

UM ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE FUNDAÇÃO DO TIPO RADIER E SAPATA

A COMPARATIVE STUDY OF COSTS BETWEEN RADIER AND FOOTING FOUNDATIONS

Fábio De Almeida Mendes *

Liércio Feital Motta Júnior **

RESUMO

Na construção civil, problemas estruturais ainda ocorrem pela falta de dados precisos e análises aprofundadas do solo. Solos são formados pela decomposição de rochas que passaram por processos químicos, físicos e mecânicos, originando diversos tipos. Para identificar corretamente o tipo de solo, realiza-se o ensaio de penetração padrão, conhecido como SPT, seguindo a Norma NBR 6484 (2020). Somente com os dados coletados pelo SPT é possível definir o tipo de solo presente no local. O tipo de solo está diretamente ligado à escolha da fundação ideal para a construção. A seleção do tipo de fundação adequado depende das características do solo e das demandas de carga que ele suportará, buscando dissipar essas forças sem provocar rupturas. A metodologia aplicada foi uma análise entre dois tipos de fundações específicas, que são a sapata e a radier. Inicialmente será feita uma revisão de literatura comprando ambas. Em seguida será realizado um cálculo para verificar as vantagens e desvantagens de cada uma, em relação ao custo/benefício, a agilidade, comportamento, entre ambas para a obra. O objetivo geral está em apresentar um estudo comparativo de execução entre os tipos de fundação o radier e sapata. Constatou-se que, para este estudo a fundação sapata se mostrou economicamente mais viável para a execução, pois seu custo com concreto e armadura foi menor, neste caso, contribuindo para a escolha do mesmo.

Palavras-chave: Radier. Sapata. Solo. Fundação.

ABSTRACT

In civil construction, structural problems still occur due to the lack of accurate data and in-depth soil analysis. Soils are formed by the decomposition of rocks that have undergone chemical, physical, and mechanical processes, giving rise to different types. To correctly identify the type of soil, the standard penetration test, known as SPT, is performed, following Standard NBR 6484 (2020). Only with the data collected by the SPT is it possible to define the type of soil present at the site. The type of soil is

* Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco. Graduando em engenharia civil - E-mail – fabioalmeida@brasador.com.br

** Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco- Mestre em engenharia – E-mail liercioengenhariajf@doctum.edu.br

directly linked to the choice of the ideal foundation for the construction. The selection of the appropriate type of foundation depends on the characteristics of the soil and the load demands it will support, seeking to dissipate these forces without causing ruptures. The methodology applied was an analysis between two specific types of foundations, which are the footing and the raft. Initially, a literature review will be carried out comparing both. Then, a calculation will be performed to verify the advantages and disadvantages of each one, in relation to cost/benefit, agility, and behavior, between both for the work. The general objective is to present a comparative study of the execution of the types of foundations: raft and footing. It was found that, for this study, the footing foundation proved to be more economically viable for execution, since its cost with concrete and reinforcement was lower, in this case, contributing to its choice.

Keywords: Radier. Footing. Soil. Foundation.

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil ainda ocorrem alguns problemas nas estruturas das construções, devido a falta de dados e análise do solo. Os solos são formados por rochas que sofreram processos químicos, físicos e mecânicos e originaram os diferentes tipos de solo existentes. Eles se resultam dos diversos processos químicos e biológicos que ocasionam a desintegração e a decomposição das rochas, independente de ser por desintegração mecânica ou química (D'AGOSTINI, 2018).

A desintegração mecânica implica na ação de agentes da natureza, como a água, o vento e a temperatura e por desintegração química a ação de agentes que mudam sua composição através de reações químicas, como oxidação e carbonatação, causadas principalmente pela água (D'AGOSTINI, 2018).

Para se verificar o tipo de solo é preciso realizar um procedimento de *Standard Penetration Test* (SPT) conforme observa na Norma sobre sondagem de simples reconhecimento do SPT NBR 6484 (2020), cuja finalidade de determinar: os tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência; posição do nível d'água; os índices de resistência à penetração (NSPT) a cada metro, além de obter amostras representativas, embora amolgadas, deste ensaio (BARBOSA, 2017). Só se terá a noção do tipo solo após o levantamento dos dados coletados do SPT.

Os solos estão relacionados com o tipo de fundação que será exercida no determinado local. As fundações são consideradas os principais elementos de uma

estrutura, pois são responsáveis por transmitir a carga da edificação até o solo. Para escolher o tipo mais apropriado de uma fundação, é preciso levar em consideração as condições do solo e as atuantes na fundação a qual será executada, no intuito de dissipar as cargas ao solo sem causar a ruptura do mesmo (KRÜGER, SILVA, 2019).

Conforme a Norma de Projeto e execução de fundações NBR 6122/2019 independente do tipo de edificação, é preciso que se faça, antecipadamente, uma investigação geotécnica, constituída no mínimo por sondagens a percussão com *Standard Penetration Test* (SPT), no intuito de determinação a estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível da água e a medida do índice de resistência à penetração NSPT, de acordo com a ABNT NBR 6484/2020.

Para a programação de sondagens de simples reconhecimento para fundações de edifícios, deve ser empregada a Norma de Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios, ABNT NBR 8036/1983. Conforme Araújo Júnior, Felipe (2018) a fundação é responsável por suportar e transferir tensões compatíveis ao maciço geotécnico que caracteriza a resistência e capacidade de carga do solo, por este motivo precisa ser bem estruturada.

O enfoque dado neste trabalho será uma análise entre dois tipos de fundações específicas, que são a sapata e a radier. Inicialmente será feita uma revisão de literatura comprando ambas. Em seguida será realizado um cálculo para verificar as vantagens e desvantagens de cada uma, em relação ao custo/benefício, a agilidade, comportamento, entre ambas para a obra.

O objetivo geral está em apresentar um estudo comparativo de execução entre os tipos de fundação o radier e sapata.

A justificativa da escolha do tema está no fato ainda existir equívocos nas escolhas do tipo de fundação que é feito com base apenas no custo. Contudo é preciso levar em consideração o que diz a norma 6122/2019 quanto às incertezas em relação ao solo, pelo fato de se estar lidando com a natureza, o que dificulta a compreensão exata do solo onde ocorrerá a construção. Percebe-se também que para cada obra existe uma solução diferente, que é mais adequada aquela situação (D'AGOSTINI, 2018).

2 Fundações

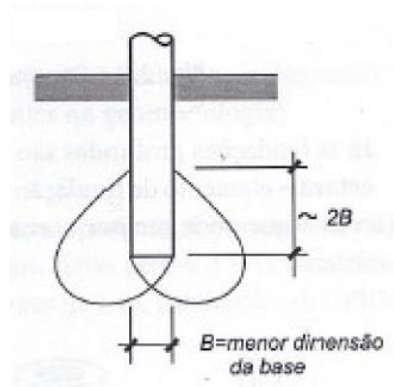
Conforme Araújo Júnior, Felipe (2018) a fundação é encarregada de sustentar e transmitir tensões compatíveis com o maciço geotécnico, o qual define a resistência e a capacidade de suporte do solo. Segundo Bastos (2019) a subestrutura, ou seja, a fundação é construída abaixo do nível final de um terreno sendo uma parte da estrutura que compõem elementos estruturais responsáveis por transmitir para o solo todas as cargas verticais, forcas do vento que atuam em uma edificação.

Velloso, Lopes (2010) o engenheiro é o responsável pela execução da fundação, pois é preciso conhecimento adequado de Geotecnia e Cálculo estrutural, além do direcionamento das estruturas em concreto armado e protendido em aço e/ou madeira. Independente do tipo de fundação, quando estas estão carregadas, torna o terreno deformado, o que pode resultar num deslocamento vertical, e horizontal.

Antes de desenvolver um projeto de fundações de uma edificação, é preciso que se tenha conhecimento sobre determinados elementos como topografia, dados geológicos-geotécnico; dados da estrutura, dados da construção da vizinhança. D'Agostini, (2018) descreve sobre cada um desses. Topografia da área: levantamento da área com finalidade de verificar a existência de taludes, encostas e ate mesmo dados de erosões. Dados geológico-geotecnico: Dados geológicos que auxiliam na investigação do solo. Dados da estrutura a se construir: cargas que atuarão na estrutura, tipo de sistema construtivo, sistema estrutural e utilização na obra. Dados sobre construções vizinhas: fundações ao entorto do local, efeitos oriundos de equipamentos vibratórios.

Para Carvalho (2015) o termo fundação pode ser entendido como o ato de apoiar, firmar, um determinado elemento estrutural que transmite ao solo as cargas provenientes da estrutura. Os trabalhos estruturais, em que parte da estrutura se apoia diretamente no solo transmitindo cargas a este. Por este motivo a fundação deve distribuir e transmitir as cargas permanentes e dinâmicas da superestrutura para o substrato de solo. A fundação pode ser classificada conforme sua profundidade e o modo de transferência de carga da estrutura para o solo, podendo ser profunda ou superficial.

Segundo Coelho (2016), fundações profundas são aquelas cujas bases estão a uma profundidade maior que o dobro de sua menor dimensão e, no mínimo, a 3 metros abaixo da superfície (Figura 01).

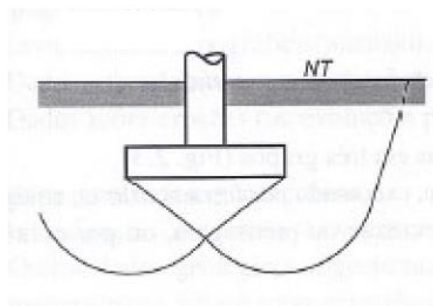
Figura 01: Fundação profunda

Fonte: Velloso, Lopes (2010); Coelho (2016)

Pode-se observar o bulbo de tensões na Figura 1 exemplo Velloso, Lopes (2010); Coelho (2016). A fundação profunda é aquela que o mecanismo de ruptura se encontra na superfície.

A norma brasileira NBR 6122 (2019) vem informa que a fundação superficial ocorre onde a carga é transmitida ao terreno, pelas pressões distribuídas na base da fundação, onde a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é duas vezes inferior a menor dimensão da fundação. Pode-se incluir neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas servem para suportarem as cargas (PRUDÊNCIO, 2011; ARCENO, 2018; BASTOS, 2019).

Conforme D'Agostini (2018) a fundação rasa pode possuir duas opções de profundidade, sendo que aquela que será implantada de forma mais funda terá menos volume de concreto lançado, porém mais volume de terra a ser escavado. Sendo assim é preciso estudar e examinar mais de uma alternativa de fundações e avaliar os custos aliado aos prazos de execução (Figura 02).

Figura 02: Fundação superficial

Fonte: Velloso, Lopes (2010); Coelho (2016)

A fundação superficial, também é conhecida como fundação rasa ou direta. A sapata é o elemento de fundação superficial mais comum, pois, devido ao contato direto com a base-solo transmite as cargas verticais e demais ações para o solo, diretamente (BASTOS, 2019). Barbosa (2017) traz os conceitos de cada um dos tipos de fundações diretas conforme analisado no Quadro 01.

QUADRO 01: Conceitos dos elementos

Sapata:	Um elemento de fundação direta de concreto armado, com dimensão voltada para as tensões de tração produzidas neste, não são resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego de armaduras.
Bloco:	É um elemento de fundação direta de concreto, estimado para um forma onde as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura.
Radier	É um elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos
Sapata associada	Sapata comuns a vários pilares, cujos centros, em planta, não estejam situados em um mesmo alinhamento.
Viga de fundação	Elemento de fundação direta comum a vários pilares, cujos centros, em planta, estejam situados em um mesmo alinhamento.
Sapata corrida	Sapata sujeita a uma carga distribuída linearmente.

Fonte: Barbosa (2017)

Observa-se que as fundações podem ser classificadas como profunda e superficial, onde esta última, também denominada de sapata rasa, é aquela onde a carga é transmitida ao terreno, pelas pressões distribuídas na base da fundação.

2.1 Tipos de sapatas

As cargas consideradas em uma edificação são provenientes da cobertura, das lajes, das paredes do pavimento superior e inferior. Conforme Bastos (2019) a sapata é um elemento de fundação superficial de concreto armado. É dimensionada de forma que as tensões de tração nele produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. Pode possuir espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal.

As dimensões em planta das sapatas são definidas em função da tensão admissível do solo. Na maioria dos casos as sapatas são submetidas a cargas excêntricas, em virtude das ações do vento, as dimensões em planta devem ser tais que as tensões de compressão máximas no solo (calculadas com as expressões da flexão composta reta ou oblíqua) não superem a tensão admissível do mesmo (DUARTE JÚNIOR, 2016)

Pode-se verificar que a sapata tem como principal foco a transmissão do peso da estrutura para o solo. Pode possuir espessura constante ou variável, podendo ser rígida ou flexível. Para o cálculo da sapata pode ser utilizado o método de dimensionamento, pois este está baseado em solo e estrutura, levando em consideração a tensão admissível do solo e a carga aplicada. Na visão de Bastos (2019) quanto ao dimensionamento, às fundações superficiais devem ser definidas por meio de dimensionamento geométrico e de cálculo estrutural.

Para Carvalho (2015) as sapatas são elementos de fundação superficial, em concreto armado, dimensionadas de modo que as armaduras tem a função de resistir às tensões de tração. Podem ser classificadas quanto a rigidez e quanto à forma. Quanto a rigidez a sapata pode ser classificada como rígida ou flexível.

Sapatas flexíveis são utilizadas em fundações sujeitas a pequenas cargas e solos respectivamente fracos. Sapatas rígidas são normalmente empregadas em solos de boa resistência em camadas próximas a superfície (CARVALHO, 2015).

Alva (2016) classifica as sapatas quanto a posição, podendo ser sapatas, sapatas corridas, sapatas associadas ou combinadas, sapatas com vigas de equilíbrio e isoladas.

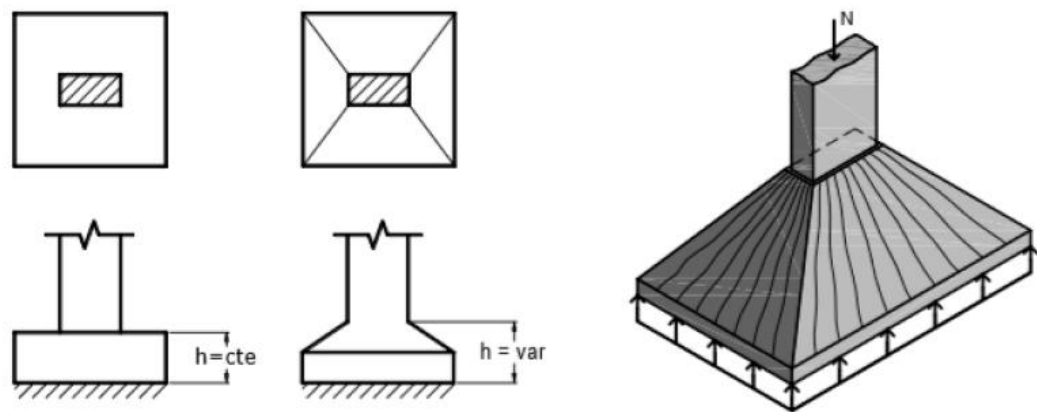
As sapatas corridas são empregadas para receber as ações verticais de paredes, muros, ou elementos alongados que transmitem carregamento uniformemente distribuído em uma direção (ALVA, 2016).

As sapatas associadas ou combinadas transmitem as ações de dois ou mais pilares adjacentes. Na impossibilidade de sapatas isoladas a opção adequada para substituí-la é a sapatas associadas, pois estão próximas entre si (ALVA, 2016).

As sapatas com vigas de equilíbrio é o componente estrutural que recebe as cargas de um ou dois pilares sendo este dimensionado de modo a transmiti-las centradas às fundações (BASTOS, 2019). Da utilização de viga de equilíbrio resultam cargas nas fundações diferentes das cargas dos pilares nelas atuantes.

As sapatas isoladas, base do estudo em questão, transmitem ações de um único pilar centrado, com seção não alongada. É o tipo de sapata mais frequentemente utilizado (ALVA, 2016). As ações que comumente ocorrem nas sapatas são a força normal (N), os momentos fletores, em uma ou em duas direções (M_x e M_y) (BASTOS, 2019) (Figura 03)

Figura 03 – Sapata Isolada



Fonte: Araújo Júnior, Felipe (2018)

Para que a sapata seja mais econômica, é preciso que os balanços nas duas dimensões C_A e C_B sejam semelhantes, ou aproximadamente iguais. Existe também uma recomendação prática de $A \leq 2,5B$ (BASTOS, 2019). Os modelos mais comuns de sapatas isoladas são sapatas quadradas e retangulares, no entanto, pode-se encontrar sapatas em formatos circular e trapezoidal com características empregadas através de cálculos seguindo as normas que regem esse tipo de fundação (ARAÚJO JUNIOR, FELIPE, 2018).

2.2 Radier

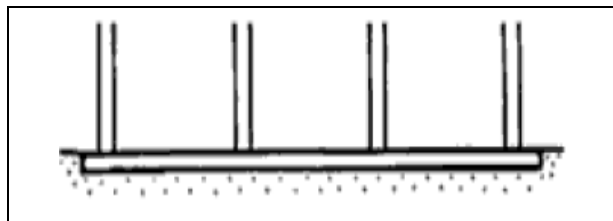
O radier é um tipo de fundação que recebe todos os pilares de uma edificação, recebe todos os esforços originários de uma estrutura, pode ser considerada como uma laje de concreto, geralmente empregada nas seguintes ocasiões: quando se deseja unificar os recalques; ou quando há sobreposição das sapatas (PORDEUS, 2009).

Em outros casos, a fundação radier também é considerada como economicamente viável, como por exemplo, quando o solo possui baixa capacidade de carga. Ao contrário da sapata, a carga do radier é uma laje contínua resistida pelo solo, sendo menor ou igual à resistência admissível do solo (CARVALHO, 2015).

Os radiers podem ser classificados quanto a sua geometria, quanto à rigidez à flexão e quanto à tecnologia. A classificação quanto à forma, podem ser classificados como lisos, com pedestais, nervurados ou em caixão.

a) Radier Liso: Utilizado para habitações populares, por ser econômico e seguro, sua execução é simples, e pode ser aproveitado como contra piso. O radier liso tem a vantagem de ter grande facilidade de execução. É largamente utilizado em edificações de pequeno porte (BARBOSA, 2017) (Figura 04)

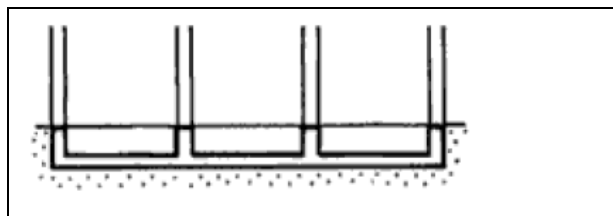
Figura 04: Radier Liso



Fonte: D'Agostini (2018)

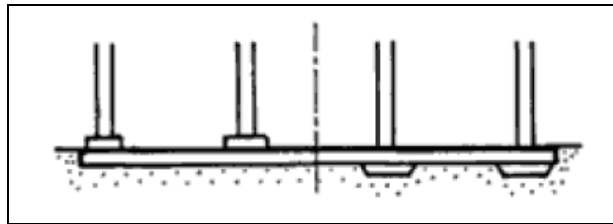
O radier nervurado é executado com nervuras secundárias e nervuras principais colocadas sob os pilares, podendo ser superiores ou inferiores (BARBOSA, 2017). (Figura 05)

Figura 05: Radier Nervurado



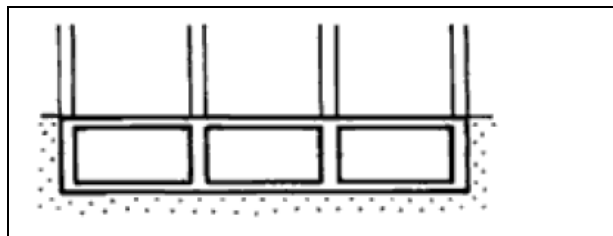
Fonte: D'Agostini (2018)

O radier com pedestais ou cogumelos aumenta a espessura sob os pilares e assim melhorando a resistência à flexão e ao esforço cortante (BARBOSA, 2017). (Figura 06)

Figura 06: Radier com pedestais

Fonte: D'Agostini (2018)

O radier em caixão é utilizado com a finalidade de ter uma grande rigidez e deste poder ser executado com vários pisos (BARBOSA, 2017). (Figura 07).

Figura 07: Radier em caixão

Fonte: D'Agostini (2018)

Para Velloso, Lopes (2010) outro fator importante é o dimensionamento de um radier, que pode ser feito como o de uma laje sobre um meio elástico. Geralmente utilizado em base uniforme, contudo, quando não é for possível obter este tipo de base, pode-se aplicar uma sub-base, corrigindo a base. Coelho (2016) informa algumas etapas para a construção de um radier armado.

O método do *American Concrete Institute* tem como base o método de Winkler, contudo só pode ser aplicada em radier liso e flexível. Os momentos fletores e os esforços cortantes são calculados em pontos da placa gerados por cada pilar. Em seguida, somam-se as ações nos pontos de estudo (D'AGOSTINI, 2018).

Uma determinada sequência de dimensionamento pode ser seguida para auxiliar: o cálculo da rigidez a flexão da placa; a escolha dos pontos de análise da placa; o cálculo dos momentos fletores, convertendo para coordenadas retangulares; o cálculo dos esforços cortantes, convertendo para coordenadas retangulares. Sendo que os dois últimos são utilizados para todos os pilares (D'AGOSTINI, 2018).

3 Metodologia

A metodologia se baseia em um estudo de uma pesquisa aplicada onde foi comparado dados obtidos por meios de cálculos coletados de um dimensionamento, qualificando assim uma pesquisa quantitativa. Quanto aos objetivos caracteriza como exploratória, tendo como procedimentos técnicos o estudo de caso e uma revisão bibliográfica.

Para tanto, foi realizado um estudo bibliográfico com base no Google Acadêmico, com artigos científicos e livros que tratam do assunto. Fez-se também uma busca em artigos científicos com base nos assuntos de fundações rasas, procedimentos iniciais pra um dimensionamento de uma fundação focando em sapata e radier.

Contou-se também com um ensaio do solo (SPT) para a coleta de dados, tipo de solo existente, e tensão admissível do mesmo. No cálculo da resistência do solo e dos seus outros parâmetros, utilizou-se o método empírico sugerido por Rebello (2008), na qual a tensão admissível do solo para argila pouco siltosa está na Equação 1.

Equação 1 – Fórmula da tensão admissível do solo

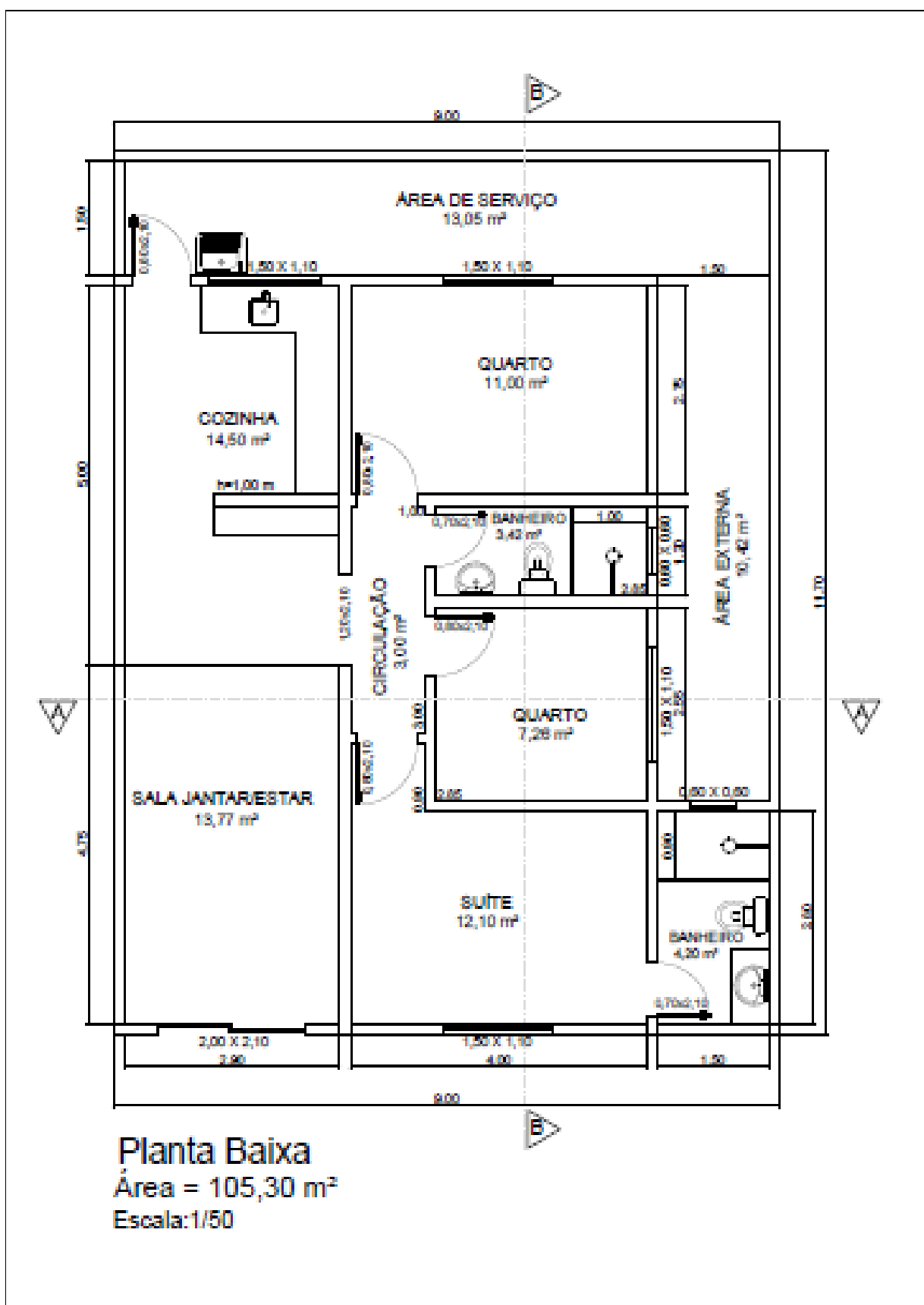
$$\sigma_{adm} = \frac{Nm_{\text{médio}}}{5} \quad (1)$$

Fonte: D'Agostini (2018).

A tensão admissível do solo é igual ao número médio de golpes para cravar os últimos 30 cm do ensaio SPT, resultando em Kg/cm².

Com base no dimensionamento obtido, foi feita uma comparação das opções para avaliar qual seria a mais econômica, levando em consideração o levantamento dos materiais. Esse levantamento foi realizado utilizando o resumo de materiais fornecido pelo programa, incluindo aço, concreto e formas. Para tanto foi utilizada uma planta baixa de uma residência unifamiliar para a coleta de dados estruturais (Figuras 08).

Figura 08: Planta Baixa da Residência Unifamiliar de um pavimento.



Fonte: Rodrigo Ramos Soares (2024)

A figura 08 representa a planta baixa correspondente a um projeto arquitetônico residencial com área total de construção de 105,30 m². O espaço está distribuído de maneira eficiente entre os cômodos, incluindo áreas privativas, sociais e de serviço, com atenção aos padrões de funcionalidade e conforto. A estrutura conta com setores bem delimitados, integrando áreas internas e externas.

A zona privativa inclui dois quartos, sendo um deles uma suíte, com dimensões de 11 m² e 12,10 m² respectivamente. A suíte possui um banheiro privativo de 4,20 m², enquanto o outro quarto conta com um banheiro comum de 3,42 m². Esses ambientes garantem privacidade aos moradores e são adequados para conforto no uso diário.

Na área social, destaca-se a integração entre a sala de estar/jantar e a cozinha, com dimensões de 13,77 m² e 14,50 m², proporcionando um espaço amplo e aberto para convivência familiar e recepção de visitas.

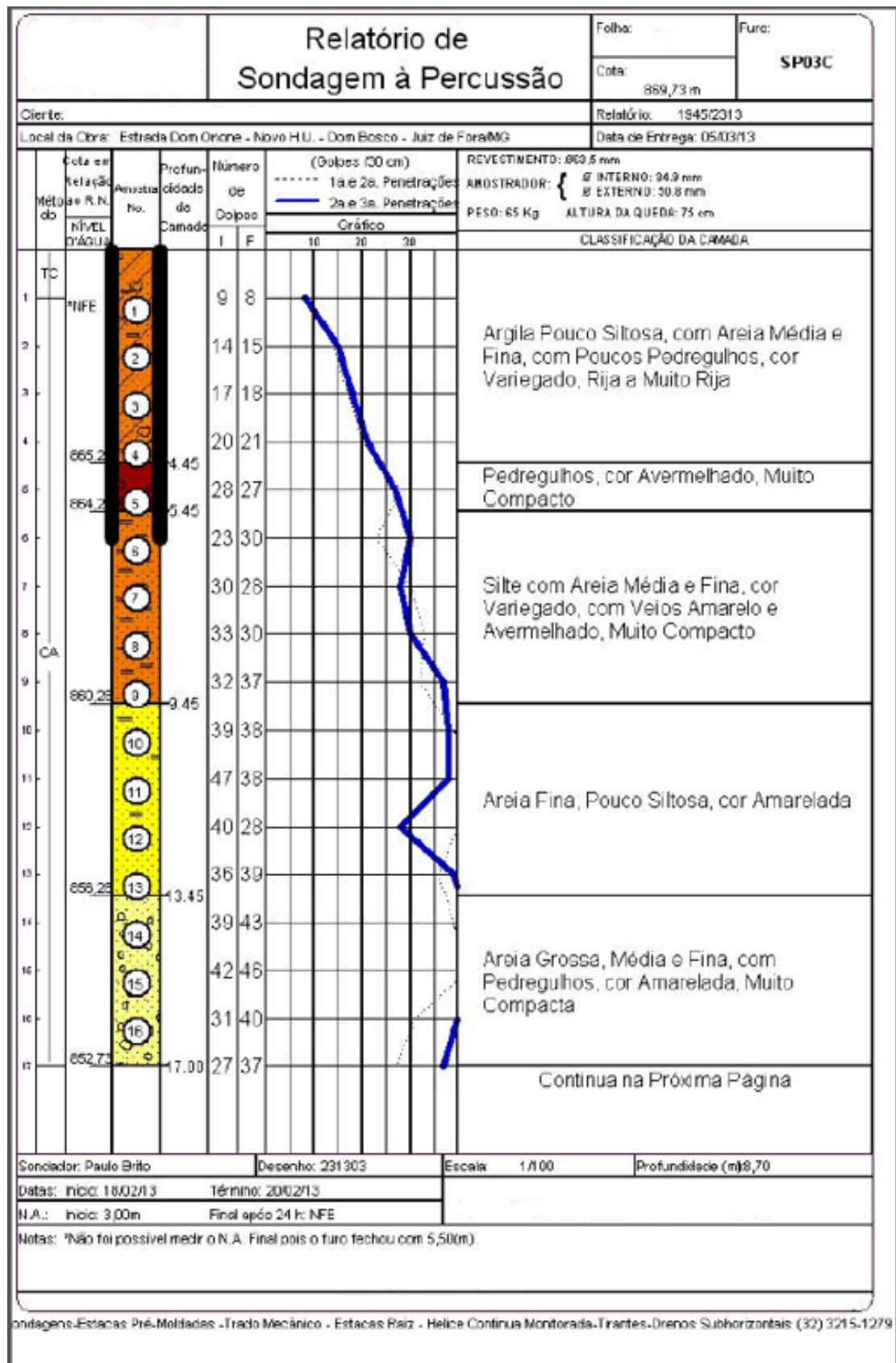
O projeto também inclui uma área de serviço de 13,05 m², estrategicamente posicionada próxima à cozinha para facilitar atividades domésticas. Há ainda uma área externa de 10,42 m², destinada a atividades ao ar livre ou extensão das funções internas, promovendo maior qualidade de vida para os residentes.

O ensaio de penetração padrão (SPT), do inglês Standard Penetration Test, é um dos métodos mais utilizados em engenharia geotécnica para a investigação de propriedades de solos. Este ensaio permite avaliar a resistência do solo em profundidade, fornecendo informações essenciais para projetos de fundações, contenções e outras obras de infraestrutura. Regulamentado pela norma brasileira NBR 6484 (2020), o ensaio SPT é amplamente aplicado devido à sua simplicidade, custo acessível e eficiência em diferentes tipos de solo.

O uso do SPT é indispensável em projetos de fundação de edificações, onde a segurança estrutural depende de uma avaliação precisa da capacidade de carga do solo. Além disso, o ensaio é comumente usado para identificar camadas de solo fraco, a profundidade do lençol freático e para a elaboração de perfis geotécnicos, sendo um pilar essencial na análise de viabilidade e no planejamento de obras civis.

As figuras 09 e 10 imagem apresentam um Relatório de Sondagem à Percussão (SPT) realizado pela empresa Cotral Sondagens.

Figura 09 – Relatório de Sondagem à percussão



Fonte: Cotral (2024)

Figura 10: Relatório de Sondagem à percussão (Continuação)

Relatório de Sondagem à Percussão										Folha: 6/7	Furo: SP03C	
Ciente:										Relatório: 1945/2013		
Local da Obra: Estrada Dom Orione - Novo H.U. - Dom Bosco - Juiz de Fora/MG										Data de Entrega: 05/03/13		
Cota em Relação ao R.N.	Amostrador No.	Profundidade do Camada	Número de Golpes	(Golpes / 30 cm)			REVESTIMENTO: 869,5 mm					
				----- 1a e 2a. Penetrações			AMOSTRADOR: { Ø INTERNO: 34,9 mm Ø EXTERNO: 30,8 mm					
NÍVEL D'ÁGUA				----- 2a e 3a. Penetrações			PESO: 65 Kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm					
				Gráfico			CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA					
18	662,25	17	27	37	10	20	30	Areia Grossa, Média e Fina, com Pedregulhos, cor Amarelada, Muito Compacta				
19	651,00	18	30	-				Silte Arenoso, cor Predominante Avermelhado, com Velos Variegado, Branco e Avermelho, Muito Compacto				
			1					Limite da Sondagem Impenetrável ao Trépano Estágio de 30 min. 10 min. de 18,70 p/ 18,70 10 min. de 18,70 p/ 18,70 10 min. de 18,70 p/ 18,70				
Sondador: Paulo Brito										Desenho: 231303		
Escala: 1/100										Profundidade (m): 8,70		
Datas: início: 18/02/13										Término: 20/02/13		
N.A.: início: 3,00m										Final após 24 h: NFE		
Notas: Não foi possível medir o N.A. Final pois o furo fechou com 5,50(m).												

Sondagens-Estacas: Pré-Moldadas - Trado Mecânico - Estacas Raiz - Helice Contínua Monitorada-Trantes-Drenos Subhorizontais (32) 3215-1279

O relatório detalha as camadas de solo identificadas em profundidades variadas, classificadas de acordo com sua composição e consistência. A sondagem indica, por exemplo, a presença de argila siltosa e silte argiloso com areia fina, mostrando variações de cor (marrom, rosa e com veios amarelos e brancos) e consistências médias a duras. A curva de resistência à penetração (índice N) também é apresentada, evidenciando o número de golpes necessários para cada camada.

O perfil do solo revela variações significativas com a profundidade. As camadas superficiais mostram consistência média, enquanto as mais profundas apresentam consistência dura, típicas de solo residual. Essas características são importantes para a avaliação geotécnica do local, sendo fundamentais no planejamento de fundações e outras obras de engenharia. O relatório ainda destaca informações sobre o nível do lençol freático (não encontrado) e especificações técnicas do ensaio.

Com a resistência determinada, foi possível fazer o dimensionamento das sapatas e do radier, lançar a estrutura com o auxílio de um software de cálculo denominado Eberick.

Utilizou-se também da tabela de Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) sendo esta uma ferramenta criada e mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ela é amplamente utilizada no Brasil para estimar os custos de obras públicas e privadas, fornecendo uma referência padronizada para orçamentos, composições de preços e planejamento de empreendimentos na construção civil.

Essa tabela apresenta valores detalhados de insumos e serviços, como materiais de construção (cimento, areia, tijolos, etc.), mão de obra, equipamentos e serviços específicos (pintura, alvenaria, instalação elétrica, entre outros). Os dados são atualizados periodicamente, garantindo que os valores reflitam as condições econômicas e de mercado de cada região do país. Isso é essencial para assegurar a transparência e o controle de gastos nas obras públicas, especialmente em licitações.

O SINAPI organiza as informações em composições unitárias de preços, que indicam o custo necessário para realizar cada atividade ou adquirir cada insumo em uma obra. Por exemplo, a composição de uma parede de alvenaria inclui valores para os tijolos, argamassa, mão de obra e equipamentos necessários. Assim, o sistema permite que engenheiros e orçamentistas calculem os custos totais de um projeto de maneira confiável.

3-ESTUDO DE CASO

O estudo tem como objetivo verificar a estrutura de uma fundação, observando a diferença de custos para a execução entre radier ou sapata. Para início dos cálculos foi encontrada a resistência do solo pela Equação da Fórmula (1) da tensão admissível, fez-se o seguinte cálculo: $\sigma_{adm} = 15 / 5$, levando ao resultado de 3 kg/cm². A escolha dos dados foi possível a parti do material encontrado, ou seja, argila pouco siltosa, determinando o coeficiente variável que é 5.

Pelo fato de serem dois tipos distintos de fundação, foi preciso fazer o lançamento de duas formas diferentes. Foram lançadas as sapatas e as vigas baldrame sob as paredes do térreo, enquanto para o radier é lançada uma laje que abrange todos os pilares da residência. Após o dimensionamento no software Eberick, obteve-se um resultado deste para ambos os tipos de fundação gerando um resultado de vigas e pilares.

Conforme descrito nas Figuras 11 e 12 a construção é composta por pilares verticais, vigas horizontais e fundações em blocos. Os pilares, destacados na cor cinza escura, são conectados por vigas horizontais azuis, que formam a base e sustentação da estrutura. Na base de cada pilar, há blocos de fundação destacados em verde, indicando o ponto de suporte no solo. Esses blocos são essenciais para transferir as cargas da estrutura para o terreno. Acima das vigas horizontais, há painéis representando um possível pavimento ou plataforma, na cor azul-clara, evidenciando a superfície utilizável. O modelo permite uma análise detalhada das interligações e pontos de apoio antes da execução da obra.

Figura 11: Planta baixa das sapatas.

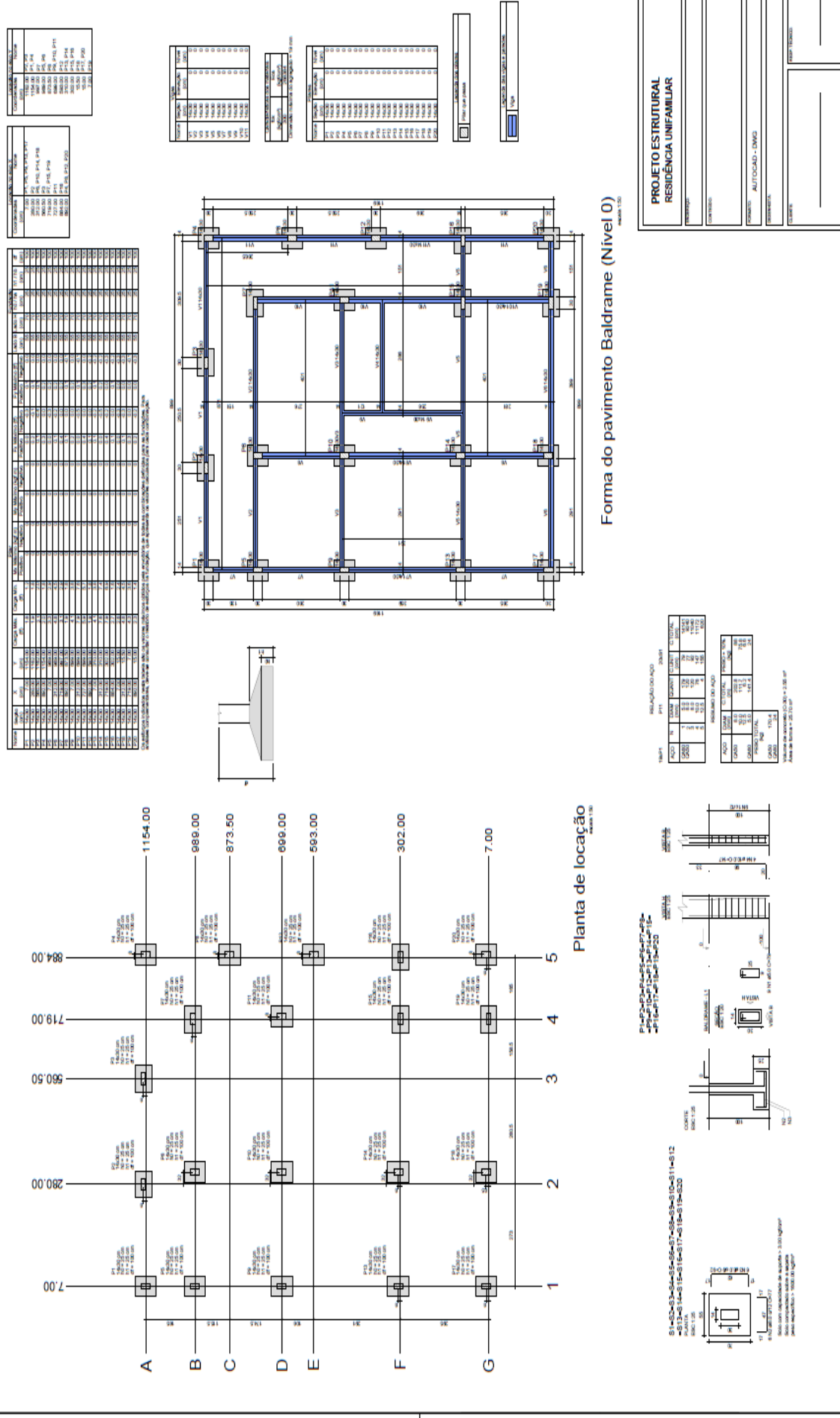
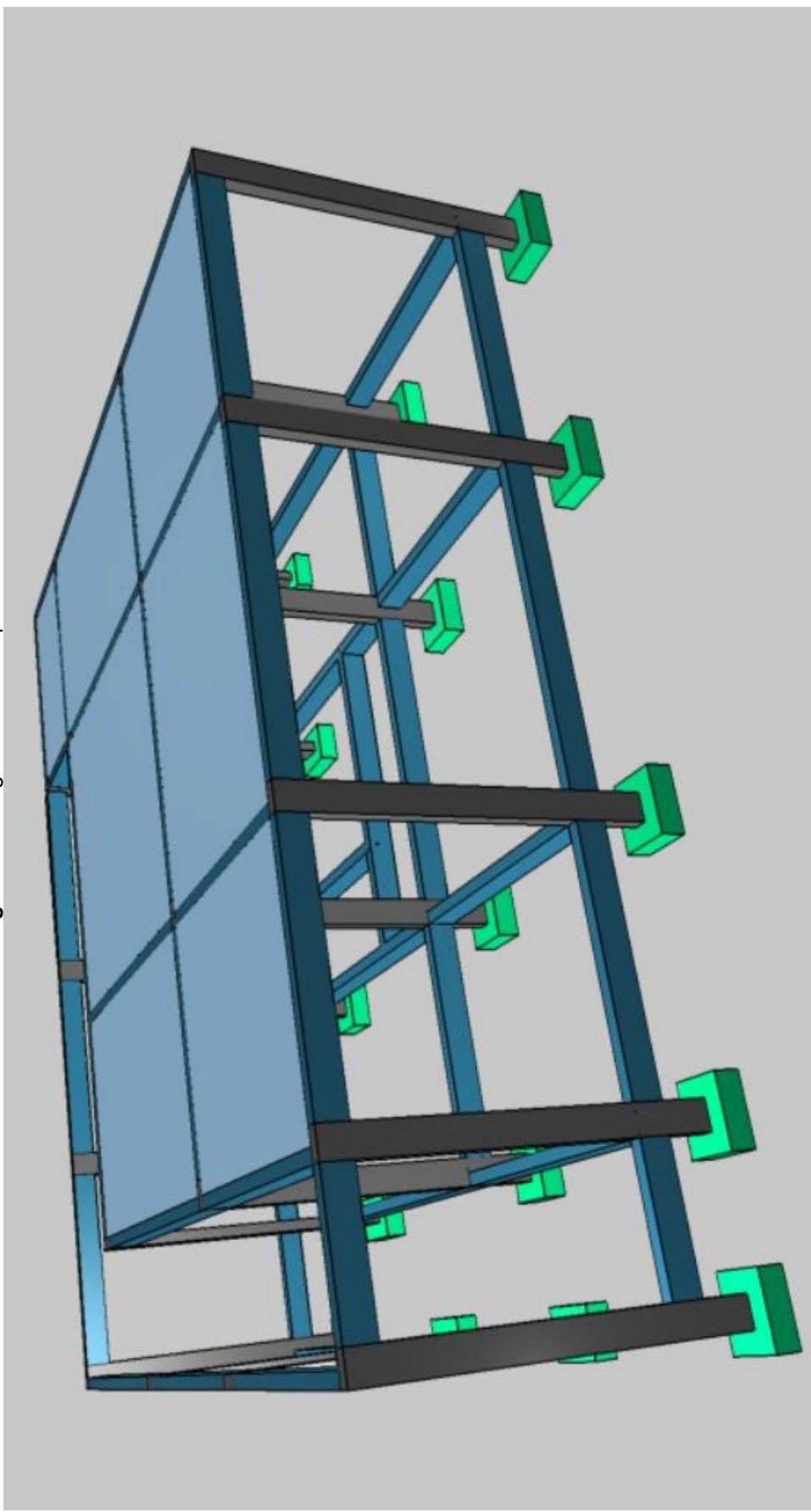


Figura 12: Imagem 3D das Sapatas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Feito o dimensionamento elaborou-se os estudos dos custos com os materiais utilizados, mão de obra, para a execução da fundação sapata. A Tabela 01 descreve a planilha orçamentária que inclui movimento de terra, fundação e viga baldrame.

Tabela 01 - Planilha orçamentária para a fundação sapata

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA								
Elaborado por: Fábio de Almeida Mendes			Referência: SINAPI MG - Setembro/2024			Data: 31/10/2024		
Obra: Execução de fundação tipo sapata						ISS: 3,00%		
Endereço: -			Regime: Não desonerado			BDI: 23,00%		
Item	Fonte	Código	Descrição	Und	Qtd.	Custo unit. sem bdi (r\$)	Custo unit. com bdi (r\$)	Valor total com bdi (R\$)
1			MOVIMENTO DE TERRA					1.833,76
1.1	SINAPI	93358	Escavação manual de vala. AF_09/2024	m ³	15,25	80,73	99,30	1.514,56
1.2	SINAPI	101616	Preparo de fundo de vala com largura menor que 1,5 M (acerto do solo natural). AF_08/2020	m ²	11,22	6,26	7,70	86,43
1.3	SINAPI	104737	Reaterro manual de valas, com placa vibratória. AF_08/2023	m ³	9,18	20,61	25,35	232,77
2			FUNDAÇÃO (SAPATAS)					10.209,89
2.1	SINAPI	96619	Lastro de concreto magro, aplicado em blocos de coroamento ou sapatas, espessura de 5 CM. AF_01/2024	m ²	7,70	41,48	51,02	392,85
2.1	SINAPI	96535	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em madeira serrada, E=25 MM, 4 utilizações. AF_01/2024	m ²	25,70	130,92	161,03	4.138,47
2.2	SINAPI	104919	Armação de sapata isolada, viga baldrame e sapata corrida utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. af_01/2024	Kg	75,80	12,62	15,52	1.176,42
2.3	SINAPI	104920	Armação de bloco, sapata isolada, viga baldrame e sapata corrida utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. af_01/2024	Kg	6,60	10,68	13,14	86,72

2.4	SINAPI	104918	Armação de sapata isolada, viga baldrame e sapata corrida utilizando aço ca-50 de 8 mm - montagem. af_01/2024	Kg	75,80	14,16	17,42	1.320,44
2.5	SINAPI	104916	Armação de sapata isolada, viga baldrame e sapata corrida utilizando aço ca-60 de 5 mm - montagem. af_01/2024	Kg	24,00	16,61	20,43	490,32
2.6	SINAPI	96558	Concretagem de sapata, fck 30 mpa, com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento. af_01/2024	m ³	2,55	830,44	1.021,44	2.604,67
3	FUNDAÇÃO (VIGA BALDRAME)							12.937,87
3.1	SINAPI	96536	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga baldrame, em madeira serrada, e=25 mm, 4 utilizações. af_01/2024	m ²	62,20	66,17	81,39	5.062,46
3.2	SINAPI	104919	Armação de sapata isolada, viga baldrame e sapata corrida utilizando aço CA-50 de 10 mm - montagem. af_01/2024	Kg	28,10	12,62	15,52	436,11
3.3	SINAPI	104918	Armação de sapata isolada, viga baldrame e sapata corrida utilizando aço CA-50 de 8 mm - montagem. af_01/2024	Kg	136,80	14,16	17,42	2.383,06
3.4	SINAPI	104916	Armação de sapata isolada, viga baldrame e sapata corrida utilizando aço ca-60 de 5 mm - montagem. af_01/2024	Kg	78,70	16,61	20,43	1.607,84
3.5	SINAPI	96557	Concretagem de bloco de coroamento ou viga baldrame, FCK 30 MPA, com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento. af_01/2024	m ³	3,52	796,47	979,66	3.448,40

Valor Total: R\$ 24.981,52

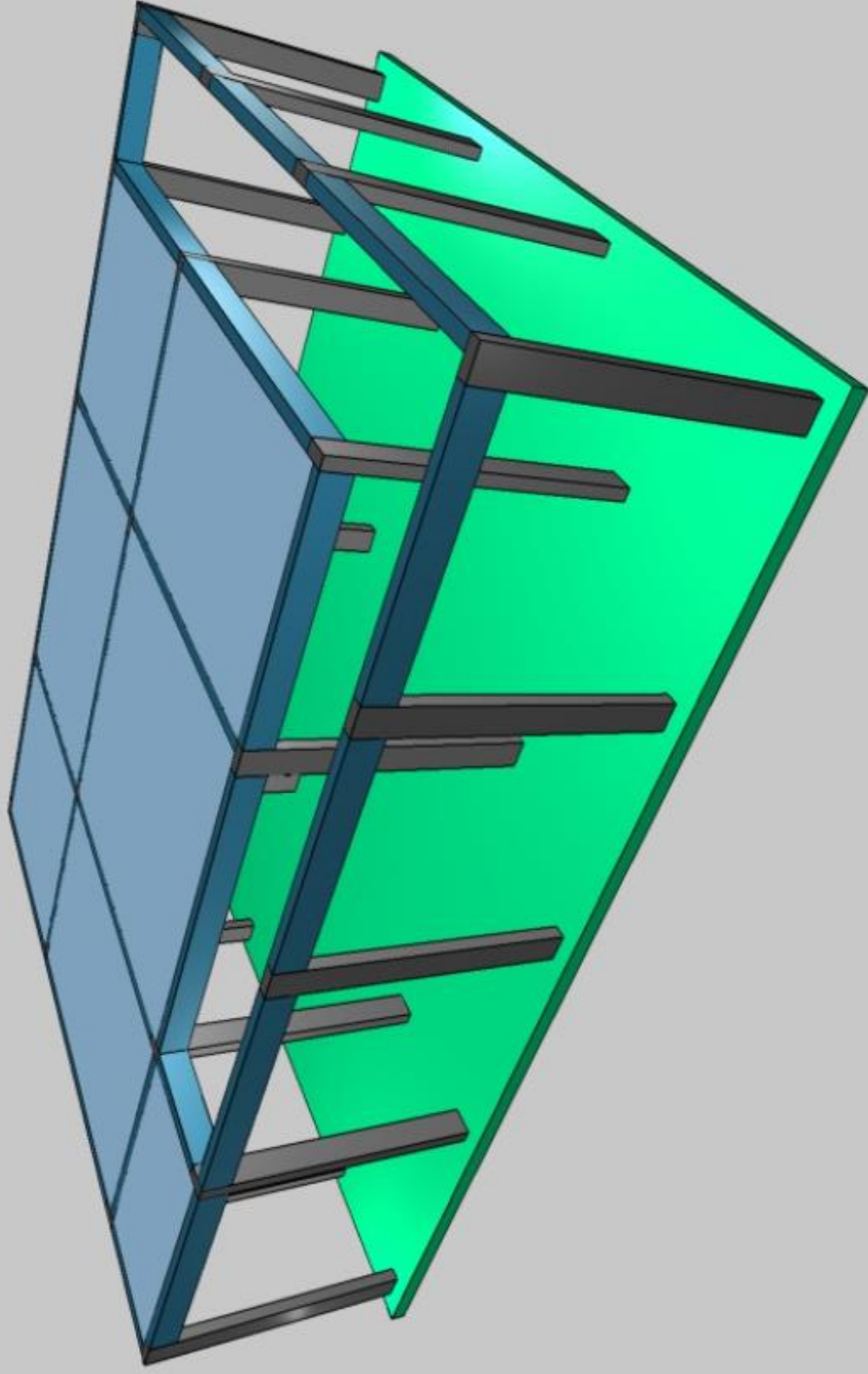
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na Tabela 01 tem-se os dados coletados após o dimensionamento da fundação sapata considerando dados como: a escavação manual, o lastro de concreto, montagem de desmontagem de forma, armação do bloco, sapata isolada e viga baldrame e concretagem da sapata.

Por sua vez o radier representa uma estrutura tridimensional com elementos básicos de um projeto arquitetônico ou estrutural. A composição inclui uma base plana, pilares verticais, vigas horizontais e uma superfície superior. Os pilares estão distribuídos de forma regular, formando uma grade que suporta a estrutura superior. Essa organização sugere modularidade, característica comum em projetos com enfoque em simplicidade e eficiência construtiva.

Os pilares, de seção aparentemente retangular, estão conectados por vigas horizontais que criam um sistema estrutural ortogonal. Essa configuração permite a distribuição de cargas entre os elementos de forma eficiente, contribuindo para a estabilidade da estrutura. Na parte superior, observa-se uma superfície azul translúcida que pode representar uma cobertura ou pavimento elevado. A regularidade dos elementos e o alinhamento entre pilares e vigas reforçam a ideia de simetria, característica que facilita a construção e a expansão do projeto (Figuras 13 e 14).

Figura 14: Imagem 3D do radier



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A tabela 02 traz a planilha orçamentária para a fundação radier incluindo os custos voltados para a movimentação de terra incluem a escavação manual, o preparo de fundo de vala e reaterro com placa vibratória.

Tabela 02 - Planilha orçamentária para a fundação radier

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA								
Elaborado por:		Fábio de Almeida Mendes		Referência: SINAPI MG - Setembro/2024		Data: 31/10/2024		
Obra:		Execução de fundação tipo radier						
Endereço:						Regime: Não desonerado		ISS: 3% BDI: 23%
-								
Item	Fonte	Código	Descrição	Und	Qtd.	Custo unit. Sem bdi (r\$)	Custo unit. Com bdi (r\$)	Valor total com bdi (r\$)
1			MOVIMENTO DE TERRA					1.759,36
1.1	SINAPI	93358	Escavação manual de vala. af_09/2024	m³	16,85	80,73	99,30	1.673,01
1.2	SINAPI	97084	Compactação mecânica de solo para execução de radier, piso de concreto ou laje sobre solo, com compactador de solos tipo placa vibratória. af_09/2021	m²	105,30	0,67	0,82	86,35
2			FUNDAÇÃO (RADIER)					52.445,73
2.1	SINAPI	97087	Camada separadora para execução de radier, piso de concreto ou laje sobre solo, em lona plástica. af_09/2021	m²	105,30	2,53	3,11	327,48
2.2	SINAPI	95241	Lastro de concreto magro, aplicado em pisos, lajes sobre solo ou radiers, espessura de 5 cm. af_01/2024	m²	105,30	38,46	47,31	4.981,74
2.3	SINAPI	97086	fabricação, montagem e desmontagem de	m²	6,88	138,93	170,88	1.175,65

			forma para radier, piso de concreto ou laje sobre solo, em madeira serrada, 4 utilizações. af_09/2021					
2.4	SINAPI	92770	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca- 50 de 8,0 mm - montagem. af_06/2022	Kg	1.997,80	11,76	14,46	28.888,19
2.5	SINAPI	92771	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca- 50 de 10,0 mm - montagem. af_06/2022	Kg	128,00	10,47	12,88	1.648,64
2.6	SINAPI	97096	Concretagem de radier, piso de concreto ou laje sobre solo, fck 30 mpa - lançamento, adensamento e acabamento. af_09/2021	m ³	18,19	689,38	847,94	15.424,03

VALOR TOTAL: R\$ 54.205,09

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para a fundação radier foram considerados inicialmente a escavação manual, compactação mecânica do solo, camada separadora (lona plástica), lastro de concreto, montagem e desmontagem de forma, montagem da armadura da laje e concretagem do radier.

Após o dimensionamento de ambas as fundações, com os dados coletados, foi possível mencionar os custos para a execução, com base na tabela Sinapi tanto da sapata e quanto da radier. Nota-se contudo que os custos para a planta analisada, o menor custo foi o da sapata.

É possível verificar através das planilhas gerada, que a fundação sapata se mostrou mais vantajosa. Este fato foi possível devido aos custos com armadura para a execução da fundação, para a estrutura da planta, da qual foi escolhida. Outro fator importante que contribuiu para a que essa função se mostrasse mais econômica, foi

ter um solo com boa resistência para a distribuição das cargas geradas pela construção da mesma.

Com a utilização da sapata, neste caso, tem-se uma redução de custos da armadura, onde o valor total para a execução foi de R\$ 7.500,91, sendo que no radie este gasto foi de R\$ 30.530,50. Os valores gastos com bonificação de despesas indiretas (BDI) que inclui admiração geral, seguro e garantia, riscos, despesas financeiras, lucro, tributos (impostos, COFINS 3%, e PIS, 0.65%), tributos (ISS, que pode variar conforme o município, e Tributos (Contribuição Previdenciária sobre receita Bruta) (Tabela 03)

Tabela 03 – Valores gastos com bonificação de despesas indiretas (BDI)

ITENS	%
	Adotada
Administração Central	4,00%
Seguro e Garantia	0,80%
Risco	1,06%
Despesas Financeiras	1,23%
Lucro	7,15%
Tributos (impostos COFINS 3%, e PIS 0,65%)	3,65%
Tributos (ISS, variável de acordo com o município)	3,00%
Tributos (Contribuição Previdenciária sobre a Receita Bruta - 0% ou 4,5% - Desoneração)	0,00%
Total	23,00%

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Esse processo está relacionado à explicação de D’Agostini (2018), que destaca a importância de analisar as opções disponíveis ao escolher a fundação e selecionar aquela que oferece o menor custo combinado com o menor prazo de execução. Observa-se que determinados tipos de obra exigem a aplicação de um tipo específico de fundação. Um NSPT de 8 ou mais indica a resistência mínima necessária do solo para o uso adequado da fundação rasa. A profundidade estipulada está relacionada aos custos de escavação e reaterro, uma vez que valores maiores tornam financeiramente inviável a aplicação desse tipo de fundação. No caso analisado o valor do NSPT é igual a 15, ou seja mostra que o terreno é muito bom.

5 Análise e discussão

Com os dados apurados tem-se a análise e discussão dos mesmos. As tabelas apresentadas mostram uma comparação detalhada de duas planilhas orçamentárias distintas para execução de fundações. A Tabela 01 descreve os custos para uma fundação tipo sapata, enquanto a Tabela 02 se refere ao tipo radier. A análise cobre tanto os itens quanto as quantidades e os custos unitários, considerando valores com e sem BDI (Benefícios e Despesas Indiretas). Em ambas as tabelas, os itens estão organizados por categorias principais, como movimento de terra e fundações, evidenciando a diferença nas necessidades específicas de cada tipo de fundação.

No movimento de terra, ambos os tipos de fundação envolvem a escavação manual de vala. No entanto, a fundação radier apresenta um custo total ligeiramente inferior (R\$1.759,36) comparado ao tipo sapata (R\$1.833,76). Quanto aos materiais utilizados na fundação, o tipo radier possui um valor maior (52.445,73), o tipo sapata tem uma lista maior de itens em menor quantidade, como aço e concreto, para formar as sapatas e vigas baldrame dando um valor total de R\$ 10.209,89.

A Tabela 01 demonstra as espessuras e os tipos de aço, com variação nos custos e nas quantidades de acordo com o dimensionamento. Em contraste, o tipo radier, descrito na Tabela 02, utiliza grandes quantidades de aço de 8 mm, o que aumenta significativamente o custo. Além destes, é preciso observar os custos que mais impactam na análise de ambas as fundações tem-se os seguintes itens, lastro de concreto, montagem e desmontagem de forma, armação e concreto.

Conforme observado foram levados em consideração alguns itens que mais tiveram relevância para método de comparação. Nota-se que o lastro de concreto na fundação radier foi maior com relação a sapata por conta da área total a se cobri foi maior.

Na montagem e desmontagem de forma teve-se um gasto maior nas sapatas pois precisa envolver o entorno de cada sapata. Percebe-se que a quantidade de armadura gastas para aguentar os esforços e as cargas da estrutura são maiores para o radier gerando um gasto bem maior com relação a sapata. Nota-se que a armadura é um dos itens mais onerosos percebe-se que o impacto desse item no radier é mais significativo (R\$ 30.536,83).

No tipo sapata, a concretagem para a sapata e a viga baldrame totaliza aproximadamente R\$6.053,07, enquanto no radier a concretagem do piso e laje

alcança R\$15.424,03. A quantidade de concreto necessária para o radier é maior, justificando o custo elevado, isso se dá por conta da área do radier ser maior que a da sapata. Essa diferença reflete a natureza estrutural de cada fundação, onde o radier exige uma superfície contínua e densa de concreto, ao contrário das sapatas que demandam menor volume.

Por fim, a análise dos valores totais mostra uma clara diferença no custo total: a fundação tipo sapata apresenta um valor final de R\$24.981,52, enquanto o radier chega a R\$54.205,09. Essa disparidade de custos ocorre devido à maior complexidade e materiais envolvidos na fundação radier.

6 Considerações Finais

Na construção civil, para ser executar determinando tipo de construção, é preciso conhecer a área escolhida, assim como, as condições que o solo oferece para o dimensionamento do projeto. No estudo em questão, para se conhecer as condições do solo, foi realizado um relatório de sondagem à percussão. A partir deste relatório foram coletadas as informações básicas, que contribuíram para a escolha do tipo de fundação.

O objetivo do trabalho foi apresentar um estudo comparativo de execução entre os tipos de fundação o radier e sapata. Constatou-se que, a fundação sapata se mostrou economicamente mais viável para a execução, pois seu custo com concreto e armadura foi menor, neste caso, contribuindo para a escolha do mesmo. O radier, ao contrário, mostrou um valor bem maior pelo mesmo motivo. Contudo, é preciso salientar que por ser o solo de boa resistência contribuiu para um menor custo de execução da fundação sapata, caso contrário, ou seja, se o solo tivesse baixa resistência, aumentaria o dimensionamento da sapata para suportar as cargas da estrutura.

Referências

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. *Projeto estrutural de sapatas*. 2016. Disponível em: <http://www.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf>. Acesso em: 17 maio.2021

ARAÚJO JUNIOR, José Luiz de; FELIPE, José Maick Moreira. *Estudo dos tipos de fundações: sapatas*. III Colóquio Estadual de pesquisa multidisciplinar e primeiro Congresso Nacional de pesquisa multidisciplinar, 2018.

ARCENO, Matheus Furtado. *Dimensionamento estrutural de sapatas e blocos de coroamento*. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em engenharia civil. Florianópolis, 2018

BARBOSA, Gustavo Roux Perazzo. *Análise da influência dos parâmetros de deformabilidade do solo no comportamento estrutural de edificação com fundação tipo radier*. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro. 2017.

BASTOS, Paulo Sérgio Dos Santos. *Sapatas de fundação*. Apostila da Disciplina: 2133 - Estruturas de Concreto III, 2019.

BRASIL. Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*, 2019.

BRASIL. Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios –ABNT*, Rio de Janeiro, Brasil, 1983

BRASIL. Associação Brasileira de Normas de Técnicas. *ABNT NBR 6484*. Segunda edição 28.10.2020 Solo. Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio. Disponível em: <https://toaz.info/doc-view-3>. Acesso em: 04. set. 2024.

CARVALHO, Mauricio Dutra de. *Fundações superficiais análise comparativa entre fundação superficial do tipo sapata isolada e radier liso em obra de edificação*. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da faculdade Santa Rita– FASAR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Conselheiro Lafaiete, 2015

COELHO, Vinicius de Oliveira. *Análise paramétrica para fundação superficial do tipo radier*. Trabalho de conclusão de curso submetido ao programa de graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Infraestrutura. Joinville, 2016.

D'AGOSTINI, Giana Rachinski. *Estudo comparativo de sapatas isoladas e radier flexível como fundações em casas populares: estudo de caso*. Trabalho de conclusão de Curso de graduação, apresentado como requisito parcial para conclusão do Curso

de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil. Pato Branco, 2018

DUARTE JÚNIOR, Hernani Magela. *Dimensionamento de sapatas de fundação através do Software Mathcad*. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil com Ênfase em Estruturas Metálicas, da Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil. Ouro Branco, 2016.

KRÜGER, Marcelo Antônio; SILVA, Gilsinei da. *Projeto estrutural de uma residência de dois pavimentos*. Ignis Caçador, v.8, n.2, p. 21-37, 2019. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/2240>. Acesso em: 04. set. 2024.

PORDEUS, Victor Costa. *Viabilidade econômica da utilização dos radiers na construção de habitações de pequeno porte*. Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil. Ceará, 2009.

PRUDÊNCIO, Tiago. *Análise de viabilidade econômica de diferentes tipos de fundação em casas populares*. Monografia apresentada como requisito parcial, para conclusão do curso de Especialização na Construção Civil, da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Criciúma, de 2011.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.