Análise de viabilidade econômica entre fundações rasas e profundas na região nordeste de Curitiba (PR)

REVISTA ELETRÔNICA MULTIDISCIPLINAR
UNIFACEAR

Francis Diego Moretto Sarturi[1]; Anny Caroline de Farias Zanetti[2]; Consuelo Xavier Correia[3]
Centro Universitário UniOPET

RESUMO

O projeto de fundação de uma edificação é de fundamental importância sob os aspectos técnico e econômico, podendo ser utilizada a solução em fundação rasa ou profunda. A escolha por uma das soluções leva em consideração fatores como resistência do solo, tempo de execução, maquinário disponível, aspectos financeiros, dentre outros, buscando-se a solução que melhor atenda aos requisitos da obra. Com o objetivo de comparar as soluções entre fundação rasa e profunda, será apresentado o projeto de uma edificação com as duas alternativas de fundações, buscando-se determinar qual delas é a mais adequada ao caso em estudo. Para isso, será analisado um edifício residencial de pequeno porte, denominado Edifício C. Tem-se como base o projeto arquitetônico, projeto estrutural e o relatório de ensaio de sondagem à percussão (SPT). Primeiramente, as fundações foram pré-dimensionadas e determinada a envoltória de esforços de modo a encontrar as maiores solicitações provenientes da estrutura na fundação. Com base na sondagem SPT, foram calculadas as capacidades de carga da fundação, utilizando a teoria de Terzaghi com as proposições de Vesic para sapatas e a média ponderada simples entre os métodos Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma para estacas. Após o dimensionamento das fundações, foram determinados os quantitativos de materiais e, com o auxílio da Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), foram elaborados os orçamentos. Os resultados indicam que as sapatas são a melhor opção de infraestrutura para o Edifício C, sendo as mais econômicas e com menor tempo de execução.

Palavras chave: fundações, sapatas, estacas.

ABSTRACT

The foundation project of a building is of fundamental importance under the technical and economic aspects, and a shallow or deep foundation solution can be used. Choosing one of the solutions takes into account factors such as soil resistance, execution time, available machinery, financial aspects, among others, seeking the solution that best meets the requirements of the enterprise. In order to compare the solutions between shallow and deep foundations, a building project with the two foundation alternatives will be presented, seeking to determine which one is the most suitable for the case under study. For this, a small residential building, called Building C, will be analyzed. It will be based on the architectural design, structural design and the percussion test report (SPT). Firstly, the foundations were pre-dimensioned and the force envelope determined in order to meet the greatest stresses coming from the structure in the foundation. Based on the SPT drilling, the foundation load capacities were calculated using Terzaghi's theory with Vesic's propositions for footings and the simple weighted average between the Aoki-Velloso and Décourt-Quaresma methods for piles. After dimensioning the foundations, the quantities of materials were determined and, with the help of the Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), budgets were

prepared. The results indicate that the footings are the best infrastructure option for Building C, being the most economical and with the shortest execution time.

Key Words: foundations, footings, piles.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2002), fundações podem ser definidas pela presença do elemento estrutural da construção, o qual fica abaixo do solo (podendo ser rasa ou profunda). Este sistema tem como função sustentar as cargas provenientes da edificação com segurança, ou seja, transmitir as cargas para o solo, gerando estabilidade para a estrutura.

A Engenharia de Fundações, conforme a definição de Das (2016), é a união entre o estudo dos solos e do conhecimento das rochas para o projeto de diversas estruturas, desde fundações para residências simples e edifícios, até obras de contenção de barragens e pontes. No projeto de fundações é que serão analisadas as cargas provenientes da estrutura e a resistência do maciço de solo, determinando-se a solução de fundação mais adequada para cada obra. Porém, esse não é um processo simples, devendo-se, muitas vezes, realizar o comparativo de mais de uma solução.

Diante disso, o presente trabalho apresenta o estudo de três tipos de fundações para uma mesma obra - fundação direta em sapata, fundação profunda em estacas cravadas de concreto e fundação profunda em estacas hélice contínua-, com o objetivo de determinar qual delas é a mais adequada sob os aspectos técnicos e econômicos. O estudo terá como base o projeto estrutural de uma edificação, denominada Edifício C, e as sondagens do local do terreno. São analisadas as capacidades de carga para cada tipo de fundação e determinada as suas dimensões, fazendo-se, posteriormente, a análise qualitativa e quantitativa das fundações projetadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para a adoção de um tipo de fundação para uma obra, deve-se saber distinguir as características, vantagens e desvantagens das opões existentes no mercado. Segundo Velloso e Lopes (2010), fundações são divididas em duas classes: rasas, também conhecidas como superficiais, e profundas. Os autores as distinguem conforme o alcance do mecanismo de ruptura da base, de maneira que, na profunda, a ruptura da base não atinge a superfície, enquanto a rasa tem seu mecanismo de ruptura visível ao topo do solo.

De acordo com a NBR 6122 (2019) – “Projeto e execução de fundações”, a fundação rasa possui profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, e a profunda apresenta profundidade superior a oito vezes a menor dimensão em planta e no mínimo 3,0 m. Já Budhu (2017) afirma que estacas são unidades estruturais esguias e de grande comprimento, desta forma, irão transmitir as cargas para o solo a uma profundidade muito maior. O mesmo autor também menciona fundações superficiais, como as que possuem proporção entre altura de embutimento e menor dimensão de base igual a 2,5. Velloso e Lopes (2010) também citam os tipos de fundações existentes dentro de cada grupo apresentado: blocos, sapatas, grelhas e radier para o rasas e estacas, tubulões e caixão (em desuso) nos modelos profundos.

A definição de sapata, conforme A NBR 6122 (2019), é a de um tipo de fundação rasa produzida em concreto armado e que precisam de aço para absorver as tensões de tração existentes. Em planta, de acordo com referida norma, as sapatas não devem possuir dimensão menor que 60 cm e sua cota de apoio deve ser definida de modo que não seja afetada pelas variações de clima ou umidade do local. A Figura 02, a seguir, exemplifica o modelo de sapata.

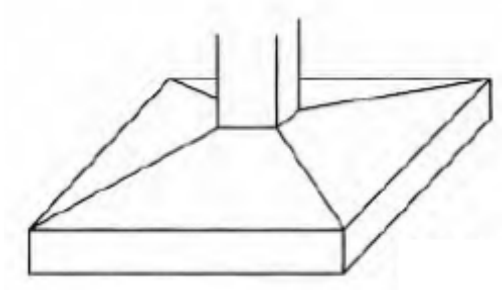

FIGURA 02 – SAPATA
FONTE: VELLOSO E LOPES (2010)

Esse modelo de fundação superficial tem sua execução desenvolvida basicamente através das seguintes etapas: escavação, aplicação de lastro de concreto, montagem das fôrmas, posicionamento da armadura, concretagem da sapata, e por fim, ao final da cura do concreto, realização da desforma da estrutura e desenvolvimento do reaterro do local.

Já as estacas, de acordo com a NBR 6122 (2019), são apresentadas como tipo de fundação profunda que são feitas completamente por equipamentos, sem a necessidade de trabalho manual ou descida de operários ao longo da escavação. Elas podem ser feitas de concreto, madeira, aço, ou a combinação de dois destes. Dentro das estacas de concreto, há a possibilidade de trabalhar com elementos já prontos de fábrica, denominados pré-moldados ou executar a estaca na obra, com concretagem *in situ*.

Existem inúmeros modelos de estacas, destacando-se as cravadas de concreto armado e a hélice contínua.

O sistema de fundação em estaca cravada é formado pelo elemento estrutural pré-moldado e pelo solo. Nesse modelo, a própria estaca é inserida no terreno por golpes de martelo - por gravidade, explosão, de vapor, de diesel, de ar comprimido ou vibratório - (NBR 6122, 2019). A Figura 03 apresenta mostra um exemplo deste tipo de estaca.



FIGURA 03 – ESTACA CRAVADA DE CONCRETO
FONTE: DIRECTIVA ENGENHARIA (S.D.) DISPONÍVEL EM: ENCURTADOR.COM.BR/FWVW0

Em contrapartida, além dos modelos pré-moldados, é possível executar estacas totalmente na obra, realizando a escavação e concertando-as, como no modelo hélice contínua. A Norma de Fundações, NBR 6122 (2019), estabelece que essa estaca é uma opção de estaca moldada *in loco*, com sua execução realizada por meio da rotação de um trado helicoidal contínuo e injeção de concreto diretamente na haste do trado, com inserção da armadura após a concretagem. Como citado pela ABCP (2002), ela adapta-se à maior parte dos solos, com exceção dos locais onde há rochas; sua área de trabalho deve ser plana e de fácil acesso, em função do equipamento, de modo que, para garantir a produtividade, é recomendado que seja disponibilizada uma central de concreto nas proximidades da obra. A Figura 04, a seguir, mostra a execução desse tipo de estaca.

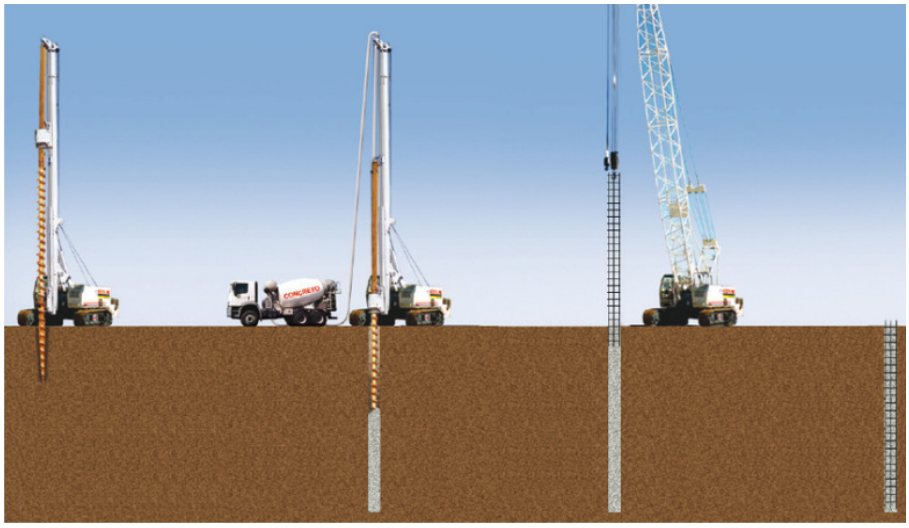

FIGURA 04 – ESTACA HÉLICE CONTÍNUA
FONTE: TOP MIX (S.D.), DISPONÍVEL EM: ENCURTADOR.COM.BR/IHKO4

Para elaborar um projeto de fundações, é de extrema importância tomar conhecimento do solo do local em que será executada a obra, e para isto, existem diversos estudos de investigação geotécnica que podem ser desenvolvidos, os quais são apresentados a seguir.

2.1 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Evidenciando a ideia de que o solo será o receptor das cargas da estrutura, para Milititsky, Consoli e Schnaid (2015), qualquer problema no terreno terá solução se o solo for conhecido, analisado e categorizado. Assim sendo, é de extrema importância que o local no qual será desenvolvida a obra seja previamente estudado, utilizando de dados provenientes da topografia e geotecnia. Velloso e Lopes (2010) definem dois métodos de investigação geotécnica, os métodos diretos e indiretos.

Nos métodos indiretos, não há escavação e utiliza-se de técnicas não destrutivas para analisar o terreno à distância e mensurando características físicas, ambientais e hidrológicas do local. Em geral, são citadas as fotos aéreas, mapeamento por radar, sensoriamento remoto e eletromagnético. Já nos métodos diretos, são realizadas observações e medições *in situ*, com processos de desenvolvimentos destrutivos, tendo como principais representantes as sondagens a trado, *Vane Shear Test* (VST), *Cone Penetration Test* (CPT) e *Standard Penetration Test* (SPT). Os ensaios diretos se tornam pontuais, não abordam todo o terreno, apenas o local da escavação e seus arredores, sendo menos completos que os ensaios indiretos. Apesar disso, o SPT é o ensaio mais popular e econômico do mundo, tendo seus resultados frequentemente interpretados para

dimensionamento de fundações no Brasil (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012). O ensaio SPT é resumido por Budhu (2017) como um procedimento de cravação de um amostrador no terreno, onde o amostrador, a altura de queda e o peso do martelo são padrões.

No Brasil, o SPT é normatizado pela NBR 6484 (2020) – "Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio". Nessa norma, as dimensões fixadas são de altura de queda de 75 cm, peso do martelo de 65 kg e intervalos de cravação de 15 cm cada. A resistência para cada metro de solo, identificada como N_SPT , é obtida pelo somatório do número de golpes do martelo para cravação dos 30 cm finais, naquela camada, os primeiros 15 cm são desconsiderados por serem afetados pela perfuração anterior. O índice N_SPT é usado posteriormente para estudo do solo e escolha da fundação e no seu dimensionamento, de acordo com os métodos de cálculo utilizados.

Dado o objetivo geral do trabalho, além das características das fundações já apresentadas, também serão realizados os orçamentos das mesmas. Portanto, a seguir, é realizada contextualização desse item.

2.2 ORÇAMENTO

O orçamento é definido por Sampaio (1989) como o cálculo realizado para determinar o custo de uma obra ou empreendimento e, quanto mais detalhes o levantamento apresentar, mais próximo do custo real estará. Tisaka (2006) define as seguintes etapas para a sua composição: cálculo de custo direto (material e mão de obra), cálculo das despesas indiretas (impostos, taxas, contribuições e administração) e, por fim, cálculo do benefício (taxa de reserva e lucro esperado).

Existem diversas bases de composições e valores para elaboração do orçamento, sendo que umas das mais utilizadas nacionalmente é SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil,), a qual, de acordo com a Caixa Econômica Federal (2020), foi criada em 1969, tendo origem pelo Banco Nacional de Habitação (BNH), em conjunto com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e em 1986 foi adotado pela Caixa Econômica Federal. O SINAPI tem por objetivo divulgar mensalmente custos e índices para construção civil.

A seguir, apresenta-se a metodologia do trabalho, definindo as etapas essências para o seu desenvolvimento.

3. METODOLOGIA

Para uma edificação, o projeto de fundação é desenvolvido a partir do projeto estrutural da construção que será executada, de modo que, para este trabalho, será

utilizado o projeto estrutural de um edifício denominado genericamente de Edifício C, localizado na região nordeste de Curitiba-Pr.

O Edifício C possui três andares, sendo o térreo e dois pavimentos tipos, acima possui o pavimento da cobertura, o qual abriga o barrilete e por último, a região que é destinada à locação da caixa d´água. Cada andar possui um apartamento, contendo: sala de estar, sala de jantar, cozinha, sacada, lavabo, dois dormitórios, uma suíte e um closet, totalizando 103,48 m² de área por pavimento. O esquema estrutural do Edifício C, é exemplificado nas Figuras 05.

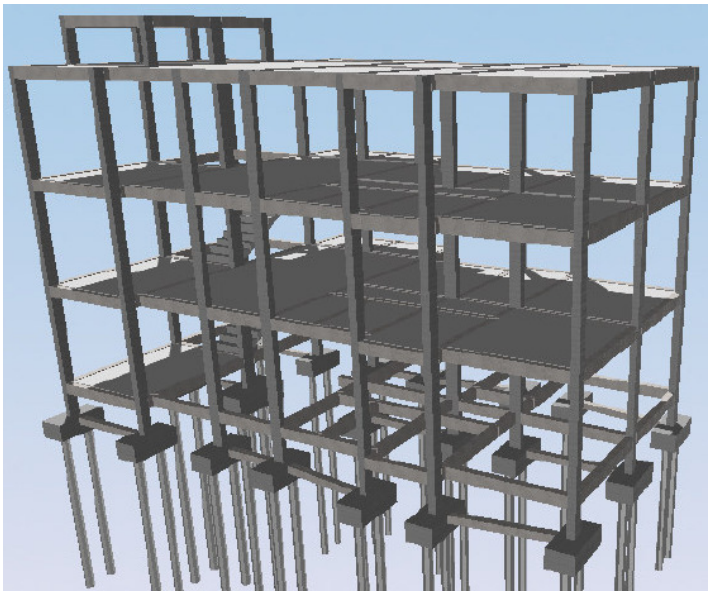

FIGURA 05 – PLANTA DO PROJETO ARQUITETÔNICO DO EDIFÍCIO C
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.

A partir do projeto arquitetônico, os autores desenvolveram um modelo estrutural do mesmo, com o auxílio do software TQS, de acordo com as características da edificação, definindo as cargas permanentes e as cargas acidentais, com base nas normas NBR 6118 (2014), NBR 6123 (1988) e NBR 6120 (2019). Deste projeto, resulta a planta de cargas, parte essencial para realização do projeto de fundações, contendo as diversas combinações de carregamentos nos pilares que necessitam de fundação. O relatório de sondagem do terreno no qual o Edifício C está localizado apresenta quatro duros de sondagem SPT. Dentre eles, observou-se a sondagem que apresenta as piores características geotécnicas, denominada furo SPT-02, que é apresentado na Figura 06.

De modo geral, o desenvolvimento do projeto de fundações, tanto para fundações rasas como profundas, inicia-se com os valores apontados na planta de cargas, a partir dos quais é realizado um pré-dimensionamento das dimensões das fundações. Na sequência, são verificadas todas as combinações de cargas existentes a fim de determinar

a combinação que mais solicita a fundação pré-dimensionada. Calcula-se, então, a resistência geotécnica da fundação, comparando-a com a solicitação máxima obtida da planta de cargas, buscando-se que a resistência geotécnica seja superior à solicitação. Caso essa condição não seja atendida, as fundações devem ser redimensionadas e analisadas novamente.

A comparação de solução de fundações será realizada entre as sapatas e as estacas. Foram levados em consideração os modelos geralmente usados na macrorregião da obra, presença de empresas executoras, acesso dos equipamentos e o resultado do SPT. Cintra e Aoki (2010) relacionam os modelos existentes e sua penetrabilidade em função do N_SPT geral do terreno, onde, observou-se que os modelos pré-moldados de concreto e hélice contínua se adequam ao terreno.

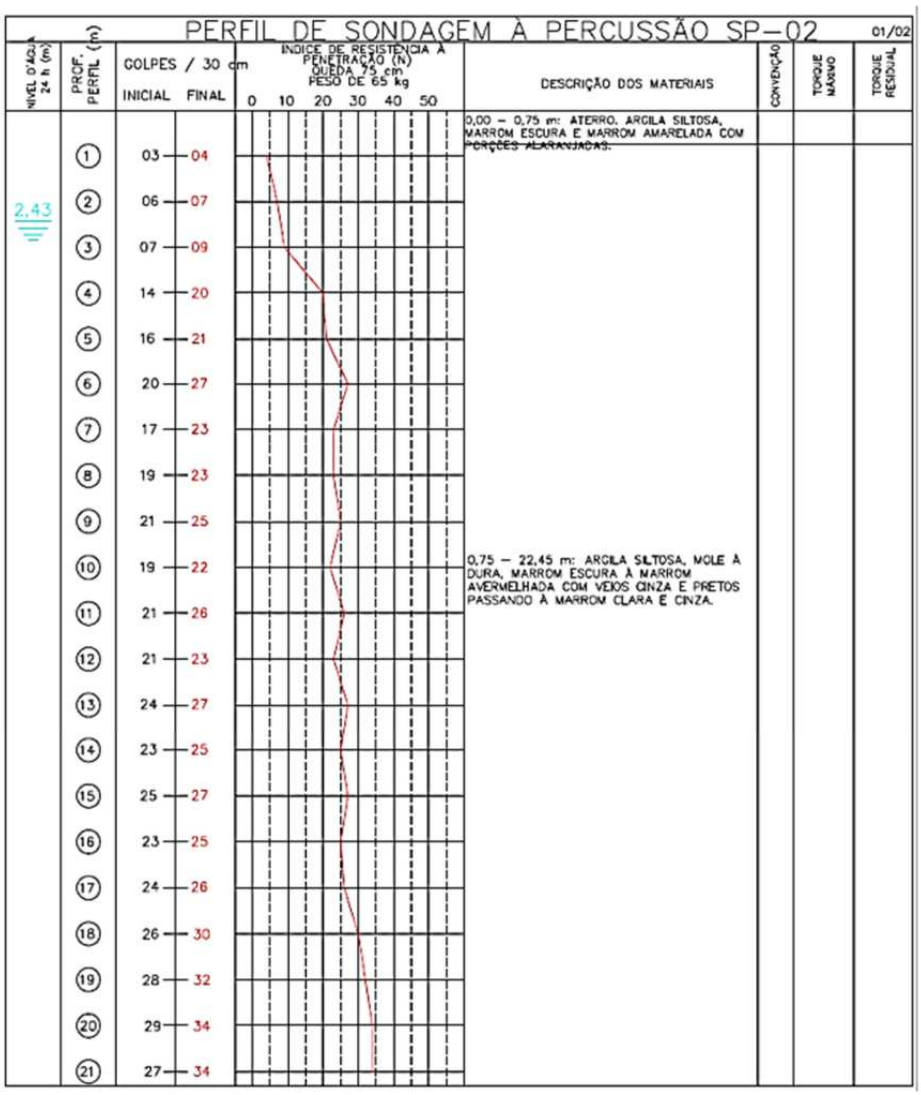

FIGURA 06 – RELATÓRIO DO FURO SPT 02
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Para o pré-dimensionamento das sapatas, formas utilizadas as cargas normais (verticais) Fz da combinação ELU1/PERMACID/PP+PERM+ACID da planta de cargas, sendo majoradas em 30%, para considerar os momentos fletores e esforços horizontais existentes na estrutura. Em seguida, foi utilizado o método semiempírico abordado por Cintra, Aoki e Albiero (2011), que relaciona os valores obtidos no ensaio SPT com a resistência do solo. Assim, foi possível definir a área estimada para cada sapata e, suas alturas, foram delimitadas com base no item 22.6.1 da NBR 6118 (2014).

Similar às sapatas, as estacas utilizaram as mesmas cargas normais, também majoradas, considerando além dos momentos existentes, a carga do próprio bloco de coroamento. Para delimitação da tensão máxima nas estacas, foi utilizado o item 9.2.2.1 da NBR 6122 (2019), para calcular a área total de estacas, e para locá-las no bloco foi considerado o efeito de grupo, conforme Alonso (1983). Inicialmente, foram fixadas a quantidade de duas estacas por bloco de fundação, circulares para o modelo hélice contínua e quadradas para o modelo cravadas de concreto. Os blocos de duas estacas são travados por vigas para absorverem os efeitos do momento fletor no sentido perpendicular à linha de duas estacas. Caso haja necessidade, houve o aumento de número de estacas do bloco, isso pela falta de resistência geotécnica do bloco de duas estacas ou comprimento das estacas atingir camadas de solo que impossibilitem sua execução, conforme a sondagem SPT utilizada.

O método de Karl Terzaghi e Aleksander S. Vesic foi o escolhido para a determinação da capacidade de carga das sapatas por ser um dos mais utilizados no mundo. Eles caracterizaram os modos de ruptura e desenvolveram uma relação matemática que relaciona a capacidade de carga a três variáveis: parâmetros do solo, dimensões físicas da sapata e a altura de embutimento da mesma no solo (CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2011).

Para as estacas, a capacidade de carga foi determinada como uma média ponderada entre os métodos Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma. O primeiro foi desenvolvido inicialmente relacionando os resultados obtidos pelo ensaio CPT de um terreno, porém, visto que no Brasil comumente é utilizado o ensaio SPT, os autores desenvolveram relações entre os ensaios para cada tipo de solo (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012). Em contraponto, Luciano Décourt e Arthur T. Quaresma divulgaram em 1978 seu método, sendo este totalmente baseado no ensaio SPT. Porém, originalmente o método era aplicado a apenas estacas cravadas de concreto, portanto, os autores também desenvolveram tabelas que relacionam coeficientes característicos do solo e fatores de correção aos outros tipos de estacas (CINTRA e AOKI, 2010).

Para o orçamento, foi utilizada SINAPI (setembro de 2020) para o desenvolvimento do orçamento, pois ela possui atualização mensal, além de ter uma publicação para cada estado, o que torna a pesquisa mais próxima da realidade e assertiva. A tabela empregada foi a que não possui desoneração, pois foi considerada mão de obra terceirizada para o desenvolvimento da obra, desta maneira não será necessário efetuar o pagamento de 20% sobre a folha de pagamento, de modo que o serviço executado seria amortizado através de um valor fechado com a contratada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dado o relatório do ensaio SPT realizado, foi possível perceber a presença de um mesmo tipo de solo, a argila siltosa, em todos os furos, entretanto, o furo 02 possuía o nível de água mais próximo da superfície e seus índices de resistência para cada camada de solo N_SPT eram os menores. Deste modo, os cálculos de verificação do solo foram realizados com base neste relatório, o SPT 02, por ser caracterizado como pior caso.

Para as sapatas, adotando os procedimentos descritos na Metodologia, a Tabela 01 apresenta um resumo das características gerais finais das sapatas.

TABELA 01 – RESUMO DAS SAPATAS

Sapata	B (m)	L (m)	Área de formas (m²)	Volume da sapata (m³)	Sapata	B (m)	L (m)	Área de formas (m²)	Volume da sapata (m³)
1	1,1	1,1	0,88	0,3	11	1,5	1,5	1,2	0,74
2	1,6	1,6	1,28	0,84	12	1,1	1,1	0,88	0,3
3	1,1	1,1	0,88	0,3	13	1,5	1,5	1,2	0,75
4	1,1	1,1	0,88	0,3	14	1,1	1,1	0,88	0,3
5	1,9	1,9	1,52	1,32	15	1,1	1,1	0,88	0,3
6	1,5	1,5	1,2	0,74	16	1,5	1,5	1,2	0,74
7	1,1	1,1	0,88	0,3	17	1,1	1,1	0,88	0,3
8	1,3	1,3	1,04	0,49	18	1,1	1,1	0,88	0,3
9	1,1	1,1	0,88	0,3	19	1,1	1,1	0,88	0,3
10	1,5	1,5	1,2	0,74	20	1,1	1,1	0,88	0,3

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Seguindo a mesma lógica, também foram calculadas as capacidades de carga para as fundações profundas. A seguir, nas Tabelas 02 a 05, constam os resumos das características dos da fundação para pilar, contendo os quantitativos do bloco de coroamento, vigas de travamento e estacas

TABELA 02 – RESUMO DAS VIGAS DAS ESTACAS CRAVADAS DE CONCRETO

Viga	Área de formas (m²)	Volume da viga (m³)	Viga	Área de formas (m²)	Volume da viga (m³)
1	1,008	0,0928	7	1,052	0,0972
2	0,968	0,0888	8	1,092	0,1012
3	1,008	0,0928	9	1,132	0,1052
4	0,66	0,058	10	1,104	0,1024
5	0,668	0,0588	11	1,132	0,1052
6	1,024	0,0944			

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 03 – RESUMO DOS BLOCOS DAS ESTACAS CRAVADAS DE CONCRETO

Bloco	Área de formas (m²)	Vol. bloco (m³)	Nº de estacas	D (m)	Δ_L (m)	Bloco	Área de formas (m²)	Vol. bloco (m³)	Nº de estacas	D (m)	Δ_L (m)
1	2,15	0,507	2	0,25	3	11	2,15	0,507	2	0,25	5
2	2,15	0,507	2	0,25	6	12	2,15	0,507	2	0,25	3
3	2,15	0,507	2	0,25	3	13	2,15	0,507	2	0,25	5
4	2,15	0,507	2	0,25	4	14	2,15	0,507	2	0,25	3
5	3,24	0,972	2	0,30	6	15	2,15	0,507	2	0,25	3
6	2,15	0,507	2	0,25	5	16	2,15	0,507	2	0,25	5
7	2,15	0,507	2	0,25	3	17	2,15	0,507	2	0,25	3
8	2,15	0,507	2	0,25	4	18	2,15	0,507	2	0,25	3
9	2,15	0,507	2	0,25	3	19	2,15	0,507	2	0,25	3
10	2,15	0,507	2	0,25	5	20	2,15	0,507	2	0,25	3

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 04 – RESUMO DOS BLOCOS DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

Bloco	Área de formas (m²)	Vol. bloco (m³)	Nº de estacas	D (m)	Δ_L (m)	Bloco	Área de formas (m²)	Vol. bloco (m³)	Nº de estacas	D (m)	Δ_L (m)
1	2,15	0,507	2	0,25	5	11	2,15	0,507	2	0,25	8
2	3,48	1,14	2	0,30	8	12	2,15	0,507	2	0,25	5
3	2,15	0,507	2	0,25	5	13	2,15	0,507	2	0,25	8
4	2,15	0,507	2	0,25	6	14	2,15	0,507	2	0,25	5

5	3,48	1,14	2	0,30	11	15	2,15	0,507	2	0,25	5
6	2,15	0,507	2	0,25	8	16	2,15	0,507	2	0,25	8
7	2,15	0,507	2	0,25	4	17	2,15	0,507	2	0,25	5
8	2,15	0,507	2	0,25	6	18	2,15	0,507	2	0,25	5
9	2,15	0,507	2	0,25	5	19	2,15	0,507	2	0,25	5
10	2,15	0,507	2	0,25	9	20	2,15	0,507	2	0,25	5

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 05 – RESUMO DAS VIGAS DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

Viga	Área de formas (m²)	Volume da viga (m³)	Viga	Área de formas (m²)	Volume da viga (m³)
1	1,008	0,0928	7	1,052	0,0972
2	0,888	0,0888	8	1,092	0,1012
3	1,012	0,0932	9	1,132	0,1052
4	0,66	0,058	10	1,104	0,1024
5	0,668	0,0588	11	1,132	0,1052
6	1,024	0,0944			

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Com os valores de quantitativos foi elaborado o orçamento de cada tipo de fundação. Além dos quantitativos gerados pela fundação, para avaliação do tempo de execução de cada solução, foi desenvolvido uma multiplicação entre o valor unitário para execução de uma unidade de serviço (descritas nas composições) pela quantidade total que seria necessária para desenvolver as opções de fundações; foi considerada uma carga horária de oito horas (por colaborador), composta por: 3 serventes, 3 carpinteiros, 3 armadores, 3 pedreiros, 1 jardineiro, 1 soldador e 1 encarregado, com o objetivo de otimizar a produção. A Tabela 06 apresenta o resumo das informações do orçamento, quanto ao custo total (real brasileiro) de cada fundação e seu tempo de serviço.

TABELA 06 – RESUMO DOS ORÇAMENTOS

Fundação	Valor total (R$)	Tempo de execução (dias)
Sapatas	14.222,28	11

Estacas Cravadas de Concreto	22.369,97	14
Estacas Hélice Contínua	30.947,86	14

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Com base nos dimensionamentos e orçamentos, pôde-se observar que:

- Os dois modelos de estacas apresentam dimensões muito próximas quanto às vigas de travamento.
- O equipamento bate-estaca apresenta custo horário produtivo (CHP) maior do que o trado de hélice contínua, desta forma, conclui-se que o valor da locação da máquina para execução do primeiro modelo é mais rentável quando o único ponto de comparação é o econômico. Também é válido ressaltar que o grande custo da fundação por hélice contínua se encontra no aluguel do próprio equipamento.
- Outro fator importante quanto aos tipos de estacas, o modelo hélice contínua apresenta retirada de solo, devendo haver manobra e descargas do mesmo em local adequado, enquanto o tipo cravado não possui esta necessidade.
- O CHP presente na retroescavadeira pontuada nas sapatas é maior que o dos equipamentos operados nas fundações profundas, em conjunto, seu custo horário improdutivo (CHI) chega a ser quatro vezes menor que o do bate-estaca e o trado da hélice, confirmando-a como o melhor custo-benefício.
- Quanto ao prazo de execução, ambos os tipos de fundações profundas possuem tempos similares, ao contraponto de que a fundação rasa apresenta 3 dias a menos. Já no quesito financeiro, é visível a discrepância entre os modelos, uma vez que as sapatas se mostram como altamente econômicas e, em contrapartida, a hélice contínua surge como a opção que possui custo mais elevado, em função de seu equipamento.

Com base nas análises realizadas anteriormente, definem-se as sapatas como o melhor modelo de fundação para o Edifício C, por serem as mais baratas, levarem menos tempo de execução, utilizarem equipamento com melhor produtividade e suprir a necessidade técnica de transmissão de cargas para o solo.

5. CONCLUSÃO

Por existirem diversas opções e soluções em fundações, deve-se realizar um estudo a fim de estabelecer aquela que melhor de adequada a determinada obra. Assim, frente a questões técnicas e financeiras, o modelo de sapatas para a fundação do Edifício C foi o que proporcionou melhores resultados por possuir o melhor custo benefício,

apresentando um custo praticamente de 50% do custo da solução de fundação mais dispendiosa (hélice contínua) e de 60% em relação à solução em estacas cravadas. Ademais, pela simplicidade do processo executivo – não necessitam da mobilização de equipamento-, as sapatas apresentaram um tempo executivo mais reduzido, de cerca de 11 dias, frente aos 14 dias das estacas.

Com base no trabalho desenvolvido e na análise realizada, deve-se ressaltar a importância de dois fatores principais para o projeto de fundação: o estudo do solo e a real necessidade estrutural do cliente/empreendimento, de modo que seja encontrada o melhor tipo de infraestrutura. Também devem ser avaliados os limites técnicos de trabalho de cada tipo de fundação, para escolher o qual se adeque melhor, não deixando de lado o estudo da topografia local, taludes, e principalmente acessos, uma vez que, em sua maior parte, os equipamentos utilizados para execução apresentam grande porte, e necessitam de uma base nivelada para trabalho.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520 – Informação e documentação. Citação em documentos. Apresentação. Rio de Janeiro, ago 2002a.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. ***Modelling and simulation****: operations management research methodologies using quantitative modeling*. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

MAXIMIANO, A. C. A. **Teoria Geral da Administração**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

OLIVEIRA NETTO, ALVIM ANTÔNIO DE; TAVARES, Wolmer Ricardo. **Introdução à engenharia de produção**. Florianópolis : Visual Books, 2006.

ALONSO, URBANO R. **Exercícios de Fundações**. 2ª edição. São Paulo : Blucher, 1983.

AOKI, NELSON. **Determinação da capacidade de carga última de estaca cravada em ensaio de carregamento dinâmico de energia crescente**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Fundações – Manual de Estruturas. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118:Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6122:Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6484:Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

BOTELHO, MANOEL H**. Princípios da Mecânica dos Solos e Fundações para a Construção Civil**. São Paulo : Blucher, 2015.

BUDHU, MUNI. **Fundações e Estruturas de Contenção.** Rio de Janeiro:LTC, 2017.

CINTRA, JOSÉ C. A.; AOKI, NELSON. **Fundações por estacas – Projeto Geotécnico**. São Paulo : Oficina de Textos, 2010.

CINTRA, JOSÉ C. A.; AOKI, NELSON.; ALBIERO, JOSÉ H. **Fundações Diretas – Projeto Geotécnico**. São Paulo : Oficina de Textos, 2011.
DAS, BRAJA M. **Princípios de Engenharia de Fundações**. São Paulo : Cengage Learning, 2016.

MILITITSKY, JARBAS.; CONSOLI, NILO C.; SCHNAID, FERNANDO. **Patologia das Fundações**. 2ª edição. São Paulo : Oficina de Textos, 2015.

REBELLO, YOPANAN C. P. Fundações – **Guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 6ª edição. São Paulo : Zigurate Editora, 2008.

SAMPAIO, F. M. **Orçamento e custo da construção**. Brasília : Hemus, 1989.

SCHNAID, FERNANDO.; ODEBRECHT, EDGAR. **Ensaios de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2ª edição. São Paulo : Oficina de Textos, 2012.

SINAPI: Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Caixa Econômica Federal. 8ª Ed. Brasília: CAIXA, 2020.

TISAKA, MAÇAHIKO. **Orçamento na construção civil**. São Paulo : Pini, 2006.

VELLOSO, DIRCEU A.; LOPES, FRANCISCO R. **Fundações. 3ª edição**. São Paulo : Oficina de Textos, 2010.