



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GUIBISON ALAN SANTOS DE SOUZA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PILARES DE
CANTO, DE BORDA E DE CENTRO EXECUTADOS EM CONCRETO ARMADO**

FORTALEZA

2021

GUIBISON ALAN SANTOS DE SOUZA

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PILARES DE
CANTO, DE BORDA E DE CENTRO EXECUTADOS EM CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Mariana de Araújo
Leite.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S719a Souza, Guibison Alan Santos de.
Análise comparativa do desempenho estrutural de pilares de canto, de borda e de centro executados em concreto armado / Guibison Alan Santos de Souza. - 2021.
69 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Ma. Mariana de Araújo Leite.

1. Projeto. 2. Área de aço. 3. Geometria. 4. Concreto. 5. Cargas. I. Título.

CDD 624

GUIBISON ALAN SANTOS DE SOUZA

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PILARES DE CANTO, DE BORDA E DE CENTRO EXECUTADOS EM CONCRETO ARMADO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Mariana de Araújo Leite.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ma. Mariana de Araújo Leite (Orientadora)
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Me. Erivano Lúcio Passos
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Me. Francisco Rosendo Sobrinho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente por ter me mantido de pé até esse momento que é único de várias formas inexplicáveis, tanto para mim quanto para as duas pessoas a quem devo tudo, meus Pais, Sr. João Rodrigues de Souza e Dona Maria Aparecida Silva Santos.

Agradeço a todos os amigos que caminharam junto comigo até este momento, e que possamos continuar caminhando lado a lado na vida profissional.

Aos Professores da banca examinadora que dispuseram de seu tempo para fazer as correções e comentários sobre o presente trabalho, contribuindo com a finalização deste.

Agradeço a Professora Ma. Mariana de Araújo Leite minha orientadora, que fez deste período de pesquisa e elaboração do presente trabalho, mais leve e menos complicado do que é.

Aos Professores que transmitiram seus conhecimentos para nós alunos com grande maestria, principalmente aos que ensinam estruturas, que me mostraram um caminho que quero e vou seguir na vida profissional.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a análise comparativa do desempenho estrutural de pilares de canto, de borda e de centro executados em concreto armado. Tal estudo utiliza como instrumento de coleta de dados um projeto residencial unifamiliar de um pavimento, estilo habitação de interesse social. Os dados encontrados no presente estudo, podem contribuir como base de pesquisa para outros engenheiros ou profissionais da área, em processos de tomada de decisão na escolha da geometria de pilares em projetos estruturais. A análise dos dados, obtidos por meio de softwares como o Ftool e o Excel, também utilizando pesquisas em livros e artigos científicos, foi feita pela comparação entre os momentos fletores atuantes e as áreas de aço em cada situação estudada. Com os dados obtidos também foi possível calcular os custos de materiais, podendo assim fazer uma análise comparativa envolvendo os materiais que compõem os pilares (concreto e aço) e uma análise qualitativa envolvendo o processo de execução e seus custos. Tais resultados foram dispostos em forma de tabelas e gráficos, deixando a visualização dos dados de modo que facilite o entendimento e que seja simples fazer uma comparação destes resultados. Os resultados apontam momentos fletores menores para os pilares com seções circulares, porém a área de aço mostra que os pilares com essa geometria, quando comparado com pilares de seção quadrada e retangular com cargas aproximadas, ficam com um custo superior. Contudo, é importante destacar que essa comparação foi para pequenas cargas atuantes no projeto estudado devido a própria tipologia da edificação, onde o pilar circular fica com a quantidade mínima de área de aço estabelecida por norma, que é superior à dos pilares de seção quadrado e retangular. Com isso, os resultados apontam comportamento próprio para a tipologia em estudo. Pode-se concluir com os dados obtidos no presente trabalho, que a geometria influencia nos valores tanto para momentos fletores e cargas, como também nos custos. A escolha da seção do pilar vai depender do projeto, da posição do elemento em projeto e da arquitetura deste.

Palavra-chave: Projeto. Área de aço. Geometria. Cargas. Momentos. Concreto Armado

ABSTRACT

The present work has as objective the comparative analysis of the structural performance of corner, edge and center columns executed in reinforced concrete. This study uses as a data collection instrument a single-storey residential project, style housing of social interest. The data found in the present study can contribute as a research base for other engineers or professionals in the area, in decision-making processes in the choice of pillar geometry in structural projects. Data analysis, obtained through software such as Ftool and Excel, also using research in books and scientific articles, was carried out by comparing the active bending moments and the steel areas in each situation studied. With the data obtained, it was also possible to calculate the costs of materials, thus being able to carry out a comparative analysis involving the materials that make up the pillars (concrete and steel) and a qualitative analysis involving the execution process and its costs. Such results were arranged in tables and graphs, leaving the data visualization in a way that facilitates the understanding and that it is simple to make a comparison of these results. The results point to smaller bending moments for columns with circular sections, but the steel area shows that columns with this geometry, when compared to columns with square and rectangular sections with approximate loads, have a higher cost. However, it is important to highlight that this comparison was for small loads acting in the studied project due to the typology of the building itself, where the circular column has the minimum amount of steel area established by standard, which is superior to that of square section columns and rectangular. Thus, the results point to a behavior specific to the typology under study. It can be concluded from the data obtained in the present work, that the geometry influences the values both for bending moments and loads, as well as on costs. The choice of the column section will depend on the design, the position of the element being designed and its architecture.

Keyword: Project. Steel area. Geometry. Loads. Moments. Reinforced Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vivendas celtas primitivas	16
Figura 2 – Pilares e vigas na estrutura do Panteão.....	17
Figura 3 – Fluxo das cargas em uma estrutura.	19
Figura 4 – Classificação geométrica dos elementos estruturais.....	20
Figura 5 – Classificação de pilares.....	22
Figura 6 – Geometrias mais usuais com número mínimo de barras de aço.	23
Figura 7 – Exemplos de geometria de perfis metálicos.....	23
Figura 8 – Flambagem na direção da largura da coluna de seção retangular	24
Figura 9 – Exemplo de arranjo de pilar de canto, borda e centro.....	25
Figura 10 – Pilar sendo concretado.....	27
Figura 11 – Museu de Arte de São Paulo (MASP)	28
Figura 12 – Seções transversais típicas de pilares mistos	30
Figura 13 – Exemplo de Tabela de custo unitário	31
Figura 14 – Comparativo de momentos totais ($M_{d,tot}$) de um pilar	33
Figura 15 – Comparativo de áreas de aço (A_s) de um pilar	33
Figura 16 – Orçamento para execução do elemento estrutural; (1) Pilar em concreto armado e (2) Pilar misto de aço e concreto.....	34
Figura 17 – Fluxograma de atividades metodológicas	37
Figura 18 – Planta baixa de projeto para estudo.....	38
Figura 19 – Corte esquemático da residência	38
Figura 20 – Lançamento de Estrutura	39
Figura 21 – Traçado das mediatrizes dos seguimentos que unem os pilares	41
Figura 22 – Modelo de pórtico para obtenção das cargas e momentos atuantes.	45
Figura 23 – Modelo de pórtico para obtenção das cargas e momentos atuantes.	46
Figura 24 – Lançamentos de estruturas com pilar de seção retangular	66
Figura 25 – Lançamentos de estruturas com pilar de seção quadrada.....	67
Figura 26 – Lançamentos de estruturas com pilar de seção circular cheia.....	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Momentos totais no pilar de centro	50
Gráfico 2 – Área de aço para o pilar de centro	50
Gráfico 3 – Momentos totais no pilar de borda.....	52
Gráfico 4 – Área de aço para o pilar de borda.....	53
Gráfico 5 – Momentos totais no pilar de canto	54
Gráfico 6 – Área de aço para o pilar de canto	55
Gráfico 7 – Custo de materiais para o pilar de canto	56
Gráfico 8 – Custo de materiais para pilar de borda	57
Gráfico 9 – Custo de materiais para pilar de centro	58
Gráfico 10 – Custos de Materiais (concreto simples e armadura de aço)	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo das cargas no topo dos pilares.....	42
Tabela 2 – Cálculo das cargas ponderadas no topo dos pilares.....	43
Tabela 3 – Etapas de cálculos para obtenção dos momentos totais e seção de aço45	
Tabela 4 – Dados obtidos para o pilar P5 (Centro)	48
Tabela 5 – Dados obtidos para o pilar P4 (Borda)	51
Tabela 6 – Dados obtidos para o pilar P3 (Canto)	53
Tabela 7 – Custo de materiais para pilar de canto.....	55
Tabela 8 – Custo de materiais para pilar de borda.....	57
Tabela 9 – Custo de materiais para pilar de centro.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa do trabalho	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	13
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	13
1.3	Estrutura do trabalho	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Estruturas e comportamento estrutural	15
2.2	Conceitos de Estrutura	18
2.3	Pilares como elementos de sustentação	21
2.4	Geometria e Comportamento de Pilares	22
2.5	Concreto como material estrutural	25
2.6	Outros materiais estruturais	28
2.6.1	<i>Aço como material estrutural</i>	29
2.6.2	<i>Madeira como material estrutural</i>	29
2.6.3	<i>Estruturas Mistas</i>	29
2.7	Custo de execução de pilares	30
2.8	Trabalhos similares	32
3	METODOLOGIA	36
3.1	Delineamento metodológico	36
3.2	Etapas metodológicas	36
3.2.1	<i>Definição do projeto</i>	37
3.2.2	<i>Lançamento estrutural</i>	39
3.2.3	<i>Pré-dimensionamento dos pilares</i>	40
3.2.4	<i>Análise do comportamento estrutural</i>	44
3.2.5	<i>Análise comparativa</i>	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	Análise do comportamento estrutural	48
4.1.1	<i>Pilar de centro (P5)</i>	48
4.1.2	<i>Pilar de borda ou extremidade (P4)</i>	51
4.1.3	<i>Pilar de canto (P3)</i>	53
4.2	Análise de custos de material e execução	55

5	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE A – LANÇAMENTOS ESTRUTURAL COM PILARE DE SEÇÃO RETANGULAR	66
	APÊNDICE B – LANÇAMENTOS ESTRUTURAL COM PILARE DE SEÇÃO QUADRADA	67
	APÊNDICE C – LANÇAMENTOS ESTRUTURAL COM PILARE DE SEÇÃO CIRCULAR CHEIA	68

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas construtivos utilizados na construção civil, vêm se aprimorando de acordo com as necessidades do mercado, e seguindo inovações tecnológicas, tanto com relação à técnica como em relação aos materiais. Essas inovações vêm sendo utilizadas para melhorar a segurança, aperfeiçoar os métodos construtivos, reduzir os gastos com materiais, conseqüentemente aumentando a economia.

Observando o projeto arquitetônico, pode ser avaliado quais sistemas se enquadram de maneira mais eficiente para obter melhores resultados, o que acarretará e proporcionará benefícios para toda a obra. Para gerar um melhor resultado no produto, faz-se necessário além de seguir um projeto adequado, analisar bem os materiais que vão compor a obra e os métodos executivos empregados.

“A qualidade, o desempenho e a vida útil de uma construção possui relação direta com os materiais que a compõe e com os métodos executivos empregados” (PEREIRA, 2018). O uso desses materiais é de acordo com a demanda requisitada no projeto, que podem depender de diversos fatores, como a região, o tipo de terreno em que será construído, o orçamento já que há materiais mais caros que outros e que fazem o mesmo serviço, entre outros.

Os materiais utilizados para fins estruturais precisam ter características específicas, visando o bom desempenho e a segurança global. Não podemos afirmar que um material estrutural é melhor ou pior do que outro sem que haja um olhar para o projeto e a demanda de projeto para os quais esse material está destinado. Então faz-se necessário uma análise do arranjo arquitetônico para esclarecer qual material vai ser o ideal para a situação, obtendo assim detalhes do comportamento estrutural dos elementos construídos com esses materiais, e sabendo qual irá se mostrar mais adequado para a situação.

O principal material estrutural utilizado nas construções brasileiras é o concreto armado. Bastos (2020) mostra que o concreto armado é a junção de dois outros materiais, sendo eles o aço e o concreto simples, que juntos se tornam um material com um desempenho diferenciado, resistente tanto a esforços de compressão quanto a tração, fazendo-lhe ser utilizado em diversas situações.

De acordo com Bastos (2020), o uso do concreto armado no Brasil é amplo e ocorre devido principalmente a fatores culturais, pelo costume da mão de obra e da

população em habitar em obras desse tipo. Com isso, podemos pensar que o concreto armado é o melhor material estrutural, e certamente possui grandes vantagens. Bastos (2020), afirma que dentre as vantagens do concreto armado estão: “a economia, conservação, adaptabilidade, rapidez de construção, segurança contra o fogo, impermeabilidade e resistência a choques e vibrações”.

Contudo, o concreto armado também possui limitações. Rodrigues; Peixoto (2016), afirmam que dentre as desvantagens do uso do concreto armado em estruturas as principais são que, o seu peso próprio é bem elevado, o que gera um impacto nos demais elementos estruturais. Sendo em concreto armado ou em outro material, estes devem possibilitar a execução de elementos estruturais portantes, ou seja, capazes de receber cargas e transmiti-las ao solo, mantendo o equilíbrio estrutural.

Em se tratando do elemento estrutural conhecido como pilar, ou coluna em algumas referências arquitetônicas, este é de grande importância não só na construção de edifícios, mas também em todo tipo de estrutura como em construção de pontes. Na construção Civil ele é de extrema importância já que é o elemento de suporte para as vigas, lajes, também recebe toda as cargas desses elementos e as encaminham para a fundação (REBELLO, 2000).

Pilares estão normalmente sujeitos a esforços de compressão e submetidos a momento fletor. De acordo com Bastos (2020), o pilar faz parte dos “elementos lineares: que são aqueles que têm a espessura da mesma ordem de grandeza da altura, mas ambas muito menores que o comprimento”. A diferença entre as vigas, que também são elementos lineares, e os pilares, está nos esforços internos predominantes para cada um. Esse formato justifica os esforços atuantes e a sua tendência a instabilidades laterais, conhecidas como flambagem.

1.1 Justificativa do trabalho

Com isso o presente trabalho se justifica, por apresentar informações sobre as estruturas de concreto armado, fazendo comparações em nível de cálculo e projeto, de forma a servir de auxílio para futuros projetos estruturais de edificações residenciais, com foco em estruturas de pilares. Por fim, o presente trabalho também se justifica por apresentar material de apoio para melhor escolha de decisões de projeto em se tratando de pilares em concreto armado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Realizar análise comparativa do desempenho estrutural de pilares de concreto armado com diferentes seções e locação em planta distintos no projeto.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Definir objeto de estudo, objetivando avaliar o comportamento estrutural de pilares em uma edificação residencial;
- b) Realizar análise estrutural de pilares escolhidos no projeto a ser estudado com diferentes seções;
- c) Realizar análise de custos da execução de pilares escolhidos no projeto a ser estudado;
- d) Fazer comparação entre os resultados de análise dos pilares, baseando-se em critérios de resistência mecânica e custos.

1.3 Estrutura do trabalho

No capítulo 01, é apresentado o tema que será objetivo de estudo do projeto em uma breve abordagem dos tópicos que serão estudados ao longo do trabalho. Já no capítulo 02, capítulo referente ao referencial teórico, será apresentado o estudo bibliográfico realizado, que será utilizado como base para melhorar a compreensão da pesquisa, que abordará temas como os principais tipos de sistemas estruturais, os materiais estruturais e o desempenho estrutural ligado às escolhas de projeto.

Já no capítulo 3, será apresentado a metodologia do presente trabalho, descrevendo as etapas das atividades desenvolvidas até chegar aos resultados e conclusões, etapas essas que são: Definição de projeto, lançamento estrutural, determinação das cargas atuantes, análise do comportamento estrutural, análise comparativa e verificação do desempenho mecânico e deformações. E por fim, no capítulo final deste projeto, tem-se o capítulo 4 onde se encontra os resultados e discussões sobre as informações obtidas com as comparações dos pilares de canto,

borda e de centro. Os resultados são apresentados de modo que facilite o entendimento do leitor, fazendo uso de gráficos e tabelas com apenas os dados mais importantes expostos, deixando os resultados menos poluído com informações desnecessárias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado todo o referencial que servirá de base para o desenvolvimento do presente estudo. A divisão dos capítulos foi feita partindo-se dos conceitos iniciais de estrutura e comportamento estrutural, onde no tópico seguinte será apresentada uma breve contextualização histórica, seguida da relação entre estrutura e material estrutural. O tópico seguinte apresenta conceitos relacionados ao comportamento de pilares como elemento estrutural, seguido de uma breve apresentação do concreto e outros como materiais estruturais, finalizando com o desempenho.

2.1 Estruturas e comportamento estrutural

Ramos (1997), afirma que a estrutura teve início há milhares de anos quando o ser humano se viu tendo a necessidade de construir seus próprios abrigos, para proteção, depósito de instrumentos e outros. Os nômades permaneciam em constante imigração, devido ao seu modo de vida, onde viviam da natureza, como da caça, pesca e da coleta de alimentos.

Com o passar dos anos e com o desenvolvimento do ser humano, os nômades passaram a pensar em usar a moradia como meio não só de abrigo, mas também como um modo de proteção contra predadores e fenômenos da natureza. De acordo com Ramos (1997), com o crescente aumento da população, surgiu também a necessidade de proteção contra outros grupos que surgiam de áreas exteriores, começando assim a necessidade de se aprimorar cada vez mais, os tipos de estruturas de modo que aumentasse a segurança.

Silva e Souto (2015) afirmam que o conhecimento do conceito de estrutura sempre existiu, mas inicialmente era um conhecimento empírico e vago, onde as soluções empregadas não eram as mais eficientes e nem as mais seguras. A escolha das soluções estruturais estava atrelada à disponibilidade de material em cada região, justificando a presença de diferentes tipos de edificações em civilizações antigas. A Figura 1 mostra um sistema primitivo de edificação, cuja estrutura foi executada com materiais disponíveis na época e na região.

Figura 1 – Vivendas celtas primitivas



Fonte: Carrieri (2007).

De acordo com Tagliani (2017), no princípio, os materiais mais utilizados na construção civil eram aqueles descobertos na natureza de forma bruta, mas moldados de acordo com as necessidades. Exemplo disso é o barro, as pedras ou mármore, os metais e as fibras vegetais.

Contudo, sabe-se que a pedra ou mármore, se usados para a construção de vigas não apresentam comportamento apropriado. Isso ocorre pelo fato desse material ser muito resistente a compressão, porém com uma baixa resistência às forças de tração. Nesse contexto, Carrieri (2017) descreve que as construções tinham elementos estruturais de grandes dimensões e pesos, devido ao material utilizado.

Carrieri (2007) mostra que a segurança estrutural de edificações executadas com materiais inadequados ocorria especialmente pela utilização de proporções e simetrias bem definidas, levando a estruturas basicamente isostáticas. A Figura 2 mostra um exemplo disso ocorrida nas construções gregas, onde o uso do mármore era frequente, inclusive para construção de vigas.

Figura 2 – Pilares e vigas na estrutura do Panteão



Fonte: Carrieri (2007).

Surgindo a necessidade de se construir moradias e construções de maiores vãos livres, se fez necessário obter meios para que essas estruturas pudessem manter o equilíbrio estático e segurança, começando assim as construções em formatos de curva. De acordo com Nunes (2009), o formato curvo auxilia na resistência e estabilidade da estrutura, onde, nas coberturas curvas, além de economizar material, ganha-se resistência.

De acordo com Carrieri (2007), esse método construtivo, foi a razão fundamental para a construção dos aquedutos, e das grandes obras como o Panteão, cujo diâmetro interior mede mais de 40 m, e seu ponto mais alto estando a 43 m de altura, como mostrado na Figura 2.

Por muito tempo esse formato de estrutura foi empregado em obras, por não ter outros modelos que tivessem o mesmo desempenho. Segundo Carrieri (2007), fazendo uso desse tipo de estrutura, foi resolvido o maior problema dos construtores da época: como vencer um vão de grandes dimensões. Tanta engenhosidade, aliada a um senso prático agudo, acabaram por permitir uma evolução considerável das suas técnicas construtivas.

Segundo Nunes (2009), o uso deste tipo de estrutura foi diminuindo rapidamente a partir da década de 1920, sendo substituído por novos materiais estruturais, em destaque o concreto e o aço, que eram considerados mais apropriados

para as necessidades da sociedade industrial, devido suas características e desempenho.

Esses materiais são utilizados para produzir elementos estruturais de uso específico para cada situação em que se encontrará a estrutura. Porém, não só o tipo de material usado é o que determina a capacidade do elemento de desempenhar suas funções da melhor forma possível, um exemplo disso, é o uso da estrutura de blocos de pedra em forma de arco para melhorar a resistência a tração, podendo assim criar vãos maiores.

Materiais em princípio frágeis podem ser bem aproveitados estruturalmente quando sua forma for adequadamente projetada para o vão proposto e para o carregamento ao qual estará submetido. Quando a forma de uma peça é bem elaborada, ela se traduz em ganho na sua capacidade de resistente (REBELLO, 2000, P. 28).

Com a evolução e a descobertas de novos materiais que poderiam ser utilizados na construção, passou-se a utilizar elementos estruturais mais eficientes, que juntos passaram a suportar cargas maiores em comparação com os métodos construtivos até então utilizados, e que ainda são os artifícios mais utilizados até hoje, que são: os pilares, vigas e a lajes. Esses materiais são utilizados para elaborar as estruturas. No tópico seguinte será detalhado o conceito de estruturas, para melhor compreensão da aplicação desses materiais nestes elementos.

2.2 Conceitos de Estrutura

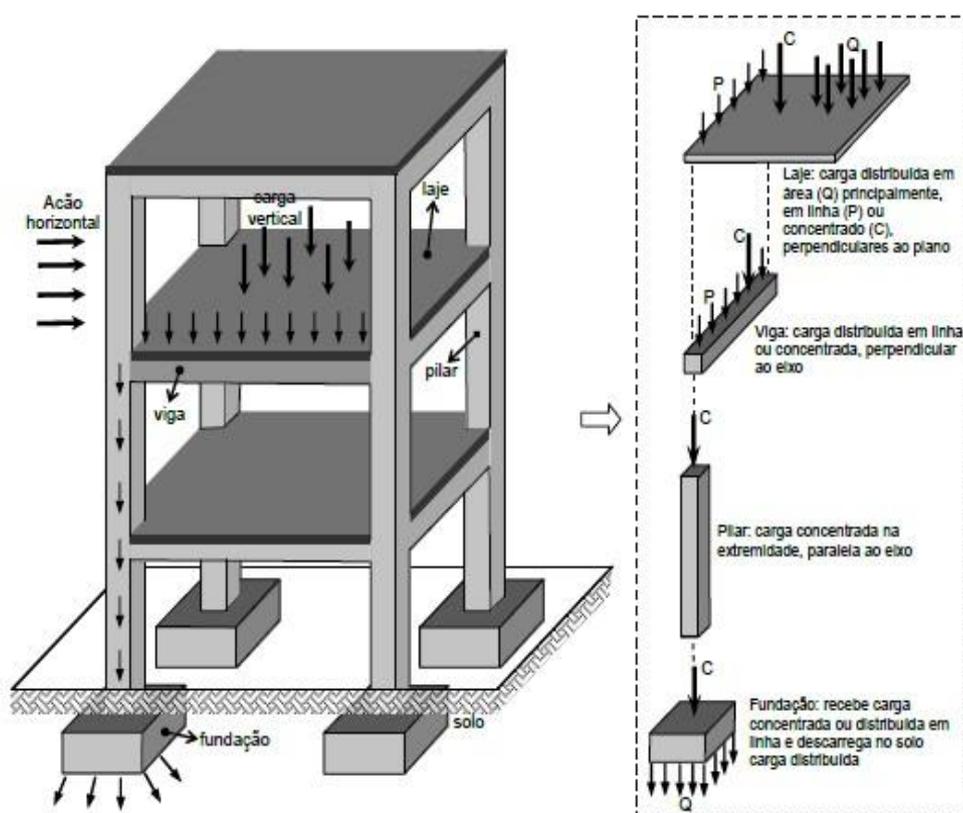
De acordo com Rebello (2000), a estrutura é um conjunto de elementos sendo eles: lajes, vigas e pilares, onde há uma interligação, de elementos se apoiando, e desempenhando assim uma função que é criar um espaço em que pessoas exercerão suas atividades. Silva (2001), também diz que a estrutura faz as forças mudarem de direção, facilitando assim a criação de ambientes que facilitam a locomoção das pessoas deixando o caminho livre de obstáculos. Dito isso, fica evidente a importância de se analisar bem o projeto, para assim fazer a locação dos elementos, de modo que satisfaça as necessidades da estrutura e das pessoas.

Dentre esses elementos, a laje é um elemento empregado em todos os edifícios com mais de um pavimento, é uma peça que suporta as cargas de peso

próprio, cargas permanentes, cargas acidentais e de revestimento. É comum estar apoiada sobre as vigas da edificação, encaminhando assim suas cargas para esses elementos.

Para Bastos (2020), as lajes recebem a maior parte das ações que são aplicadas numa construção, como das alvenarias, mobília, pisos, pessoas e os mais variados tipos de carga que podem vir a existir em função da finalidade arquitetônica do espaço físico de que a laje faz parte. A Figura 3 mostra a representação do caminho convencional das cargas na estrutura.

Figura 3 – Fluxo das cargas em uma estrutura.



Fonte: Melo (2013).

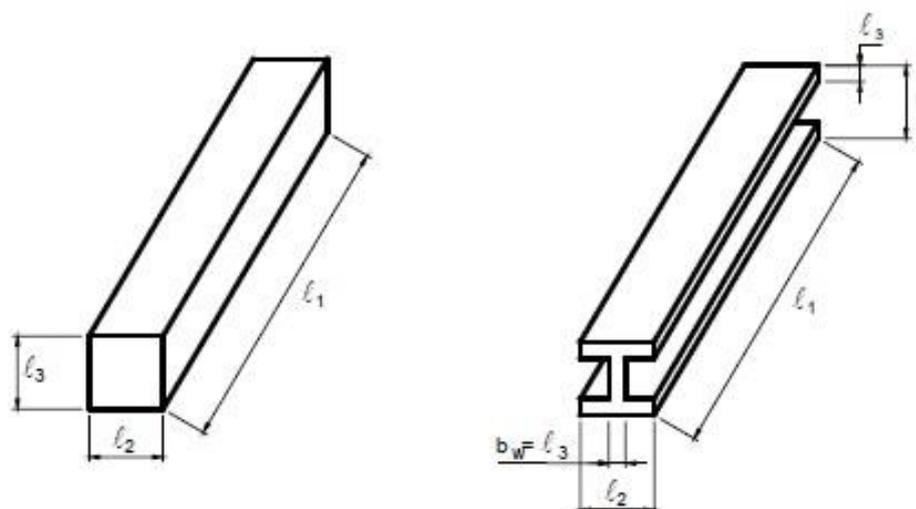
As cargas nas lajes chegam distribuídas por área, e essa carga será dividida proporcionalmente pelas vigas de apoio dessa laje, tornando-se linearmente distribuídas. As cargas permanentes, como o próprio nome já diz, são as cargas que não mudam com o tempo. Nelas devem ser incluídos o peso próprio dos elementos e o peso de elementos construtivos fixos, como paredes, e instalações permanentes (BASTOS, 2020). As cargas acidentais são definidas pela ABNT NBR 8681 (2004)

como (pessoas, mobiliário, veículos e outros). Além da própria ABNT NBR 8681 (2004) devem também ser consultadas as normas ABNT NBR 6120 (2019) e ABNT NBR 6123 (2013) (BASTOS, 2020).

Moura (2019) diz que as normas determinam que é importante serem feitos algumas verificações nos elementos estruturais de modo que assegure sua resistência com certa margem de segurança. Essas verificações são feitas para os estados limites da estrutura; estado limite de serviço (ELS) e estado limite último (ELU). Lembrando que para concreto armado aplica-se a ABNT NBR 6118 (2014).

As vigas são elementos estruturais retos, resistentes a flexão, é capaz de suportar forças perpendiculares a seu eixo e transmiti-las lateralmente ao longo do mesmo até seus extremos (SILVA, 2001). Na Figura 4 vemos dois exemplos de seções transversais distintas com geometria diferente utilizados em vigas, onde é importante se manter uma inércia maior, por conta do tipo de comportamento.

Figura 4 – Classificação geométrica dos elementos estruturais



Fonte: Fusco (1976).

Isso acontece de maneira mais eficaz em perfil tipo I, que concentra material no topo e na base, mas em concreto armado é mais fácil a execução de perfis tipo retangular, já que não necessitam de forma complexas como a do perfil I, desse modo destinadas a receber ações das lajes, de outras vigas, de paredes de alvenaria, e eventualmente de pilares. Embora a padronização dos elementos estruturais facilite a execução, quando se faz necessário um desempenho maior, vigas e lajes podem

ter geometria irregular (curva por exemplo), fugindo aos padrões lineares e retangulares que são os mais utilizados (MELO 2013).

Outro elemento estrutural de grande importância, são os pilares cuja a função é levar as cargas até a fundação, sendo objeto de estudo do presente trabalho. Os pilares serão melhor detalhados no item que segue.

2.3 Pilares como elementos de sustentação

Segundo Scadelai e Pinheiro (2007), os pilares são elementos estruturais lineares, usualmente posicionados na vertical, onde ficam sujeitos principalmente a forças normais de compressão e com a função de conduzir essas forças incluindo as atuantes dos níveis superiores até as fundações. Complementando este conceito, o item 14.4.1.2 da norma da ABNT NBR 6118 (2014) afirma que pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”.

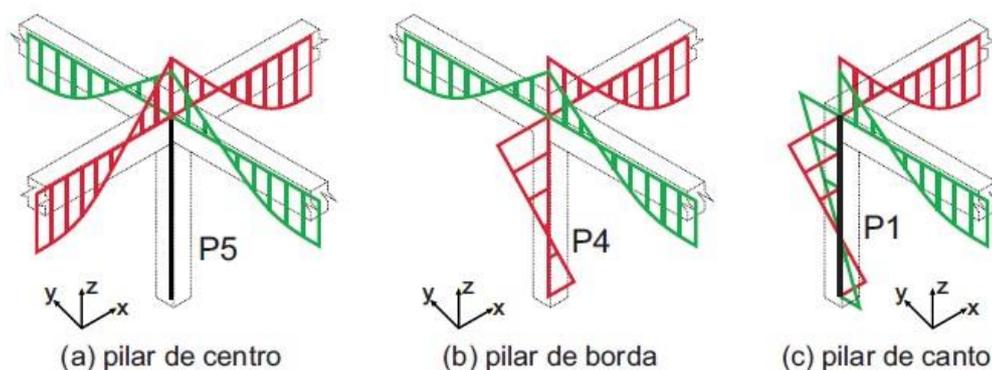
As cargas que esse elemento recebe, começam a ser recebidas desde a laje, onde é submetida a cargas permanentes e cargas acidentais, e que são direcionadas para as vigas que somando com sua carga de peso próprio e carga desenvolvida pelas alvenarias, são então descarregadas nos pilares.

Num contexto geral, fica a cargo dos pilares a maior responsabilidade da estrutura, pois é dele a função de receber todos os carregamentos verticais provenientes das lajes e vigas, além dos carregamentos horizontais devido ao vento, empuxos de solo/água, sismos, dentro outros e transmiti-los às fundações. Caso esse elemento venha à ruína, dificilmente, haverá a possibilidade de redistribuição dos esforços e, conseqüentemente, poderá ocorrer a ruptura generalizada da estrutura (SILVA, 2018, p. 29).

É importante também citar que os pilares juntamente com as vigas, se sujeitos a ligações semirrígidas, formam os pórticos, que são muito usuais em edificações por resistir as forças verticais e horizontais, redistribuindo as deformações, podendo, portanto, melhorar a estabilidade global da estrutura. As ações verticais são transferidas aos pórticos pelas estruturas dos andares, e as ações horizontais decorrentes do vento são levadas aos pórticos pelas paredes externas (SCADELAI e PINHEIRO, 2007, p. 219).

De acordo com Silva (2018), a disposição e rigidez dos elementos estruturais que constituem a estrutura, além dos carregamentos a que estão submetidos, determinam quais os tipos de esforços atuantes nos pilares. Podendo ser classificados como: Pilar de centro (P5), pilar de borda (P4) e pilar de canto (P1), como mostra na Figura 5.

Figura 5 – Classificação de pilares



Fonte: Silva (2018b).

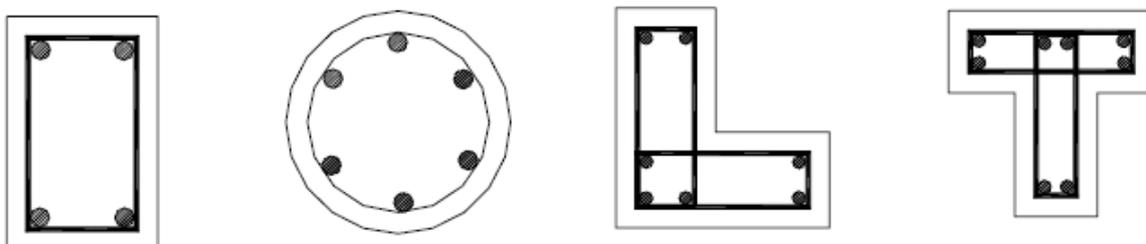
Existem vários fatores que podem influenciar no colapso de um pilar. Dentre eles, com foco em estruturas de concreto armado, pode citar: resistência a compressão e à tração do concreto, índice de esbeltez, arranjo das armaduras longitudinais e transversais, tipo de carregamento, condições de contorno, aderência entre concreto e armadura, fluência, efeitos de segunda ordem, dentre outros. Além disso, existe também os critérios de ruptura para pilares de diferentes materiais, o que mostra que se faz necessário uma análise voltada para cada tipo de material dependendo da demanda de projeto (CARMONA *et al.* 2013 apud SILVA 2018b, p. 37).

2.4 Geometria e Comportamento de Pilares

De acordo com Silva (2001), os elementos que compõem uma estrutura devem ter geometria de acordo com o projeto arquitetônico e com a função estrutural, que é definida pelos esforços solicitantes, bem como a necessidade de maiores dimensões livres dos ambientes internos, altura das edificações, orçamento

disponível, entre outros. Na figura 6, é mostrado as geometrias mais usuais na construção civil representadas com seu número mínimo de barras de aço.

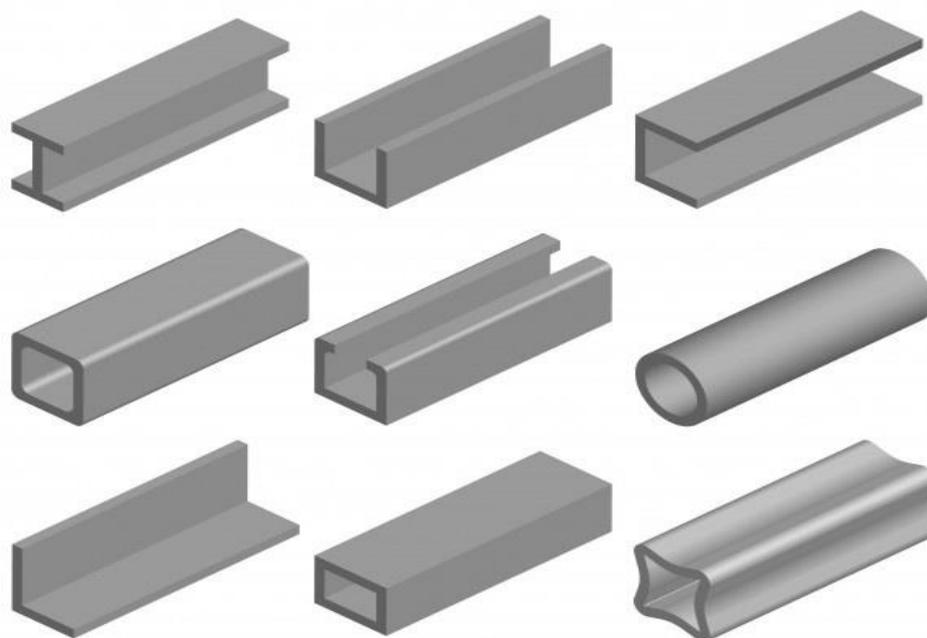
Figura 6 – Geometrias mais usuais com número mínimo de barras de aço.



Fonte: O Autor (2021).

Como representado na Figura 7, o perfil de aço é um bom exemplo do uso da geometria de um elemento, que pode ser encontrado em várias formas, podendo ser aplicado em diferentes situações. Lembrando que qualquer geometria está apta a ser utilizada em qualquer situação, contudo, algumas apresentarão comportamento mais eficiente, levando a custos reduzidos e maior leveza.

Figura 7 – Exemplos de geometria de perfis metálicos

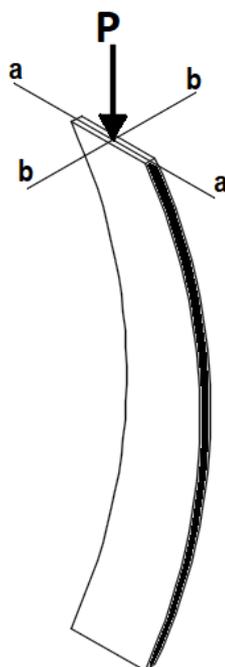


Fonte: FREEPIK (2020).

A posição dos elementos também influencia muito a depender da geometria da peça, podendo ocorrer uma variação na resistência. Hibbeler (2004) descreve que um pilar quando está submetido a ações de compressão demasiadamente altas, e caso este elemento seja muito comprido e esbelto, tal carga pode ser suficientemente grande para provocar sua deflexão lateral, ou também chamada como flambagem. Bastos (2020) também diz que o pilar sob carga axial sofrerá flambagem em torno do eixo principal da seção transversal de menor momento de inércia, como ilustrado em um pilar de seção retangular. Podendo diminuir essa flambagem com uma geometria e uma posição mais adequada para a situação.

Como é mostrado na Figura 8, o elemento sofrerá flambagem em torno do eixo principal de seção transversal de menor momento de inércia, ou seja, o eixo mais fraco que tem uma baixa resistência, facilitando essa deflexão lateral (HIBBELER 2004).

Figura 8 – Flambagem na direção da largura da coluna de seção retangular



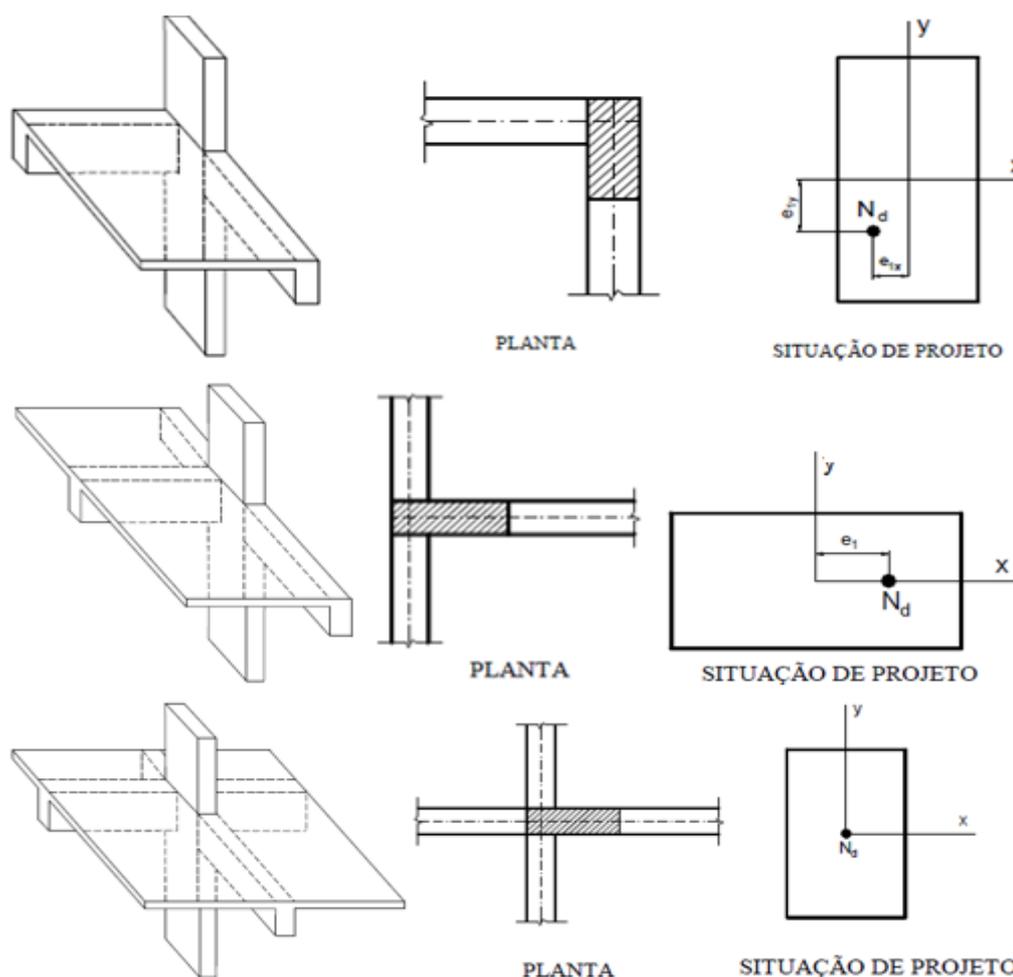
Fonte: Adaptado de Hibbeler (2004).

Essa flambagem também ocorre pelo fato de as cargas não serem aplicadas sempre no centro da peça. Quando o pilar está recebendo cargas de vigas somado com as cargas das lajes e alvenarias entre outras, essa carga axial acaba

sendo aplicada na área de seção do pilar, com uma excentricidade, o que resulta em momentos fletores levando a flambagem. No pilar de canto do exemplo mostrado na

Figura 9, representando a situação em estrutura real, em planta e em situação de projeto, ocorre momentos fletores de 1ª ordem na direção do eixo x e também na direção do eixo y , devido a carga excêntrica que o mesmo está submetido (BASTOS 2020).

Figura 9 – Exemplo de arranjo de pilar de canto, borda e centro.



Fonte: Bastos (2020).

2.5 Concreto como material estrutural

O concreto é um material estrutural composto por cimento, água, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Além disso, pode conter também em sua composição adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) e aditivos do

tipo químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas características fundamentais (BASTOS 2020).

O cimento é o principal elemento dos concretos e é o responsável pela transformação da combinação de materiais que compõem o concreto no produto final almejado. Hoje mundialmente conhecido, foi descoberto na Inglaterra por volta do ano de 1824, e após o ano de 1850 a produção industrial foi iniciada. O cimento portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece ao entrar em contato com a água (BASTOS 2020).

O concreto armado surgiu da necessidade de unir as qualidades da pedra (resistência à compressão e durabilidade) com as do aço (resistência à tração), juntamente com a sua característica de fácil moldagem com rapidez e facilidade, e por proporcionar proteção contra corrosão para o aço. Segundo Pinheiro et al. (2007), “o concreto armado é o material estrutural mais usado no mundo. Seu consumo anual é da ordem de uma tonelada por habitante. Entre os materiais usados pelo homem, o concreto perde apenas para a água”. Desde o seu aparecimento, ganhou espaço significativo na construção de edifícios, seja ele de pequeno ou de grande porte. Juntamente com o aço e o vidro, ele compõe o repertório dos chamados “novos materiais” da arquitetura moderna (BENEVOLO, 2001).

Por ser um material que não necessita de mão de obra especializada, e ser fácil de produzir, é muito utilizado desde as pequenas construções até as arranha céus. O concreto armado é a associação do concreto simples que tem uma baixa resistência à tração e que é contornada com o uso de armadura adequada, usualmente constituída por barras de aço como mostrado no pilar a ser concretado representado na Figura 10. Os dois materiais, concreto simples e barras de aço, devem resistir solidariamente aos esforços solicitantes. Essa solidariedade é garantida pela aderência (PINHEIRO et al., 2007). Na Figura 10 é possível observar o processo de concretagem do pilar após a montagem da forma.

Figura 10 – Pilar sendo concretado



Fonte: Bastos (2020).

A principal norma para o projeto de estruturas de concreto armado é a ABNT NBR 6118 (2014), voltada para projeto de estruturas de concreto, que incluiu tanto as estruturas de concreto armado, como as de concreto protendido (BASTOS 2020). No caso de estruturas especiais, tais como de elementos pré-moldados, pontes e viadutos, entre outros, ou em que se utilizam técnicas construtivas não convencionais, as condições desta norma ainda são aplicáveis, porém, devem ser complementadas e eventualmente adaptadas em pontos localizados, por Normas Brasileiras específicas (ABNT NBR 6118, 2014).

Como um dos materiais mais importante que compõem o concreto armado, o aço é o material que faz o elemento estrutural resistir as ações de tração aplicada no mesmo. Contudo, mesmo com esse comportamento vantajoso, o concreto armado ainda possui algumas limitações, sendo uma delas a capacidade de vencer vãos e seu peso próprio elevado. Com isso, algumas alternativas surgiram para vencer essas limitações e proporcionar resultados adequados às demandas estruturais, como lajes nervuradas e estruturas protendidas. Um exemplo da utilização do concreto protendido em edifícios no Brasil que chama muita atenção, é o Museu de Arte em São Paulo (MASP) como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Museu de Arte de São Paulo (MASP)



Fonte: Caffey e Campagnol (2015).

Em situações como essa, o aço se faz extremamente necessário, pelo fato de que a estrutura tem grandes vãos, e esses estão submetidos a ações de tração, ação essa que é combatida com material resistente a essas forças, que é o aço em forma de barras, que trabalham junto com o concreto. Sem o sistema de protensão, essa obra seria de construção inviável.

2.6 Outros materiais estruturais

Além do concreto armado e do aço, que são os materiais estruturais mais utilizados, como foi dito nos tópicos anteriores, temos também outros que se encaixam nessa classificação. Apesar de não serem empregados no mercado brasileiro de construção civil com a mesma frequência do aço e o concreto armado, os exemplos abordados nesse tópico possuem características vantajosas que os tornam aptos a serem utilizados em diversos tipos de projetos. Carrieri (2007) afirma que existem atualmente diversos tipos de material estrutural, como a madeira, já bastante utilizada e provavelmente o material estrutural mais antigo; as estruturas mistas; vidros estruturais, plásticos, dentre outros. Neste tópico, serão abordados dois tipos: a madeira e as estruturas mistas em aço e concreto.

2.6.1 Aço como material estrutural

Rodrigues e Peixoto (2016), dizem que as estruturas metálicas são mais fáceis de se lidar, devido ao fato que a mesmas dispensam o uso de fôrmas e permitem uma construção muito mais rápida em relação a outras estruturas, e ainda pode ser considerada uma construção que produz menos escombros deixando o canteiro de obra mais organizado.

As estruturas convencionais em concreto armado, por serem mais pesadas e não flexíveis, acabam impondo muitas limitações aos projetos. Dito isto, a tendência é que a procura e utilização do aço cresça cada vez mais. De acordo com Cortez *et. al.* (2017), o uso das estruturas de aço pode diminuir o tempo de obra em até 40%, quando comparado com os métodos convencionais, tem uma grande diminuição na produção de entulhos, diminuindo os custos com materiais, já que em uma construção convencional, o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso.

2.6.2 Madeira como material estrutural

A madeira é um material que pode ser utilizado na construção como elemento estrutural (pilar, viga e laje), como elemento que compõem telhados (terça, ripa, caibro, tesoura e outros) e também como elemento de vedação. Apesar de ter uma grande resistência a ações de compressão e tração, não é muito utilizada por ter um preconceito de que esse material é de fácil combustão, além dos impactos ambientais que ocorrem ao ser retirada sem controle ambiental. Tais percepções negativas existem apesar dos diversos avanços tecnológicos realizados, capazes de sobrepor as diversas fragilidades do material (MAHAPATRA *et al.* 2012 apud SHIGUE 2018, p.55). Em países como a China e o Japão, este material, obtido de maneira fácil e abundante, permitiu um avanço considerável do mercado da construção, e possibilitou a execução de grandes obras.

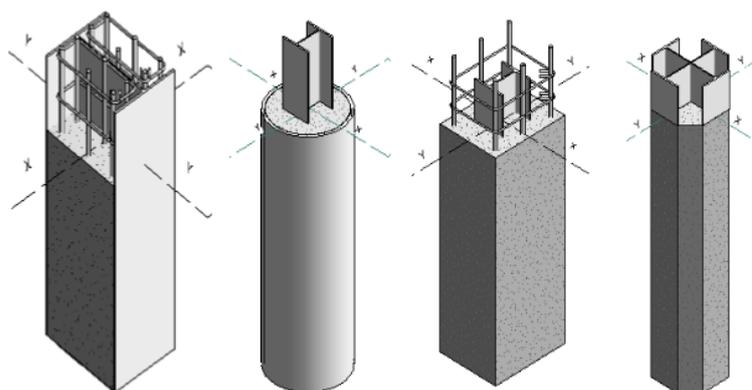
2.6.3 Estruturas Mistas

Estruturas mistas de aço e concreto consistem em um ou mais perfis de aço ligados entre si, trabalhando em conjunto com o concreto, simples ou armado. Pilares mistos trabalham solicitados tanto à compressão como à flexocompressão,

podendo ser basicamente, de dois modelos: perfis de aço revestidos ou preenchidos de concreto. Onde os revestidos são formados por um perfil de aço embutido em uma seção de concreto, garantindo a proteção ao fogo (havendo necessidade de armaduras). Já os pilares preenchidos, são tubos de aço circulares ou retangulares, preenchidos com concreto, onde não a necessidade de qualquer tipo de armadura e a nem do uso de fôrmas, porém para proteger do fogo e da corrosão exige-se um tratamento “extra” do tubo de aço (FIGUEIREDO, 1998).

Esse modelo de pilar apresenta grandes vantagens estruturais, já que ele herda o melhor da capacidade resistente de ambos os materiais (SILVA, 2012). A Figura 12 apresenta exemplo de pilares misto, com seções e armações distintas.

Figura 12 – Seções transversais típicas de pilares mistos



Fonte: Adaptado de Silva (2012).

Embora pareça uma técnica recente, as estruturas mistas aço-concreto surgiram no fim do século passado. Griffis (1994) cita como uma das vantagens do uso deste sistema, a economia de material, por se tirar proveito estrutural do elemento de proteção ao fogo e à corrosão. Contudo, não se percebe um uso tão frequente desse tipo de solução por conta de o mesmo necessitar de mão de obra especializada. segundo (BRAGA, 2006).

2.7 Custo de execução de pilares

O custo dos elementos usados em uma obra tem grande influência no processo de decisão de projeto, sendo crucial no momento de se calcular o orçamento total. Dito isto, é extremamente importante nessa etapa de decisão a escolha dos

materiais mais adequados a cada projeto e das formas de seção transversal de forma que sejam econômicos e que não deixem de atingir um desempenho suficiente para serem empregados na construção.

Em se tratando de pilares, o cálculo dos custos varia de acordo com as dimensões obtidas no processo de dimensionamento, e com a escolha do material que será utilizado para compor o elemento estrutural. Esses custos e dimensões dos perfis são obtidos de maneira que o elemento atinja uma resistência mínima à compressão, não possua instabilidade lateral significativa, dentre outras decisões, para se ter uma estrutura segura e econômica. Pode-se dizer também que o custo tem relação com a padronização e reaproveitamento das fôrmas, já que são muito utilizadas para a moldagem dos pilares de concreto armado (MELO, 2013).

Segundo a ABNT NBR 12721 (2007), os custos de materiais são calculados de formas diferentes, sendo o concreto por seu volume (m³) e o aço por seu peso em quilo gramas (kg). A etapa de orçamento é realizada por meio de algumas tabelas de referência, como SEINFRA que é o órgão responsável pela elaboração e fiscalização de projetos de engenharia da Prefeitura de Fortaleza, executando diversas obras de mobilidade urbana na Capital, mostrado na Figura 13. Também a o SINAP que é o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

Figura 13 – Exemplo de Tabela de custo unitário

Tabela de Custos - Versão 027 - ENC. SOCIAIS 112,76%					
C0843 - CONCRETO P/VIBR., FCK 25 MPa COM AGREGADO ADQUIRIDO					
Preço Adotado: 437,4500					Unid: M3
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço	Total
MAO DE OBRA					
I2543	SERVENTE	H	6,0000	17,1400	102,8400
TOTAL MAO DE OBRA					102,8400
MATERIAIS					
I0280	BRITA	M3	0,6270	76,1900	47,7711
I1605	PEDRISCO	M3	0,2090	73,9000	15,4451
I0805	CIMENTO PORTLAND	KG	349,0000	0,5600	195,4400
I0109	AREIA MEDIA	M3	0,8669	67,5000	58,5158
TOTAL MATERIAIS					317,1720

Fonte: SEINFRA (2020).

A etapa de orçamento pode ser afetada pelo conhecimento e experiência do profissional, pois com a variação de preços e composição de custos é possível que erros de considerações afetem o orçamento final. Contudo, para fins de comparação, como é trabalhado no presente estudo, essas tabelas podem ser utilizadas adequadamente.

2.8 Trabalhos similares

Para complementar as pesquisas que irão ser apresentadas no presente trabalho, é válido apresentar também outros autores que fizeram suas pesquisas e comparações relacionadas com o tema proposto. Dito isso, será apresentado dados e resultados de pesquisas na mesma área que o presente trabalho se baseou.

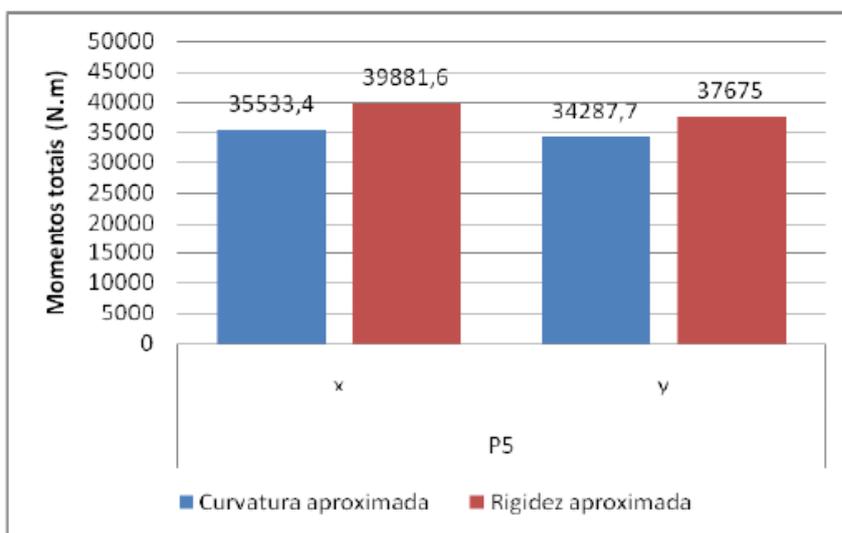
Moura (2019), produziu um trabalho de conclusão de curso, onde apresenta uma análise comparativa de estruturas em concreto armado e em aço, com variação paramétrica. Os parâmetros analisados em seu projeto foram o peso da estrutura e a dimensão da fundação rasa para cada sistema estrutural estudado: concreto armado e aço. Para os dimensionamentos dos elementos, Moura (2019) fez uso de métodos apresentados em normas da ABNT e em livros, com o auxílio dos softwares que são bem conhecidos, o SAP2000 e o Excel. Diante do objetivo geral, Moura (2019) mostrou inicialmente que esse tipo de análise nos dão um melhor entendimento da estrutura para melhor aplicá-las a um projeto. Por fim, o autor concluiu seu trabalho apresentando as diferenças de cada tipo de estrutura para um projeto no quesito peso, indicando o potencial de cada escolha.

Já os autores Casagrande e Silva (2011), elaboraram um trabalho fazendo comparações dos resultados de dimensionamento de pilares usando os métodos aproximados do pilar padrão. Métodos estes previstos em na norma ABNT NBR 6118 (2014), no trabalho fizeram uso de dois métodos que se destacam sendo eles: o método do pilar padrão com curvatura aproximada e o método do pilar padrão com rigidez “k” aproximada.

Segundo os autores, estes métodos são aplicados na maioria dos casos usuais de dimensionamento de pilares, e por isso foram alvos do trabalho. Tendo como objetivo analisar esses dois métodos com relação aos resultados de momentos totais e de área de aço resultante e comparar entre si.

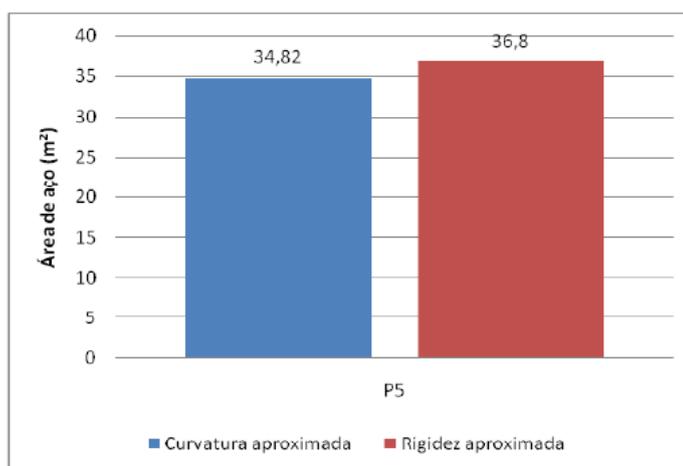
Os resultados obtidos pelos autores com relação aos dois métodos, foram comparados quanto a momentos totais e quanto a área de aço necessária. Com isso, chegaram aos resultados que mostraram diferenças de até 23,83% em relação a momentos totais e de 14,35% quanto a área de aço necessária entre o método do pilar padrão com curvatura aproximada e o método do pilar padrão com rigidez “k” aproximada. Segue nas Figura 14 e Figura 15 os gráficos dos resultados.

Figura 14 – Comparativo de momentos totais (Md.tot) de um pilar



Fonte: Casagrande e Silva (2011).

Figura 15 – Comparativo de áreas de aço (As) de um pilar



Fonte: Casagrande e Silva (2011).

Oliveira *et al.* (2019), produziram um trabalho com o objetivo de dimensionar um pilar misto de seção tubular retangular preenchido com concreto, a

fim de verificar a sua viabilidade, em questões construtivas e orçamentárias, se comparada a um pilar dimensionado de concreto armado, de acordo com critérios das normas ABNT NBR 6118 (2014), ABNT NBR 8800 (2008) e ABNT NBR 16239 (2013), que regem o dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto, constituídos de perfis tubulares preenchidos. O autor utilizou como base de sua metodologia um roteiro de cálculo e um projeto estrutural apresentado em outros trabalhos.

Com o desenvolvimento do seu trabalho e com os dados conclusivos em mãos, Oliveira *et al.* (2019) elaboraram um quadro apresentado na

Figura 16 – Orçamento para execução do elemento estrutural; (1) Pilar em concreto armado e (2) Pilar misto de aço e concreto com o orçamento para execução do elemento estrutural do pilar em concreto armado com armadura longitudinal de 25 mm e do pilar misto.

Figura 16 – Orçamento para execução do elemento estrutural; (1) Pilar em concreto armado e (2) Pilar misto de aço e concreto

Item	Descrição de Serviços	Unid.	Qtde.	Valores Unitários (R\$)				Valor Total (R\$)
				Material	MO/ Serviços	Total Material	Total MO/ Serv.	
1	Pilar de concreto armado (3,10 m)							
1.1	Concreto usinado fck 25MPa	m³	0,31	R\$ 300,00		R\$ 93,00	R\$ -	R\$ 93,00
1.2	Aço 25.0mm CA-50	Br.	4,14	R\$ 215,00		R\$ 890,10	R\$ -	R\$ 890,10
1.3	Aço 6.3mm CA-50	Br.	1,94	R\$ 15,50		R\$ 30,07	R\$ -	R\$ 30,07
1.4	Fôrmas	m	4	R\$ 7,00		R\$ 28,00	R\$ -	R\$ 28,00
1.5	Lançamento do concreto	m³	0,31		R\$ 30,00	R\$ -	R\$ 9,30	R\$ 9,30
1.6	Armador e Servente (Mão-de-obra)	h	6		R\$ 21,60	R\$ -	R\$ 129,60	R\$ 129,60
1.8	Montagem das Fôrmas	m²	4,34		R\$ 27,69	R\$ -	R\$ 120,17	R\$ 120,17
							TOTAL	R\$ 1.300,24
2	Pilar misto (3,10 m)							
2.1	Concreto usinado fck 25MPa	m³	0,165	R\$ 300,00		R\$ 49,51	R\$ -	R\$ 49,51
2.2	Perfil tubular retângular	t	0,34	R\$ 5.950,00		R\$ 2.023,00	R\$ -	R\$ 2.023,00
2.3	Montagem do perfil metálico (Mão de Obra)	unid.	1		R\$ 240,00	R\$ -	R\$ 240,00	R\$ 240,00
2.4	Lançamento do concreto	m³	0,165		R\$ 30,00	R\$ -	R\$ 4,95	R\$ 4,95
2.5	Caminhão munck para içamento do perfil	h	1		R\$ 150,00	R\$ -	R\$ 150,00	R\$ 150,00
2.6	Primer base epóxi	unid.	1	R\$ 104,50		R\$ 104,50	R\$ -	R\$ 104,50
							TOTAL	R\$ 2.571,96

Fonte: Oliveira *et al.* (2019).

Apesar do grande aumento de preço do pilar misto em relação ao pilar em concreto armado, cujo Oliveira *et al.* (2019) justificaram a superioridade do custo por ser orçado apenas um pilar de 3,10 metros de altura, é plausível dizer que a utilização de pilares mistos provoca a redução da seção transversal, reduzindo assim o peso próprio do elemento, tendo um ganho de área útil, diminuição de carga na fundação, e dispensando o uso de formas, dentre outras economias indiretas.

A partir dos resultados obtidos de acordo com Oliveira *et al.* (2019), foi possível constatar os benefícios da utilização de pilares mistos, com a redução de 32,80% na área da seção transversal, 46,77% no consumo de concreto e 6,57% do peso próprio do elemento dimensionado.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento metodológico

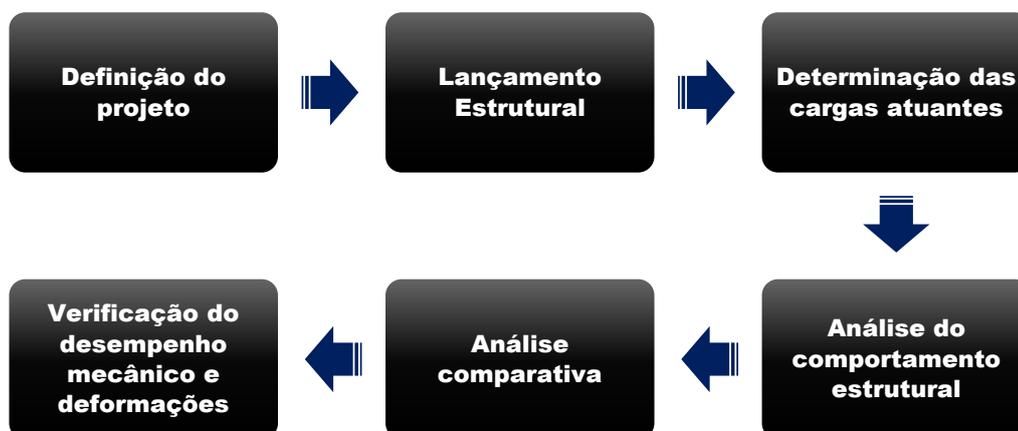
O trabalho por ter caráter científico, pode ser classificado de acordo com diversos critérios. O primeiro critério é com relação a natureza, onde o presente trabalho se classifica como pesquisa aplicada, pois, de acordo com Tumelero (2019), esse tipo de pesquisa tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática em problemas específicos. Já a classificação quanto aos objetivos, o presente trabalho se classifica como pesquisa descritiva. Segundo Gil (2008), a pesquisa deste tipo tem como objetivo primordial a descrição das características de determinado fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis.

Quanto à abordagem do problema, o trabalho tem o caráter quali-quantitativo. Sendo quantitativo pela análise de dados de custo e resistência dos pilares, mas também qualitativos pelos dados bibliográficos obtidos. Já em relação aos procedimentos técnicos, este trabalho está classificado como pesquisa experimental. Sendo o local de estudo programas computacionais, com a obtenção externas de dados, como por exemplo planilhas de custo. E por fim, este trabalho tem como método científico duas classificações, sendo eles: método dedutivo e comparativo. Sendo um método dedutivo por partir de uma situação geral para uma específica e um método comparativo, pois após análise individual de variações de parâmetros e materiais diferentes será realizado uma comparação entre os dois para determinar a sua aplicabilidade em diferentes situações.

3.2 Etapas metodológicas

Como objetivo, o estudo realizado neste trabalho buscou realizar uma análise comparativa entre pilares de concreto armado com seções quadrada, retangular e circular e em diferentes posições de projeto. De acordo com o delineamento metodológico destrinchado no tópico anterior, as etapas metodológicas foram definidas e estão representadas nos subtópicos posteriores. Um resumo dessas etapas está apresentado no fluxograma da Figura 17.

Figura 17 – Fluxograma de atividades metodológicas



Fonte: O Autor (2021).

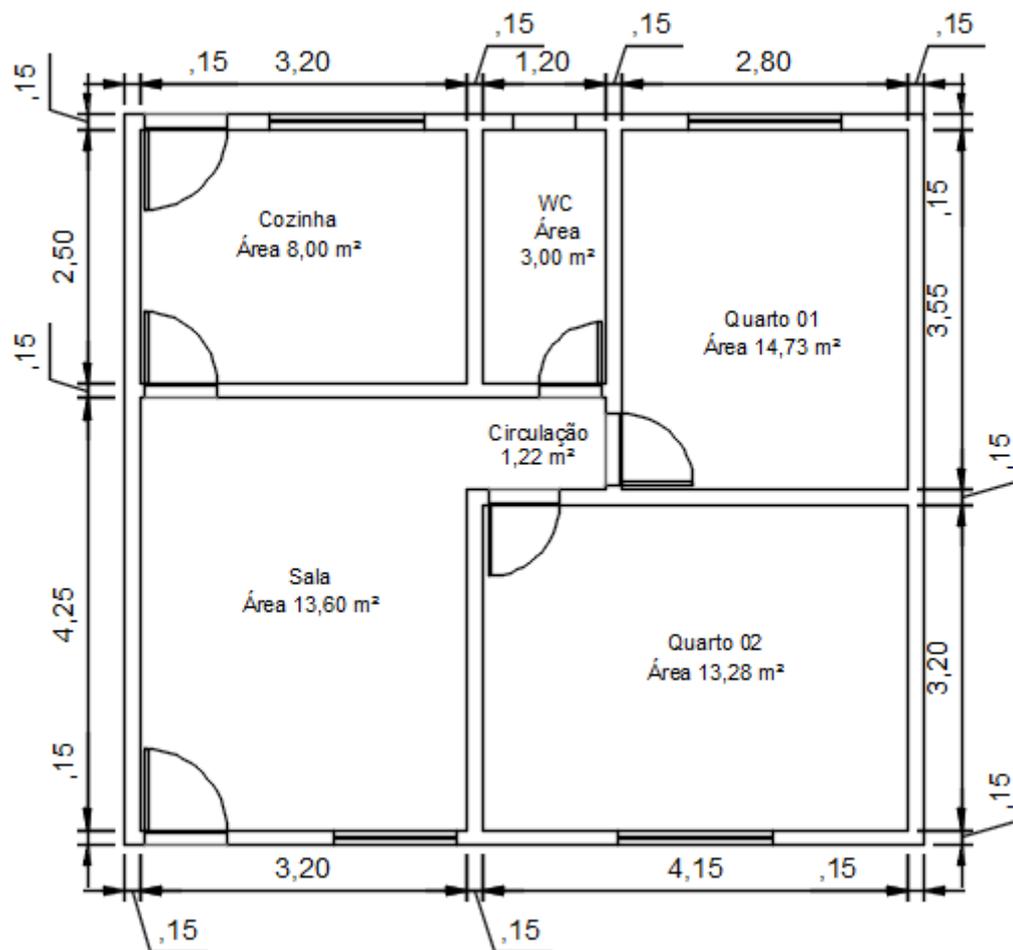
3.2.1 Definição do projeto

Foi utilizado um projeto arquitetônico de uma edificação residencial simples, unifamiliar, e de baixo custo. O projeto é considerado padrão de obras de interesse social, mas que abrange todas as situações de carga de pilares que se almeja analisar no presente estudo. A edificação possui somente o pavimento térreo com laje maciça em concreto armado e cobertura com telhas cerâmicas. Segue abaixo um resumo das características da edificação, utilizados na análise da estrutura:

- ✓ Edificação residencial unifamiliar;
- ✓ Laje maciça em concreto armado;
- ✓ Carga total sobre lajes incluindo peso próprio, alvenarias, revestimentos, cargas variáveis e telhado;
- ✓ Vigas de seção retangular;
- ✓ Classe de agressividade “II”;
- ✓ $F_{ck} = 25 \text{ Mpa}$

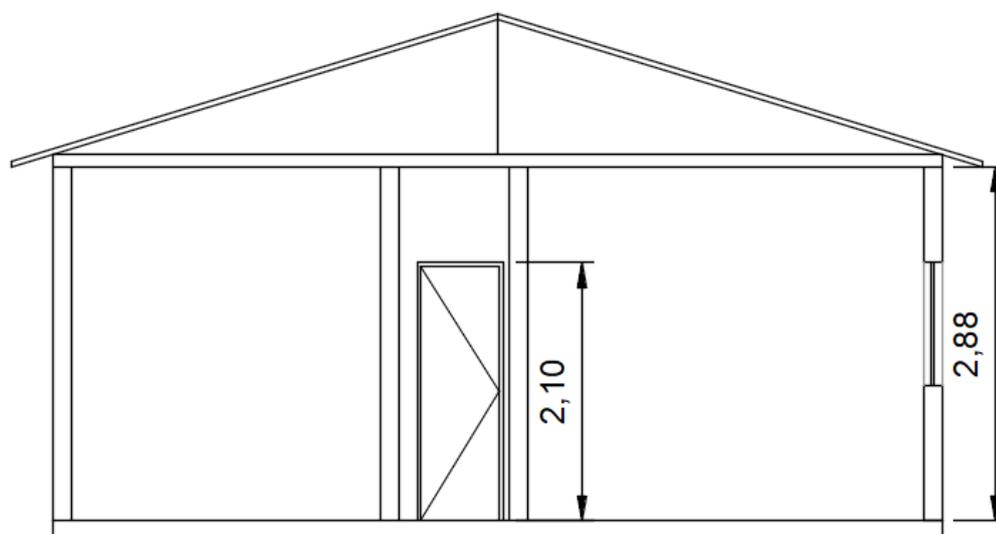
O projeto base utilizado pode ser visto na Figura 18, e posteriormente pode ser visto na Figura 19 um corte esquemático da residência utilizada no trabalho.

Figura 18 – Planta baixa de projeto para estudo



Fonte: O Autor (2021).

Figura 19 – Corte esquemático da residência



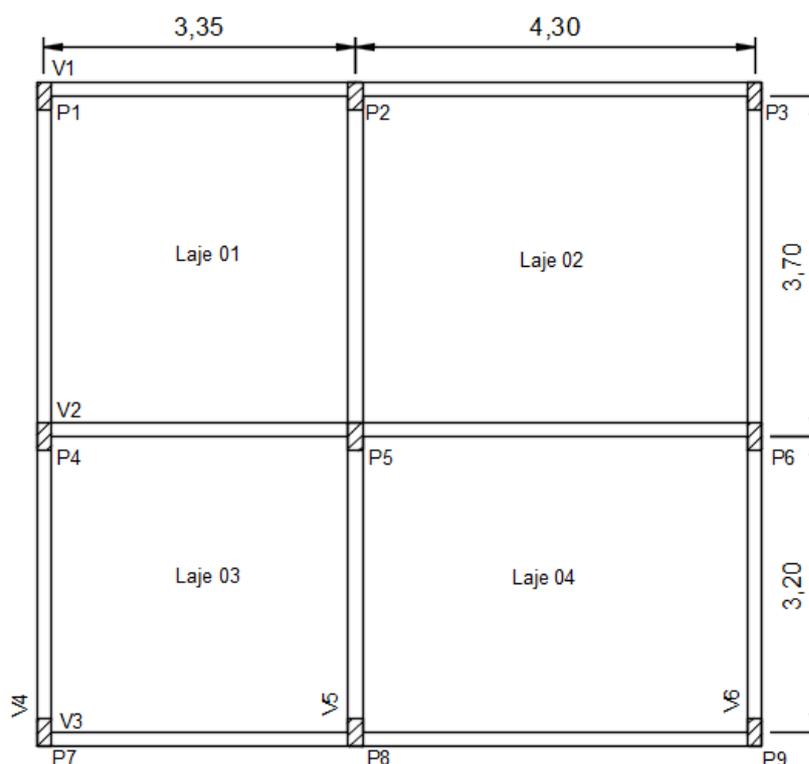
Fonte: O Autor (2021).

As lajes e vigas são apenas pré-dimensionadas neste trabalho. Porém faz-se necessário ter em mãos as cargas e sobrecargas que atuam nesses elementos, já que estes encaminham essas cargas para os pilares e com essas cargas que os pilares serão dimensionados e posteriormente analisados. Sendo assim no subtópico posterior será detalhado como essas cargas serão deduzidas.

3.2.2 Lançamento estrutural

Com a definição da planta baixa utilizada para realizar as análises dos pilares, realizou-se o lançamento das estruturas que terão como função dar suporte para a edificação e encaminhar as cargas para o solo. Foram definidos pilares, vigas e lajes, utilizando pré-dimensionamentos convencionais, de forma a obter dimensões aproximadas e viáveis. Buscou-se um espaçamento médio entre os elementos estruturais, de modo que a distância entre pilares não ficasse pequenas demais, podendo ocorrer interferência nas fundações dos elementos, e não muito distantes a ponto de sobrecarregar demais os pilares. O lançamento estrutural pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 – Lançamento de Estrutura



Fonte: O Autor (2021).

Percebe-se que foi utilizada uma quantidade mínima de pilares, pensando sempre no espaçamento adequado entre eles, de forma que o comportamento de um não influencie negativamente no comportamento do outro, e lembrando que não existe projeto certo ou errado, mas aquele que se aproxima mais da solução ótima.

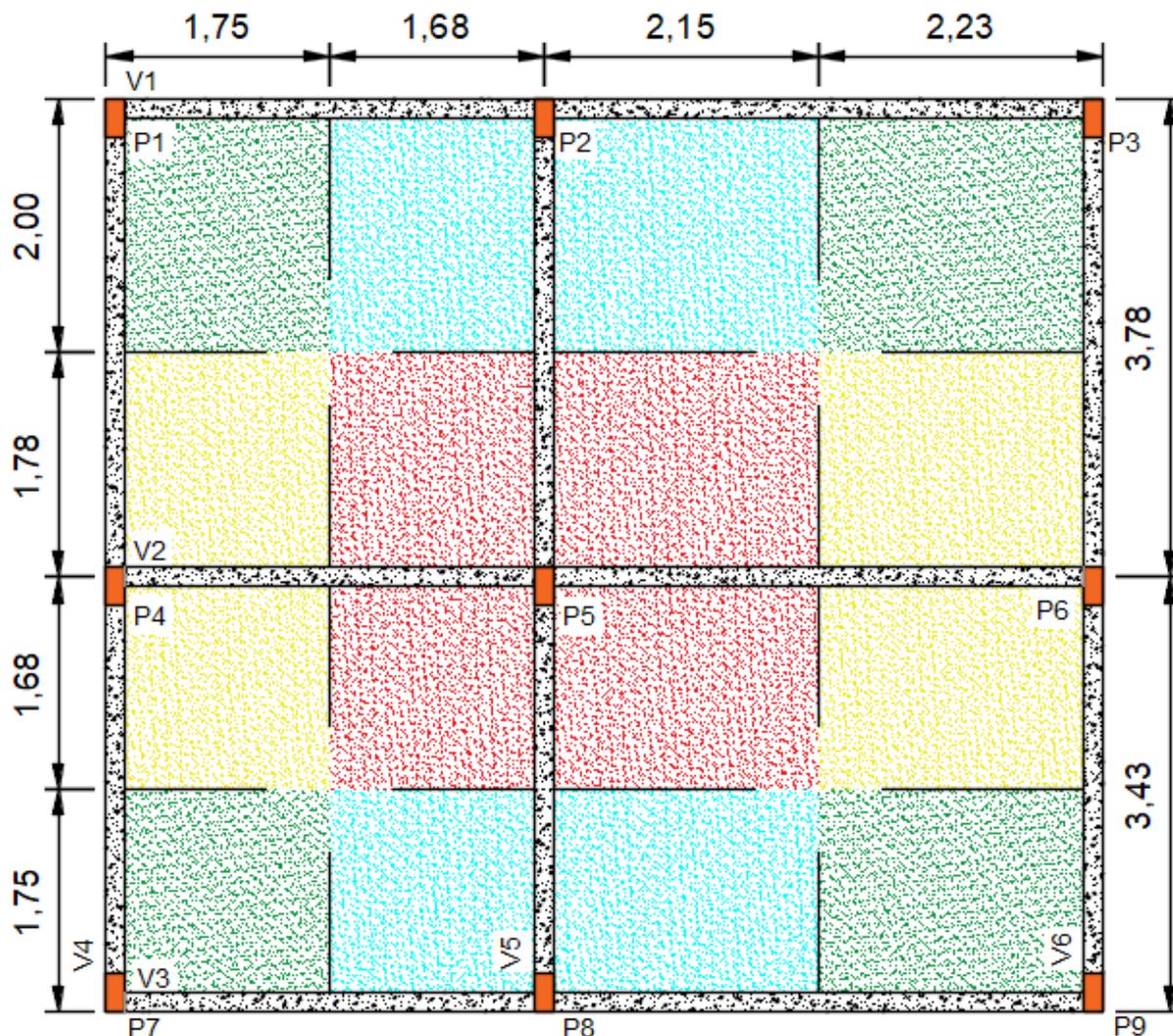
As dimensões dos elementos que aparecem no lançamento das estruturas, são baseadas na ABNT NRB 6118 (2014), que diz que a área mínima de pilares tem que ser maior ou igual a 360 cm^2 e com dimensões iguais ou maiores que 19 cm. Porém, em casos especiais, admite-se que uma das dimensões seja de, até, 14 cm, desde que a área da seção seja maior ou igual a 360 cm^2 e que essa redução seja compensada por uma majoração nas cargas de cálculo.

Com base em cálculos pela regra das áreas de influência dos pilares, é possível confirmar que a seção é suficiente para suportar as cargas atuantes no pilar que será mais carregado. No subtópico a seguir será apresentado esse processo de determinação das dimensões a partir de uma suposição das cargas atuantes no projeto.

3.2.3 *Pré-dimensionamento dos pilares*

O carregamento de um pilar se altera em cada pavimento e pode ser estimado pelo método das áreas de influência. O método das áreas de influência é um processo geométrico usado para estimar as cargas verticais, ou seja, a força normal, nos pilares da estrutura. A cada pilar está associada uma determinada área de influência e cada área de influência é responsável por uma carga. Para a definição das áreas de influência, devem ser traçadas as mediatrizes dos seguimentos que unem os pilares, como apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Traçado das mediatrizes dos seguimentos que unem os pilares



Fonte: O Autor (2021).

Após a verificação da área de influência, deve-se considerar que a carga vertical por pavimento em um edifício, ou a carga distribuída no pavimento, é composta por cargas permanentes e acidentais, estando incluídos o peso próprio da laje, o peso das paredes e revestimentos e as cargas acidentais. A carga irá se acumulando nos pilares de cima para baixo. Assim, os pilares dos níveis inferiores receberão maiores cargas, o que indica uma maior necessidade de capacidade resistente.

Para este trabalho, será utilizada a estimativa de carga estipulada por Melo (2013) que afirma que é possível considerar, de maneira aproximada, a carga de 12 kN/m² em pavimentos de edifícios com laje maciça ou nervurada, com paredes em tijolos cerâmicos. Este valor já inclui todas as cargas atuantes no pavimento, como

peso próprio da estrutura (lajes, vigas e pilares), alvenarias, revestimentos e cargas variáveis.

A carga do telhado por unidade de área também foi adotada segundo Melo (2013) como sendo igual a 1,2 kN/m², considerando telhas cerâmicas com madeiramento. Neste valor de carga já está considerada a ação horizontal, ou ação de sobrepressão.

Com isso, a força normal estimada no pilar é representada pelo produto entre a carga estimada e a área de influência, já que para o presente estudo não teremos a presença de pavimentos acima da seção analisada. E cada pilar foi calculado individualmente, como mostram os dados da Tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo das cargas no topo dos pilares

Pilar	Área de influência do pavimento (m ²)	Carga gerada pelo pavimento (kN/m ²)	Carga no topo do pilar (kN)
P1	1,68 x 1,85 = 3,108	13,2	41,03
P2	3,83 x 1,85 = 7,086		93,53
P3	2,15 x 1,85 = 3,978		52,50
P4	1,68 x 3,45 = 5,796		76,51
P5	3,83 x 3,45 = 13,214		174,42
P6	2,15 x 3,45 = 7,418		97,91
P7	1,68 x 1,60 = 2,688		35,48
P8	3,83 x 1,60 = 6,128		80,89
P9	2,15 x 1,60 = 3,440		45,41

Fonte: O Autor (2021).

Fazendo uma análise pelo pilar que está mais carregado, que no caso é o pilar de centro, é possível conferir os valores de área de seção transversal aproximados. Para o estudo proposto no trabalho o fck adotado foi de 25 Mpa, adotando, unicamente para efeito de pré-dimensionamento, um concreto de baixa resistência no cálculo da área inicial do pilar, com tensão admissível de cálculo de 12,5 MPa, o que nem é permitido por norma, mas está a favor da segurança por resultar em pilares mais robustos, de acordo com Melo (2013), tem-se que a seção mínima para suportar a carga de 174,42 kN é:

$$A = \frac{\text{Carga no topo do pilar}}{Fck} = \frac{174,42 \text{ kN}}{1,25 \text{ kN/cm}^2} = 139,54 \text{ cm}^2$$

Contudo, a área de 139,54 cm² para um pilar é menor que a permitida por norma, então adotou-se 360 cm² para todos os pilares.

Para pilares quadrados, optou-se por utilizar a dimensão mínima estabelecida em norma, igual a 19 cm, o que não é comum já que isso vai gerar um "dente" na alvenaria de uma residência unifamiliar. Já para pilares retangulares, reduziu-se a dimensão para 15 cm de base e 24 cm de altura, que também é permitida por norma, mas desde que essa redução seja compensada por uma majoração nas cargas de cálculo. A Tabela 2 mostra as novas cargas majoradas pelo coeficiente estabelecido para essa dimensão.

Tabela 2 – Cálculo das cargas ponderadas no topo dos pilares

Pilar	Carga no topo do pilar (kN)	Fator de ponderação	Carga ponderada no topo do pilar (kN)
P1	41,03	1,2	49,23
P2	93,53		112,23
P3	52,50		63,00
P4	76,51		91,81
P5	174,42		209,30
P6	97,91		117,49
P7	35,48		42,58
P8	80,89		97,07
P9	45,41		54,49

Fonte: O Autor (2021).

Contudo, podemos perceber que mesmo com a ponderação as dimensões ainda podem ser utilizadas por ainda estarem dentro do valor de área permitido. Por fim, para a solução de seção circular cheia, adotou-se o diâmetro de 21,5 cm buscando efeito de modo semelhante, obedecendo a ABNT NBR 6118 (2014).

Segue nos apêndices do trabalho os lançamentos dos elementos estruturais que incluem os pilares com diferentes geometrias, que serão analisados no presente trabalho.

A nomeação dos elementos estruturais apresentadas no lançamento, é de grande importância para o engenheiro que irá seguir tudo o que está anotado no projeto, para executar a obra. Dito isto, quanto mais informações tiver melhor, não só as nomeações, mas também dados sobre as armaduras, seções, cobrimentos, tipos de aço que serão utilizados entre outras.

3.2.4 Análise do comportamento estrutural

Com as definições de dimensões e suposição de cargas atuantes, a etapa seguinte é fazer uma análise do comportamento dos elementos estruturais, verificando seus momentos totais e áreas de aço necessárias. Os pilares serão analisados de maneira analítica, de acordo com a metodologia estabelecida nas normas ABNT NBR 6118 (2014) para concreto armado e por meio de softwares, como o *Excel* e o *Ftool*. As dimensões aplicadas no lançamento estrutural serão verificadas, de forma a garantir a segurança do projeto e permitir a análise comparativa posterior.

Para a solução em concreto armado, será utilizado um dos métodos do pilar-padrão, métodos aproximados previsto na norma ABNT NBR 6118 (2014) para casos com considerações dos efeitos de segunda ordem, denominado método do pilar-padrão com curvatura aproximada.

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), esse método aproximado pode ser aplicado apenas no cálculo de pilares com $\lambda \leq 90$, com seção constante e armadura simétrica ao longo do seu comprimento longitudinal. A não-linearidade geométrica é considerada de modo aproximado, presumindo que a curva de deformação do pilar seja senoidal. A não linearidade física é levada em conta por meio de uma expressão aproximada da curvatura da seção crítica.

Outro método do pilar padrão que também é muito aplicado, é o método do pilar-padrão com rigidez “k” aproximada. Neste método também é aplicada somente no cálculo de pilares com $\lambda \leq 90$, o que o difere do método descrito anteriormente, é que para este, a não-linearidade física é considerada por meio de uma expressão aproximada de rigidez. De acordo com um trabalho realizado por Casagrande e Silva (2011), o método do pilar-padrão com curvatura aproximada, apresenta resultados de seção de área menor em relação ao método do pilar padrão com rigidez “k” aproximada, dando assim uma economia maior. Com isso no presente trabalho foi utilizado o método do pilar-padrão com curvatura aproximada para a obtenção dos resultados. Segue na Tabela 3, um passo a passo de como foram feitos estes cálculos.

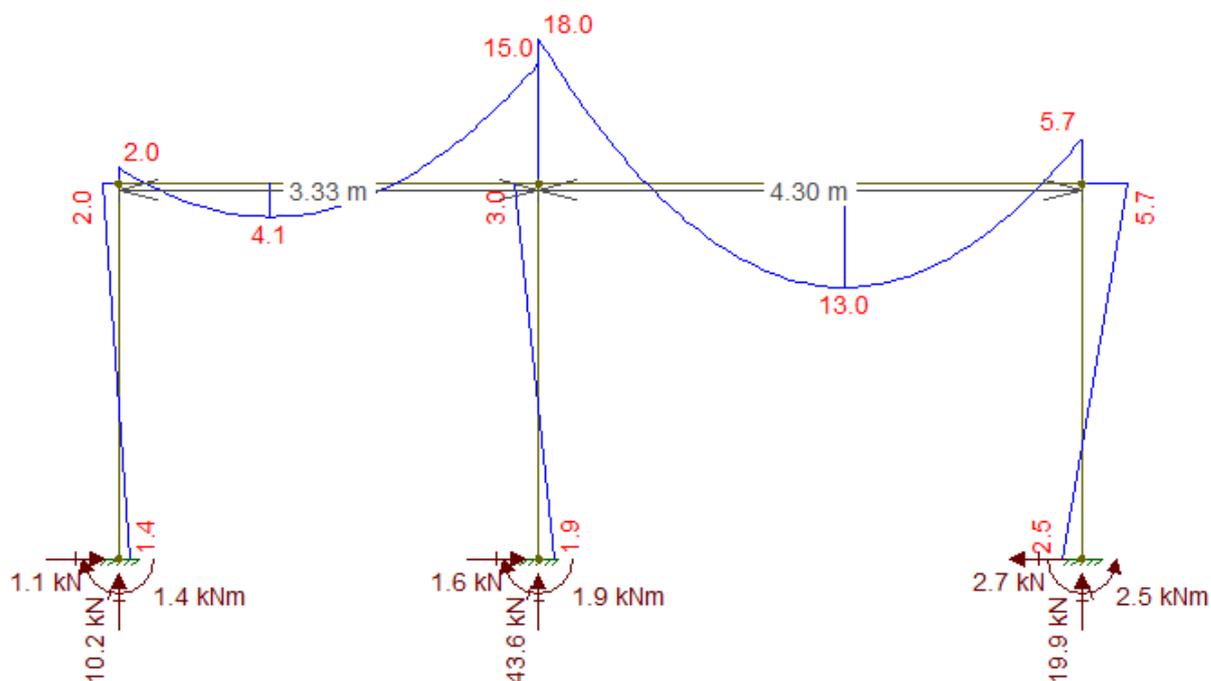
Tabela 3 – Etapas de cálculos para obtenção dos momentos totais e seção de aço

Etapa	Descrição	Equações necessárias
1	Cálculo da esbeltez	$\lambda = 3,46 \cdot \frac{le}{h}$
2	Momentos mínimos para x e y.	$M_{mín} = (0,015 + 0,03 \cdot h) \times Nd$
3	$1/r =$ curvatura na seção crítica para x e y.	$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h(v + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$
4	Momentos mínimos para efeito de 2ª ordem em x e y.	$M_2 = Nd \cdot \left(\frac{le^2}{10}\right) \cdot \left(\frac{1}{r}\right)$
5	Cálculo do Momento Total	$M_{d,tot.x} = ab \cdot M_{1d,A} + M_2 \geq M_{1d,A}$
6	Seção de aço (As)	$A_s = \frac{w \cdot Ac \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$

Fonte: O Autor (2021).

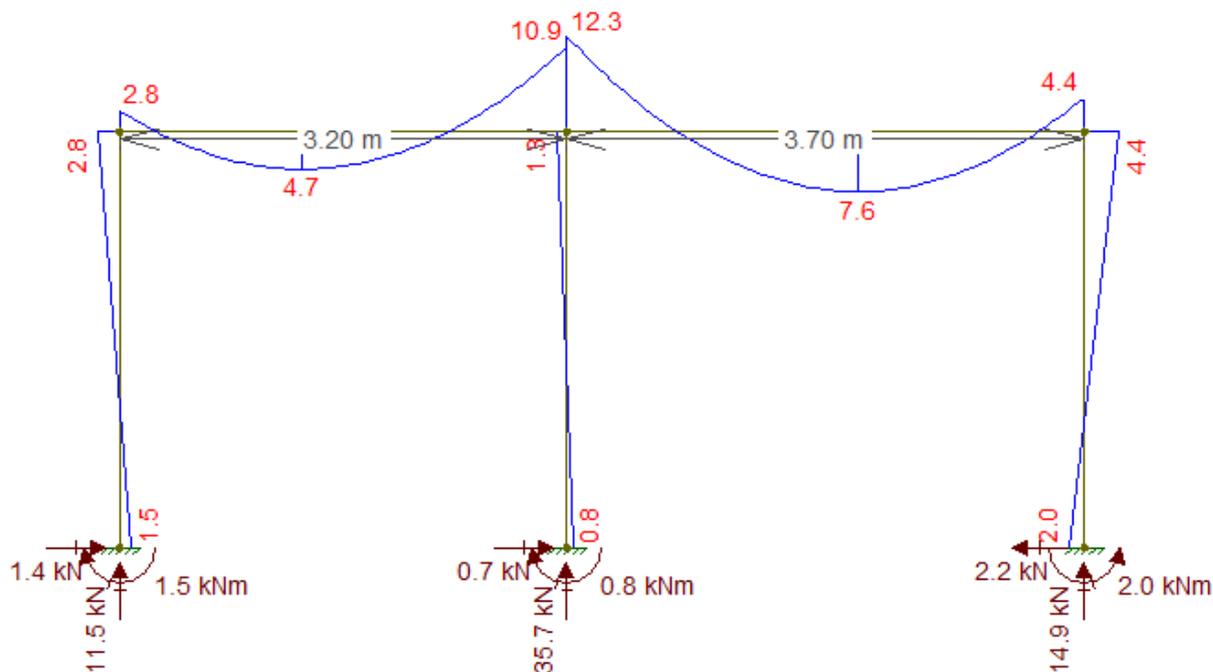
Para a obtenção dos momentos iniciais foram modelados pórticos no Ftool e com as cagas que são descarregadas nas vigas, pode obter os momentos iniciais atuantes e as cargas descarregadas nas extremidades dos pilares. Segue abaixo na Figura 22 e Figura 23, modelos de pórticos modelados no Ftool.

Figura 22 – Modelo de pórtico para obtenção das cargas e momentos atuantes.



Fonte: O Autor (2021).

Figura 23 – Modelo de pórtico para obtenção das cargas e momentos atuantes.



Fonte: O Autor (2021).

3.2.5 Análise comparativa

Para a análise comparativa serão escolhidos pilares em três posições diferentes, sendo eles um pilar de centro, de borda e de canto, podendo assim analisar os elementos em diferentes situações, incluindo cargas diferentes que irão chegar nos mesmos. O pilar de centro é o que supostamente está mais carregado, por estar recebendo cargas de todos os seus lados. Essas cargas são provenientes das vigas que se apoiam no elemento, vigas essas que estão com as cargas do seu peso próprio, revestimento, possíveis cargas de alvenaria e além dessas, as vigas ainda recebem todas as cargas que as lajes estão encaminhando para elas. Porém, essa posição fornece ao pilar a vantagem de ficar totalmente travado em todas as direções.

Com o pilar de borda (extremidade), acontece o descarregamento de cargas de três lados, deixando-o livre sem a chegada de carga por um dos lados de algum dos eixos. Isso acaba resultando no surgimento de um momento na mesma direção, o que pode deixar o pilar instável se não estiver dimensionado corretamente para resistir a tal esforço. O que tem que ser bem verificado nos pilares de canto, já que não ficam travados na direção de nenhum dos eixos, ficando livres para surgir

momentos fletores de ambos as direções, já que estão submetidos a flexão composta oblíqua.

Como no pilar de canto ocorrem momentos fletores de 1ª ordem nas duas direções principais, já que o mesmo não está travado em nenhuma direção, ambas as seções de extremidade (topo e base) devem ser analisadas, já que dependendo dos valores e combinação dos momentos fletores nas duas direções, a situação mais crítica pode ser tanto no topo como também na base (BASTOS, 2020).

Serão realizadas comparações entre os pilares modelados e analisados anteriormente, fazendo uso do método do pilar padrão com curvatura aproximada, de modo a obter dados de momentos e áreas para os pilares estudados, podendo assim realizar as comparações necessárias para se alcançar uma conclusão sobre o estudo do presente trabalho. Os dados serão apresentados em forma de gráfico, de maneira a facilitar a análise e interpretação dos dados obtidos.

A composição de custos será verificada por tabelas de custo unitário, como as da SEINFRA. Nessa tabela, já é disponibilizado dados suficientes para obtermos os resultados de custo de cada elemento, já com suas respectivas especificações de material utilizado na sua composição, custo de execução entre outros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Será apresentado neste capítulo os resultados para os dimensionamentos dos pilares de centro, borda e canto, variando suas geometrias.

4.1 Análise do comportamento estrutural

Para se obter os dados que serão necessários para as comparações entre pilares, se faz necessário fazer cálculos de acordo com metodologias pré-estabelecidas, dando preferências às utilizadas em normas técnicas. Inicialmente os pilares que serão analisados, obtidos do projeto em questão, localizados em diferentes pontos da estrutura.

4.1.1 Pilar de centro (P5)

Para o cálculo do pilar de centro, foi escolhido o P5 no projeto estudado, por ser o único em tal posição. São apresentados na Tabela 4 os dados obtidos até a obtenção da armadura e para efeito de comparação, foi adicionado à tabela o Md.tot.y (Momento total em y).

Tabela 4 – Dados obtidos para o pilar P5 (Centro)

Pilar de Centro	Seção Retangular (15 x 24) cm	Seção Quadrada (19 x 19) cm	Seção Circular D = 21,5 cm
Fck (Mpa)	25	25	25
Nd (kN)	405,38	345,80	346,36
Md.tot.x (kN.cm)	1.781,84	1.444,07	1.388,92
Md.tot.y (kN.cm)	1.519,54	1.444,07	1.388,92
λ_x	66,43	52,45	53,58
λ_y	41,52	52,45	53,58
λ_{1x}	35	35	35
λ_{1y}	35	35	35
As (cm²)	7,36	3,14	4,71
Ø (mm)	6 Ø 12,5	4 Ø 10	6 Ø 10

Fonte: O Autor (2021).

Fazendo os cálculos para o pilar retangular e obtendo a esbeltez e a esbeltez limite para x e y, foi constatado que para ambos os eixos de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), teve que ser considerado os momentos de segunda ordem, já que λ (esbeltez) tanto para x quanto para y, é menor que a λ_1 (esbeltez limite) de ambos os eixos, para ambos as seções analisadas.

Um detalhe nos resultados que chama a atenção, é a diferença discrepante entre as cargas (Nd) da seção retangular para as seções quadrada e circular. Isso se deve pelo fato de que para a seção retangular, foi adotado uma largura com dimensão abaixo do mínimo especificado pela norma ABNT NBR 6118 (2014), onde a mesma cita que para poder usar uma seção menor que 19 cm, deve ponderar essa dimensão com coeficientes já disponibilizados por ela. Para a seção de 15 cm adotada, a carga foi ponderada fazendo uso do coeficiente de ponderação no valor de 1,2.

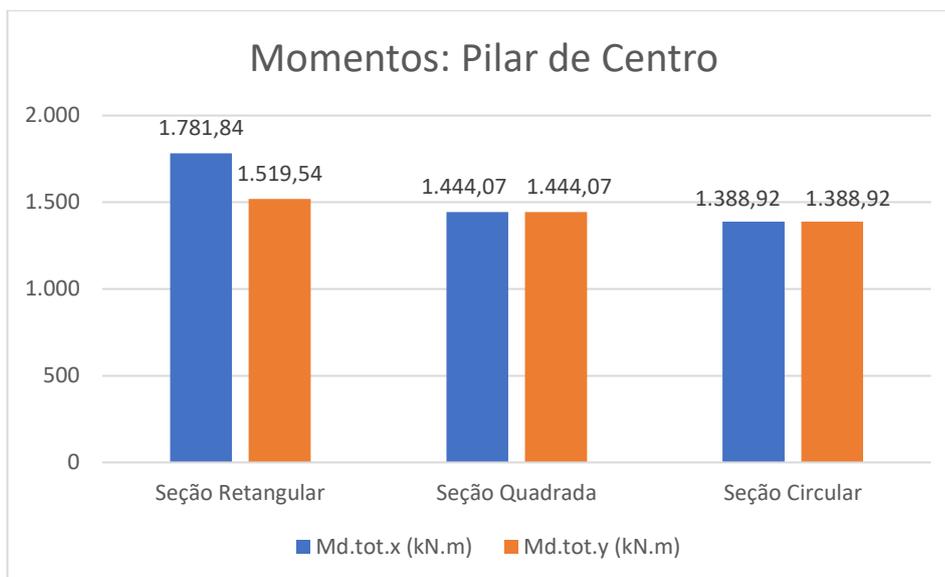
Vale ressaltar que nos pilares retangulares é suficiente analisar apenas a direção da largura do pilar, que configura a direção crítica e aquela que conduz à armadura final, já nos pilares de seção quadrada e circular, ambos os eixos apresentam dados iguais.

Olhando os dados exposto na tabela, é possível observar que para ambas as seções se obteve esbeltez limite menores que a esbeltez inicial, com isso foi calculado com o método do pilar padrão com curvatura aproximada os momentos totais, obtendo assim os momentos mais críticos para as seções e com eles pode-se calcular as áreas de seção de aço necessária para os pilares. Para as seções quadrada e circulares, como as dimensões de ambos os eixos são iguais, os momentos em x e y obtidos são de mesmos valores.

Como a carga para o pilar de seção retangular é maior por conta da ponderação, acaba que para a seção escolhida a área de aço fica superior em comparação as outras geometrias que só foram necessários números mínimos de barras longitudinais e também a seção de aço mínima permitida por norma, que para seção retangular e quadrada são 4 barras de 10 mm e para seção circular 6 barras de 10 mm.

No Gráfico 1 é apresentado as comparações das áreas de aço e os momentos para os eixos x e y. Lembrando que para a obtenção da seção de aço, é utilizado os momentos críticos atuantes no pilar.

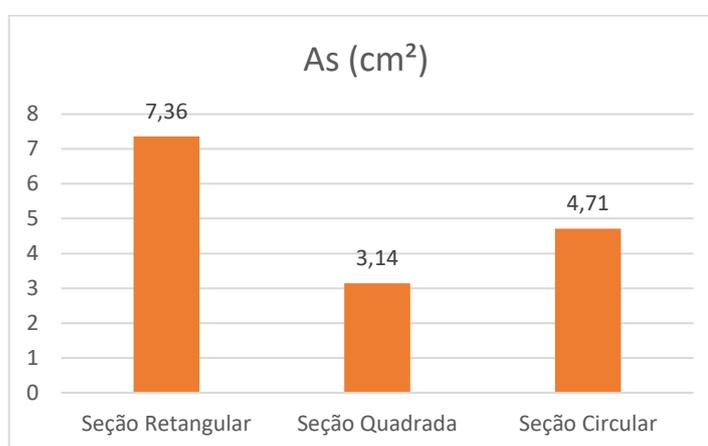
Gráfico 1 – Momentos totais no pilar de centro



Fonte: O Autor (2021).

Olhando o gráfico é possível identificar o momento mais crítico que está atuando no elemento, e com ele é obtido a área de aço apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Área de aço para o pilar de centro



Fonte: O Autor (2021).

Para as seções quadrada e circular como os momentos são iguais, devido ao cálculo do momento total utilizar os mesmos dados para calcular ambos os eixos, é utilizado qualquer um dos momentos, já que são idênticos. Devido as cargas não muito elevadas, tanto para o pilar de seção quadrada quanto o de seção circular, passaram com áreas de aço mínima.

4.1.2 Pilar de borda ou extremidade (P4)

Para o pilar de borda, temos os N_d que são as cargas com suas devidas ponderações, como já foi detalhado no tópico anterior. Já em relação aos momentos, é possível analisar de início que para os cálculos do P4, foram utilizados os momentos iniciais, já que para a posição deste elemento, um de seus eixos ficam travados por terem vigas chegando por ambos os lados, com isso é desconsiderado os momentos atuantes já que de acordo com a norma ABNT NBR 6118 (2014), os momentos ocasionados pelas vigas que atuam no elemento se anulam, isso para o eixo y levando em consideração a posição do P4. Na

Tabela 5 são apresentados os dados obtidos por meio de cálculos para o pilar de borda (P4).

Tabela 5 – Dados obtidos para o pilar P4 (Borda)

Pilar de Borda	Seção Retangular (15 x 24) cm	Seção Quadrada (19 x 19) cm	Seção Circular D = 21,5 cm
Fck (Mpa)	25	25	25
Nd (kN)	119,28	98,14	98,00
Md.x (kN.cm)	1528,80	924,00	896,00
Md.y (kN.cm)	-	-	-
λ_x	66,43	52,45	53,58
λ_y	41,52	52,45	53,58
λ_{1x}	66,56	65,90	65,62
λ_{1y}	65,39	65,90	65,62
As (cm²)	5,18	3,14	4,71
\emptyset (mm)	6 \emptyset 12,5	4 \emptyset 10	6 \emptyset 10

Fonte: O Autor (2021).

Diferente do que ocorre com o eixo y , em x tem-se o elemento viga chegando por apenas um de seus lados, fazendo assim com que surjam momentos que devem ser considerados. Porém, mesmo com momentos atuantes conhecidos, é necessário fazer a verificação da esbelteza para que possa dar seguimento aos cálculos para a obtenção das seções de aço.

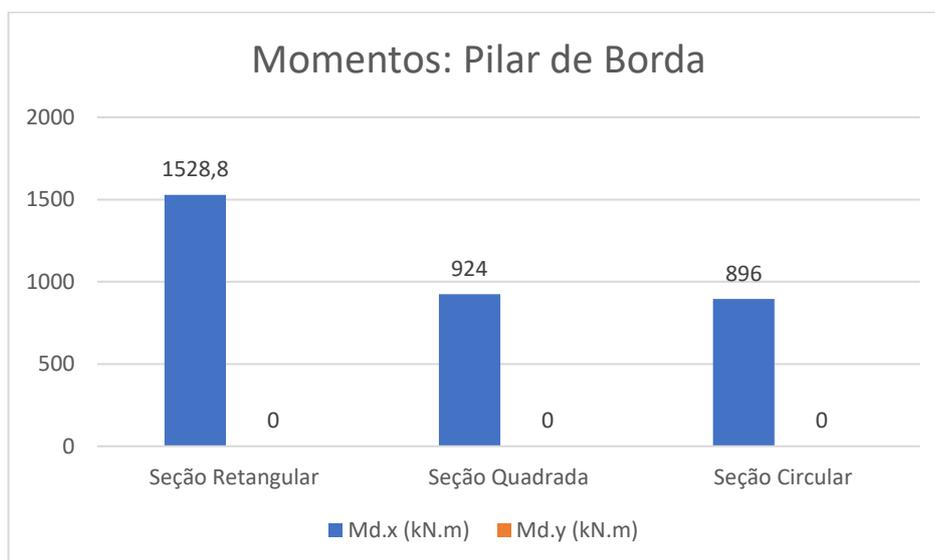
Como foi verificado que o momento crítico atuante em ambas as geometrias, era o momento em x , foi comparada a esbelteza com a esbelteza limite do eixo, e visto que $\lambda_x < \lambda_{1x}$ pode-se descartar os momentos de 2ª ordem. Com isso,

fazendo uso dos $Md.x$ (Momentos iniciais) foram obtidas as seguintes áreas de seção de aço apresentadas na tabela abaixo.

O mesmo que ocorreu no P5, se repetiu no P4 com as áreas e quantidade de bitolas e seção de aço adotadas. Para o pilar de seção retangular devido sua carga superior, foi adotada 6 barras de 12,5 mm e para a seção quadrada e circular foram adotadas as mínimas descritas em norma, devido a carga baixa que esses pilares recebem ao ser comparados com os de posições mais desfavoráveis.

No Gráfico 3 é apresentado os valores dos momentos para melhores entendimentos dos valores expostos na tabela anterior, podendo assim fazer uma comparação visual dos dados.

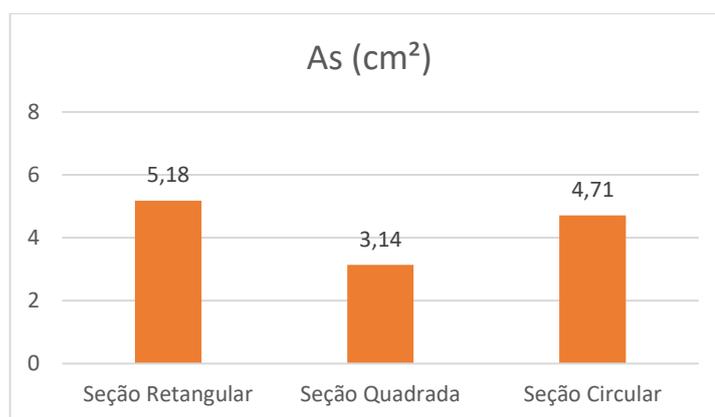
Gráfico 3 – Momentos totais no pilar de borda



Fonte: O Autor (2021).

Como foi dito, para o pilar nessa posição (borda) é desprezado os momentos que estão atuando no eixo travado por vigas em ambas as direções, deixando assim o elemento livre dos momentos em y para efeito de cálculo. No Gráfico 4 são apresentadas as áreas para o pilar de borda.

Gráfico 4 – Área de aço para o pilar de borda



Fonte: O Autor (2021).

Repetindo os resultados obtidos no dimensionamento do P5, e como já foi descrito, para os pilares de seção quadrada e retangular, foram necessários apenas seções mínimas de aço e um número mínimo de bitolas para ambos.

4.1.3 Pilar de canto (P3)

Por fim, a seguir é apresentado na Tabela 6 os dados obtidos para o dimensionamento do pilar de canto P3.

Tabela 6 – Dados obtidos para o pilar P3 (Canto)

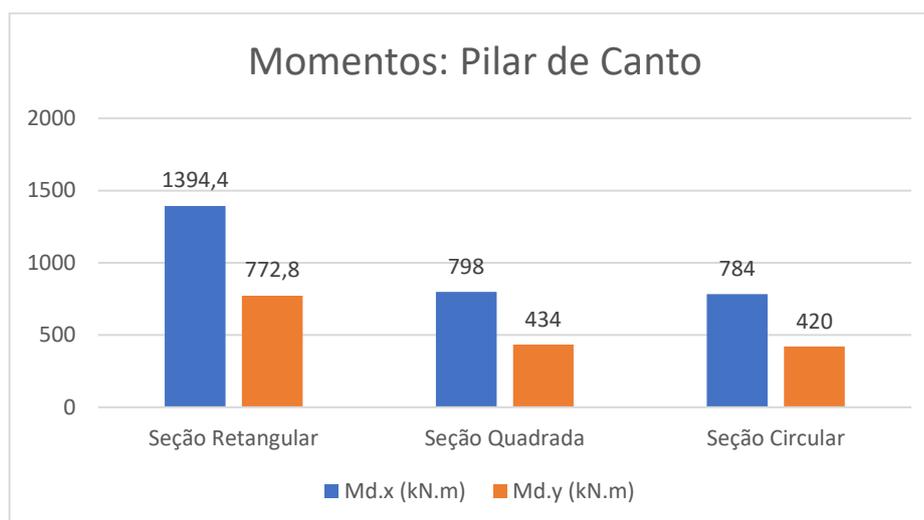
Pilar de Canto	Seção Retangular (15 x 24) cm	Seção Quadrada (19 x 19) cm	Seção Circular D = 21,5 cm
Fck (Mpa)	25	25	25
Nd (kN)	57,96	47,32	47,04
Md.x (kN.cm)	1394,40	798,00	784,00
Md.y (kN.cm)	772,80	434,00	420,00
λx	66,40	52,45	53,58
λy	41,50	52,45	53,58
λ1x	62,40	62,09	61,24
λ1y	61,30	62,09	61,24
As (cm²)	3,14	3,14	4,71
Ø (mm)	4 Ø 10	4 Ø 10	6 Ø 10

Fonte: O Autor (2021).

Nessa posição o pilar recebe carga de viga tanto da direção do eixo x, como também do eixo y, não sendo travado em nenhuma dessas direções, ocasionando assim momentos em ambos os eixos, que são os momentos iniciais.

Observando os dados encontrados, é possível perceber que as cargas que atuam no pilar estudado, são bem baixas em comparação com as cargas para os pilares de borda e principalmente para o pilar de centro. Para as seções quadrada e circular foram considerados os momentos de 2ª ordem em ambos os eixos, já para o pilar de seção retangular, foi considerado o momento de 2ª ordem para no eixo x, porém ao fazer a verificação, o mesmo ficou abaixo do momento inicial, sendo assim desconsiderado. No Gráfico 5 são apresentados os momentos para ambos os eixos das seções, podendo observar os momentos críticos utilizados nos cálculos.

Gráfico 5 – Momentos totais no pilar de canto



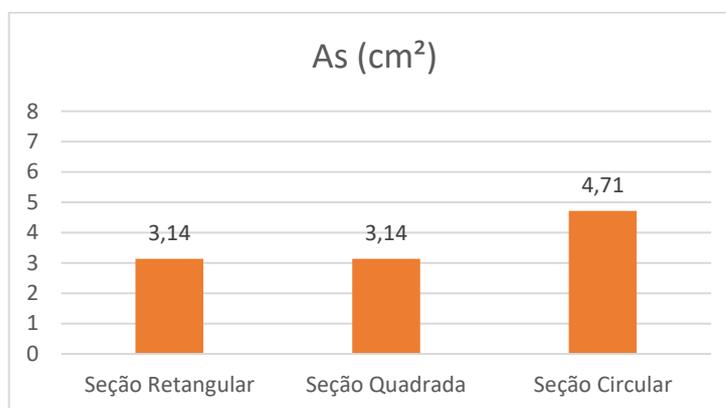
Fonte: O Autor (2021).

Fazendo uma breve observação sobre os dados apresentados no gráfico, que para os pilares de seção quadrada e retangular, foram obtidos momentos diferentes para o pilar de canto, isso deve pelo fato de que o eixo x está recebendo mais cargas em x, gerando um maior momento inicial, devido a viga que está na direção deste eixo ser maior que a viga que está descarregando no pilar pelo eixo y, e que está recebendo menos cargas da laje.

Devido as baixas cargas atuantes nos elementos, foi possível dimensionar ambos os pilares com seções de aço mínima e número mínimo de bitolas estabelecidos na ABNT NBR 6118 (2014), para os três tipos de pilares. Deixando

assim o pilar circular com a maior área de aço para o pilar de canto, devido sua quantidade mínima de bitolas ser 6. As áreas de aço são apresentadas no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Área de aço para o pilar de canto



Fonte: O Autor (2021).

4.2 Análise de custos de material e execução

Abaixo serão apresentadas as tabelas contendo os dados obtidos para os pilares de canto, borda e centro, analisados anteriormente para momentos fletores e áreas de aço, com suas respectivas seções e gráficos para melhorar a visualização dos dados de custo obtidos. Na Tabela 7 são apresentados os valores de custos para o pilar de canto.

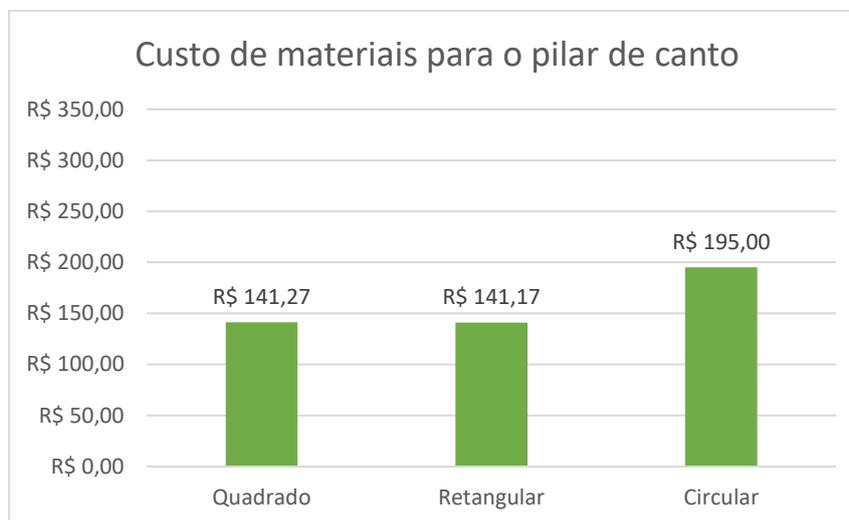
Tabela 7 – Custo de materiais para pilar de canto

	Pilar de Canto	Unid.	Qtde.	Valor Unitário (R\$)	Qtde. de Barras	Valor Total (R\$)
Quadrado	Concreto fck 25 MPa	m³	0,1083	R\$ 315,71	-	R\$ 34,19
	Aço 10,0 mm CA-50	KG	1,85	R\$ 14,47	4	R\$ 107,08
					Total	R\$ 141,27
Retangular	Concreto fck 25 MPa	m³	0,1080	R\$ 315,71	-	R\$ 34,10
	Aço 10,0 mm CA-50	KG	1,85	R\$ 14,47	4	R\$ 107,08
					Total	R\$ 141,17
Circular	Concreto fck 25 MPa	m³	0,1089	R\$ 315,71	-	R\$ 34,39
	Aço 10,0 mm CA-50	KG	1,85	R\$ 14,47	6	R\$ 160,62
					Total	R\$ 195,00

Fonte: O Autor (2021).

No Gráfico 7 é possível fazer uma melhor comparação dos valores obtidos na Tabela 7.

Gráfico 7 – Custo de materiais para o pilar de canto



Fonte: O Autor (2021).

Fazendo uma breve comparação do custo entre as geometrias estudadas é possível observar que o pilar circular, acaba ficando com um custo maior quando ambas as áreas calculadas ficam no mínimo estabelecido por norma. Isso ocorre pelo fato de que para o pilar circular, a restrição de barras mínimas é superior à do pilar quadrado e retangular, e isso acaba influenciando no custo final, já que para o concreto armado não tem uma variação que modifique significativamente o valor, devido aos volumes dos pilares de ambas as geometrias serem aproximados.

Ainda sobre o pilar circular, é possível averiguar que para fazer uso deste elemento, é necessário obter novas maneiras para a montagem da fôrma, já que com madeira é extremamente complicado fazê-la de modo que fique com uma seção circular. Uma alternativa apresentada pela SEINFRA (2020), é a fôrma de papelão resinado tipo estrutubos. Contudo, tal fôrma possui tanto a limitação de diâmetro, onde não são encontradas grandes variações no mercado, e o fato de só poderem ser utilizadas uma única vez, sem a possibilidade de reaproveitamento em caso de pavimentos acima.

Outro ponto sobre o pilar circular que deve ser citado, é a dificuldade para fazer a compatibilização com outros sistemas, como por exemplo a vedação. Pela curvatura do pilar, a execução torna-se diferente da convencional e pode ser inclusive

mais onerosa, sendo um ponto a ser observado no processo de tomada de decisão de projeto.

Na Tabela 8 é apresentado o comparativo para o pilar de borda. Que, como pode ser observado, há uma variação na bitola para o pilar de seção retangular, devido a sua área de aço ser maior que a dos pilares quadrado e circular que mantém suas áreas mínimas de aço, fixando um custo mínimo em ambas.

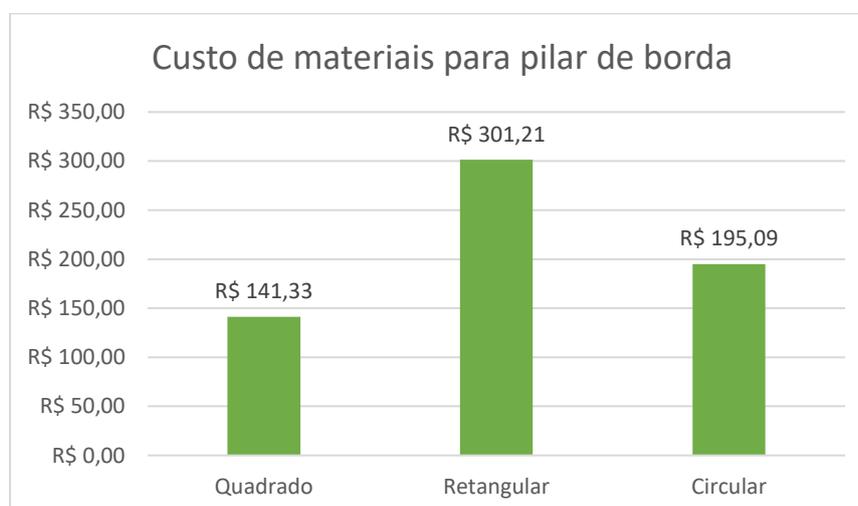
Tabela 8 – Custo de materiais para pilar de borda

	Pilar de Borda	Unid.	Qtde.	Valor Unitário (R\$)	Qtde. de Barras	Valor Total (R\$)	
Quadrado	Concreto fck 25 MPa	m ³	0,1083	R\$ 315,71	-	R\$ 34,19	
	Aço 10,0 mm CA-50	KG	1,85	R\$ 14,47	4	R\$ 107,14	
						Total	R\$ 141,33
Retangular	Concreto fck 25 MPa	m ³	0,1080	R\$ 315,71	-	R\$ 34,10	
	Aço 12,5 mm CA-50	KG	2,89	R\$ 15,41	6	R\$ 267,12	
						Total	R\$ 301,21
Circular	Concreto fck 25 MPa	m ³	0,1089	R\$ 315,71	-	R\$ 34,39	
	Aço 10,0 mm CA-50	KG	1,85	R\$ 14,47	6	R\$ 160,70	
						Total	R\$ 195,09

Fonte: O Autor (2021).

No Gráfico 8 é apresentado o comparativo dos preços para cada seção aplicada no pilar de borda.

Gráfico 8 – Custo de materiais para pilar de borda



Fonte: O Autor (2021).

O mesmo que ocorre para o pilar de borda de seção retangular, se repete no pilar de centro. Sua área de aço é superior à dos pilares quadrado e circular que mantem o custo mínimo para suas respectivas geometrias, deixando assim o pilar retangular com um custo mais elevado, como é mostrado na Tabela 9 e no Gráfico 9.

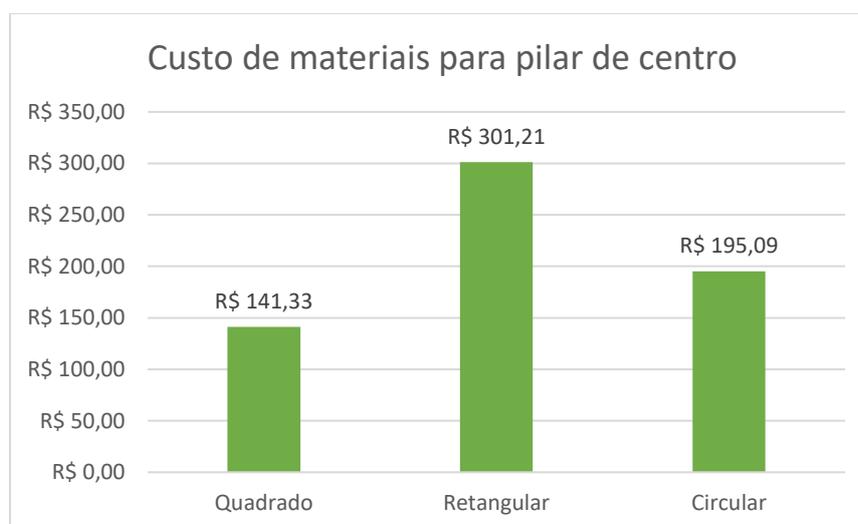
Tabela 9 – Custo de materiais para pilar de centro

	Pilar de Centro	Unid.	Qtde.	Valor Unitário (R\$)	Qtde. de Barras	Valor Total (R\$)	
Quadrado	Concreto fck 25 MPa	m ³	0,1083	R\$ 315,71	-	R\$ 34,19	
	Aço 10,0 mm CA-50	KG	1,85	R\$ 14,47	4	R\$ 107,14	
						Total	R\$ 141,33
Retangular	Concreto fck 25 MPa	m ³	0,1080	R\$ 315,71	-	R\$ 34,10	
	Aço 12,5 mm CA-50	KG	2,89	R\$ 15,41	6	R\$ 267,12	
						Total	R\$ 301,21
Circular	Concreto fck 25 MPa	m ³	0,1089	R\$ 315,71	-	R\$ 34,39	
	Aço 10,0 mm CA-50	KG	1,85	R\$ 14,47	6	R\$ 160,70	
						Total	R\$ 195,09

Fonte: O Autor (2021).

Com isso o pilar de centro e pilar borda acabam ficando com os mesmos custos, por não terem variações entre si nas suas seções e quantidade de aço.

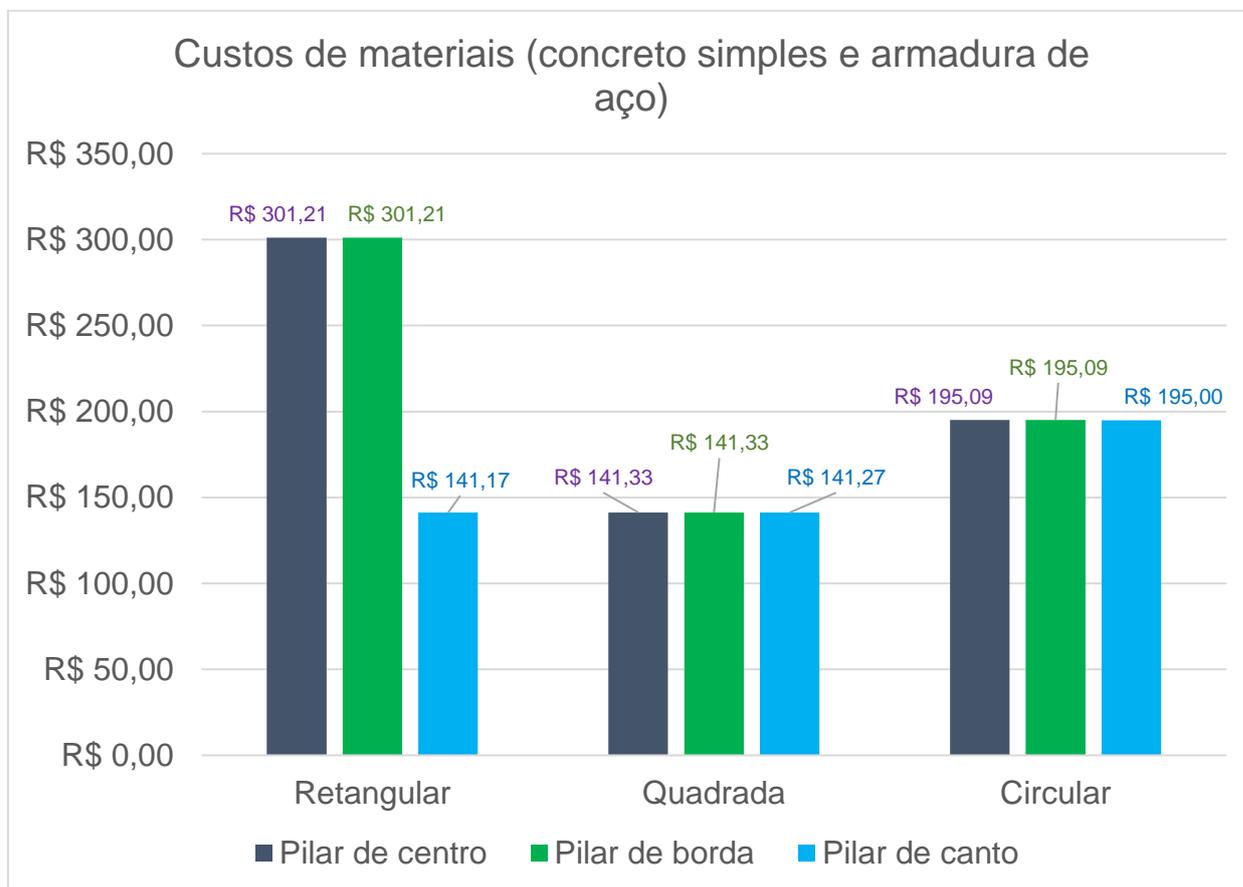
Gráfico 9 – Custo de materiais para pilar de centro



Fonte: O Autor (2021).

No Gráfico 10 a seguir é apresentado o resumo de todos os gráficos anteriores para melhor visualização e comparação dos dados obtidos para cada pilar.

Gráfico 10 – Custos de Materiais (concreto simples e armadura de aço)



Fonte: O Autor (2021).

5 CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo principal, realizar uma análise comparativa do desempenho estrutural de pilares de concreto armado, com diferentes seções e localização de projeto. Tal objetivo foi atingido com sucesso, mostrando uma visão a partir de resultados de esforços atuantes e consumo de material em cada variação estudada.

Inicialmente o primeiro passo foi definir objeto de estudo, objetivando avaliar o comportamento estrutural de pilares em uma edificação residencial, pois concluiu-se que a comparação de pilares desassociado de um projeto, não permitiria uma comparação fácil e confiável. Com isso foram escolhidos pilares com diferentes seções e em três posições de um mesmo projeto, sendo eles o pilar de canto, de borda e de centro. Pelos dados apresentados, conclui-se que a posição do pilar influencia diretamente seu desempenho estrutural e seu custo em projeto, como já afirmado pela literatura.

Essa informação foi confirmada pela análise estrutural com foco nos momentos e nas áreas de aço necessárias para cada pilar. Com essa comparação, foi possível concluir que a depender da posição do pilar e da geometria, a carga que chega ao elemento muda, assim como os momentos que atuam no elemento que são influenciados não só pela carga, mas também devido as restrições de movimento causados pelas vigas. São influenciados também pelas dimensões do pilar, entre outros fatores que afetam diretamente o resultado de cada um. Sabendo-se disso foi encontrada uma variação na quantidade de armadura para cada seção de pilar em cada posição estudada.

Por esses dados, foi possível concluir também que o pilar circular acaba ficando com um valor mínimo para área de aço acima das outras duas seções de pilar, devido a restrição estabelecida pela ABNT NBR 6118 (2014). Com isso, mesmo que as cargas atuando no elemento sejam baixas, o valor da área de aço permanece alta.

Já em relação ao custo dos pilares estudados, foi feito uma breve comparação entre os valores de concreto e armadura metálica para cada elemento. Comparando apenas esses materiais, o pilar de seção retangular apresentou um custo superior nas posições de borda e centro, ficando abaixo do custo do pilar circular apenas para a posição de canto, onde todas as seções de pilar ficam com área de aço mínima, e como o pilar circular é restrito a um mínimo de 6 barras de 10 mm de

diâmetro, acaba ficando com um custo superior aos demais. Com isso, pode-se concluir que para a tipologia estudada e com os valores de carregamento obtidos para a situação objeto de estudo, apesar da área de seção transversal ser praticamente igual nas 3 geometrias, o pilar circular não se apresentou como o de menor custo. A literatura coloca que a seção transversal circular cheia é a geometria que apresenta um menor consumo de material e melhor se adequa a esforços de compressão. Contudo, observando os dados do presente estudo, percebe-se que é necessário olhar outros critérios, como custo de execução e valores mínimos exigidos, para considerar a viabilidade dessa solução frente a outras possibilidades.

Observando os gráficos de momentos, conclui-se que com um pilar de seção circular, os momentos críticos são menores, o que define o mesmo com uma resistência mecânica maior que os pilares com seção quadrada e principalmente a seção retangular, que é consequência de uma das suas dimensões ser muito inferior ao ser comparada com todas as outras seções utilizadas. Isso influencia diretamente na possibilidade de o elemento flambar, isso se comprova com os dados obtidos de esbeltez e momentos de inércia, que variam de acordo com as dimensões do pilar.

É plausível também a observação dos momentos atuantes nos pilares de seção quadrada, por ter uma geometria mais próxima do pilar circular, seus momentos não diferem muito deixando-o como uma alternativa. Porém, devido suas dimensões serem superiores a espessura das alvenarias convencionais, não é muito utilizado em projetos a pedidos de arquitetos, por não ficarem embutidos na parede como o que ocorre com os pilares retangulares, motivo de serem geralmente os escolhidos em projetos. O pilar quadrado, quando utilizado, tende a ficar aparente, o que ocorre também com o pilar circular, que ainda vem com a dificuldade em fazer a compatibilização com a alvenaria.

É importante destacar também que o este trabalho se limitou a estudar uma tipologia específica, de edificação residencial de um pavimento e, percebendo a influência dessa escolha nos resultados obtidos, sabe-se que o trabalho é passível de continuidade. Com isso, tem-se como sugestão de trabalhos futuros um estudo similar fazendo uso de um projeto com cargas superiores a utilizadas no presente trabalho. Sugere-se ainda a comparação de uso de diferentes materiais, como aço e madeira, também com diferentes seções transversais, o que pode levar a resultados distintos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- BASTOS, Prof. Dr. Paulo Sérgio Dos Santos. **FLEXÃO COMPOSTA E PILARES DE CONCRETO ARMADO**, 2020.
- BENEVOLO, Leonardo. **HISTÓRIA DA ARQUITETURA MODERNA**. 3. ed. São Paulo, Perspectiva, 2001.
- BRAGA, Augusto Cezar Gomes. **ESTUDO DE PILARES MISTOS AÇO-CONCRETO COM COMPARAÇÕES ENTRE SOLUÇÕES EM AÇO E EM CONCRETO ARMADO**. 2006.
- CAFFEY, S. M. CAMPAGNOL, G., 2015. **DIS/SOLUTION**: Lina Bo Bardi's Museu de Arte de São Paulo. *Journal of Conservation and Museum Studies*, 13(1), p.Art. 5. Disponível em: <<http://doi.org/10.5334/jcms.1021221>>
- CARRIERI, R. **ESTRUTURAS**: a resistência pela forma, à luz da produção contemporânea, São Paulo, 2007.
- CASAGRANDE, A. F. SILVA, D. S. **ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO PELO MÉTODO DO PILAR PADRÃO COM RIGIDEZ “κ” APROXIMADA E PELO MÉTODO DO PILAR PADRÃO COM CURVATURA APROXIMADA PARA EFEITOS DE 2º ORDEM**, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/158/1/Augusto%20Figueredo%20Casagrande.pdf>
- CORTEZ, L. A. R. MACIEL, C, A, S. SANTOS, P. B, LIMA, R. T. SANTOS, T. M. F. NASCIMENTO, M, M, G. **USO DAS ESTRUTURAS DE AÇO NO BRASIL**, 2017.
- FIGUEIREDO, L.M.B. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PILARES MISTOS AÇO-CONCRETO**. 1998.

FUSCO, P.B. **ESTRUTURAS DE CONCRETO** - Fundamentos do Projeto Estrutural. São Paulo, Ed. USP e McGraw-Hill, 1976.

FREEPIK. **TUBO DE AÇO, PERFIL METÁLICO E VIGA**. Indústria metalúrgica, placas de ferro ou aço. Conjunto de material de construção. 2020. Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores-premium/tubo-de-aco-perfil-metalico-e-viga-industria-metalurgica-placas-de-ferro-ou-aco-conjunto-de-material-de-construcao-ilustracao-isolado-no-fundo-branco_8460580.htm>. Acesso em: 26 set. 2020.

GIL, Antonio Carlos. **MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA SOCIAL** / Antonio Carlos Gil. - 6. ed. - São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2020

GRIFFIS, Lawrence G. **THE 1994 T.R. HIGH LECTURE**: Composite Frame Construction. 1994. Disponível em: <<https://www.aisc.org/globalassets/aisc/awards/tr-higgins/past-winners/composite-frame-construction.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2020

HIBBELER, R. C. **RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS**/ Tradução Joaquim Pinheiro Nunes; revisão técnica Wilson Carlos da Silva. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004. Disponível em: <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~rubens.hesse/resistencia/Bibliografia/Resistencia-dos-materiais-R_C.Hibbeler_-.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020

MELO, P. R. **PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA, DE AÇO E DE CONCRETO PARA AUXÍLIO À CONCEPÇÃO DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS**. 2013. 113 f. Qualificação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

MOURA, Tiago R. C. **COMPARATIVO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E DE AÇO**: Estudo de caso. 2019.

NUNES, Patrícia C. C. **TEORIA DO ARCO DE ALVENARIA**: Uma Perspectiva Histórica [Distrito Federal] 2009. Xvi, 160p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2009). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

OLIVEIRA, Gleyciane Matos; BARBOSA, Tainara Rosa de Araujo; SILVA, Michael Dowglas de Gois. **ANÁLISE COMPARATIVA DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE CONCRETO COM PILARES DE CONCRETO ARMADO**. GTS - Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade, [S.l.], v. 2, n. 2, ago. 2019. ISSN 2595-5632. Disponível em: <<http://faengrv.com.br/gts/index.php/revistagts/article/view/158>>. Acesso em: 29 out. 2020.

PEREIRA, Valdir Moraes. **NORMA COMENTADA: ABNT NBR 6118 – ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO – PROCEDIMENTO**, 2018. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/norma-comentada-abnt-nbr-6118/>>. Acesso em: 09 set. 2020.

PINHEIRO, Libânio M. *et al.* Estruturas de concreto – Capítulo 01: In: PINHEIRO, Libânio M. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**, 2007. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/5749971/estruturas-de-concreto-armado-libanio-m-pinheiro-eesc>>. Acesso em: 20 set. 2020.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **LAJES MACIÇAS** Capítulo 11. In: PINHEIRO, Libânio M. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**, 2007. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/5749971/estruturas-de-concreto-armado-libanio-m-pinheiro-eesc>>. Acesso em: 20 set. 2020.

RAMOS, Márcia Eliane. **A CIDADE DO CAPITALISMO: O lugar do homem**. Boletim Goiano de Geografia, Universidade Federal de Goiás. Jan/Jun, 1997.

REBELLO, Y. C. P. **A CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E A ARQUITETURA**, São Paulo, Zigurate Editora, 2000.

RODRIGUES, A. C. A; PEIXOTO, L. J. **ESTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS MISTAS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Goiás, 2016.

SEINFRA. Disponível em: <<https://sites.seinfra.ce.gov.br/siproce/desonerada/html/tabela-seinfra.html> > Acesso em: 05 abr. 2021.

SCADELAI, Murilo A. PINHEIRO, Libânio M. Estruturas de concreto – Capítulo 16. In: PINHEIRO, Libânio M. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**, 2007. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/5749971/estruturas-de-concreto-armado-libanio-m-pinheiro-eesc>>. Acesso em: 20 set. 2020.

SILVA, Daiçom Maciel da; SOUTO, André Kraemer. **ESTRUTURAS: Uma Abordagem Arquitetônica**, 5ª edição. Porto Alegre. Editora UniRitter, 2015.

SILVA, Esther Pereira da. **SISTEMAS ESTRUTURAIS**, 2001.

SILVA, Murilo José Marques da. **ANÁLISE NUMÉRICA DE PILARES DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS À FLEXO**, Campinas, SP, 2018.

SILVA, P. H. L. **DIMENSIONAMENTO DE PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO**. 2012.

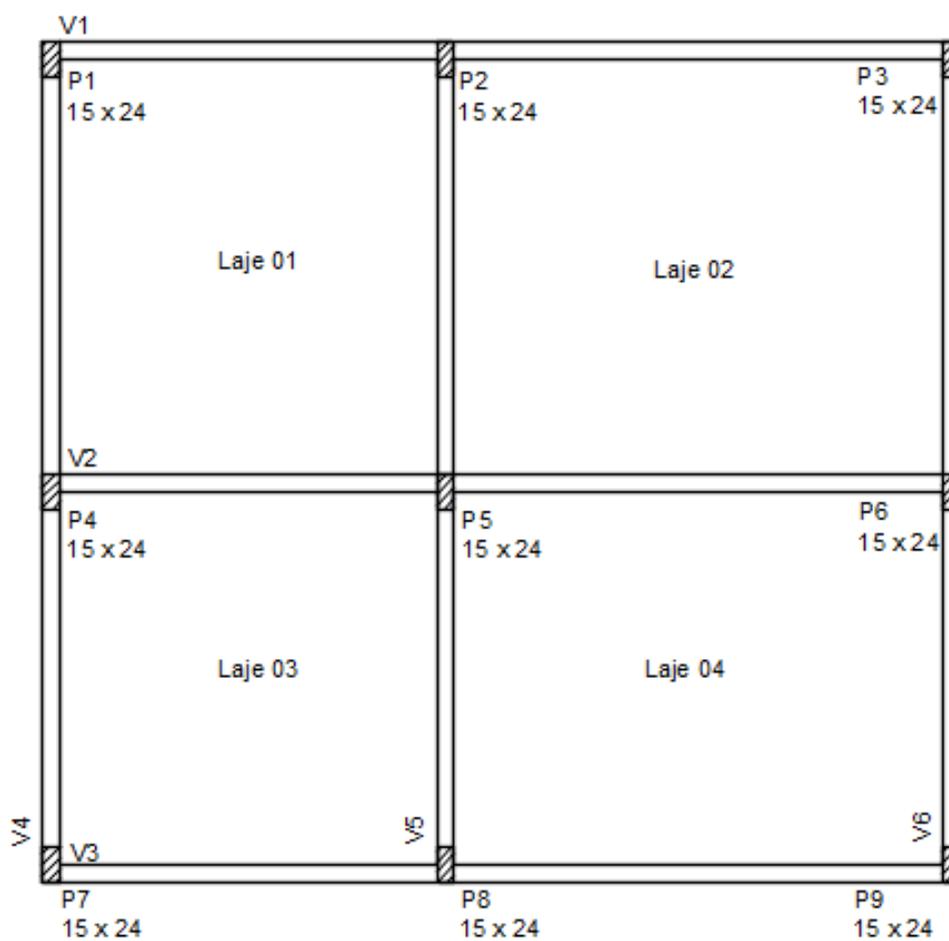
SHIGUE, Erich Kazuo. **DIFUSÃO A CONSTRUÇÃO EM MADEIRA NO BRASIL: Agentes, Ações e Produtos**. 2018. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-03092018-094051/publico/DissCorrigidaErichKazuoShigue.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

TAGLIANI, Simone. **SAIBA QUAIS MATERIAIS ERAM EMPREGADOS NA ENGENHARIA DA ANTIGUIDADE**, 2017. Disponível em: <<https://engenharia360.com/author/simone-tagliani/>>. Acesso em: 03 out. 2020.

TUMELERO, Naína. **PESQUISA APLICADA**: material completo, com exemplos e características, 2019. Disponível em: <<https://blog.metzger.com/pesquisa-aplicada/>>. Acesso em: 23 out. 2020.

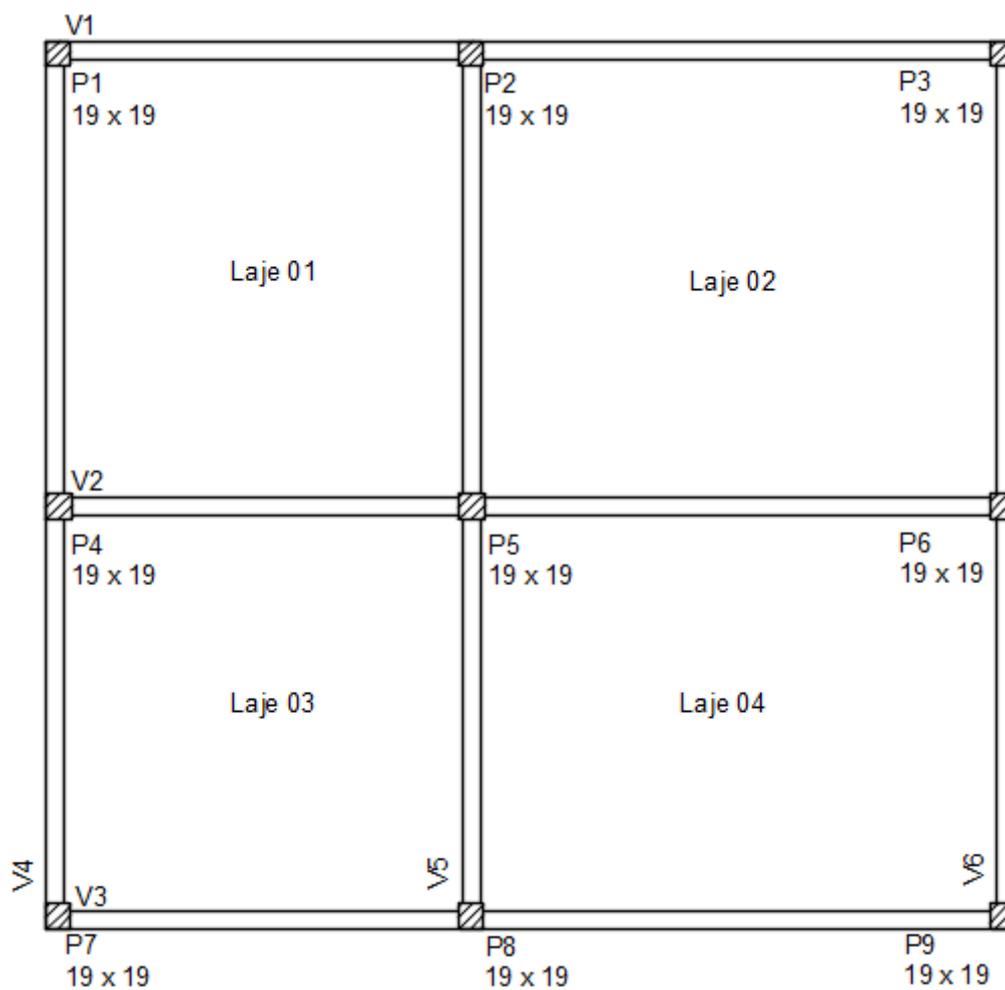
APÊNDICE A – LANÇAMENTOS ESTRUTURAL COM PILARE DE SEÇÃO RETANGULAR

Figura 24 – Lançamentos de estruturas com pilar de seção retangular



APÊNDICE B – LANÇAMENTOS ESTRUTURAL COM PILARE DE SEÇÃO QUADRADA

Figura 25 – Lançamentos de estruturas com pilar de seção quadrada



APÊNDICE C – LANÇAMENTOS ESTRUTURAL COM PILARE DE SEÇÃO CIRCULAR CHEIA

Figura 26 – Lançamentos de estruturas com pilar de seção circular cheia

