principal para a escolha da fundação profunda, juntamente a demonstração das informações no que diz respeito a interação solo-estrutura.

4.1 RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DA ANÁLISE DESCRITIVA DOS SOLOS

O primeiro laudo de sondagem, apontou o solo da região caracterizado por camadas de solo predominantemente de aterro, sendo descritas como solos argilosos, com coloração marrom, assegurando um solo com baixa resistência e não ideal para colocação de fundação.

O segundo laudo de sondagem, caracterizou a região por camadas de solo predominantemente de aterro, sendo descritas como solos residuais maduros de baixa coesão, com coloração marrom, apresentando uma resistência mediana.

Por fim, o terceiro laudo de sondagem é caracterizado por ser predominantemente aterro, sendo descrito como solo residual maduro, siltoso e sedimentar, na qual a granulação é variada, indicando uma resistência mediana.

Dessa maneira, a fundação em estaca se torna útil por apresentar características de resistências compatíveis necessárias para a cravação, de forma que o solo consiga absorver de maneira homogênea, visto que a estaca necessita atingir profundidades maiores para aumentar sua capacidade de carga e conseguir suportar a edificação.

Todos os laudos de sondagem em análise apresentaram características em comum, alternando somente a posição do nível de água que variou em centímetros de um furo ao outro, mas sempre presente nos primeiros metros iniciais do solo.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

Já que o processo de elaboração das fundações para cada furo seguirá a mesma linha do processo estrutural da fundação característica para o furo que contém a menor resistividade. O presente trabalho utilizou como base para composição dos estudos e cálculos, o auxílio do software Eberick, para o cálculo das capacidades de carga, e planilha produzida pelo orientador que possibilitou o cálculo da resistência de cada furo, com enfoque no furo característico com menor resistência.

Partindo-se de uma análise crítica estrutural, os pilares apresentaram um comportamento estável e dentro dos paradigmas estabelecidos com as normas, além de se enquadrar com o tipo específico de fundação, a estaca raiz. Por se tratar de laudos descritos com camadas de solo impenetrável em pequenas profundidades, a estaca raiz foi a selecionada em conformidade deste fator, principalmente, por sua execução estar sujeita a perfuração em material rochoso. Além de, suportar altas capacidades de cargas, como foi prevista pelos cálculos estruturais da edificação, de forma que diminua a possibilidade de recalques excessivos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É de muita relevância avaliar a seleção das fundações em virtude do solo apresentado para o terreno adquirido, independentemente de sua proporção estrutural (pequeno, médio ou grande porte). Avaliar tecnicamente as particularidades do solo está diretamente relacionada a estudar o comportamento que o mesmo obterá em função da carga que este estará sujeito a sustentar. Em razão disso, a análise do maciço deverá estar inserida como etapa inicial de um empreendimento afim de diminuir falhas na projeção estrutural, uma vez que, uma elaboração estrutural precisa depende da compreensão do solo. Vale ressaltar que, a projeção estrutural é procedente da produção do projeto de Engenharia Civil, atendida por todos os parâmetros normativos vigentes, como é o caso deste.

O estudo comparativo foi confeccionado baseado no fornecimento das amostras de laudos de sondagem em diferentes regiões em conjunto da seleção da fundação profunda, para que haja a demonstração do comportamento da estaca prevista para os diferentes tipos de solo. Inclusive, no processo de elaboração da interação solo-estrutura foram utilizados métodos de cálculo para aferir a resistência de cada estaca para cada região e por intermédio do software de projeção estrutural foi viável a determinação dos elementos estruturais em função de suas dimensões e geometria. Pode-se, então, considerar que a estrutura elaborada para cada situação resiste as solicitações impostas a ela. Mesmo que apenas uma região tenha sido descrita como modelo do presente estudo, a interação com as demais regiões foi considerada satisfatória, de

modo a atender a resistência que cada pilar exerce em razão de cada capacidade de carga da estaca, garantindo assim a segurança necessária.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5626**: informação e documentação: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Acesso em: 04 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: informação e documentação: projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. Acesso em: 08 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122**: informação e documentação: projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. Acesso em: 05 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6424**: informação e documentação: reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. Acesso em: 04 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484**: informação e documentação: solo - sondagens de simples reconhecimento com spt - método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Acesso em: 10 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9050**: informação e documentação: acessibilidade a edificações, mobiliários espaço e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Acesso em: 06 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9077**: informação e documentação: saída de emergência em edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. Acesso em: 04 abr. 2021.

BARROS, C. **Técnicas Construtivas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Apostila da Disciplina de Edificações (IFECT), Pelotas/RS, 2011.

BARBOSA AMANCIO, Uciana. Levantamento de problemas em fundações correntes. **Fundações**, Porto Alegre, 1993.

BARBOSA AMANCIO, Uciana. Previsão de recalques em fundações profundas utilizando redes neurais artificiais do tipo perceptron. **Recalque**, Fortaleza, 2013.

DE CARVALHO, Décio Manuel. **Patologias das fundações: fundações em depósitos de vertente na cidade de Machico**. PATOLOGIAS, [s. l.], 2010.

FLEICHMAN PRELLWITZ, Marta. **Fundações**. Itaperuna, 2018.

FERREIRA, CLÁUDIO VIDRIH; LOBO, ADEMAR DA SILVA; RENOFIO, Adilson; ALBIERO, JOSÉ HENRIQUE. **Danos em edificações provenientes de patologias, implantadas em solos colapsáveis**. PATOLOGIAS, [s. l.], 2011.

KOGA, Letícia M.; MIRANDA, Maicon de O.; BERTERQUINI, Aline B. T. **Patologias das fundações. Pathologies of foundations**.

LÚCIO MENDES REZENDE, Vitor. **Avaliação patológica em recalques solo-fundação: uma análise de ocorrências na cidade de Uberlândia.** Patologias, UBERLÂNDIA, 2019.

MARIA CALLAI DE MELO, Victoria. Reforço de Fundação em Estaca Raiz: Estudo de Caso. **Fundação,** Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/13223/1/21340922.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2021.

MENDES, Emídio Laranjeira. **Patologias em edifícios existentes na força aérea, associadas à localização e aos solos de fundação.** PATOLOGIAS, [s. l.], 2011.

MOTA, Magnólia Maria Campelô. **Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: métodos numéricos e resultados observados no campo.** FUNDAÇÃO, [s. l.], 2009.

REZENDE, Vitor Lúcio Mendes. **Avaliação patológica em recalques solo-fundação: uma análise de ocorrências na cidade de Uberlândia.** PATOLOGIAS, [s. l.], 2019.

SÉRGIO DOS SANTOS BASTOS, Paulo. **Lajes de concreto.** Concreto, Bauru, 2015.