

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**ESTUDO COMPARATIVO DO CUSTO BENEFÍCIO DE FUNDAÇÕES: SAPATAS
ISOLADAS E RADIER EM UMA EDIFICAÇÃO EM TEÓFILO OTONI - MG**

**TEÓFILO OTONI
2017**

**ANDRINE OLIVEIRA COELHO
RAFAEL SOUZA DA SILVA RIEVERS
VALDETE SOFFIETT DE SOUZA JÚNIOR**

FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

**ESTUDO COMPARATIVO DO CUSTO BENEFÍCIO DE FUNDAÇÕES: SAPATAS
ISOLADAS E RADIER EM UMA EDIFICAÇÃO EM TEÓFILO OTONI - MG**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil das Faculdades Unificadas de
Teófilo Otoni, como requisito parcial
para a obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil**

**Área de concentração: Fundação
Superficial**

**Orientador Prof. Wanderson Luiz Vieira
Freitas**

TEÓFILO OTONI

2017



FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado ESTUDO COMPARATIVO DO CUSTO BENIFÍCIO DE FUNDAÇÕES: SAPATAS ISOLADAS E RADIER EM UMA EDIFICAÇÃO EM TEÓFILO OTONI - MG, elaborado pelos alunos ANDRINE OLIVEIRA COELHO, RAFAEL SOUZA DA SILVA RIEVERS, VALDETE SOFFIETT DE SOUZA JÚNIOR foi aprovada por todos os membros da banca examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Civil das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni como requisito parcial para a obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

Teófilo Otoni, 24 de novembro de 2017

BANCA EXAMINADORA

Wanderson Luiz Vieira Freitas
Prof. Orientador

Examinador

Examinador

*Dedico este trabalho a Deus, a minha mãe Maria Aparecida, ao meu pai Gerry que
sempre me deu
exemplos de vida e conduta e a João Victor pelo apoio.
(Andrine Oliveira Coelho)*

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser
essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora
da angústia e ao meus pais.
(Rafael Souza da Silva Rievers)*

*Dedico este trabalho a minha família, esposa e filho,
que sempre me incentivou e assimilou minha ausência.
(Valdete Soffiett de Souza Júnior)*

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de todas as coisas por ter nos dados saúde e força para superar as dificuldades.

Ao orientador, o professor Wanderson Luiz Vieira Freitas, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

E a todos que direta e indiretamente fizeram parte da nossa formação.

Mas, sejam fortes e não desanimem, pois o trabalho de vocês será recompensado.

2 Crônicas 15:7

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SPT – *Standard Penetration Test*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Esquema de ensaio SPT.....	29
FIGURA 2: Estaca	31
FIGURA 3: Tubulão à céu aberto.....	32
FIGURA 4: Caixaão.....	32
FIGURA 5: Bloco para fundação.....	33
FIGURA 6: Sapata.....	34
FIGURA 7: Sapata isolada em execução.....	34
FIGURA 8: Sapata isolada.....	35
FIGURA 9: Radier liso em execução.....	36
FIGURA 10: Radier.....	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Resumo do relatório de sondagem do furo 1.....	41
TABELA 2: Resumo do relatório de sondagem do furo 2.....	42
TABELA 3: Cargas do edifício.....	44
TABELA 4: Especificações das sapatas isoladas.....	46
TABELA 5: Total de aço e concreto da sapata isolada.....	46
TABELA 6: Total de aço e concreto do radier.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Comparativo do volume de concreto utilizado para execução entre as fundações por sapata isolada e radier.....	48
GRÁFICO 2: Comparativo da quantidade de aço utilizado para execução entre as fundações por sapata isolada e radier.....	49
GRÁFICO 3: Análise da utilização da área do terreno para execução das sapatas isoladas.....	49
GRÁFICO 4: Comparativo do uso do terreno para execução entre as fundações por sapata isolada e radier.....	50

RESUMO

Neste estudo escolheu-se um edifício residencial multifamiliar já construído, com quatro pavimentos, em um terreno de 360 m², localizado no município de Teófilo Otoni/MG, onde apresenta-se o estudo comparativo do custo benefício de uma estrutura de fundações superficiais utilizando duas soluções, a solução do tipo radier em concreto armado e a solução com emprego de sapatas isoladas, ambas aplicadas na fundação de um residencial multifamiliar, sendo uma pesquisa quantitativa. Analisou-se criteriosamente as diversas variáveis para escolha da fundação, a proposta é apresentar as diferenças entre as fundações para sapata isoladas e radier. Realizou-se uma revisão na literatura sobre fundações superficiais, a fim de evidenciar a melhor alternativa de acordo com os estudos geológicos do terreno, feito através da sondagem. Será apresentado o comparativo de concreto, aço e da utilização do terreno entre sapata isolada e radier, como demonstrativo para a escolha consciente de qual tipo de fundação se enquadra melhor nesta edificação, onde percebeu-se que a solução de radier ficou mais onerosa, se comparada a sapata isolada. Com o levantamento de todos os itens apropriados para esse projeto, concluiu-se que a opção pela sapata isolada representou uma solução mais rápida e econômica para a edificação em questão.

Palavras-chave: Fundações Superficiais. Sapatas. Radier. Edificação.

ABSTRACT

In this study we chose a multi-family residential building already built, with four floors, in a plot of 360 m², located in the municipality of Teófilo Otoni / MG, where we present the comparative study of the cost of a structure of shallow foundations using two solutions, the radier type solution in reinforced concrete and the solution of insulation, applications under the base of a multifamily residential, being a quantitative research. It was carefully analyzed as several variables to choose the foundation, a proposal and presentation as a separation between foundations for insulated base and radier. A literature review on shallow foundations was carried out, in order to show a better alternative according to the geological studies of the terrain, done through the survey. It will be presented or comparative of concrete, steel and land use between insulated base and radier, as demonstrative for a conscious choice of which type of foundation fits best in the building, where it was noticed that the radier solution was more expensive, if compared the base isolated. With the survey of all the appropriate items for this project, it is concluded that it is an option through an alternative to a faster and more economical solution for a building in question.

Keywords: Shallow Foundations. Base. Radier. Building.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	A importância das fundações	27
2.2	Investigação geotécnica	28
2.2.1	Standard Penetration Test (SPT).....	29
2.3	Fundações	30
2.3.1	Fundações profundas e seus tipos.....	31
2.3.2	Fundações superficiais e seus tipos.....	32
2.3.2.1	<i>Sapata isolada</i>	34
2.3.2.2	<i>Radier</i>	35
2.4	Desempenho nas edificações	37
2.5	Softwares de dimensionamento	37
2.5.1	<i>Software TQS®</i>	38
2.5.2	<i>Software CypeCAD®</i>	38
3	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA	39
3.1	Classificação da pesquisa quanto aos fins	39
3.2	Classificação da pesquisa quanto aos meios	39
3.3	Tratamento de dados	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Tensão admissível do solo	41
4.1.1	Cálculo das cargas do edifício.....	43
4.1.2	Dimensionamento sapata isolada.....	45
4.1.3	Dimensionamento radier.....	46
4.2	Análise do consumo de concreto e aço	48
4.3	Análise quanto a utilização do terreno	49
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXO A	57
	ANEXO B	59
	ANEXO C	61
	ANEXO D	65

ANEXO E.....	69
ANEXO F.....	73
ANEXO G.....	77
ANEXO H.....	79

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como principal área de pesquisa o estudo das fundações, especificamente as rasas, sendo delimitado pelo estudo comparativo do custo benefício de sapatas isoladas e radier tendo como parâmetros o projeto arquitetônico de uma edificação localizada na cidade de Teófilo Otoni-MG.

Para a execução de qualquer construção de engenharia civil é preciso seguir determinadas etapas (estudo do solo, especificação da fundação, etc). Dentre essas etapas há uma de extrema importância, a definição da fundação adequada para o tipo de estrutura projetada. Todavia, nem sempre a escolha da fundação apropriada é considerada, e/ou não é realizada de maneira que viabilize a melhor alternativa. Esses aspectos podem ocasionar patologias tais como: recalques, fissuras, trincas e danos estruturais consideráveis na edificação (Ferreira, 2013).

É importante frisar que edificações que envolvem o radier no Brasil, devem ser examinadas com devido cuidado, levando-se em conta que até o momento este país não possui uma normativa específica para este tipo de fundação, o que atrapalha muito sua utilização (Maron et al. 2016).

Analisando criteriosamente as diversas variáveis para escolha da fundação, a proposta é apresentar as diferenças entre as fundações de sapatas isoladas e radier, e indicar qual seria a mais viável para a edificação em questão. Posto isto, realizou-se um breve estudo dos tipos de fundações, da investigação do solo e da sondagem, dimensionamento de sapata isolada e do radier, no intuito de avaliar o custo benefício da fundação para uma mesma edificação embasada nos processos necessários para seu dimensionamento, dessa maneira a escolha correta do tipo de fundação influi diretamente na redução do consumo de material, impactando positivamente no custo final e na segurança da construção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A importância das fundações

Segundo Hachich et al. (1998) a importância da fundação vem desde a pré-história que era para improvisar abrigo. Os homens que já possuíam noções empíricas sobre resistência e estabilidade dos materiais aplicavam na construção do abrigo pedras lascadas e piso com mais de 2 m abaixo do terreno adjacente. Algum tempo depois passaram a utilizar madeiras leves construídas sobre pontalotes para execução das suas construções (palafitas). Já na idade de ferro foi propiciada a criação de ferramentas para o trato de materiais e perfuração do solo, nos antigos Impérios do Oriente não havia fundações e para suas construções eram usados tijolos cerâmicos (cruz) e pedras rústicas assentadas com argila, por esse motivo grande parte das construções se ruíam ou eram demolidas. Estes destroços eram usados em edificações pesadas assentados com os restos de outras fundações já existentes. Arqueólogos com o tempo notaram que as fundações se comparadas ao todo eram mais fracas.

Ainda segundo Hachich et al. (1998), ao analisar antigas informações sobre as construções constataram que era possível aliviar as cargas das fundações empregando os tijolos secos e queimados e assim diminuir as consequências de recalques e trincas.

É relevante que uma construção de boa qualidade esteja ligada a uma excelente fundação, levando-se em consideração os materiais e execução da mesma, tem a responsabilidade de suportar e distribuir o peso e os esforços verticais e horizontais gerados pela edificação ou por forças externas que atuam no solo sem causar danos ou recalque. Não podendo esquecer que todas as edificações ao seu término tem um pequeno recalque e este tem o limite mínimo estabelecido pela NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

Segundo Brito (1987 apud MELHADO et al 2002) as patologias serão percebidas ao término da edificação e com isso terá um custo alto chegando á 5 ou 10 vezes o custo da solução mais apropriada para o caso, sendo que, o custo de uma boa execução é 3% a 10% do custo total da edificação.

Segundo Velloso e Lopes (2011), para executar e projetar uma fundação é necessário obter conhecimentos de cálculo estrutural (analisar e dimensionar

estruturas) e de geotécnica que engloba a mecânica dos solos e das rochas e a geologia de engenharia.

2.2 Investigação geotécnica

O reconhecimento das condições do subsolo é indispensável ao projeto e a execução, sendo quesito fundamental para projetos de fundações seguros e econômicos.

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012) a sondagem de reconhecimento representa 0,2 a 0,5% do custo total da obra, e aspectos relacionados à investigação das propriedades do subsolo são as causas mais constantes de problemas de fundações.

A investigação geotécnica busca de forma geral determinar, condições *in situ*, resistência do fck, entre outros, permitindo o desenvolvimento de projetos mais adequados e econômicos; revelar e prever dificuldades que possam surgir durante a construção, devido ao próprio solo ou outras condições locais, por mais que se possua conhecimento de determinada área, a natureza sempre revela surpresas.

Uma investigação geotécnica deve ser desenvolvida em fases de levantamento de escritório para reconhecimento geológico/geotécnico da área e sondagens esparsas para caracterização do subsolo.

O número de sondagens e a sua localização em planta depende do tipo da estrutura, de suas características especiais e das condições geotécnicas do subsolo garantindo um satisfatório reconhecimento do mesmo, devendo ser atendidas as recomendações da ABNT NBR 8036/1983 - Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios.

As sondagens devem ser, no mínimo, de uma para cada 200 m² de área da projeção em planta do edifício, até 1200 m² de área. Entre 1200 m² e 2400 m² deve-se fazer uma sondagem para cada 400 m² que excederem de 1200 m². Acima de 2400 m² o número de sondagens deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção.

Algumas normas técnicas regulamentam a execução de investigação geotécnica, entre elas cita-se:

- NBR 10905/1989: Solo - Ensaio de palheta *in situ*.
- NBR 9603/1986: Sondagem a trado.

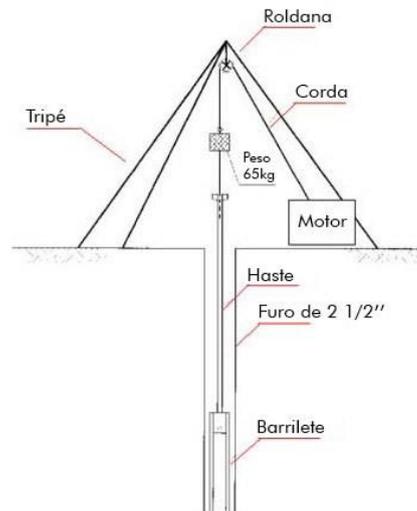
- NBR 8036/1983: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios – Procedimento.
- NBR 6484/2001: Execução de sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.
- NBR 6122/2010: Projeto e execução de fundações

2.2.1 Standard Penetration Test (SPT)

O Standard Penetration Test (SPT) é com certeza o ensaio in situ mais utilizado no Brasil, pelo baixo custo e praticidade.

Ao realizar um ensaio SPT pretende-se conhecer o tipo de solo atravessado através da retirada de uma amostra deformada a cada metro perfurado; a resistência (NSPT) oferecida pelo solo à cravação do amostrador padrão, a cada metro perfurado e a posição do nível d'água, quando encontrado durante a perfuração. Apresenta-se na figura 1 o esquema para fazer o ensaio SPT.

FIGURA 1 – Esquema de ensaio SPT



Fonte: Schnaid e Odebrecht (2012)

A cada metro escavado faz-se a medida do NSPT. Consiste em cravar um amostrador padrão (Amostrador Raymond-Terzaghi) por meio de golpes de um peso de 65 Kg caindo de 75 cm de altura. Anota-se o número de golpes necessários para cravar os 45 cm do amostrador em três conjuntos de golpes para cada 15 cm. O NSPT é dado pela soma dos golpes necessários para cravar os 30 cm finais do amostrador,

sendo anotados também os golpes dos 15 cm iniciais. Quando o amostrador não pode mais ser cravado por resistência do solo, diz-se atingido o impenetrável.

2.3 Fundações

Para que toda e qualquer construção sobreviva sem sofrer variações e rupturas faz se necessário a presença de um alicerce. As fundações são a primeira parte da construção e representam um conjunto de componentes estruturais responsáveis pelo sustento da construção, transmitindo cargas da edificação ao solo. Por essa razão as fundações precisam possuir resistência e o solo rigidez apropriada para suportar quaisquer tensões e evitar possíveis deformações e rupturas que danifiquem a construção. As fundações dividem-se em dois grandes grupos que são: fundações superficiais, também chamadas de rasas ou diretas e as fundações profundas também chamadas de indiretas.

Nesse sentido Borges (2009) aponta o levantamento topográfico, reconhecimento do terreno e o acabamento final da edificação como partes que compõem o processo de uma construção.

Borges (2009) relata que é necessário construir uma fundação de qualidade para assegurar a distribuição apropriada dos esforços ao terreno, impermeabiliza-la com intuito de evitar possíveis danos causados por infiltrações e então, dar início a elevação da alvenaria sem deixar de empregar elementos estruturais relevantes como vigas, vergas, contra vergas, pilares e lajes.

Em muitas construções as etapas de levantamento topográfico, reconhecimento do terreno e o acabamento final da edificação são totalmente ignoradas, comprometendo a qualidade da obra, ocasionando em geral acidentes inesperáveis como desmoronamentos, rachaduras, trincas, causando prejuízos e acidentes com danos até irreversíveis.

Velloso e Lopes (2011), afirmando as prerrogativas de Borges (2009), destaca os elementos necessários para projetar uma fundação, sendo:

a) topografia da área: levantamentos topográficos, dados sobre taludes e encostas no terreno e erosão;

b) dados geológicos/ geotécnicos: investigação do subsolo e outros dados geológico-geotécnicos;

c) dados da estrutura a construir: tipo e uso que terá a nova obra, sistema estrutural, sistema construtivo, cargas;

Podemos perceber que para a escolha do tipo de fundação a ser utilizada na obra, o responsável deve ter conhecimento técnico suficiente da construção civil, viabilizando a melhor alternativa para cada tipo de edificação.

2.3.1 Fundações profundas e seus tipos

De acordo com a NBR 6122 (2010) as fundações profundas são elementos que transmitem a carga ao terreno pela base, por sua superfície lateral ou por uma combinação das duas e que está assente em profundidade acima do dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m, salvo justificativa. São empregadas em casos de projetos de grande extensão, como edifícios que possuem altura considerada, nos quais levam-se em conta os esforços do vento. Nesse tipo de fundações incluem-se as estacas, tubulões e caixões.

A NBR 6122 (2010) ressalta que as estacas são elementos de fundação profunda executadas por ferramentas ou instrumentos, os materiais utilizados podem ser: madeira, aço, concreto moldado in situ ou mistos e concreto pré-moldado. Demonstra-se à estaca na figura 2.

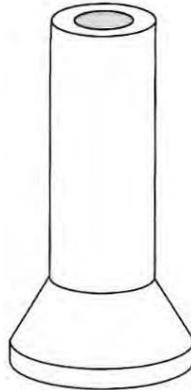
FIGURA 2 – Estaca



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

A NBR 6122 (2010) apresenta o tubulão como um elemento de fundação profunda, com formato cilíndrico, pode ser realizado a céu aberto ou sob ar comprimido e possuir base alargada ou não. Executado com ou sem revestimento, sendo de aço ou concreto, caracterizado na figura 3.

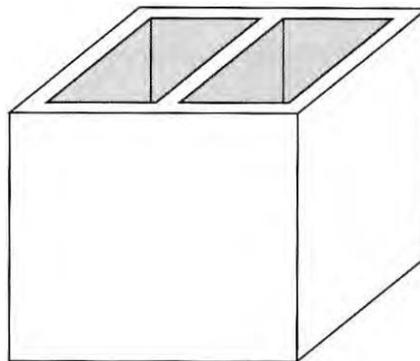
FIGURA 3 – Tubulão à ceu aberto



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Segundo a NBR 6122 (2010) o caixão é um elemento de fundação profunda de forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna. Em sua instalação o uso de ar comprimido pode ser usado ou não e sua base pode ser alargada ou não. O caixão é exemplificado na figura 4.

FIGURA 4 – Caixão



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

2.3.2 Fundações superficiais e seus tipos

As fundações superficiais, são projetadas com pequenas escavações no solo não sendo necessários grandes equipamentos para sua execução.

Conforme YAZIGI (2009) a fundação superficial também denominada direta, consiste em uma única estrutura em que a carga é transferida ao terreno através da pressão distribuída em sua base e onde a profundidade de assentamento em relação

à superfície do terreno é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, conforme a norma NBR 6122 (2010).

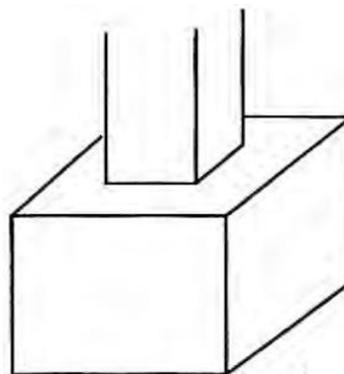
Joppert (2007, p.92) salienta que:

Desde que seja tecnicamente viável, a fundação superficial é uma opção interessante, pois, para sua execução, não é necessária a utilização de equipamentos e de mão de obra especializada, bastando para tanto a formação de equipe composta por serventes, carpinteiros e armadores. Isto torna a fundação superficial atraente no que se refere ao aspecto econômico. No aspecto técnico cita-se como itens positivos a facilidade de inspeção do solo de apoio aliado ao controle de qualidade do material utilizando no que se refere a resistência e aplicação.

As fundações superficiais se dividem em: bloco, viga de fundação, sapatas e radier.

De acordo com a NBR 6122 (2010) o bloco é um elemento da fundação superficial de concreto, que é dimensionado para que as tensões de tração produzidas resistam pelo concreto, sem necessidade de armadura. Ele pode ter faces verticais, inclinadas ou escalonadas. O formato do bloco de fundação é exemplificado na figura 5.

FIGURA 5 – Bloco para fundação

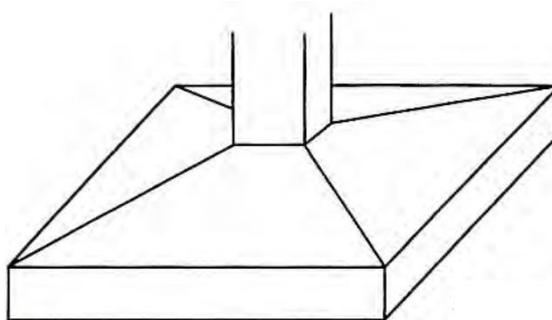


Fonte: Velloso e Lopes (2010)

A NBR 6122 (2010) relata que a viga de fundação é um elemento da fundação superficial comum em muitos pilares que possuem centros em plantas com mesmo alinhamento.

Segundo a NBR 6122 (2010) as sapatas são elementos das fundações superficiais de concreto armado, dimensionadas de forma que as tensões de tração não sejam resistidas pelo concreto e sim, pela armadura. Ela pode obter espessura variável ou constante, e base em planta geralmente quadrada, retangular ou trapezoidal. A sapata é exemplificada na figura 7.

FIGURA 7 – Sapata



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Para Velloso e Lopes (2011) as sapatas em geral possuem rigidez elevada e a adesão da altura variável promove uma economia significativa de concreto nas sapatas maiores.

As sapatas são divididas em quatro grupos: isoladas, corridas, associadas e alavancadas.

2.3.2.1 Sapatas isoladas

É considerada a mais comum nas edificações sendo aquela que transmite ao solo as ações de um único pilar. As formas que a sapata isolada pode ter, em planta, são muito variadas, mas a retangular é a mais comum, devido aos pilares retangulares, de acordo com a figura 8.

FIGURA 8 – Sapata isolada em execução

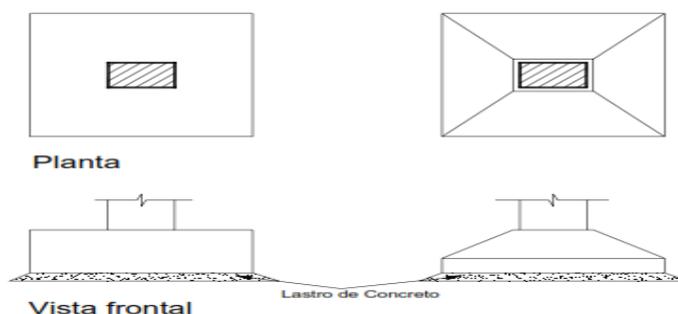


Fonte: Autores (2016)

Nakamura (2008) relata que a sapata isolada é um dos tipos de fundação rasa mais usual e simples na construção civil. Geralmente são usadas em regiões de solo estável e boa resistência superficial. As sapatas que dispõem formato arredondado

ou escalonado demandam mais tarefas na execução de fôrmas, interferindo de forma direta na produtividade do canteiro, como pode-se observar na figura 9.

FIGURA 9 – Sapata isolada



Fonte: Porto e Fernandes (2015)

A principal vantagem deste tipo de fundação está na execução, pois em grande parte dos casos dispensa a presença de equipamentos e peças especiais, porém por estarem apoiadas em camadas superficiais do solo, possui mais susceptibilidade as mudanças neste solo.

2.3.2.2 Radier

O radier é uma estrutura, de fundação superficial geralmente executado em concreto armado que sustenta as cargas dos pilares ou alvenarias da edificação, distribuindo uniformemente ao solo, em síntese é uma laje de concreto armado fundida diretamente sobre o terreno.

A NBR 6122 (2010) descreve radier como um elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos.

Sabe-se que o radier é efetuado em fundações quando a área das sapatas atingirem por volta de 70% da área coberta pela construção ou quando pretende diminuir possíveis recalques diferenciais, por esse motivo na maioria das vezes o radier é a melhor opção de escolha para construções de pequeno porte.

O radier dispensa intensas escavações, composição de formas complexas e grandes movimentações de terra, ou seja, ele possui maior velocidade e flexibilidade de execução e em decorrência disso baixo custo devido a redução da mão de obra.

Dória (2007) ressalta que o radier pode ser classificado quanto à sua geometria em: liso, utilizado geralmente em edificações que possuem até 4 pavimentos; com

pedestais, aquele que aumenta a espessura sob os pilares e melhora a resistência ao esforço cortante e flexão; nervurados, executados com nervuras principais e nervuras secundárias colocadas sob os pilares, podendo ser inferiores ou superiores; caixão, utilizam-se com a finalidade de ter uma grande rigidez e pode ser executado com vários pisos. O radier liso é demonstrado na figura 10.

FIGURA 10 – Radier liso em execução

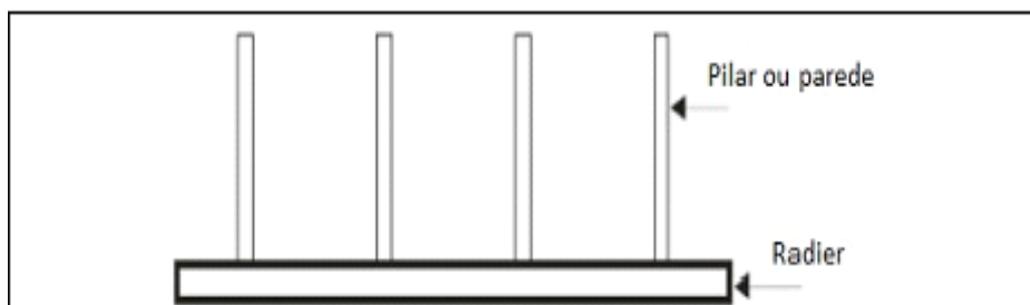


Fonte: Téchne (2008)

Segundo Campos (2011), de acordo com as características e a escala do projeto, o radier pode ser executado em concreto armado, concreto reforçado e concreto protendido, sendo que em todos os feitos, ele deve resistir aos esforços pontuais de cada pilar, e tolerar pressões eventuais do lençol freático. Exemplificado na figura 11.

Com o aumento da resistência do radier por causa das cargas atuantes na laje, faz-se necessário aumentar o volume do concreto, tornando esse tipo de fundação menos acessível por ser mais cara, promovendo maior dificuldade na execução e tornando-a mais propensa a fissuras. Não é recomendado a utilização com mesma área do terreno para edificações de grande porte, ou seja, sua área deve ser superior à da edificação para combater esforços horizontais.

FIGURA 11 – Radier



Fonte: Dória (2007)

2.4 Desempenho nas edificações

Alberto (2010) relata que desde a década de 60, nos países desenvolvidos, o desempenho em uma edificação é associado ao comportamento quando estão em utilização. Uma edificação é um produto que deve retratar certas características que o instrua a realizar funções e objetivos para os quais foi projetado, isso quando sujeito a determinadas situações de exposição e uso.

Balchere (1969 apud BORGES 2008) destaca que desempenho na construção civil é analisar todo o processo de execução, compreender possíveis falhas e buscar formas de correção das mesmas ao longo da sua vida útil.

Para Athayde (2013), na prática da engenharia civil é muito comum a execução de obras sem uma análise específica ou comparativa para a determinação da estrutura adequada, e a utilização de métodos simplificados sem considerar a interação solo-estrutura. Essas características muitas vezes não equivalem ao comportamento real das obras, pois não são considerados carregamentos, compatibilidade solo-estrutura, rigidez, economia, entre outros.

O desempenho de uma fundação é praticamente a maneira como essa fundação foi realizada (projetos, cálculos, análises, etc). É importante destacar que a fundação é o alicerce de qualquer edificação, desta forma o estudo do desempenho possui papel valoroso na construção civil.

2.5 Softwares de dimensionamento

Softwares de dimensionamento são os programas que permitem realizar o dimensionamento das estruturas de uma construção, definindo materiais, cargas, lajes, paredes, entre outros. Dentre os *softwares* de dimensionamento existentes estão: AltoQi Eberick®, Strap®, Adapt®, SAP2000®, TQS®, CypeCAD®, entre outros. Sendo os *softwares* utilizados na composição deste trabalho o TQS® e o CypeCAD®.

2.5.1 *Software TQS®*

De acordo com a cartilha de descrição da empresa TQS Informática Ltda o CAD/TQS é considerado um sistema computacional gráfico designado à concepção de projetos de estruturas em concreto armado, protendido e em alvenaria estrutural. Engloba todos os estágios de um projeto, da concepção estrutural, percorrendo pela análise de esforços e flechas, dimensionamento e detalhamento de armaduras, até a emissão das plantas finais, ou seja, é um sistema integrado e completo. Seu desenvolvimento é todo baseado nas normas técnicas de concreto armado e protendido (NBR6118/2014), bem como na metodologia usual de elaboração e representação de projetos estruturais empregada pelas empresas brasileiras.

2.5.2 *Software CypeCAD®*

Fischer (2003) aborda que o CypeCAD® é um *software* para projeto de estruturas de concreto armado ou estruturas mistas (concreto/aço) apresentando da fundação até o reservatório elevado, passando por todos os elementos estruturais como vigas, pilares e a laje. Realiza detalhamento de armaduras e produz pranchas completas, quantitativos de materiais e memória de cálculo. Possui elevado nível de automatização e exerce a análise estrutural e o dimensionamento do concreto armado (NB1-78 ou NB1-2000) ou de perfis metálicos.

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

O projeto aborda o dimensionamento de uma obra utilizada, destacando as características por sondagem do terreno onde foi construído o residencial multifamiliar. Ocorreu uma revisão na literatura sobre fundações superficiais, a fim de evidenciar a melhor alternativa para obra executada, de acordo com os estudos geológicos do terreno, feito através da sondagem.

A pesquisa é quantitativa, ou seja, é uma classificação do método científico que aplica diferentes técnicas estatísticas com o intuito de quantificar opiniões e informações para um determinado estudo. É realizada para compreender e enfatizar o raciocínio lógico e informações completas que se possam mensurar sobre as experiências humanas. O projeto visa fazer um estudo comparativo para sapatas isoladas e radier em uma construção de um residencial multifamiliar em Teófilo Otoni.

3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins

A pesquisa quanto aos fins se classifica como explicativa, visando explicar as características do fenômeno a se estudar, nas presentes pesquisas as fundações superficiais e a melhor alternativa para a construção que será utilizada como estudo.

De acordo com Lakatos e Marconi (2003) a pesquisa explicativa aponta fatos, analisa-os, interpreta-os e identifica suas possíveis causas. Essa prática tende aumentar generalizações, definir leis mais amplas, estruturar e interpretar modelos teóricos, confrontar hipóteses em um ponto de vista mais unitário do universo ou setor produtivo em geral e constituir hipóteses ou ideias pela dedução lógica.

3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios

A pesquisa quanto aos meios é classificada como estudo de caso. Nesse sentido Gil (2010) destaca que o estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento.

3.3 Tratamento dos dados

Para o estudo foi escolhido um residencial multifamiliar já construído, com quatro pavimentos, em um terreno de 360 m², localizado na Rua Dona Mundinha, nº 31, Bairro Dr. Laerte Laender, no município de Teófilo Otoni/MG, conforme a ilustração do anexo A.

Para análise do terreno e escolha da fundação foi utilizado um laudo de sondagem da área, executado e disponibilizado por uma empresa da cidade de Governador Valadares/MG, sendo essa responsável pela sondagem e por todas as informações técnicas do relatório.

Para elaboração deste estudo foram utilizados dados cedidos pelo engenheiro responsável pela edificação, como: laudo de sondagem, projeto arquitetônico em duas dimensões confeccionado com o auxílio do software de desenho técnico AutoCAD® versão 2017, projeto estrutural onde utilizou-se o *software* TQS® para dimensionamento da sapata isolada e o *software* CypeCAD® para dimensionamento do radier de onde obtivemos informações para fazer o comparativo entre as duas fundações.

Após a coleta destes dados foi feita a análise do solo com o auxílio da sondagem de simples percussão, no qual obteve-se a tensão admissível do solo. Após o levantamento foi realizado o cálculo das cargas desta estrutura, através do resultado da carga que cada pilar irá descarregar nas respectivas fundações.

Posteriormente ao dimensionamento das duas fundações foram confeccionadas planilhas fazendo uso do auxílio do Microsoft Office e Excel, nas quais são detalhadas as quantidades de aço e concreto para execução das fundações em análise, juntamente com a área de utilização das mesmas. Diante disso foi analisado a viabilidade econômica entre os dois tipos de fundações propostas.

Desta forma após a elaboração das planilhas efetuou-se a análise comparativa do volume de concreto e aço dos métodos de execução de fundações, sapata isolada e radier, para que através dessa comparação seja possível determinar qual das duas opções será mais adequada, para a construção do projeto aqui proposto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Tensão admissível do solo

Para a comparação da sapata e do radier, fez-se o laudo de sondagem à percussão (SPT) para o início do projeto.

O NSPT é dado pelo relatório de sondagem anexo B, de onde obtivemos as informações para calcular a tensão admissível do solo.

Foi feita através de dois furos de sondagem simples. Na profundidade de zero a 3 m foi efetuado 19 golpes e encontrado um solo silte arenoso, micácio com finos veios de quartzo de cor marrom, de 3 a 6,40 m foi efetuado 31 golpes e encontrado um solo silte argilo arenoso, micácio, compacto, de cor variada, e acima de 6,40 m foi encontrado rocha.

Observa-se mediante sondagens, que o terreno expõe camadas superficiais com resistência favorável, ou seja, condições adequadas à utilização de fundação superficial, pré-estabelecida para ser dimensionada. Mediante os valores gerados pelo relatório de sondagem, é possível criar uma média aonde vai nos proporcionar a tensão admissível do solo para cálculo das sapatas e do radier.

Para simplificações dos cálculos obteve-se uma média de SPT, a uma profundidade de 2,0 m da superfície tendo como a base da sapata estimada um metro, para o cálculo da resistência do solo em todo o terreno, conforme as tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Resumo do relatório de sondagem do furo 1

Profundidade (m)	SP 02 e 03 NSPT
0	0
1	17
2	16
NSPT (médio)	16,5
$\sigma_{adm} = \text{kgf/cm}^2$	3,3

Fonte: Autores (2017)

Tabela 2 - Resumo do relatório de sondagem do furo 2

Profundidade (m)	SP 02 e 03 NSPT
0	0
1	12
2	11
NSPT (médio)	11,5
$\sigma_{adm} = \text{kgf/cm}^2$	2,3
Média ($\sigma_{adm} = \text{kgf/cm}^2$)	2,8

Fonte: Autores (2017)

Existem três formas de determinação da tensão admissível do terreno, sendo prova de carga sobre placa, métodos teóricos e métodos semi-empíricos que são mais usuais, nesta pesquisa foi adotado o método de Teixeira (1996), deve-se ter certo cuidado, pois seu método pode ser aplicado apenas a solos argilosos, o que se aplica ao local da obra, esse método é conhecido no meio técnico brasileiro e foi reafirmado por Alonso (1997) onde a restrição é $SPT \leq 20$ os dois correlacionam o NSPT a resistência do solo já aplicando o fator de segurança implicitamente em sua metodologia, deste modo a tensão admissível é dada pela equação 01:

$$\sigma_{adm} \cong \frac{SPT(médio)}{5} (\text{kgf/cm}^2) \quad (01)$$

Onde:

 σ_{adm} = tensão admissível do solo $SPT(médio)$ = números de golpes

Aplicando a tensão admissível a formulação de Teixeira (1996) para o primeiro furo:

$$\frac{17 + 16}{2} = 16,5 \text{ NSPT (médio)}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{16,5}{5} \therefore \sigma_{adm} = 3,3 \text{ kgf/cm}^2$$

Aplicando a tensão admissível a formulação de Teixeira (1996) para o segundo furo:

$$\frac{12 + 11}{2} = 11,5 \text{ NSPT (médio)}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{11,5}{5} \therefore \sigma_{adm} = 2,3 \text{ kgf/cm}^2$$

Foi feita a média da tensão admissível dos dois furos para adotar a tensão do solo no terreno conforme equação 02:

$$\text{Média } (\sigma_{adm}) = \frac{\sigma_{adm \text{ no furo 01}} + \sigma_{adm \text{ no furo 02}}}{2} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (02)$$

$$\text{Média } (\sigma_{adm}) = \frac{3,3 + 2,3}{2} \therefore \text{Média } (\sigma_{adm}) = 2,8 \text{ kgf/cm}^2$$

4.1.1 Cálculo das cargas do edifício

Como utilizamos dados do *software* TQS®, obtivemos a locação dos pilares conforme anexo C e o subtotal de carga atuante em todos os 34 pilares; já com as cargas das lajes que recebem as cargas permanentes (peso próprio, revestimentos etc.) e as variáveis (pessoas, máquinas, equipamentos etc.), das vigas que por sua vez, além do peso próprio e das cargas das lajes, recebem também cargas de paredes dispostas sobre elas, além de cargas concentradas provenientes de outras vigas e pilares superiores; conforme tabela 3.

Tabela 3 - Cargas do edifício

Pilares	Carga (tf)	Carga Total (tf)
P1=P9	33	66
P2=P3	40	80
P4=P26	28	56
P5	58	58
P6	62	62
P7=P25=P31	30	90
P8	43	43
P10=P15=P19=P20=P33	50	250
P11	206	206
P12	153	153
P13	72	72
P14=P28	18	36
P16	31	31
P17	98	98
P18	83	83
P21=P34	24	48
P22	84	84
P23	85	85
P24	34	34
P27=P29	23	46
P30	25	25
P32	47	47
Carga total do edifício = 1753 tf		

Fonte: Autores (2017)

Para cálculo da carga total do edifício foi feita a somatória das cargas de todos os pilares, conforme equação 03:

$$\begin{aligned}
 Spilares = & P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7 + P8 + P9 + P10 + P11 + P12 + P13 + P14 + \\
 & P15 + P16 + P17 + P18 + P19 + P20 + P21 + P22 + P23 + P24 + P25 + P26 + P27 + P28 + P29 + \\
 & P30 + P31 + P32 + P33 + P34 \text{ (tf)}
 \end{aligned}
 \tag{03}$$

Onde:

Spilares = soma da carga dos pilares

P = pilar

$$\begin{aligned}
 Spilares = & 33 + 40 + 40 + 28 + 58 + 62 + 30 + 43 + 33 + 50 + 206 + 153 + 72 + 18 + 50 + 31 + \\
 & 98 + 83 + 50 + 50 + 24 + 84 + 85 + 34 + 30 + 28 + 23 + 18 + 23 + 25 + 30 + 47 + 50 + 24
 \end{aligned}$$

$$Spilares = 1853 \text{ tf}$$

As cargas foram obtidas de acordo com a planta baixa do edifício, seguindo o critério de locação dos pilares e vigas de acordo com o projeto estrutural executado. As dimensões estabelecidas dos pilares e das vigas estão de acordo com a NBR 6118 (2014), e foram estabelecidas de acordo com os critérios diversos de cálculo e também levando em conta a questão arquitetônica.

4.1.2 Dimensionamento sapata isolada

Para a definição das dimensões das sapatas isoladas foram usados dados cedidos pelo engenheiro, considerou-se que a tensão aplicada ao solo seja menor ou igual à tensão admissível do solo calculada. Foi realizado, através do *software*, uma análise das tensões do edifício em estudo. Após esta análise do dimensionamento da sapata foi possível quantificar o consumo de concreto e aço.

Ao iniciar o *software* TQS®, definiu-se a edificação, relatando a quantidade de pavimentos, número de pisos, pé direito, classe e modelo estrutural, e em seguida a determinação dos coeficientes de arrasto para todas as direções do vento.

Com a edificação definida, iniciou-se o lançamento da estrutura pelo modelador estrutural (programa específico para entrada de todos os dados do edifício) e posteriormente inseriu-se o desenho de arquitetura para que logo após fosse efetuado o pré-dimensionamento da estrutura, considerando paredes externas, revestimentos para vigas e pilares e cargas das paredes internas linearmente distribuídas. Em seguida foram inseridas as vigas, definindo largura, altura e valor da carga distribuída.

A medida que os pilares e as vigas fossem inseridos, o modelador efetuava uma verificação automática, para que pudessem ser definidos os dados das lajes (espessuras, valor da carga permanente, cargas acidentais, direções, cargas distribuídas).

A edificação foi calculada, dimensionada e detalhada de acordo com o modelo estrutural e os critérios adotados. Fez-se necessário após esse processo, verificar possíveis erros de processamento e visualizar o desenho das armações.

O edifício com sua planta baixa apresentado no anexo D, foi lançado no *software* de análise, dimensionamento e detalhamento estrutural TQS®, estruturada em concreto armado, o fechamento adotado foi alvenaria convencional. Quanto ao concreto, foi adotado resistência 25 Mpa.

Com base nas informações geradas pelo *software* e análise de parâmetros em virtude das normas regentes, inicia-se a confecção da formatação final da sapata (anexo E), apresentando detalhamento da armação das sapatas a partir dos cálculos efetuados e dos valores encontrados pelo *software*, anexo F. Diante disso, foram determinadas 32 sapatas representadas conforme tabela 4.

Tabela 4 – Especificações das sapatas isoladas

Representação	Quantidade	Dimensões(m)	Bitola do Aço(mm)
S1	13	1,5 x1,5	10
S2	01	1,5 x 2,5	10
S3	02	1,5 x 2,5	10
S4	07	1,5 x 1,5	10
S5	02	1,8 x 1,8	10
S6	04	2,0 x 2,0	12,5
S7	01	2,5 x 2,5	12,5
S8	01	3,0 x 3,0	12,5

Fonte: Autores (2017)

De acordo com essas informações foi possível quantificar o total de aço e concreto utilizados na execução das sapatas, conforme tabela 5.

Tabela 5 – Total de aço e concreto da sapata isolada

Elemento	Diam.	Aço	Comp.(m)	Total (m)	Peso (kg)
Sapata isolada	10 ϕ	50 A	1429	1429	900,00
	12.5 ϕ	50 A	652	652	652,00
	Total (kg)				1552,00
	Volume de concreto (m³)				32,00

Fonte: Autores (2017)

4.1.3 Dimensionamento radier

A seguir serão mostrados os métodos utilizados para dimensionamento do radier, para que posteriormente possamos montar uma tabela com a quantidade de aço e concreto.

Conforme Velloso e Lopes (2004), os métodos de cálculo de fundação do tipo radier são: Método Estático, Sistema de Vigas Sobre Base Elástica, Método da Placa Sobre Solo de Winkler, Método do American Concrete Institute, Método das Diferenças Finitas e o Método dos Elementos Finitos.

O radier foi dimensionado usando como base os mesmos parâmetros do solo escolhido para o dimensionamento das sapatas, porém para dimensionamento do radier foi utilizado o *software* CypeCAD®.

Ao iniciar o *software* CypeCAD®, definiu-se todos os carregamentos, resistência do concreto, coeficientes de engastamento, flambagem, considerando as normas de concreto, ações do vento, efeitos de segunda ordem, entre outros.

Após a entrada de dados, foi feito o lançamento da estrutura, considerando pisos, revestimentos, cotas, desníveis, entre outros. Para cálculos da estrutura, efetuaram-se verificações quanto ao lançamento da estrutura, cálculo por elementos finitos, análise de elementos em barras e placas discretizadas em elementos triangulares.

O peso-próprio da estrutura foi calculado automaticamente em função do pré-dimensionamento, através de cargas acidentais que atuam em todo pavimento, cargas de paredes sobre vigas ou lajes, cargas pontuais, cargas superficiais e carga permanente considerando revestimentos, impermeabilização e enchimentos. Posteriormente é possível visualizar as estruturas dos pilares, andares, armaduras, entre outros.

Através do *software*, foi realizada uma análise das tensões utilizando a analogia de grelha para a placa de radier da edificação em estudo. Após esta análise do dimensionamento do radier foi possível quantificar o consumo de concreto e aço para a execução do mesmo, e podendo-se compará-lo com o obtido através do modelo em sapatas. O residencial multifamiliar, com sua planta baixa apresentado no anexo D, foi lançado no programa de análise, dimensionamento e detalhamento estrutural CypeCAD®, estruturado em concreto armado, o fechamento adotado foi alvenaria convencional. Quanto ao concreto, foi adotado resistência 20 Mpa e foi utilizado o pilar de pior situação, no qual ocasionando um superdimensionamento. No *software* CypeCAD®, o radier foi elaborado de modo a ser uma base rígida e lisa para a construção, nesta laje, nascem os pilares para sustentação do residencial, e neste radier foram apoiadas as paredes, representadas por cargas linearmente distribuídas.

Diversas rotinas de cálculo foram realizadas no *software*, a fim de promover o correto e mais adequado dimensionamento do radier para esta edificação. Com base nas informações geradas pelo *software* e análise de procedimentos em virtude das normas regentes, inicia-se a confecção da formatação final do radier, anexo G, apresentando detalhamento a partir dos cálculos (anexo H) e dos valores encontrados pelo *software*. Na armadura inferior e superior do radier foi configurada no *software* uma malha base de diâmetro 12,5 mm e 16 mm de aço CA50 com espaçamento de 15 cm, altura de 85 cm e volume total de concreto igual a 263,5 m³, conforme tabela 6.

Tabela 6 – Total de aço e concreto do radier

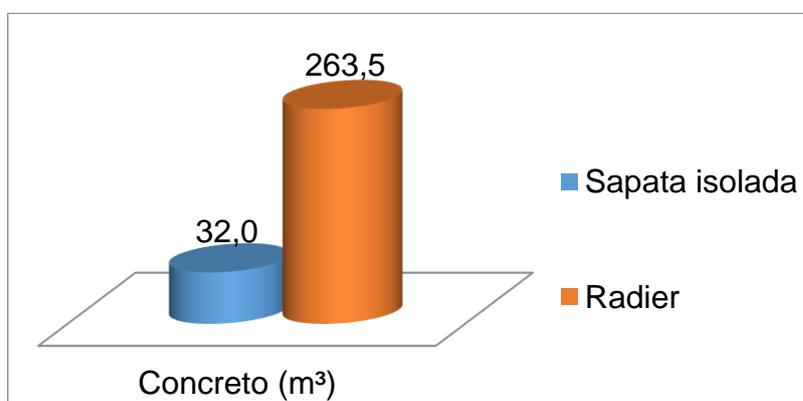
Elemento	Diam.	Aço	Comp.(m)	Total (m)	Peso (kg)
Radier	16 ϕ	50 A	1460,6	1460,6	2263,9
	12.5 ϕ	50 A	2108,7	2108,7	2087,6
	Total (kg)				4308,84
Volume de concreto (m³)					263,5

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

4.2 Análise do consumo de concreto e aço

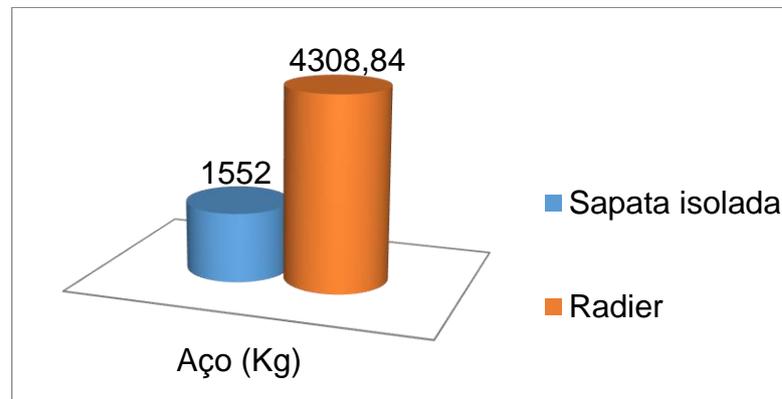
Através dos dimensionamentos elaborados, foram desenvolvidos os gráficos 1 e 2 para contrapor a quantidade de concreto e aço para execução dos dois tipos de fundação.

GRÁFICO 1 – Comparativo do volume de concreto utilizado para execução entre as fundações por sapata isolada e radier



Fonte: Autores (2017)

GRÁFICO 2 – Comparativo da quantidade de aço utilizado para execução entre as fundações por sapata isolada e radier



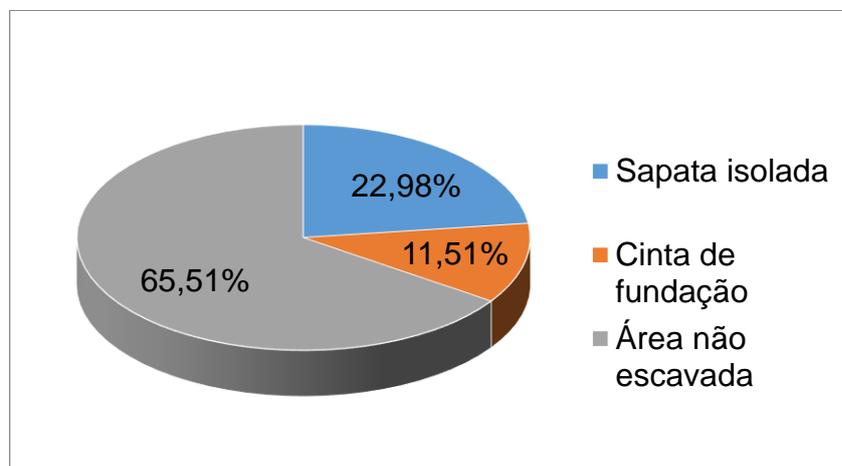
Fonte: Autores (2017)

A partir dos cálculos efetuados pelos dois *softwares* (TQS® e CYPECAD®) sobre o consumo de concreto e aço destinados apenas para fundação, é notável que a solução de radier fica onerosa, por utilizar uma maior quantidade de concreto e aço.

4.3 Análise quanto a utilização do terreno

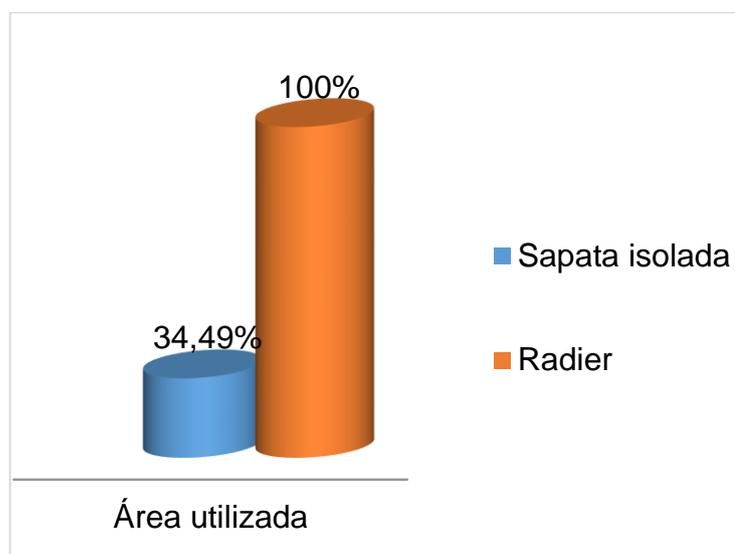
Demonstra-se abaixo conforme os gráficos 3 e 4 a utilização do terreno referente as sapatas isoladas e o comparativo da utilização do terreno para a execução entre as fundações sapata isolada e radier.

GRÁFICO 3 – Análise da utilização da área do terreno para execução das sapatas isoladas



Fonte: Autores (2017)

GRÁFICO 4 – Comparativo do uso do terreno para execução entre as fundações por sapata isolada e radier



Fonte: Autores (2017)

Em observação ao comparativo da utilização do terreno constata-se que o radier ocupou 100% da área do terreno enquanto a sapata isolada ocupou 34,49%. A partir dos dados levantados é perceptível que o radier na maioria das vezes é uma fundação favorável em muitos fatores, mas nesse caso específico não representa a melhor escolha para a edificação, por obter área igual e não superior a esta, estando propenso a esforços horizontais.

Apesar de ser uma fundação de execução prática e mão de obra reduzida, o radier ainda não possui uma normativa específica na NBR 6122 (2010) para aprofundamento dos dados. Além disso, a manutenção de redes hidro sanitárias poderia prejudicar a estrutura do radier.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, realizou-se um estudo comparativo da utilização do terreno e de determinados materiais (concreto e aço) entre dois tipos de fundações rasas para um residencial multifamiliar de quatro pavimentos. As alternativas contrapostas foram da sapata isolada e do radier.

Com o levantamento de todos os itens apropriados para esse projeto, concluiu-se que a opção pela sapata isolada representa uma solução mais rápida e econômica para a edificação em questão. Nota-se, porém, de acordo com os estudos levantados para a elaboração desse trabalho, que o radier é mais viável numa construção com o terreno sólido, adequado e com resistência inferior e adequado para o mesmo, porém nesse caso ficou diferenciado devido à altura do radier, a área utilizada do terreno e o quantitativo de aço e concreto da edificação.

Conclui-se também que a não utilização de análise técnica do profissional da área, pode acarretar no superdimensionamento ou subdimensionamento, podendo ocasionar patologias na edificação, onde as duas situações não são apreciadas, uma vez que o engenheiro administre o empreendimento, com o intuito de atender as demandas solicitadas da forma mais viável economicamente.

REFERÊNCIAS

- ALBERTO, C.B. **O significado de desempenho nas edificações**. 103 ed. São Paulo: Construção Mercado, 2010. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nas-edificacoes-282364-1.aspx>>. Acesso em: 17/10/2017.
- ALONSO, U.R. **Exercícios de fundações**. 2 ed. Rio Janeiro: COPPE, 1997. 205 p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas em concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, 1983.
- _____. **NBR 9603**: Sondagem a trado. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 10905**: Solo – Ensaio de palheta in situ. Rio de Janeiro, 1989.
- ATHAYDE, G.D.B. **Análise do desempenho de fundações durante a construção de edifício localizado no DF**. 2013. 95 p. Monografia (Graduação em Engenharia civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2013.
- BORGES, A.C. **Prática das pequenas construções**. 9 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 385p.
- BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- CAMPOS, E.L. **Radiers**. 42 ed. São Paulo: Equipe de Obra, 2011. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/42/fundacoes-radiers-241672-1.aspx>>. Acesso em: 20/10/2017.
- CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50., 2008, Alagoas. **Anais**. Alagoas: UFAL, 2008. 15 p.
- DÓRIA, L.E.S. **Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier**. 2007. 108 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2007.

EMPRESA TQS INFORMÁTICA LTDA. **Sistemas computacionais: engenharia estrutural**. São Paulo: Abece, 2009. 2 p. Disponível em: <<http://site.abece.com.br/download/pdf/CADTQS.pdf>>. Acesso em: 29/10/2017.

FERREIRA, D.O. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. 2013. 107 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FISCHER, N. **Softwares auxiliam o cálculo estrutural**. São Paulo: Pini, 2003. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/softwares-auxiliam-o-calculo-estrutural-80278-1.aspx>>. Acesso em: 29/10/2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

HACHICH, W. et al. **Fundações: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1998. 762 p.

JOPPERT, Ivan Jr. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2007. 224 p.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Fundamentos da metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas S.A, 2003. 310 p.

LEAL, U. **Bases concretas**. 83 ed. São Paulo: Técnica, 2004. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/bases-concretas-79886-1.aspx>>. Acesso em: 20/04/2017.

MARON, A.G. et al. **Utilização da fundação radier na construção civil de casas**. 2016. 8 p. Disponível em: <<file:///C:/Users/Andrine/Downloads/162-510-1-PB.pdf>>. Acesso em: 13/11/2017.

MELHADO, S.B. et al. **Análise da gestão de processo de projeto estrutural de construções metálicas**. 2002. 269 p. Dissertação (Pós graduação em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

NAKAMURA, J. **Sapatas de concreto**. Técnica. 137 ed. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/137/sapatas-de-concreto-como-executar-sapatas-diretas-simples-continuas-286532-1.aspx>>. Acesso em: 19/10/2017.

PORTO, T. B.; FERNANDES D.S.G. **Curso básico de concreto armado: conforme NBR 6118/2014**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2015.

SANTOS, E.M. et al. **Fundações superficiais**. *Revista científica integrada*, São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/revista-cientifica-integrada/edicoes-anteriores/volume3/2170-fundacoes-superficiais/file>>. Acesso em: 24/05/2017.

SCHNAID, F; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 224 p.

TEIXEIRA, A. H. **Projeto e execução de fundações**. 3º Seminário de Engenharia de Fundações especiais e Geotecnia, São Paulo, n. 1, 1996.

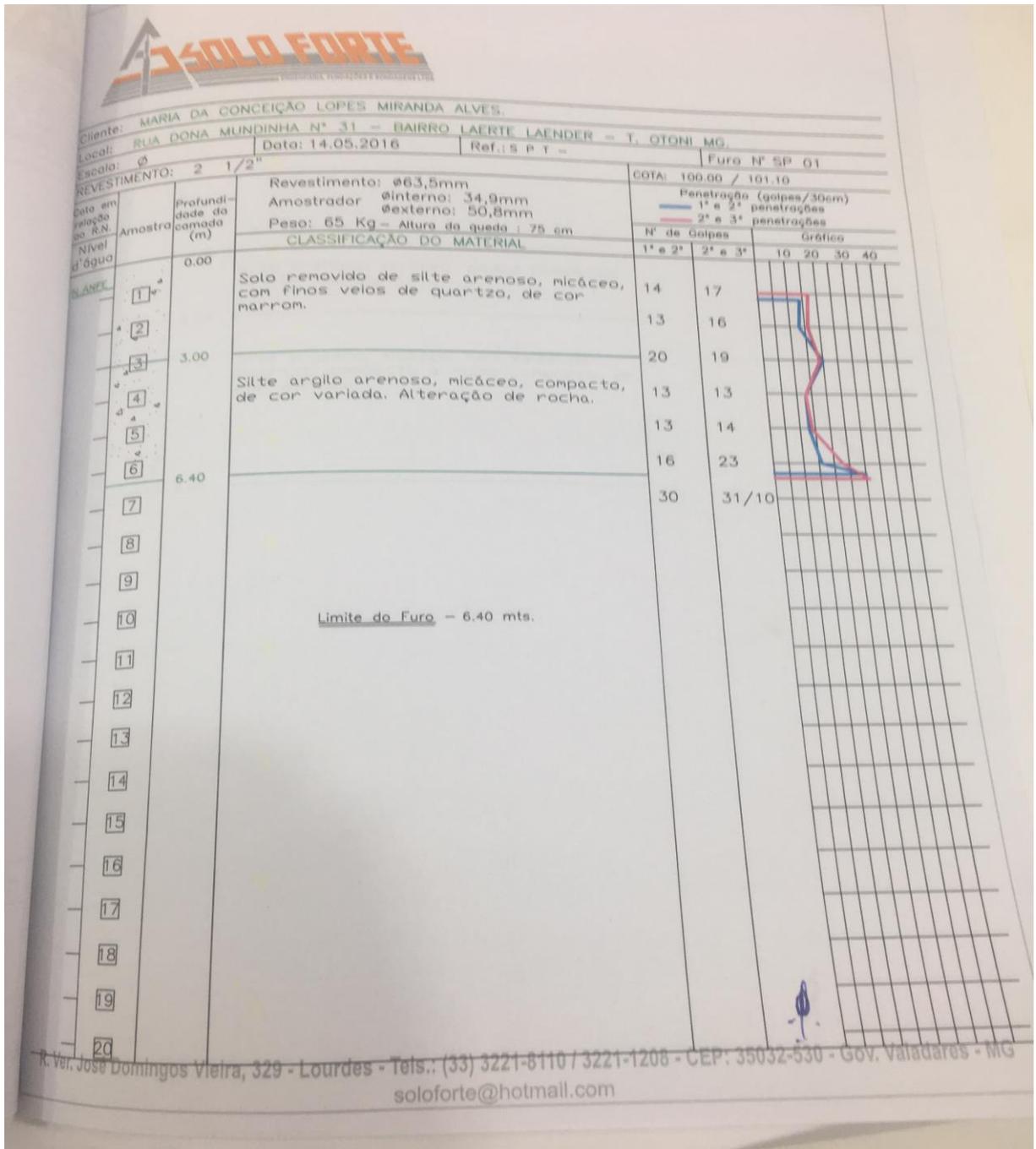
VELLOSO, D.A; LOPES, F.R. **Fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 240 p.

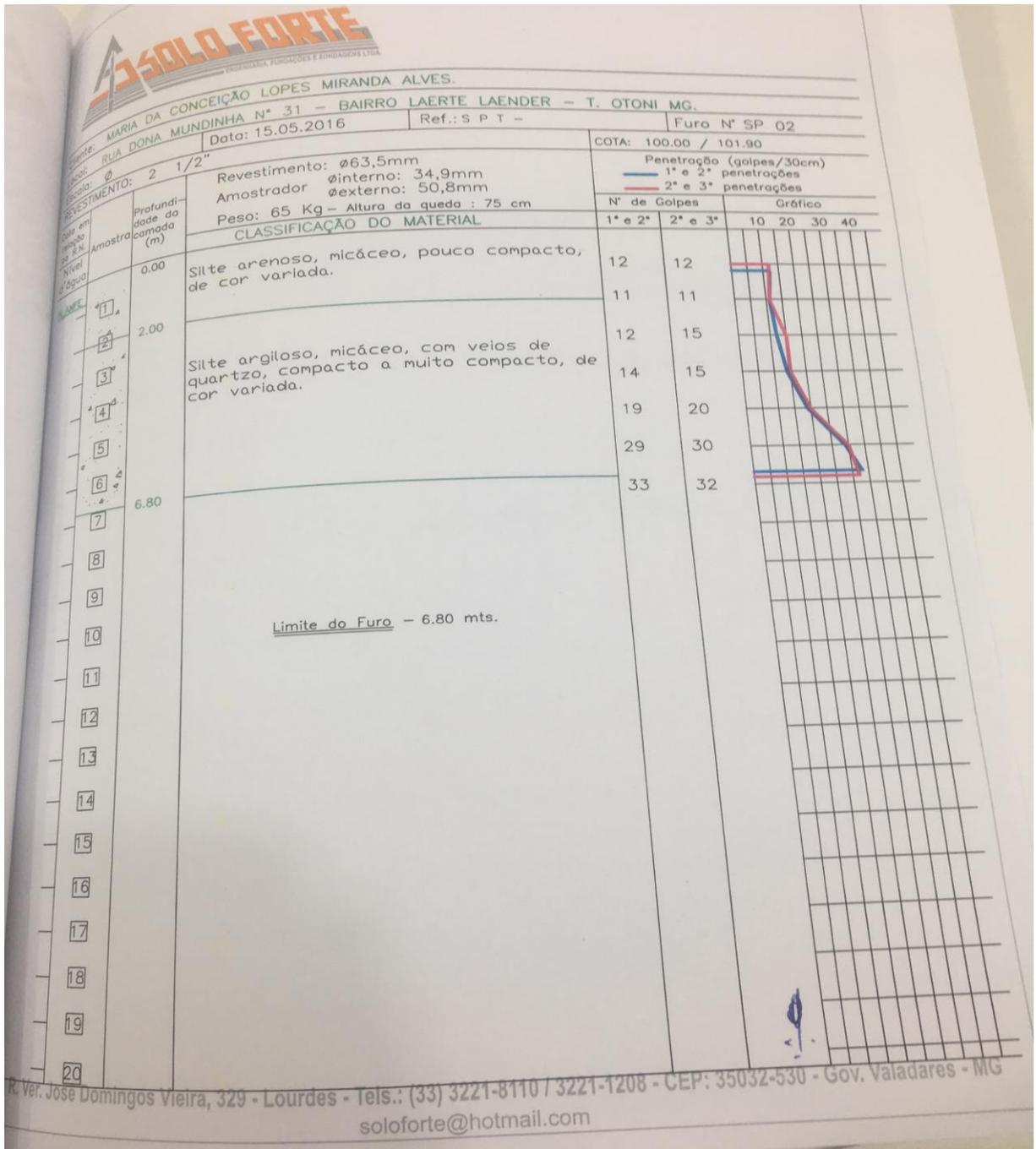
VELLOSO, D.A; LOPES, F.R. **Fundações: Critérios de Projeto – Fundações Superficiais**, Nova Edição – São Paulo – 2004. Ed. Oficina de Textos.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10 ed. São Paulo: Pini, 2009. 772 p.

ANEXO A – ILUSTRAÇÃO DO EDIFÍCIO

ANEXO B – RELATÓRIO DE SONDAGEM





ANEXO C – PLANTA DE LOCAÇÃO DOS PILARES E FORMAS DE FUNDAÇÕES

ANEXO D – PLANTA BAIXA

ANEXO E – ARMAÇÃO DAS SAPATAS

ANEXO F – CÁLCULO ESTRUTURAL DA SAPATA

LISTAGEM DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DE SAPATAS CAD/Fundações

Arquivo de critérios -> C:\TQS\ronaldo e \FUNDAC\PRJ-0100.INP

CONCRETO

Identificação do projetista: Identificação do Projetista
 Fck - Resistência carac. do concreto à compressão (Kgf/cm²).....200
 Coef. de minoração da resistência característica do concreto.....1.4

AÇO

Coefficiente de minoração da resistência característica do aço....1.15

Tabela de bitolas - Armadura principal

Aço	Bitola (mm)	Raio dobra (cm)
CA-60B	5	5
CA-50A	6.3	5
CA-50A	8	5
CA-50A	10	5
CA-50A	12.5	5
CA-50A	16	5
CA-50A	20	8
CA-50A	22	8
CA-50A	25	8

CRITÉRIOS DE CÁLCULO

Coefficiente de majoração de esforços..... 1.4
 Coeficiente adicional de majoração de esforços..... 1.2
 Coeficiente de atrito solo-concreto..... 0.3
 Porcentagem mínima de área comprimida (%)..... 75
 Coeficiente multiplicador da tensão máxima para dimensionamento.. 0
 Lastro de concreto magro (cm)..... 5
 Critério de cálculo da armadura principal..... Flex simples
 Método de cálculo do momento fletor..... Convencional

Tabela de valores kLp

Nº	Larg pil (cm)	kLp
1	0	.15
2	50	.15
3	100	.15
4	150	.15
5	200	.15
6	300	.15
7	500	.15
8	1000	.15
9	2000	.15
10	90000	.15

Ângulo de projeção do solo se escolhido método 2..... 60
 Núm máx de iterações p/ processos de dimensionamento de sapatas.. 500
 Número máximo de carregamentos para relatório..... 18

Coeficientes de segurança

Coeficiente de segurança ao tombamento..... 1.5
 Coeficiente de segurança ao deslizamento..... 1.5

Tensões no solo

Tensão admissível do solo..... 2.65
 Tensão máxima de compressão..... 4

Dimensões mínimas de sapatas

Dimensão mínima da sapata..... 80
 Altura mínima da sapata..... 40
 Altura mínima h0..... 20

Armadura mínima

Armadura mínima para armadura principal (cm²/m)..... 1.5
 Porcentagem mínima para armadura principal..... 0
 Área transversal para armadura principal mínima..... Área seq tran

DETALHAMENTO

Cobrimento (cm)..... 3
 Cobrimento do pilar (cm)..... 2.5
 Diferença do cobrimento entre Ax e Ay (cm)..... 2
 Espaçamento mínimo entre bitolas (cm)..... 10
 Espaçamento máximo entre bitolas (cm)..... 30

Igualar arm de sapatas "Quadradas" pela > entre direções (x,y)... Sim
 Dif máx entre dimensões para igualar arm nas duas direções (cm).. 9

Bit. a partir da qual indica raio de dobramento nos desenhos (mm)	16
Detalhamento de ferros c/ consideração de eixo de dobramento.....	
Cent S/anotaç	
Representação do raio.....	Interno
Armaduras principais com gancho semi-circular.....	Não
Quant. de bit. para trecho reto final (gancho semi-circular).....	2
Bitola a partir da qual indica reforço nos cantos (mm).....	16
Bitola para reforço de extremidade (mm).....	8
Comprimento horizontal do reforço (cm).....	40

DESENHO

=====	
Critério de cotagem do pilar.....	
Pilar+colar	
Desenho de armadura da sapata.....	
Sim	
Altura do texto do título.....	0.4
Altura do texto da escala.....	0.2
Desenho duplo do título.....	Não
Altura do desenho para escala automática (cm).....	25
Unidade do relatório final.....	
Tf, Kgf/cm ²	

Escalas para definição automática do desenho

1 ^a Escala para definição automática de desenho.....	25
2 ^a Escala para definição automática de desenho.....	50
3 ^a Escala para definição automática de desenho.....	75
4 ^a Escala para definição automática de desenho.....	125
5 ^a Escala para definição automática de desenho.....	200
6 ^a Escala para definição automática de desenho.....	250

ANEXO H – CÁLCULO ESTRUTURAL DO RADIER



Relatório de fundação

PROJETO SAPATA RADIER

Data: 21/10/17

1.- DESCRIÇÃO

Referências	Geometria	Armadura
P1, P4	Sapata retangular excêntrica piramidal Largura inicial X: 55.0 cm Largura inicial Y: 45.0 cm Largura final X: 55.0 cm Largura final Y: 10.0 cm Largura da sapata X: 110.0 cm Largura da sapata Y: 55.0 cm Largura pescoço X: 60.0 cm Largura pescoço Y: 25.0 cm Coordenada pescoço X: -0.0 cm Coordenada pescoço Y: -2.5 cm Altura borda: 20.0 cm Altura pescoço: 30.0 cm	X: 2010c/28 Y: 4010c/27
P2, P3	Sapata retangular excêntrica piramidal Largura inicial X: 60.0 cm Largura inicial Y: 50.0 cm Largura final X: 60.0 cm Largura final Y: 10.0 cm Largura da sapata X: 120.0 cm Largura da sapata Y: 60.0 cm Largura pescoço X: 70.0 cm Largura pescoço Y: 25.0 cm Coordenada pescoço X: -0.0 cm Coordenada pescoço Y: -2.5 cm Altura borda: 20.0 cm Altura pescoço: 30.0 cm	X: 2010c/28 Y: 5010c/27
P5, P6, P23	Sapata quadrada piramidal Largura: 130.0 cm Largura pescoço: 70.0 cm Altura borda: 30.0 cm Altura pescoço: 40.0 cm	X: 6010c/20 Y: 6010c/20
P7	Sapata quadrada piramidal Largura: 120.0 cm Largura pescoço: 60.0 cm Altura borda: 25.0 cm Altura pescoço: 35.0 cm	X: 5010c/23 Y: 5010c/23
P8, P10, P15, P20, P27	Sapata retangular excêntrica piramidal Largura inicial X: 10.0 cm Largura inicial Y: 55.0 cm Largura final X: 45.0 cm Largura final Y: 55.0 cm Largura da sapata X: 55.0 cm Largura da sapata Y: 110.0 cm Largura pescoço X: 25.0 cm Largura pescoço Y: 60.0 cm Coordenada pescoço X: 2.5 cm Coordenada pescoço Y: -0.0 cm Altura borda: 20.0 cm Altura pescoço: 30.0 cm	X: 4010c/27 Y: 2010c/28
Referências	Geometria	Armadura



Relatório de fundação

PROJETO SAPATA RADIER

Data: 21/10/17

P9, P14, P16, P21, P28	Sapata retangular excêntrica piramidal Largura inicial X: 45.0 cm Largura inicial Y: 55.0 cm Largura final X: 10.0 cm Largura final Y: 55.0 cm Largura da sapata X: 55.0 cm Largura da sapata Y: 110.0 cm Largura pescoço X: 25.0 cm Largura pescoço Y: 60.0 cm Coordenada pescoço X: -2.5 cm Coordenada pescoço Y: -0.0 cm Altura borda: 20.0 cm Altura pescoço: 30.0 cm	X: 4010e/27 Y: 2010e/28
P11, P12, P17, P18	Sapata quadrada piramidal Largura: 130.0 cm Largura pescoço: 70.0 cm Altura borda: 25.0 cm Altura pescoço: 35.0 cm	X: 6010e/23 Y: 6010e/23
P13, P19	Sapata quadrada piramidal Largura: 120.0 cm Largura pescoço: 60.0 cm Altura borda: 20.0 cm Altura pescoço: 30.0 cm	X: 5010e/27 Y: 5010e/27
P22	Sapata quadrada piramidal Largura: 130.0 cm Largura pescoço: 70.0 cm Altura borda: 30.0 cm Altura pescoço: 40.0 cm	X: 6010e/20 Y: 6010e/20
P24, P31, P32, P33, P34	Sapata quadrada piramidal Largura: 120.0 cm Largura pescoço: 60.0 cm Altura borda: 25.0 cm Altura pescoço: 35.0 cm	X: 5010e/23 Y: 5010e/23
(P29-P25)	Sapata retangular centrada piramidal Largura da sapata X: 90.0 cm Largura da sapata Y: 385.0 cm Largura pescoço X: 26.1 cm Largura pescoço Y: 322.5 cm Altura borda: 75.0 cm Altura pescoço: 85.0 cm	X: 17016e/23 Y: 6012.5e/15
(P30-P26)	Sapata retangular centrada piramidal Largura da sapata X: 90.0 cm Largura da sapata Y: 390.0 cm Largura pescoço X: 25.6 cm Largura pescoço Y: 326.4 cm Altura borda: 75.0 cm Altura pescoço: 85.0 cm	X: 17016e/23 Y: 6012.5e/15



Relatório de fundação

PROJETO SAPATA RADIER

Data: 21/10/17

2.- MEDIÇÃO

Referências: P1 e P4		CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	2x1.43	2.86
	Peso (kg)	2x0.88	1.76
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	4x0.88	3.52
	Peso (kg)	4x0.54	2.17
Totais	Comprimento (m)	6.38	
	Peso (kg)	3.93	3.93
Total com perdas (10.00%)	Comprimento (m)	7.02	
	Peso (kg)	4.32	4.32
Referências: P2 e P3		CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	2x1.53	3.06
	Peso (kg)	2x0.94	1.89
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	4x0.93	3.72
	Peso (kg)	4x0.57	2.29
Totais	Comprimento (m)	6.78	
	Peso (kg)	4.18	4.18
Total com perdas (10.00%)	Comprimento (m)	7.46	
	Peso (kg)	4.60	4.60
Referências: P5, P6 e P23		CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	6x1.43	8.58
	Peso (kg)	6x0.88	5.29
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	6x1.22	7.32
	Peso (kg)	6x0.75	4.51
Totais	Comprimento (m)	15.90	
	Peso (kg)	9.80	9.80
Total com perdas (10.00%)	Comprimento (m)	17.49	
	Peso (kg)	10.78	10.78
Referência: P7		CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	5x1.33	6.65
	Peso (kg)	5x0.82	4.10
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	5x1.12	5.60
	Peso (kg)	5x0.69	3.45
Totais	Comprimento (m)	12.25	
	Peso (kg)	7.55	7.55
Total com perdas (10.00%)	Comprimento (m)	13.48	
	Peso (kg)	8.31	8.31



Relatório de fundação

PROJETO SAPATA RADIER

Data: 21/10/17

Referências: P8, P10, P15, P20 e P27		CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	4x0.88	3.52
	Peso (kg)	4x0.54	2.17
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	2x1.43	2.86
	Peso (kg)	2x0.88	1.76
Totais	Comprimento (m)	6.38	
	Peso (kg)	3.93	3.93
Total com perdas (10,00%)	Comprimento (m)	7.02	
	Peso (kg)	4.32	4.32

Referências: P9, P14, P16, P21 e P28		CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	4x0.88	3.52
	Peso (kg)	4x0.54	2.17
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	2x1.43	2.86
	Peso (kg)	2x0.88	1.76
Totais	Comprimento (m)	6.38	
	Peso (kg)	3.93	3.93
Total com perdas (10,00%)	Comprimento (m)	7.02	
	Peso (kg)	4.32	4.32

Referências: P11, P12, P17 e P18		CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	6x1.22	7.32
	Peso (kg)	6x0.75	4.51
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	6x1.22	7.32
	Peso (kg)	6x0.75	4.51
Totais	Comprimento (m)	14.64	
	Peso (kg)	9.02	9.02
Total com perdas (10,00%)	Comprimento (m)	16.10	
	Peso (kg)	9.92	9.92

Referências: P13 e P19		CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	5x1.12	5.60
	Peso (kg)	5x0.69	3.45
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	5x1.12	5.60
	Peso (kg)	5x0.69	3.45
Totais	Comprimento (m)	11.20	
	Peso (kg)	6.90	6.90
Total com perdas (10,00%)	Comprimento (m)	12.32	
	Peso (kg)	7.59	7.59
Referência: P22		CA-50	Total



Relatório de fundação

PROJETO SAPATA RADIER

Data: 21/10/17

Nome da armadura		Ø10		
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	6x1.22	7.32	
	Peso (kg)	6x0.75	4.51	
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	6x1.43	8.58	
	Peso (kg)	6x0.88	5.29	
Totais	Comprimento (m)	15.90		
	Peso (kg)	9.80	9.80	
Total com perdas (10.00%)	Comprimento (m)	17.49		
	Peso (kg)	10.78	10.78	
Referências: P24, P31, P32, P33 e P34			CA-50	Total
Nome da armadura		Ø10		
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)	5x1.12	5.60	
	Peso (kg)	5x0.69	3.45	
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	5x1.33	6.65	
	Peso (kg)	5x0.82	4.10	
Totais	Comprimento (m)	12.25		
	Peso (kg)	7.55	7.55	
Total com perdas (10.00%)	Comprimento (m)	13.48		
	Peso (kg)	8.31	8.31	
Referência: (P29-P25)			CA-50	Total
Nome da armadura		Ø12.5	Ø16	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)		17x1.22	20.74
	Peso (kg)		17x1.93	32.74
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	6x4.08		24.48
	Peso (kg)	6x3.93		23.58
Totais	Comprimento (m)	24.48	20.74	
	Peso (kg)	23.58	32.74	56.32
Total com perdas (10.00%)	Comprimento (m)	26.93	22.81	
	Peso (kg)	25.94	36.01	61.95
Referência: (P30-P26)			CA-50	Total
Nome da armadura		Ø12.5	Ø16	
Malha inferior - Armadura X	Comprimento (m)		17x1.22	20.74
	Peso (kg)		17x1.93	32.74
Malha inferior - Armadura Y	Comprimento (m)	6x4.13		24.78
	Peso (kg)	6x3.98		23.87
Totais	Comprimento (m)	24.78	20.74	
	Peso (kg)	23.87	32.74	56.61
Total com perdas (10.00%)	Comprimento (m)	27.26	22.81	
	Peso (kg)	26.26	36.01	62.27



Relatório de fundação

PROJETO SAPATA RADIER

Data: 21/10/17

Resumo de medição (incluindo perdas de aço)

Elemento	CA-50 (kg)				Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
	Ø10	Ø12,5	Ø16	Total	C20, em geral	Limpeza	
Referências: P1 e P4	2x4.32			8.64	2x0.16	2x0.06	2x0.99
Referências: P2 e P3	2x4.60			9.20	2x0.19	2x0.07	2x1.08
Referências: P5, P6 e P23	3x10.78			32.34	3x0.61	3x0.17	3x2.08
Referência: P7	8.31			8.31	0.44	0.14	1.68
Referências: P8, P10, P15, P20 e P27	5x4.32			21.60	5x0.16	5x0.06	5x0.99
Referências: P9, P14, P16, P21 e P28	5x4.32			21.60	5x0.16	5x0.06	5x0.99
Referências: P11, P12, P17 e P18	4x9.92			39.68	4x0.53	4x0.17	4x1.82
Referências: P13 e P19	2x7.59			15.18	2x0.37	2x0.14	2x1.44
Referência: P22	10.78			10.78	0.61	0.17	2.08
Referências: P24, P31, P32, P33 e P34	5x8.31			41.55	5x0.44	5x0.14	5x1.68
Referência: (P29-P25)		25.94	36.01	61.95	2.81	0.35	8.07
Referência: (P30-P26)		26.26	36.01	62.27	2.84	0.35	8.16
Totais	208.88	52.20	72.02	333.10	15.85	4.07	58.83