

Análise técnico-econômica de fundação superficial tipo radier para uma residência unifamiliar

Technical and economic assesment of radier foundation for a unifamiliary habitation

Evaluación técnica y económica de la fundación tipo radier para una habitación unifamiliar

Recebido: 26/01/2021 | Revisado: 02/02/2021 | Aceito: 11/02/2021 | Publicado: 20/02/2021

Patrícia Kellen de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0014-5501>

Rede de Ensino Doctum, Brasil

E-mail: patriciakellenoliveira@gmail.com

Ladir Antônio da Silva Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0193-7060>

Rede de Ensino Doctum, Brasil

E-mail: ladir@hotmail.com

Resumo

A fundação é um dos elementos estruturais mais importantes para uma edificação, ela é responsável por transferir para uma camada resistente do solo, todas cargas da edificação. As fundações podem ser divididas entre superficiais e profundas. O radier é um tipo de fundação superficial que se trata de uma laje de concreto que distribui uniformemente as cargas da edificação para o terreno. O objetivo deste artigo é, através de um estudo de caso de uma edificação residencial unifamiliar, comparar técnicas construtivas da fundação tipo radier, em relação à sapata isolada, por meio de uma análise técnico-econômica entre os dois tipos de fundações superficiais, a fim de definir aquele que apresenta melhor viabilidade construtiva. Para isso, foi utilizado um projeto já dimensionado em sapatas, e, com os mesmos dados, realizou-se um dimensionamento estrutural do radier pelo software Eberick. Mediante aos resultados, foram elaboradas planilhas orçamentárias com valores de referências baseados na tabela regional da SINAPI e cronogramas físicos. Para isso, considerou-se a mesma equipe e jornada de trabalho para ambos os métodos. De acordo com os resultados obtidos, em relação ao custo e prazo, a sapata é mais onerosa e morosa que o radier. Sendo assim, conclui-se um excelente desempenho do radier em relação à sapata, pois quando bem dimensionado, poderá proporcionar melhor viabilidade técnico-econômica para a fundação, que é um dos elementos estruturais mais importantes do edifício. Ressalta-se que esta análise está restrita a este estudo de caso, porém, os resultados obtidos são corroborados por outras literaturas.

Palavras-chave: Fundação; Radier; Viabilidade técnico- econômica.

Abstract

Foundation is one of the most important structural elements of a building and it is responsible to transfer the building loads to a hard layer of soil. Foundations can be divided in superficial and deep foundations. The radier is a type of surface foundation, which consists of a concrete slab that evenly distributes the loads of the building to the ground. The objective of this article comprises the comparison of constructive techniques of the radier-type foundation, in relation to the isolated footing foundation, by means of an economic technical analysis between the two types of surface foundations, in order to define the one with the best constructive viability. A case study of a single-family residential building was used in this research. A previously dimensioned design in isolated footing foundation was used and a structural design of the radier foundation was carried out in the same building, using Eberick software. Based on the results, budget spreadsheets were prepared with reference values based on the SINAPI Regional Table and Physical Schedules. The same team of masons and working hours were considered for both methods. According to the results obtained, in relation to cost and time, the isolated footing is more expensive and time consuming than the radier. Thus, it is possible to conclude that the radier type foundation has an excellent performance in relation to the isolated footing, because when it is well dimensioned, it can provide better technical and economic viability for the foundation, which is one of the most important structural elements of the building. It should be noted that this analysis is restricted to this case study, however, the results obtained are supported by the literature.

Keywords: Foundation; Radier; Technical and economic feasibility.

Resumen

La fundación es uno de los elementos estructurales más importantes de un edificio y ella es responsable por transferir las cargas del edificio a una capa de suelo resistente. Las fundaciones se pueden dividir en superficiales y profundas. La fundación tipo radier es un tipo de fundación superficial, que consiste en una losa de hormigón que distribuye uniformemente las cargas del edificio al suelo. El objetivo de este artículo consiste en la comparación de las técnicas

constructivas de la fundación tipo radier y la fundación basada en la zapata aislada, mediante un análisis técnico-económico entre los dos tipos de fundaciones superficiales, con el fin de definir la fundación de mejor viabilidad constructiva. En esta investigación se utilizó un estudio de caso de un edificio residencial unifamiliar. Se utilizó un proyecto ya diseñado en zapatas y se realizó un diseño estructural de la fundación tipo radier en el mismo edificio, utilizando el software Eberick. Con base en los resultados, se prepararon planillas con valores de referencia basados en la Tabla Regional SINAPI y Programas Físicos. Se consideró el mismo equipo de albañiles y mismas horas de trabajo para ambos métodos. Según los resultados obtenidos, en relación al costo y al tiempo, la fundación usando zapata es más cara y requiere más tiempo que la fundación tipo radier. Así, es posible concluir que la fundación tipo radier tiene un excelente desempeño en relación a la fundación por medio de zapata, pues cuando está bien dimensionada, puede ofrecer una mejor viabilidad técnica y económica para la fundación, que es uno de los elementos estructurales más importantes de un edificio. Cabe señalar que este análisis se restringe a este estudio de caso. Sin embargo, los resultados obtenidos están respaldados por la literatura.

Palabras clave: Fundación; Radier; Viabilidad técnica y económica.

1. Introdução

A fundação é um dos elementos estruturais mais importantes para uma edificação. Ela é responsável por transferir para uma camada resistente do solo, toda a carga da edificação. As fundações podem ser divididas em duas categorias, sendo estas as fundações superficiais e as fundações profundas.

Para a escolha do tipo de fundação a ser utilizado em uma construção, deve-se levar em conta características intrínsecas à edificação, as suas condições de contorno e do solo. Desta maneira, deve-se considerar as ações atuantes da edificação, características do solo, assim como elementos estruturais que formam a fundação (Prudêncio, 2011). De forma geral, o tipo de fundação escolhido deve atender níveis de segurança mínimos para uma edificação exigidos pela norma NBR 6122 (ABNT, 2019), além de suportar as cargas da estrutura sem gerar recalques e falhas.

São chamadas de fundações superficiais, aquelas apoiadas diretamente ao solo, com uma profundidade de assentamento no terreno de no máximo duas vezes a menor dimensão em planta (ABNT, 2019). Essas podem ser classificadas quanto a sua simetria, sendo divididas em: radier, sapata, bloco e viga de fundação. Sendo a primeira, o foco do objeto de estudo desta pesquisa.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019), o radier é um elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos. Trata-se de uma laje de concreto armado apoiado diretamente ao solo que compreende toda a área da construção, onde o peso da obra é transferido uniformemente para o terreno. Essa laje pode ser classificada de acordo com sua flexão, rigidez e geometria. Em relação a sua espessura, pode ser variável ou uniforme, feitas de concreto simples, armado ou protendido.

Segundo Prudêncio (2011), as fundações representam cerca de 3% a 10% do custo total da obra, mas se mal projetadas e/ou executadas, o projeto pode ser até 10 vezes mais oneroso. Definir qual o tipo de fundação será utilizado para sustentar a edificação é uma das decisões mais impactantes em um empreendimento. Para determinar qual a melhor solução será implantada, deve-se fazer uma análise criteriosa das condições técnicas e econômicas. Ainda mais desafiante que definir o método a ser utilizado é deparar com proprietários que não culminam a total tomada de decisão ao projetista ou aos executores da obra, muitas vezes por falta de conhecimento técnico ou por cultura implantada no país.

Apesar de pouco utilizado no Brasil, a literatura afirma que o radier é um método seguro, eficiente e econômico. Dória (2007), ressalta que pode ser projetado e executado com economia, além disso, este sistema proporciona à construção uma plataforma estável. A consultora da NGI Consultoria e Desenvolvimento, Maria Angélica Covelo Silva, comenta que no Brasil, o sistema construtivo é artesanal e tradicional (GYPSUN, 2015). Talvez por esse motivo há pouca variação no método a ser utilizado na execução de fundações, sendo a sapata isolada, conforme Tizott (2013), tradicionalmente a mais predominante.

A fim de aprimorar os estudos na área de fundações, é apresentado neste trabalho, um estudo de caso específico de uma residência unifamiliar, edificação esta que inicialmente foi dimensionada com fundação superficial tipo sapata isolada. Através

dos dados obtidos, foi realizado o redimensionamento com fundação superficial tipo radier, com o objetivo de realizar uma análise técnico-econômica, bem como uma planilha orçamentária e um cronograma físico-financeiro para ambos os métodos, a fim de definir aquele que apresenta melhor viabilidade construtiva.

2. Referencial Teórico

2.1 Fundações

Segundo o Manual de Estruturas da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2018), as fundações devem suportar todas as ações que atuam na edificação, como seu próprio peso, carga verticais e horizontais. Além disso, para não surgir rupturas ou deformações, o solo deve ter resistência e rigidez. As fundações, que também podem ser conhecidas como alicerces, são divididas em dois grupos, sendo eles superficiais e profundas.

Fundações superficiais, também conhecidas como diretas ou rasas, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), é aquela na qual as cargas provenientes da superestrutura são distribuídas sob a base da fundação. Dentro deste grupo, estão inclusas as sapatas, os blocos, os radiers e as vigas de fundação.

2.2 Radier

Segundo a ACI 360R-10 (2010), o radier é uma laje de concreto armado ou protendido, apoiada no solo, cujas cargas oriundas da estrutura são uniformemente distribuídas e suportadas através da tensão admissível do solo (capacidade do solo).

Fernandes e Oliveira (2018), citam que são amplas as vantagens de utilização desse método, como a redução de mão de obra, conseqüentemente custo reduzido, prazo e simplicidade da execução. Os autores também comentam que tal fundação dispensa impermeabilização convencional, escavações e contra piso, por a laje já ter qualidade de piso acabado, pronta para receber os revestimentos.

De acordo com a Dória (2007), os radiers podem ser classificados de diversas formas, sendo quanto a:

- geometria;
- rigidez à flexão;
- tecnologia.

Ainda de acordo com Dória (2007), quanto à geometria, podem ser divididos em: liso, cogumelos (com pedestais), nervurados ou em caixão. O radier tipo liso é muito utilizado em habitações populares, caracterizado pela praticidade em sua execução, pode ser utilizado como contra piso.

Já o radier tipo cogumelos ou com pedestais, consiste no aumento da espessura sobre (pedestais) ou sob (cogumelos) a base dos pilares, afim de aprimorar a resistência à flexão e esforço cortante (Coelho, 2016). Em relação à estética, a segunda opção é mais vantajosa por aproveitar a superfície como contra piso.

O radier tipo nervurado, utiliza-se nervuras principais e secundárias na parte inferior ou superior. Normalmente são utilizados em casas e edifícios de múltiplos pavimentos de média altura onde necessita de rigidez em sua fundação (Souza, 2016).

Por último, o radier tipo em caixão é caracterizado como uma estrutura com grande rigidez, formada por duas lajes paralelas, pode ser executada com vários pisos. Normalmente são utilizados em edifícios residenciais onde as elevadas cargas são transmitidas para o solo (Souza, 2016).

Também são classificados quanto à sua rigidez à flexão, podem ser divididos em rígido e flexível. Segundo Dória (2007, p. 8), “os radiers rígidos são aqueles cuja rigidez à flexão é relativamente grande, portanto, o elemento estrutural pode ser tratado como rígido. Os radiers elásticos possuem menor rigidez e os deslocamentos relativos da placa não são desprezíveis”.

Outro método de classificação é quanto à tecnologia, relacionado ao tipo de material que é utilizado em sua execução,

são eles em concreto armado ou protendido (Dória, 2007). No segundo modelo citado, são empregadas em sua execução cordoalhas de protensão. Cordoalhas estas que são tensionadas, com o objetivo de aumentar a resistência do concreto, a fim de aperfeiçoar o desempenho da fundação.

O processo de execução do radier em concreto armado inicia-se pela limpeza prévia do local. Após o nivelamento e compactação do terreno, é realizado o lastro de brita para evitar o contato da armadura com o solo. Em torno da fundação, são montadas as formas de madeira para fechamento das laterais. Após o lançamento da armação, é realizada a concretagem do mesmo.

No Brasil, o radier é utilizado, em sua grande maioria, para construções de interesse social, principalmente em alguns programas do governo, como por exemplo da Companhia de Habitação Popular (COHAB), o Programa de Arrendamento Residencial (PAR) e Minha casa, Minha Vida (MCMV), por suas vantagens de rapidez, praticidade, eficiência, e consequentemente, economia.

De acordo com Almeida (2001), no Brasil, o radier recebe pouca atenção, tanto na fase de projetos quanto em sua execução, como consequência, as recomendações que poderiam evitar muitos problemas são simplesmente ignoradas. O autor comenta ainda que, nem sequer existe uma normatização brasileira específica para projeto e execução do radier.

Ressalta-se outras grandes obras realizadas com este método, como o Hotel Hilton, inaugurado em 1975 com 39 pavimentos, em Copacabana no Rio de Janeiro, e o Edifício do Banco do Brasil, inaugurado em 1954 em São Paulo, com 24 andares (<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=439461&view=detalhes>, recuperado em 26 de janeiro, 2021).

3. Metodologia

A partir dos objetivos, processos metodológicos e resultados esperados, pode-se classificar esta pesquisa como aplicada, em relação a sua natureza. Sendo que, segundo Silva (2004) este tipo de pesquisa busca produzir conhecimentos para utilização prática, voltada para a solução específicas e possui interesses locais. Analisando os objetivos deste artigo esta classificação fica clara, uma vez que este trabalho busca realizar uma análise técnica e econômica entre dois tipos de fundações superficiais através de uma aplicação prática em um estudo de caso.

Com relação a sua abordagem, esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa. Uma vez que a pesquisa quantitativa é caracterizada pelo uso de dados estatísticos para explicar os porquês de um evento, a correlação entre os fatores diversos, dentre outros, sendo que as soluções podem ser apresentadas de forma numérica (Fonseca, 2002). A partir desta definição, pode-se verificar a classificação desta pesquisa, já que ela busca definir o melhor tipo de fundação, através de uma análise quantitativa de custo e também de tempo de execução.

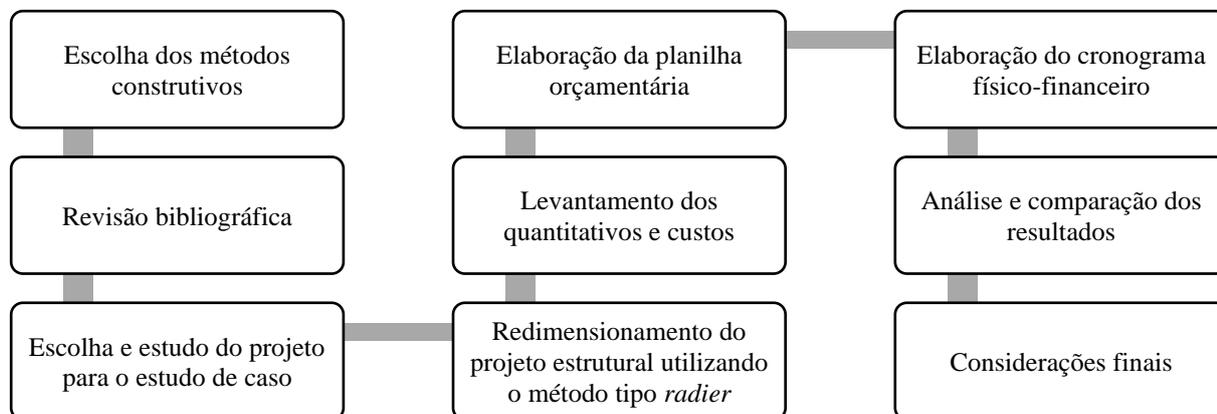
Em relação aos objetivos, caracteriza-se como exploratória e explicativa. Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória é aquela que tem como propósito principal aprimorar os conhecimentos existentes sobre um tema, com o foco de desenvolver estudos mais precisos para investigações posteriores. Já a pesquisa explicativa tem o objetivo de explicar as causas dos acontecimentos, haja vista que aprofunda o aprendizado de determinado assunto (Duarte, 2019). O mesmo autor (2019) afirma que em razão dessa categoria estar baseada em métodos experimentais, ela se encontra mais voltada para as ciências naturais e físicas. Tais definições podem ser aplicadas a esta pesquisa uma vez que, através dos objetivos propostos, este trabalho busca aprimorar os conhecimentos sobre a utilização das fundações tipo radier, explicando através de uma análise técnica e econômica a viabilidade de utilização deste tipo de fundação.

Por último, pode-se classificar este artigo em relação aos procedimentos técnicos como estudo de caso. Onde de acordo com Silva (2004), o estudo de caso consiste no estudo profundo e detalhado de um ou alguns elementos, gerando vasto

conhecimento sobre o assunto.

O processo metodológico deste artigo é baseado nas etapas descritas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Autores (2021).

Para elaboração deste artigo, foi escolhido o método construtivo a ser estudado, o radier. Onde inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica, baseada em estudos bibliográficos e documentais, por meio de fontes digitais, livros, normas e artigos, bem como, pesquisa aplicada, fundamentada pelo estudo de caso de uma residência unifamiliar. Os principais autores que sustentam este artigo são: Velloso e Lopes (2002), Dória (2007) e ABNT (2019).

Com a definição do projeto da residência unifamiliar a ser utilizado no estudo de caso, já dimensionado em fundação superficial tipo sapata isolada, foi desenvolvido o cálculo estrutural com o método tipo radier, para tal, utilizou-se o *software* Eberick. Logo foram levantados dados descritivos e numéricos, desta forma, o artigo em questão é de natureza descritiva, com a forma de abordagem quantitativa-qualitativa.

Após o dimensionamento estrutural e levantamento dos quantitativos, foram elaboradas planilhas orçamentárias dos custos diretos e indiretos, bem como um cronograma com o prazo total para execução da obra. Para isso, foram utilizados softwares, como por exemplo MS Project e Microsoft Office Excel, com base na Tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil). Por fim, foi estruturado um comparativo da viabilidade técnico-econômica dos tipos de fundações citados, com o propósito de apresentar aquele que apresenta melhor viabilidade construtiva.

3.1 Estudo de caso

O estudo de caso apresentado, é de uma residência unifamiliar simples, com um pavimento de 9 cômodos, sendo eles: 3 quartos, incluso uma suíte, 1 banheiro social, 1 varanda, 1 sala de estar, 1 sala de jantar, 1 cozinha e 1 lavanderia, totaliza-se uma área de 177,3 m².

Em relação a parte estrutural, o projeto possui a fundação superficial tipo sapata isolada sobre um terreno nivelado, sendo consideradas 15 sapatas em diferentes dimensões, o que totaliza 517,40 kg de aço CA-50 (barras de Ø8.0 mm e Ø10.0 mm) e CA-60 (barras de Ø5.0 mm e Ø6.3 mm), área de 16,38 m² de forma de madeira e 8,00 m³ de concreto de fck = 30 MPa. Tais resultados foram previamente fornecidos pelo responsável técnico da construção e utilizados para o modelo comparativo. Para alvenaria de vedação, foi considerado tijolo cerâmico de 14,0 cm de espessura para paredes externas e internas, e para cobertura, uma laje de concreto de 10,0 cm, coberta com telhas cerâmicas tipo colonial. Na Figura 2 é apresentada uma perspectiva da fachada da edificação e na Figura 3 a sua planta baixa.

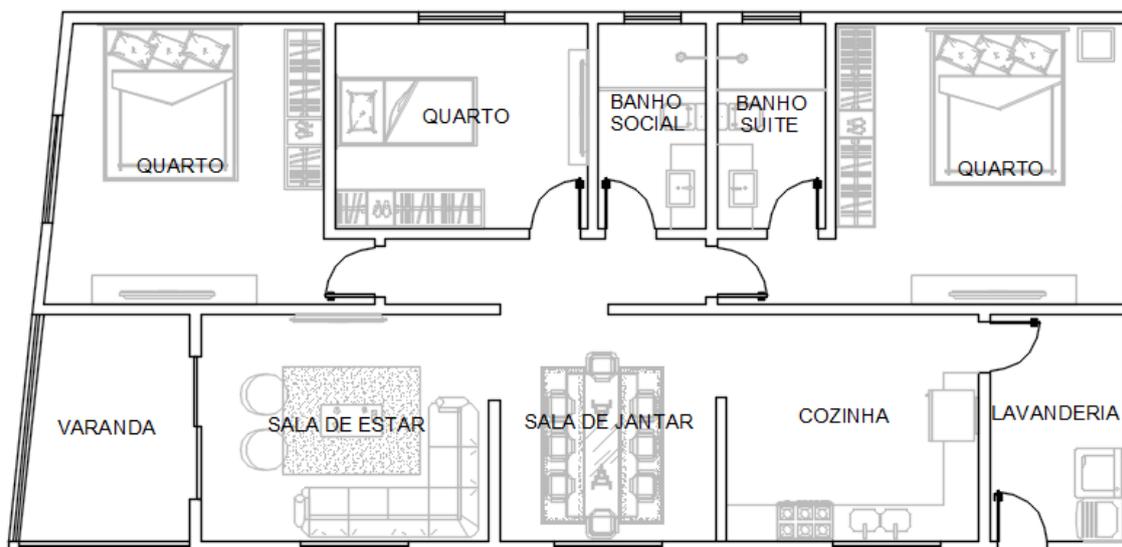
Figura 2 – Fachada da residência.



Fonte: Autores (2019).

Na Figura 3 é apresentada a planta baixa humanizada da edificação utilizada para o estudo de caso.

Figura 3 – Planta baixa humanizada.



Fonte: Autores (2019).

3.2 Dimensionamento da fundação tipo radier

Para realização do dimensionamento da fundação tipo radier, foi utilizada a versão 2018 do software Eberick, cujos dados estão baseados nos projetos, de modo com que os esforços solicitantes no elemento possam ser suportados pelo solo.

De acordo com os estudos geotécnicos do solo, foram definidos os coeficientes de recalque vertical (k_v) e horizontal (k_h) do mesmo. Tais coeficientes são medidas de rigidez do solo, fundamentais na determinação de como as estruturas se apoiam sobre o terreno e essenciais para o dimensionamento do radier no *software* Eberick.

Segundo a NBR 6489 (ABNT, 2019), para obtenção dos resultados desses coeficientes, são utilizados ensaios efetuados com o solo, com o objetivo de simular o comportamento da estrutura, como por exemplo o ensaio de placa, que além de obter valores do k_v , é utilizado para obter parâmetros de resistência e deformação e prevê o recalque de uma fundação. Uma forma mais simples de determinar estes valores é através das correlações entre os coeficientes de recalque com outras resistências

características do solo.

De acordo com Morrison (1993), pode-se correlacionar o coeficiente de recalque vertical (k_v), com a tensão média admissível. Tensão essa que pode ser calculada a partir do ensaio de SPT (Standart Penetration Test) do solo, de acordo com Alonso (1943) e Godoy e Teixeira (1996). A Tabela 1 apresenta os valores dos coeficientes de recalque vertical correlacionados com a tensão admissível do solo.

Tabela 1 – Correlação entre a Tensão admissível e o coeficiente k_v

Tensão admissível (kgf/cm ²)	K_v (kgf/cm ³)	Tensão admissível (kgf/cm ²)	K_v (kgf/cm ³)	Tensão admissível (kgf/cm ²)	K_v (kgf/cm ³)	Tensão admissível (kgf/cm ²)	K_v (kgf/cm ³)
0,25	0,65	1,20	2,56	2,15	4,30	3,10	6,20
0,30	0,78	1,25	2,65	2,20	4,40	3,15	6,30
0,35	0,91	1,30	2,74	2,25	4,50	3,20	6,40
0,40	1,04	1,35	2,83	2,30	4,60	3,25	6,50
0,45	1,17	1,40	2,92	2,35	4,70	3,30	6,60
0,50	1,30	1,45	3,01	2,40	4,80	3,35	6,70
0,55	1,39	1,50	3,10	2,45	4,90	3,40	6,80
0,60	1,48	1,55	3,19	2,50	5,00	3,45	6,90
0,65	1,57	1,60	3,28	2,55	5,10	3,50	7,00
0,70	1,66	1,65	3,37	2,60	5,20	3,55	7,10
0,75	1,75	1,70	3,46	2,65	5,30	3,60	7,20
0,80	1,84	1,75	3,55	2,70	5,40	3,65	7,30
0,85	1,93	1,80	3,64	2,75	5,50	3,70	7,40
0,90	2,02	1,85	3,73	2,80	5,60	3,75	7,50
0,95	2,11	1,90	3,82	2,85	5,70	3,80	7,60
1,00	2,20	1,95	3,91	2,90	5,80	3,85	7,70
1,05	2,29	2,00	4,00	2,95	5,90	3,90	7,80
1,10	2,38	2,05	4,10	3,00	6,00	3,95	7,90
1,15	2,47	2,10	4,20	3,05	6,10	4,00	8,00

Fonte: Adaptado de Morrison (1993).

A partir do coeficiente de recalque vertical, é possível calcular o coeficiente de recalque horizontal, uma vez que se conhece o coeficiente de Poisson (ϑ) do solo.

Para isso, pode-se utilizar a fórmula clássica de resistência dos materiais que correlaciona a deformação normal, com a deformação transversal e o coeficiente de Poisson (ϑ). Desta maneira, tem-se a Equação 1:

$$K_h = \vartheta K_v \quad (1)$$

onde:

K_h é o coeficiente de recalque horizontal;

ϑ é o coeficiente de Poisson;

K_v é o coeficiente de recalque vertical.

Para a determinação do coeficiente de Poisson, pode-se utilizar os valores recomendados por Terzaghi (1955), que são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Correlação entre o coeficiente de Poisson e a natureza do solo

Natureza do solo	Coefficiente de Poisson (ν)
Arenoso	0.29
Argiloso	0.40

Fonte: Adaptado de Terzaghi (1955).

Com base no projeto da residência unifamiliar apresentado, calculou-se as premissas para o dimensionamento do radier. Para o cálculo do coeficiente de recalque vertical, foi adotada a tensão admissível média utilizada para o dimensionamento da fundação tipo sapata isolada, que é de 1,5 kgf/cm². Assim sendo, o valor do coeficiente é 3100 tf/m³, conforme Tabela 1. Para cálculo do coeficiente de recalque horizontal, foi utilizada a Equação 1, baseado no coeficiente de Poisson, conforme Tabela 2, para isso, foi considerado o solo argiloso, que resultou-se em 1240 tf/ m³.

A partir dos valores dos coeficientes de recalque vertical e horizontal, pode-se alimentar o software Eberick e realizar o dimensionamento e detalhamento da fundação tipo radier. Para isto, foi adotada como premissa radier tipo liso. Desta maneira, sua espessura mínima de acordo com o item 13.2.4.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014) é de 16 cm (espessura mínima para lajes lisas sem capitel).

3.3 Orçamento financeiro

Orçamento é a estimativa do custo total fundamental para o gerenciamento no setor da construção civil, é utilizado para o controle e planejamento da obra, o mesmo equivale à soma de todos os gastos necessários para a execução da mesma (González, 2008), considera-se mão de obra direta e indireta, materiais e equipamentos.

Para a elaboração da planilha orçamentária, foram levantados os dados quantitativos de todas as etapas da execução da fundação, baseados nos projetos fornecidos pelo responsável. As atividades são listadas, enumeradas e agrupadas conforme parâmetros lógicos da construção, como tipos de serviços, recursos utilizados e sequência de execução.

As descrições, valores de referência e composições dos preços unitários, foram coletadas na tabela Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), atualizada em outubro de 2020.

3.4 Cronograma físico

O cronograma é uma ferramenta de controle e planejamento que consiste em uma representação gráfica da execução da obra, para isso, considera-se o tempo de todas as etapas previstas em projetos, com objetivo de representar a duração de cada atividade, a fim de auxiliar nos acompanhamentos dos prazos das etapas construtivas (Faria, 2011).

Para elaboração dos cronogramas físicos, foram listadas cronologicamente as atividades das etapas da obra executada com fundação superficial tipo sapata isolada e radier. A duração das atividades foi baseada nas composições da tabela de referência da SINAPI, citada no item 3.3 deste artigo.

4. Resultados e Discussão

Conforme dimensionamento realizado, apresenta-se abaixo, os resultados e discussão em forma de quadros e figuras, da comparação e análises do orçamento e cronograma físico de ambos os métodos estudados.

4.1 Orçamento financeiro

Com o intuito de comparar não somente o custo total, mas também os preços detalhados de cada etapa construtiva das fundações, foram elaborados os orçamentos dos métodos para execução de radier e sapata isolada.

Para elaboração do orçamento financeiro da obra com o método de fundação superficial tipo sapata isolada, foram considerados os dados e quantitativos levantados em projeto para construção das sapatas, vigas baldrame e arranques de pilares.

Para elaboração do orçamento financeiro, a execução da obra foi dividida em 6 etapas, sendo: (1) movimentação de terra, onde foi considerada escavação, reaterro e compactação, (2) lastro de brita no fundo das valas para evitar o contato direto das ferragens com o solo, (3) armação, considerado corte, dobra, montagem e lançamento, (4) montagem e travamento de formas

de madeira, (5) concreto convencional de $f_{ck} = 30$ MPa e (6) outros serviços, que inclui o lastro de concreto, popularmente conhecido como “ piso grosso” e impermeabilizações.

Para o orçamento da fundação tipo sapata, os pilaretes, as vigas baldrames e contrapiso (piso grosso) foram inclusos no mesmo. Pelo fato de que, quando executada a fundação tipo radier, indiretamente estes serviços estão inclusos no próprio radier ou então podem ser desnecessários. Desta maneira, os autores deste trabalho optaram por estas inclusões, para representar de forma fidedigna as etapas construtivas entre cada sistema, onde no final do orçamento, cada tipologia entrega a mesma etapa concluída.

A Tabela 2 apresenta o orçamento financeiro para a fundação tipo sapata isolada, apresentando os custos de cada etapa da obra em análise, inclusive os respectivos percentuais relação ao custo total.

Tabela 2 – Orçamento fundação superficial tipo sapata isolada.

Item	Descrição das etapas	Custo	Percentual
1	Movimentação de terra	R\$ 4,558.53	21.83%
2	Lastro	R\$ 260.61	1.25%
3	Armação	R\$ 5,494.11	26.31%
4	Forma	R\$ 1,454.22	6.96%
5	Concreto	R\$ 3,980.00	19.06%
6	Outros Serviços (lastro de concreto e impermeabilização)	R\$ 5,137.40	24.60%
Total		R\$ 20,884.87	100.00%

Fonte: Autores (2021).

Através dos resultados apresentados na Tabela 2, pode-se dizer que o custo total para a execução da fundação tipo sapata isolada foi de R\$ 20.884,87. Observa-se que a Etapa 3 (armação) é a que representa o maior custo, com R\$ 5.494,11, representando um percentual 26,31% em relação ao custo total da obra, e o lastro de brita o menor, com um custo de R\$ 260,61, que representa 1,25% do custo total da obra.

Na Tabela 3, estão representados os custos diretos para execução da fundação superficial tipo radier, separados em etapas de (1) movimentação de terra para regularização do terreno, (2) lastro de brita para proteção das ferragens, (3) armação, sendo considerado corte, dobra, montagem e lançamento, (4) montagem e travamento de formas de madeira nas laterais e (5) concreto convencional de $f_{ck} = 30$ MPa. Ressalta-se que tal método dispensa a execução de vigas baldrames, pois o radier já atua como suporte das paredes, além disso, não é necessário execução lastro de concreto, popularmente conhecido como “ piso grosso” e impermeabilizações.

Tabela 3 – Orçamento fundação superficial tipo radier.

Item	Descrição das etapas	Custo	Percentual
1	Movimentação de terra	R\$ 277.82	2.27%
2	Lastro	R\$ 655.64	5.36%
3	Armação	R\$ 3,713.82	30.39%
4	Forma	R\$ 849.52	6.95%
5	Concreto	R\$ 6,724.59	55.02%
Total		R\$ 12,221.39	100.00%

Fonte: Autores (2021).

Com base na Tabela 3, estima-se o custo da fundação realizada com radier totalizou R\$ 12.221,39 Sendo que a Etapa 5 (concreto) é o item de maior custo com mais da metade do custo total, um valor de R\$ 6.724,59, que representa um percentual de 55,02% em relação ao custo total da execução. Por outro lado, a Etapa 1 (movimentação de terra) é a que apresenta menor custo, com um valor de 277,82, que representa 2,27% em relação ao custo total.

A Tabela 4, apresenta as comparações dos percentuais referentes ao custo entre os dois sistemas analisados, para cada etapa construtiva considerada.

Tabela 4 – Comparativo percentual do custo de cada etapa construtiva para os dois sistemas analisados.

Item	Descrição das etapas	% Sapata	% Radier	Diferença *
1	Movimentação de terra	21.83%	2.27%	19.55%
2	Lastro	1.25%	5.36%	4.12%
3	Forma	6.96%	6.95%	0.01%
4	Armação	26.31%	30.39%	4.08%
5	Concreto	19.06%	55.02%	35.97%
6	Outros Serviços (lastros de concreto e impermeabilização)	24.60%	-	24.60%
Total		100.00%	100.00%	0.00%

* A diferença de percentual é sempre do maior valor para o menor. Fonte: Autores (2021).

Através dos resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que a etapa com maior diferença entre os custos é a Etapa 5 (concreto) com 35,97%, representando um custo de R\$ 2.744,59 a mais na execução da fundação tipo radier. A etapa que apresentou menor diferença é a forma, com uma variação de somente 0,01%. Também pode-se observar que a Etapa 6, que compreende na execução do lastro de concreto e impermeabilização do sistema de fundação, é necessária somente na execução tipo sapata isolada. Como já explicado anteriormente, na fundação tipo radier não é necessária a execução do lastro de concreto, uma vez que a própria laje do radier substitui tal elemento, sendo que esta etapa representa para a fundação tipo sapata um percentual de 24,60% do custo total da edificação, com um custo R\$ 5137,40.

Analisando o custo total, pode-se perceber que a execução com fundação radier apresenta uma maior viabilidade econômica em relação a fundação tipo sapata isolada, com uma diferença de R\$ 8.663,48, que representa uma diferença percentual de 41,48% mais viável que a sapata. No estudo de caso realizado por Prudêncio (2011), o radier mostrou-se 25% mais econômico quando comparada às outras opções em sapatas ou estacas, corroborando com os resultados desta pesquisa.

4.2 Cronograma físico

Para a elaboração dos cronogramas físicos, foram consideradas equipes com o pior cenário, com dois colaboradores diretos para ambos os métodos, sendo um oficial (profissional que exerce as funções de pedreiro, armador e carpinteiro) e um ajudante de obra, com uma jornada de trabalho de 44 horas semanais, de segunda à sexta-feira. A execução dos cronogramas físicos foi baseada na Tabela SINAPI, atualizada em outubro de 2020.

O cronograma físico para a tipologia construtiva em sapata isolada, incluindo os dias gastos para cada etapa e seu respectivo percentual em relação ao prazo total é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Cronograma físico da Execução da fundação tipo sapata isolada.



Fonte: Autores (2021).

Através da análise da Figura 4 e do cronograma físico financeiro executado, pode-se perceber que para execução da fundação com o método de sapata isolada foram necessários no total 26 dias úteis para conclusão das atividades. Sendo que para contabilizar tal prazo, foi considerada a possibilidade de simultaneidade entre as etapas construtivas (ver Figura 4). Caso não fosse considerada a simultaneidade entre as atividades o prazo total iria aumentar para 33 dias úteis.

Além disso, ainda de acordo com a Figura 4, pode-se perceber que a Etapa 1 (movimentação de terra) apresenta um maior tempo de execução, com 15,11 dias que representa 46% do prazo total para a execução da fundação. E a Etapa 2 (lastro de concreto) apresenta o menor tempo de execução, com menos de um dia útil e representando somente 0,43% do prazo total de execução.

Na Figura 5 é apresentado o cronograma físico para a execução da fundação tipo radier, incluindo os dias gastos para cada etapa e seu respectivo percentual em relação ao prazo total.

Figura 5 – Cronograma físico da Execução da fundação tipo radier.



Fonte: Autores (2021).

Observando os dados obtidos através do cronograma físico para o sistema em fundação tipo radier e a Figura 5, pode-se perceber que o prazo total de execução neste sistema foi de 9 dias úteis. Onde a etapa que demandou um maior prazo de execução foi a Etapa 3 (armação), com um total de 3 dias úteis, representando 36,95% do prazo total. Já a etapa que representou menor prazo de execução foi a Etapa 2 (lastro de brita), com menos de um dia útil e representando somente 1,48% do prazo total de execução.

Realizando a comparação entre as Figuras 4 e 5, pode-se concluir que o sistema de fundação em radier teve um prazo de execução de 17 dias úteis a menos que o sistema de fundação em sapatas isoladas, sendo que este quantitativo representa uma redução de 65,54% no prazo total de execução.

Em relação ao prazo de execução, para a execução da fundação superficial tipo sapata isolada são necessários 25,23 dias úteis, sendo considerada uma jornada de trabalho conforme citada anteriormente. A etapa que demanda maior prazo para execução é a movimentação de terra para escavação, reaterro e compactação das sapatas e vigas baldrames, com 46,0%. A etapa

com maior rapidez é o lançamento e espalhamento do lastro de brita, com 0,43%.

Na Tabela 5 são apresentadas as comparações dos percentuais referentes ao prazo de execução de ambas as fundações.

Tabela 5 – Comparativo do percentual do tempo de execução de cada etapa construtiva

Item	Descrição das etapas	% Sapata	% Radier	Diferença
1	Movimentação de terra	46.00%	16.03%	29.97%
2	Lastro	0.43%	1.48%	1.05%
3	Forma	23.74%	36.95%	13.20%
4	Armação	8.61%	33.66%	25.05%
5	Concreto	10.53%	11.88%	1.35%
6	Outros Serviços (lastro de concreto e impermeabilização)	10.68%	-	10.68%

* A diferença de percentual é sempre do maior valor para o menor. Fonte: Autores (2021).

A partir dos dados da Tabela 5, verifica-se que a etapa com maior diferença entre o tempo para finalização das atividades é a movimentação de terra com 29,97%, e a que apresenta menor diferença é o lastro de brita, com 1,05%.

Observando os resultados obtidos, para o cronograma financeiro, pode-se observar que a execução da fundação no tipo radier representou, para o estudo de caso, uma redução de custo de R\$ 8.663,48, que representa um percentual de 41,48% no custo total da obra. A mesma redução foi sentida com relação ao cronograma físico, com uma redução de 17 dias úteis, que representam 65,54% de redução no prazo total de execução. Diante dos dados obtidos, pode-se concluir que através da análise técnico-econômica entre os sistemas, que o sistema tipo radier é mais viável que o sistema em fundação tipo sapata isolada.

5. Considerações Finais

A fundação superficial tipo radier, que se trata de uma laje apoiada no solo, cujo principal propósito é suportar as cargas aplicadas através da tensão admissível de suporte do solo, é objeto de estudo do presente projeto com finalidade de realizar uma análise técnico-econômica da fundação supracitada para uma residência unifamiliar.

O presente projeto foi desenvolvido para realizar a análise de uma residência modelo adotada, a fim de comparar o método construtivo fundação superficial tipo radier ao método tradicionalmente mais utilizado, fundação tipo sapata isolada. Através de um estudo técnico-econômico entre os dois tipos de fundação, visa-se apresentar a melhor viabilidade construtiva. Para isso, foram feitos estudos comparativos das duas técnicas construtivas, onde os objetivos traçados foram alcançados.

Definido o projeto a ser utilizado, com a fundação tipo sapata isolada já calculada, foi possível, através do uso do software Eberick, dimensionar a fundação tipo radier para a residência estudada. Com as fundações dimensionadas, realizou-se o levantamento de quantitativos de insumos e mão de obra, bem como, o prazo de execução das obras e o orçamento, com auxílio de tabela SINAPI e o programa Excel, mantendo um padrão de jornada de trabalho e preços para materiais presentes nas duas fundações.

Na análise do caso estudado, foi verificado um custo mais elevado para a fundação tipo sapata isolada. Ao se comparar com o radier, a mesma apresenta ser 71,00% mais onerosa. A fundação tipo radier teve um custo de execução de R\$ 12.221,39, valor inferior ao da sapata isolada, que é de R\$ 20.884,87, sendo assim, estima-se uma economia de R\$ 8.663,48 quando utilizada a fundação tipo radier.

Em relação ao prazo de execução, são necessários 26 dias úteis para a finalização da obra com a sapata isolada, resultado esse que leva ao método ser 288,9% mais moroso que o radier, que requer 9 dias úteis para execução, com uma diferença entre

eles de 17 dias.

Os resultados certificam que o método construtivo radier se torna viável para a edificação apresentada nesse artigo. Isso deve-se a alguns fatores como, menor tempo de execução e consumo de materiais, quando se compara com a fundação tipo sapata isolada. Tal análise está restrita a este estudo de caso, porém, os resultados são corroborados pelos estudos de Dória (2007) e Prudêncio (2011).

Diante do exposto, conclui-se que, para o modelo residencial adotado, a fundação em radier se torna a solução mais satisfatória economicamente e que, antes de qualquer definição precoce do tipo de fundação a ser adotada, deve-se consultar profissionais tecnicamente qualificados, afim de realizar uma análise prévia do tipo de fundação a ser utilizada, com o propósito de executar os métodos construtivos menos onerosos e mais eficientes, para cada caso. O radier, quando bem dimensionado, poderá proporcionar melhor viabilidade técnico-econômica para a fundação, que é um dos elementos estruturais mais importantes do edifício.

A ser desenvolvido em pesquisas futuras, os autores sugerem a realização de um estudo mais detalhado do dimensionamento de fundações tipo radier, com a apresentação de uma metodologia de dimensionamento manual, comparando os resultados obtidos através desta metodologia de cálculo manual com as respostas obtidas através do dimensionamento com softwares comerciais de estruturas em concreto armado. Com isso, espera-se com este estudo contribuir com a difusão do dimensionamento deste tipo de fundação.

Referências

- Almeida, L. (2001). Laje sobre solo para fundação de residência. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Campinas: UNICAMP, 109p.
- Alonso, U. R. (1943). *Exercícios de fundações*, Blucher, 201p.
- American Concrete Institute, A. C. ACI 360R-10 Guide to Design of Slabs-on- Ground. [S.l.], 2010, 72p.
- Associação Brasileira de Cimento Portland (n.d). Manual das estruturas. Jaguaré. <http://www.abcp.org.br/conteudo/manual-das-estruturas>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2014). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 238p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2019). NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 108p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2019). NBR 6489: Solo - Prova de carga estática em fundação direta. Rio de Janeiro, 11p.
- Coelho, V. (2016). Análise paramétrica para fundação superficial do tipo radier. UFSC, 118p.
- Dória, L. E. S. (2007). Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Maceió: UFAL, 92p.
- Duarte, V. M. Do N. (s.d.). Pesquisas_ Exploratória, Descritiva e Explicativa - Brasil Escola. <http://monografias.brasilecola.uol.com.br/regras-abnt/pesquisas-exploratoria-descritiva-explicativa.htm>.
- Faria, R., Badra, P. A., & Ferreira, A. C. (2011). Planejamento: cronograma físico - financeiro. <http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/35/cronograma-fisico-financeiro-213994-1.aspx>.
- Fernandes, M. V., & Oliveira, E. N. (2018). Análise comparativa entre fundações superficiais do tipo radier armado e protendido. Núcleo do conhecimento, 3, (12a ed.), 12, 3, 106-121.
- Fonseca, J. J. S (2002). *Metodologia da Pesquisa Científica*. UECE, 10p.
- Formigoni, D. D. P. (2017). Análise comparativa do desempenho de fundação rasa do tipo radier com fundação rasa de sapatas isoladas. UTFPR, 67p.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. (6a ed.), Atlas, 188p.
- González, M. A. S. (2008). Noções de orçamento e planejamento de obras. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e Tecnológicas), São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- GYPSSUM. Brasil tem muitos desafios no sistema construtivo. <https://www.gypsum.com.br/pt-pt/blog/brasil-desafios-sistema-construtivo>.
- Morrison, N. (1993). *Interacción suelo-estructuras: semi-espacio de winkler*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Prudêncio, T. (2011). *Análise de viabilidade econômica de diferentes tipos de fundação em casas populares*. Criciúma: UNESC, 57p.

Silva, C. R. O. (2004). Guia Prático de Metodologia e Organização do projeto de pesquisa. Documento do Centro de Ensino Técnico Federal, Fortaleza: CEFET, 34p.

Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil – SINAPI (2020). Relatório de insumos e composições, ref. Outubro 2020. Belo Horizonte. https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648.

Souza, F. (2016). Radier simples, armado e protendido. Edição do autor.

Teixeira, A. H., & Godoy, N. S. (1996) Análise, projeto e execução de fundações rasas, in: Hachich, W. et al. (ed.) Fundações: teoria e prática. Pini, 7. 227-264.

Tizott, R. (2013). *Comparação do custo benefício entre dois tipos de fundações: sapata rígida e radier*. UTFPR, 124p.

Velloso, D. A., & Lopes, F.R. (2002). *Fundações*. 1. Nova Edição. Oficina de Textos, 231 p.