



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FILIPPE GEHRING CARVALHO

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE UMA EDIFICAÇÃO EM PAREDE
DE CONCRETO ARMADO MOLDADA NO LOCAL A PARTIR DO CUSTO DO
CONCRETO E DO AÇO**

FLORIANÓPOLIS

2023

FILIPPE GEHRING CARVALHO

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE UMA EDIFICAÇÃO EM PAREDE
DE CONCRETO ARMADO MOLDADA NO LOCAL A PARTIR DO CUSTO DO
CONCRETO E DO AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Fernanda Fernandes Marchiori,
Dr^a

FLORIANÓPOLIS

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Carvalho, Filipe Gehring

MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE UMA EDIFICAÇÃO EM
PAREDE DE CONCRETO ARMADO MOLDADA NO LOCAL A PARTIR DO
CUSTO DO CONCRETO E DO AÇO / Filipe Gehring Carvalho ;
orientadora, Fernanda Fernandes Marchiori, 2023.

110 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. otimização de projeto. 3. parede
de concreto. 4. concreto armado. 5. custos. I. Marchiori,
Fernanda Fernandes. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

FILIPPE GEHRING CARVALHO

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE UMA EDIFICAÇÃO EM PAREDE DE
CONCRETO ARMADO MOLDADA NO LOCAL A PARTIR DO CUSTO DO CONCRETO E
DO AÇO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 01 de dezembro de 2023.

Prof^a. Liane Ramos da Silva, Dr^a.
Coordenadora do Curso de Engenharia Civil

Banca examinadora



Prof^a. Fernanda Fernandes Marchiori, Dr^a.
Orientadora

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Alberto da Costa Ganzo Fernandez, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

Eng. Joatahn Lohn

Florianópolis, 2023.

RESUMO

O persistente desafio relacionado ao déficit habitacional no Brasil, o crescente emprego da técnica construtiva de paredes de concreto armado moldadas no local no mercado brasileiro, juntamente com a publicação recente da ABNT NBR 16055:2022, que traz requisitos e procedimentos a serem utilizados, e o aumento do custo dos principais materiais componentes do sistema (concreto e aço) justificam o desenvolvimento do presente trabalho, cujo objetivo é desenvolver um método para otimizar os custos de produção associados à execução de edificações multifamiliares com paredes de concreto armado moldadas no local. Inicialmente, é apresentado o sistema construtivo de paredes de concreto, onde são detalhados os pontos da norma e dimensionamentos envolvidos, e são mostradas as principais análises estruturais utilizadas para este sistema. Como resultado, é proposto um método elaborado a partir de tabelas de resistência e custos das paredes, conforme custo do aço e concreto de mercado, para auxiliar na redução dos custos totais de execução. Além disso, é feita a aplicação do método, utilizando-se das tabelas criadas, em projetos reais de habitação de interesse social (HIS) de 5 e 15 pavimentos. Espera-se que o presente método possa ser usado pelos projetistas deste tipo de estrutura, induzindo assim, ao melhor aproveitamento dos recursos na construção de HIS.

Palavras-chave: engenharia civil; otimização de projeto; parede de concreto; concreto armado; custos.

ABSTRACT

The persistent challenge related to housing deficit in Brazil, the growing adoption of the on-site molded reinforced concrete wall construction technique in the Brazilian market, together with the recent publication of ABNT NBR 16055:2022, which establishes requirements and procedures to be used, and the increase in the cost of the main components of the system (concrete and steel), justify the development of this study, whose objective is to develop a method to optimize production costs associated with the construction of multi-family buildings with on-site molded reinforced concrete walls. Initially, the present study introduces the construction system of concrete walls, detailing the normative points and dimensions involved, and presenting the main structural analyses used for this system. As a result, a method is proposed based on tables of wall resistance and costs, considering market prices for steel and concrete, to assist in reducing the total execution costs. Additionally, the method is applied to real social interest housing projects with 5 and 15 floors, using the created tables. It is expected that this method can be used by designers of this type of structure, thus leading to better resource utilization in the construction of social interest housing.

Keywords: civil engineering; project optimization; concrete wall; reinforced concrete; costs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura esquemática do TCC.....	17
Figura 2 - Paredes de concreto moldadas <i>in loco</i>	18
Figura 3 - Cargas concentradas ou parcialmente distribuídas	21
Figura 4 - Exemplo da disposição de telas ao redor de tubulações	27
Figura 5 - comprimento equivalente	32
Figura 6 - Exemplos de linha de influência.....	41
Figura 7 - Exemplo de grupos de paredes isoladas	42
Figura 8 - Histórico de preços do kg de aço (SINAPI).....	46
Figura 9 - Histórico de preços do m ³ do concreto (SINAPI)	47
Figura 10 - Relação histórica de preços de “concreto / aço” (SINAPI).....	48
Figura 11 - Planta baixa padrão (Empresa X)	62
Figura 12 - Nomenclatura das paredes	64
Figura 13 - Nomenclatura das lajes.....	65
Figura 14 - Linhas de ruptura do projeto	69
Figura 15 - Grupos de paredes do projeto	71
Figura 16 – Custo total do pavimento térreo (preços de 2020)	100
Figura 17 - Custo total do pavimento térreo (preços de 2021)	101
Figura 18 - Fluxograma para redução de custos.....	103
Figura 19 - Equivalência esquemática entre as cargas verticais dos prédios de 5 e 15 pavimentos	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA)	23
Quadro 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.....	24
Quadro 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	24
Quadro 4 - Quadro esquemático das tabelas de resistências que dependem da taxa de armadura	53
Quadro 5 - Quadro esquemático da tabela de resistência que não depende da taxa de armadura.....	56
Quadro 6 – Custo unitário do concreto armado em função da taxa de armadura e da resistência do concreto (R\$/m ³).....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesos específicos dos materiais de construção civil	38
Tabela 2 - redução permitida para cargas acidentais.....	40
Tabela 3 - histórico de preços de aço e concreto (SINAPI).....	45
Tabela 4 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 20$ MPa (kN/m)	53
Tabela 5 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 25$ MPa (kN/m)	54
Tabela 6 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 30$ MPa (kN/m)	54
Tabela 7 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 35$ MPa (kN/m)	55
Tabela 8 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 40$ MPa (kN/m)	55
Tabela 9 - Resistência de cálculo sob normal de compressão que não depende da taxa de armadura (kN/m)	57
Tabela 10 - Cargas por área dos elementos horizontais adotadas no projeto	66
Tabela 11 - Cargas por área dos elementos verticais adotadas no projeto.....	67
Tabela 12 - Cargas acidentais dos ambientes	67
Tabela 13 - Cargas atuantes nas lajes.....	68
Tabela 14 - Cargas advindas das lajes aplicadas nas paredes.....	70
Tabela 15 - Parcela de carga vertical que cada parede distribui a cada grupo	72
Tabela 16 - Peso próprio de cada grupo de paredes	74
Tabela 17 - Cargas em cada grupo de paredes, considerando um único pavimento	75
Tabela 18 - Cargas distribuídas de cada grupo de paredes do pavimento térreo.	76
Tabela 19 - Carga majorada distribuída adotada em cada parede	77
Tabela 20 - dimensões das paredes	79
Tabela 21 - Esbeltez de cada parede.....	80
Tabela 22 - Valor de F1 de cada parede.....	81
Tabela 23 - Preços de aço e concreto referentes a junho de 2020 e junho de 2021 (SINAPI)	82
Tabela 24 - Carga majorada distribuída multiplicada pelo fator F1	83

Tabela 25 - Taxa de armadura, relacionada a cada parede e cada resistência característica do concreto, para o prédio de 5 pavimentos	86
Tabela 26 - Taxa de armadura, relacionada a cada parede e cada resistência característica do concreto, para o prédio de 15 pavimentos	88
Tabela 27 - Custo unitário do concreto armado verticalmente (por m ³), referente aos preços de junho de 2020	90
Tabela 28 – Custo unitário do concreto armado verticalmente (por m ³), referente aos preços de junho de 2021	91
Tabela 29 - Custo de execução das paredes, prédio de 5 pavimentos, preços de junho de 2020	92
Tabela 30 - Custo de execução das paredes, prédio de 5 pavimentos, preços de junho de 2021	94
Tabela 31 - Custo de execução das paredes, prédio de 15 pavimentos, preços de junho de 2020.....	96
Tabela 32 - Custo de execução das paredes, prédio de 15 pavimentos, preços de junho de 2021.....	98

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral.....	15
1.2.2	Objetivo específico.....	15
1.3	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	15
1.4	ESTRUTURA DO TCC	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	PAREDE DE CONCRETO ARMADO MOLDADA NO LOCAL	18
2.2	NORMA DE PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL PARA A CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES	19
2.2.1	Ações solicitantes na estrutura.....	20
2.2.1.1	<i>Esforços solicitantes.....</i>	20
2.2.1.2	<i>Ações verticais nas paredes.....</i>	20
2.2.1.3	<i>Ações horizontais na parede</i>	22
2.2.1.4	<i>Coeficiente de ponderação dos esforços.....</i>	23
2.2.2	Classe de agressividade ambiental	23
2.2.3	Resistências.....	25
2.2.4	Limites para dimensões, deslocamentos e abertura de fissuras.....	25
2.2.4.1	<i>Dimensões mínimas</i>	25
2.2.4.2	<i>Juntas de trabalho</i>	25
2.2.4.3	<i>Instalações elétricas e demais sistemas.....</i>	27
2.2.4.4	<i>Instalações hidrossanitárias</i>	28
2.2.5	Análise estrutural	28
2.2.5.1	<i>Premissas e objetivos da análise estrutural de paredes de concreto armado</i>	28
2.2.5.2	<i>Hipóteses básicas conforme norma.....</i>	28
2.2.5.3	<i>Premissas básicas de concepção do projeto conforme norma.....</i>	29
2.2.6	Dimensionamento.....	30
2.2.6.1	<i>Generalidades</i>	30
2.2.6.2	<i>Premissas básicas de dimensionamento.....</i>	30
2.2.6.3	<i>Armadura mínima</i>	33

2.2.6.4	<i>Resistência limite sob solicitação normal</i>	34
2.2.6.5	<i>Dimensionamento ao redor de aberturas</i>	36
2.3	PRINCIPAIS ANÁLISES ESTRUTURAIS UTILIZADAS	37
2.3.1	Cargas atuantes	37
2.3.1.1	<i>Cargas permanentes</i>	37
2.3.1.2	<i>Cargas acidentais</i>	39
2.3.2	Distribuição de esforços advindos das lajes	40
2.3.2.1	<i>Método do regime de ruptura</i>	40
2.3.3	Distribuição de esforços verticais entre paredes	41
2.4	BASE DE DADOS SINAPI	43
2.4.1	Histórico de custos do concreto e aço	44
2.5	CONSIDERAÇÃO FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	48
3	MÉTODO PARA MINIMIZAR CUSTOS DE PAREDE DE CONCRETO ARMADO MOLDADA NO LOCAL PARA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES	50
3.1	CRIAÇÃO DAS TABELAS DE RESISTÊNCIA	50
3.1.1	Criação do fator F1	50
3.1.2	Desmembramento da equação	51
3.1.3	Tabelas de resistência	52
3.1.3.1	<i>Tabelas com base na equação que depende da taxa de armadura</i>	52
3.1.3.2	<i>Tabela com base na equação que não depende da taxa de armadura</i>	56
3.2	CRIAÇÃO DA TABELA DE CUSTOS	57
3.2.1	Manipulações iniciais	57
3.2.2	Tabela de custos	59
4	APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA MINIMIZAR CUSTOS A PARTIR DE ANÁLISE DE PROJETO	61
4.1	SOBRE O PROJETO	61
4.2	CARGAS ATUANTES NO PROJETO	63
4.3	ANÁLISE ESTRUTURAL DO PROJETO	68
4.3.1	Cargas advindas das lajes	68
4.3.2	Grupos isolados de paredes	71
4.3.3	Carga total no pavimento	75
4.4	UTILIZAÇÃO DAS TABELAS	79
4.4.1	Informações preliminares	79
4.4.1.1	<i>Dimensões das paredes</i>	79

4.4.1.2	<i>Cálculo de F1</i>	80
4.4.1.3	<i>Custo do aço e concreto</i>	82
4.4.2	Utilização das tabelas de resistência	82
4.4.3	Utilização da tabela de custos	90
4.4.3.1	<i>Tabelas de custos</i>	90
5	CONCLUSÃO	102
5.1	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	106

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil, em um contexto de crescimento populacional contínuo e complexidades sociais, enfrenta um persistente desafio relacionado ao déficit habitacional. Conforme o Relatório da Fundação João Pinheiro (2020), o déficit habitacional no ano de 2019 atingiu 5,8 milhões de domicílios no país. Isso ressalta a necessidade do aproveitamento comedido e eficiente dos escassos recursos públicos destinados a esse fim. No âmbito das políticas públicas, iniciativas como o programa “Minha Casa, Minha Vida” e “Casa Verde e Amarela” buscam abordar essa lacuna habitacional.

Devido a notável dinâmica no mercado imobiliário que vem sendo observada há mais de uma década, em parte impulsionada pelo programa habitacional “Minha Casa Minha Vida” implementado pelo governo federal em 2009, as empresas do setor da construção têm buscado abordagens construtivas que sejam simultaneamente econômicas e eficientes, sem comprometer a qualidade e o desempenho das edificações (NUNES, 2011). Ainda hoje, a política de programas habitacionais é forte no país. Conforme o Governo Federal (2022), “[...] por meio do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), [o governo federal] entregou, entre 2019 e 2022, aproximadamente 1,6 milhão de moradias por meio do programa ‘Casa Verde e Amarela’” e ainda afirma que “Diante da modernização do programa habitacional, o Ministério do Desenvolvimento Regional conseguiu diminuir a taxa de juros [...]”. Isso demonstra o crescente potencial econômico do uso de sistemas construtivos cada vez mais eficientes e produtivos.

Com o decorrer da história do concreto armado, inúmeros métodos de cálculo e técnicas construtivas foram sendo desenvolvidas, sempre com objetivos de otimização de tempo e diminuição de custos.

As paredes de concreto armado apresentam vantagens em termos de prazos, custos e qualidade, sendo um sistema construtivo que, em função da velocidade de execução e da otimização do acabamento e de mão-de-obra, tem sido uma importante escolha das empresas que ingressaram no mercado econômico de habitação. (NUNES, 2011, p. 25)

Com o aumento dos custos na construção civil, principalmente envolvendo a mão de obra (TANNUS, 2017, apud BORGES, 2018), as estruturas padronizadas, como as estruturas de concreto armado moldadas no local, oferecem benefícios como eficiência na implementação, pouca exigência de mão de obra, custos totais mais econômicos, ótimo desempenho, minimização de resíduos e potencial para produção em larga escala, devido à sua natureza industrializada (NUNES, 2011).

Com o crescente emprego das paredes de concreto armado moldada *in loco*, houve a necessidade de normatização desse sistema para que os profissionais pudessem ter um amparo legal para responsabilidade técnica. Com isso, em abril de 2012, foi criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas a primeira versão da NBR 16055 que sofreu recente alteração no dia 28 de outubro de 2022, com a publicação da segunda versão. Essa norma estabelece requisitos e procedimentos para paredes de concreto moldadas no local para a construção de edificações. Anteriormente a criação dessa norma, os projetos eram realizados com base em norma estrangeiras, conforme Nunes (2011):

[...] códigos internacionais de práticas de concreto armado, como a Australian Concrete Standard (AS-3600, 2001) e o American Concrete Institute Code (ACI-318, 1999), dedicam capítulos específicos para projetos de paredes de concreto armado.

Os materiais componentes desse sistema (concreto e aço) têm grande relevância econômica na criação e detalhamento dos projetos, uma vez que são classificados na parte A da curva ABC (curva cujo custo total dos materiais da parte A representa 80% do custo total da obra). A grande importância do custo desses materiais somado ao recente aumento de seus preços, principalmente o do aço, por diversos fatores, expõem a preocupação quanto a viabilidade desses empreendimentos. Conforme Torres (2022), “Desde 2020, os preços [do aço] apresentaram um aumento significativo, chegando a dobrar em alguns casos”.

Portanto, o aumento do uso da técnica construtiva de parede de concreto armado moldada *in loco* no mercado brasileiro, a recente publicação da norma específica sobre o assunto e a emergente preocupação do uso inteligente de materiais para redução de custos induzem a necessidade de um método para minimizar o custo de produção deste tipo de estrutura.

Diante desta importância tem-se a seguinte pergunta de pesquisa: uma vez determinados os esforços solicitantes através da análise estrutural, é possível obter a combinação ideal entre resistência característica do concreto e taxa de armadura no projeto estrutural de paredes de concreto armado tendo em vista diferentes cenários de custos dos materiais?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Propor um método de avaliação de custos para identificar a situação estrutural (taxa de armadura vs resistência característica do concreto) mais vantajosa economicamente para execução de paredes de concreto armado moldadas no local.

1.2.2 Objetivo específico

- a) Apresentar o sistema construtivo de paredes de concreto armado moldadas *in loco*;
- b) Detalhar, conforme a ABNT NBR 16055:2022, o dimensionamento dessas paredes;
- c) Expor as principais análises estruturais utilizadas para projetos;
- d) Propor o método para auxiliar na redução de custos;
- e) Aplicar o método a um caso real.

1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

As delimitações deste trabalho são em função da própria norma ABNT NBR 16055:2022, do projeto escolhido para análise e de simplificações tomadas na análise estrutural, são elas:

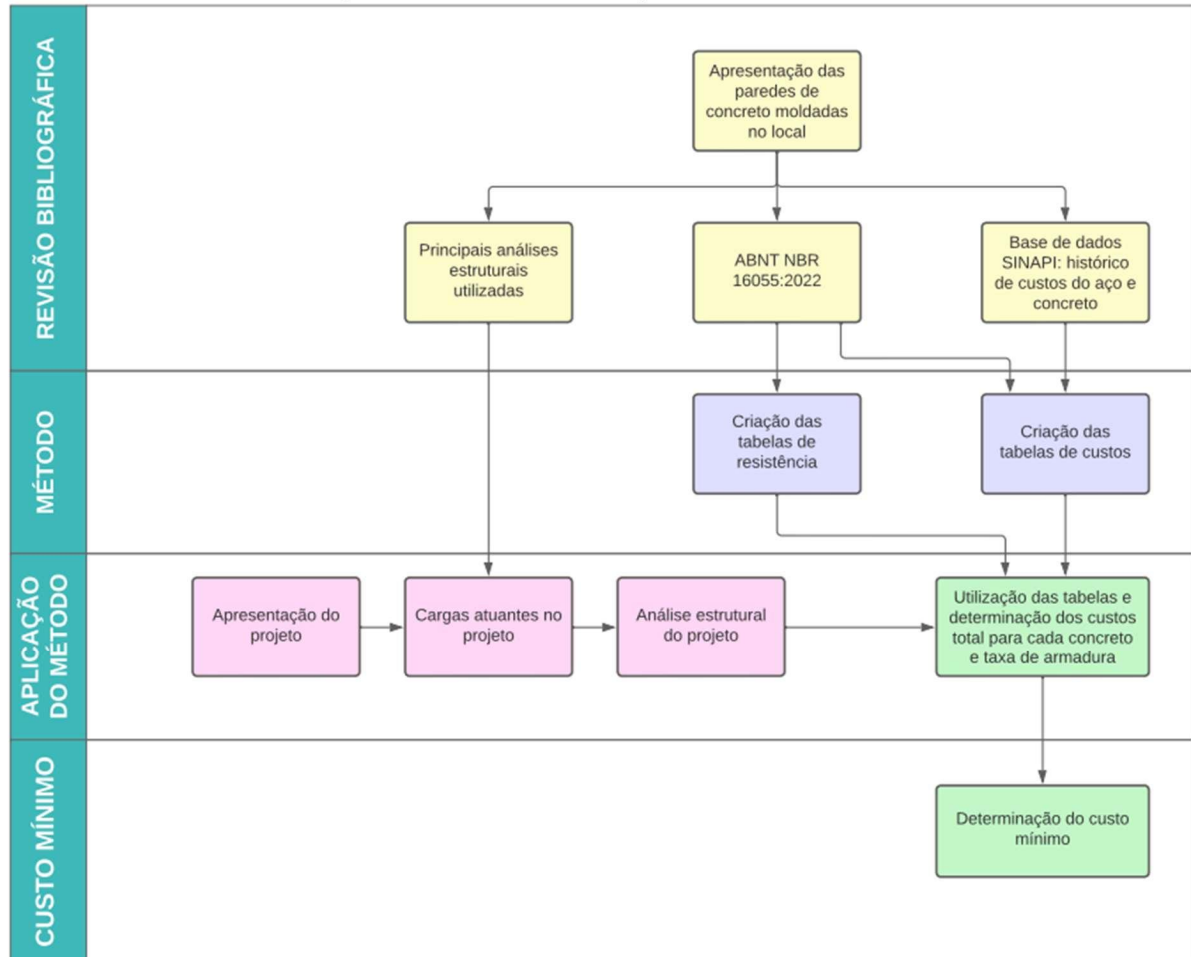
- a) as paredes serão de concreto armado moldadas no local, sem uso de fôrma incorporada;
- b) as paredes são submetidas a cargas predominantemente verticais;
- c) a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) não é superior a 40 MPa;
- d) o aço utilizado é o CA-60;

- e) será feito uso de tela centrada;
- f) as tabelas são criadas considerando espessuras de parede entre 10 e 18 cm;
- g) a execução é feita com formas reutilizáveis entre pavimentos, portanto, apenas na aplicação do método, todas as paredes não variam sua espessura, que é fixada em 10 cm, conforme projeto;
- h) em um mesmo pavimento será feito uso de concreto com resistência característica à compressão única, podendo diferenciar apenas entre pavimentos;
- i) instalações hidrossanitárias, elétricas e demais sistemas não serão considerados;
- j) para poder fazer uso da Equação (2), fornecida pela norma ABNT NBR 16055:2022, as excentricidades transversais são tomadas considerando a pressão máxima do vento característico de 1 kN/m^2 , não sendo maior que $(1,5 + 0,03t) \text{ cm}$;
- k) a carga do vento não será considerada;
- l) o método, criado e utilizado neste trabalho, apenas vale para dimensionamento das armaduras verticais, não sendo levado em consideração as armaduras horizontais, uma vez que a carga do vento será desprezada;
- m) os custos das paredes consideram apenas os custos do concreto e armaduras verticais, ficando de fora os custos referentes às armaduras horizontais, formas, mão de obra, entre outros;
- n) nos custos (selecionados das tabelas SINAPI) há grande variação do preço do aço, porém pouca variação do preço do concreto;
- o) foi usado o preço do concreto convencional, não o do concreto de alta resistência inicial (ARI), que é usado pela Empresa X para permitir a desforma em 12 horas.

1.4 ESTRUTURA DO TCC

A estrutura do trabalho é apresentada e esquematizada na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura esquemática do TCC



Fonte: elaborado pelo autor

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAREDE DE CONCRETO ARMADO MOLDADA NO LOCAL

As paredes de concreto armado moldadas no local (Figura 2) destacam-se pela sua eficiência de construção, resistência, durabilidade e sustentabilidade. Esses elementos, quando usados para a construção de edificações, estão submetidos preponderantemente a esforços de compressão devido a forças verticais como o peso próprio e as cargas de uso, ainda sendo necessário levar em conta as ações horizontais de vento e desaprumo (NUNES, 2011).

Figura 2 - Paredes de concreto moldadas *in loco*



Fonte: Tecnosil, 2023

O sistema construtivo de paredes de concreto é, conforme Silva (2013), “um método de construção industrializado e racionalizado que visa produtividade, abreviação dos prazos, minimização de custos e qualidade que pode ser utilizado tanto em construções térreas como de múltiplos pavimentos”.

Nos últimos anos a indústria da construção civil vem adotando novos métodos construtivos que prezam por melhorar a produtividade e qualidade na execução, possibilitando uma redução de perdas e diminuição do tempo de entrega da obra. Um dos sistemas que vem se destacando neste contexto é o composto por paredes de concreto moldadas no local (PCML), com sua utilização principal em obras repetitivas e com curtos prazos de execução. Diversos autores apontam como característica positiva do sistema PCML a

menor quantidade de etapas construtivas, o que possibilita um menor tempo de execução, qualidade e conseqüentemente, redução de custos e perdas. Além disso, destaca-se por necessitar de um maior planejamento e controle de suas etapas, o que contribui também para os ganhos de eficiência do sistema (ARÉAS, 2013; SILVEIRA, 2018; CRUZ, 2017; SANTOS, 2021, apud RIBEIRO, TORRES e CRUZ, 2023).

Por outro lado, esse sistema apresenta desvantagens, segundo Nunes (2011), algumas delas são: “provável condicionamento do projeto arquitetônico; elevado investimento inicial para a construtora [uma vez que é necessário adquirir todas as formas desde o início da construção] e dificuldades de reformas que modifiquem a disposição das paredes estruturais”.

Tratando-se do desempenho térmico das paredes de concreto, Roriz (2013) afirma:

[...] tenho avaliado edificações com paredes em concreto submetidas aos diversos climas existentes no Brasil e posso afirmar que, nos poucos casos em que os resultados não foram satisfatórios, as causas sempre estiveram relacionadas a equívocos de projeto, mas não às propriedades do concreto.

O uso desse sistema é aconselhável em projetos com alta repetitividade sendo uma excelente escolha para enfrentar a grande necessidade por habitação vivenciada no país (SILVA, 2013). A crescente demanda por edifícios de múltiplos andares, em resposta à urbanização e densidade populacional crescentes, a necessidade de redução do déficit habitacional brasileiro, vem impulsionando a utilização de paredes de concreto armado no Brasil, por ser um sistema cujo o custo é mais baixo (variando entre 4% e 12% de redução dependendo do estado brasileiro) quando comparado tanto ao sistema em alvenaria estrutural, o qual também tem sido muito utilizado em habitações de interesse social no Brasil, de acordo com Abreu et al (2023).

2.2 NORMA DE PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL PARA A CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Para a elaboração do presente TCC foi necessário entender a norma ABNT NBR 16055:2022 principalmente no que diz respeito às ações solicitantes na estrutura, às classes de agressividade ambiental, às resistências, aos limites para dimensões, deslocamentos e abertura de fissuras, à análise estrutural e ao dimensionamento, os quais serão descritos a seguir.

2.2.1 Ações solicitantes na estrutura

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, na análise estrutural, é essencial levar em consideração o impacto de todas as ações que possam causar efeitos notáveis na segurança da estrutura em questão. Isso envolve a avaliação dos estados limites últimos e de serviço para garantir uma abordagem completa.

2.2.1.1 *Esforços solicitantes*

Conforme a ABNT NBR 16055:2022, a determinação dos esforços atuantes deve ser realizada de acordo com os princípios da teoria das estruturas. No caso de edifícios com paredes de concreto, é imperativo assegurar que não ocorram deslocamentos significativos entre a parte superior e a base do edifício, em conformidade com os parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 6118:2023 e considerando o seguinte:

- a) para garantir a estabilidade lateral tanto dos elementos individuais quanto da estrutura como um todo, é necessário dispor paredes resistentes em ambas as direções principais. A ligação entre essas paredes deve ser mantida rígida por meio da incorporação de armadura ou fibras, com o objetivo de minimizar sua esbeltez;
- b) a laje deve ser projetada de modo a funcionar de forma integrada com as paredes resistentes, atuando como um diafragma rígido para transmitir os esforços horizontais a essas paredes. É obrigatória a utilização de armadura de ligação entre as paredes e as lajes, a fim de assegurar a completa continuidade do sistema.

2.2.1.2 *Ações verticais nas paredes*

Conforme a ABNT NBR 16055:2022, o dimensionamento das paredes deve levar em conta todas as cargas gravitacionais que incidem sobre elas, em conformidade com as diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 6120. É importante

considerar que essas cargas atuam de forma paralela ao plano médio das paredes de concreto, as quais devem ser tratadas como estruturas de casca plana. Nesse contexto, é possível obter os valores característicos de seus esforços com base em análises realizadas no regime elástico.

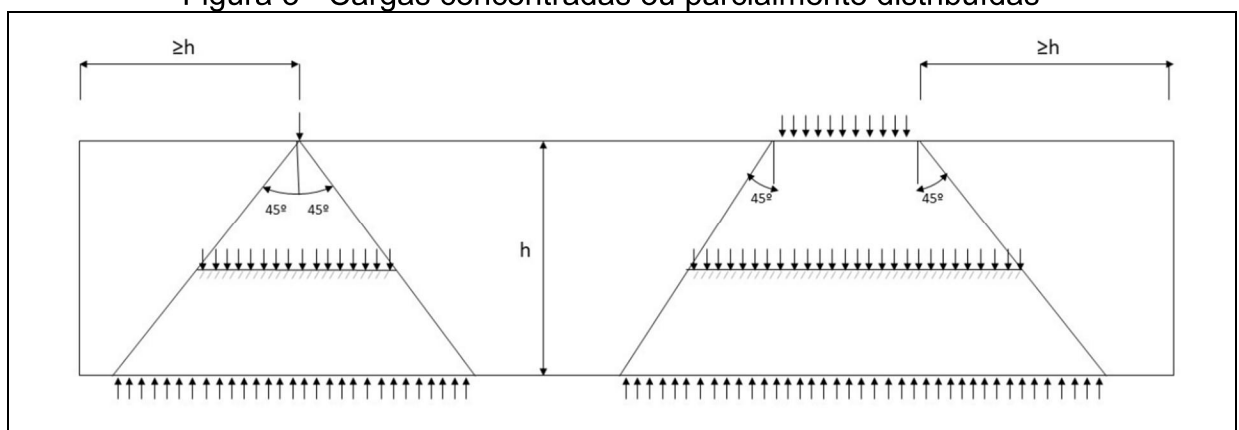
a) Cargas linearmente distribuídas

As ações gravitacionais são consideradas como cargas linearmente distribuídas e aplicadas sobre as paredes de concreto, as quais podem ser tratadas como elementos de membrana. Em determinadas circunstâncias, essas cargas podem seguir uma trajetória inclinada ao longo das paredes de concreto, inclusive redistribuindo-se entre paredes adjacentes. Nessas condições, é necessário avaliar as tensões de cisalhamento nas paredes e em suas interfaces. O ângulo-limite do caminhamento das cargas em relação à vertical é de 45 graus.

b) Cargas concentradas ou parcialmente distribuídas

Em paredes estruturais, é admissível considerar que uma carga concentrada ou parcialmente distribuída seja distribuída de maneira uniforme em seções horizontais delimitadas por um dos planos inclinados a 45 graus em relação à vertical, passando pelo ponto onde a carga é aplicada ou pelas extremidades da área de aplicação (Figura 3). É necessário examinar a possibilidade de interferência entre cargas próximas.

Figura 3 - Cargas concentradas ou parcialmente distribuídas



Fonte: ABNT NBR 16055:2022

c) Distribuição de cargas devido às aberturas

Nas seções horizontais situadas acima e abaixo de aberturas, a distribuição da carga deve ser efetuada de forma a não incluir as áreas delimitadas por planos inclinados a 45 graus, que são tangentes às extremidades da abertura. O dimensionamento ao redor das aberturas deve ser realizado conforme ABNT NBR 16055:2022

2.2.1.3 Ações horizontais na parede

As ações horizontais que devem obrigatoriamente ser consideradas são as originadas pelo vento e pelo desaprumo, sem negligenciar outras ações estipuladas em normas que, na avaliação do projetista, possam resultar em esforços significativos. Estas ações devem ser combinadas de acordo com as orientações da ABNT NBR 8681, inclusive levando em conta a possibilidade de ocorrência de sismos. A expressão de dimensionamento deve levar em conta estes esforços.

a) Ação do vento

Segundo a ABNT NBR 16055:2022, a consideração da ação do vento deve seguir a ABNT NBR 6123.

b) Desaprumo

Para edifícios de múltiplos andares, deve ser considerado um desaprumo global por meio de um ângulo de desaprumo θ , conforme a equação (1).

$$\theta = \frac{1}{100\sqrt{H}} \quad (1)$$

Sendo

θ Ângulo de desaprumo, expresso em radianos (rad)

H Altura da edificação, expressa em metros (m)

No projeto deve constar o desaprumo máximo de construção, conforme ABNT NBR 16055:2022.

2.2.1.4 *Coefficiente de ponderação dos esforços*

Os coeficientes devem ser determinados conforme a ABNT NBR 8681, quanto a combinações para os estados-limites último (ELU) e de serviço (ELS).

2.2.2 **Classe de agressividade ambiental**

Conforme a ABNT NBR 6118:2023, “a agressividade ambiental está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas”. A norma separa a agressividade ambiental em quatro classes, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbano	Pequeno
III	Forte	Marinho	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2023

Uma vez definidas as classes de agressividade ambiental (CAA), a ABNT NBR 6118:2023 define os cobrimentos mínimos (Quadro 2) e classe de concreto mínima para cada situação (Quadro 3).

Quadro 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30	30	40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2023

Quadro 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
Classe de concreto	Concreto armado	≥C20	≥C25	≥C30	≥C40
	Concreto protendido	≥C25	≥C30	≥C35	≥C40

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2023

Nos casos em que se empregam armaduras principais com cobrimentos maiores ou iguais a 1,5 vezes o valor especificado pela ABNT NBR 6118:2023, é possível aplicar, para paredes de concreto armado moldadas no local, as diretrizes de uma classe de agressividade ambiental imediatamente mais branda, conforme a ABNT NBR 16055:2022, contanto que se assegure que o limite máximo de abertura de fissuras em uma possível superfície tracionada esteja de acordo com o que é estipulado na norma.

Para que o método criado neste trabalho abranja uma maior gama de situações, na aplicação do método a um caso real (Capítulo 4), o empreendimento será considerado em ambiente urbano, classe de agressividade ambiental II. Contudo, como será empregada tela centrada, o cobrimento em qualquer situação será superior a 1,5 vezes o cobrimento mínimo, sendo assim, é possível aplicar as diretrizes da classe de agressividade ambiental I.

2.2.3 Resistências

Para efeitos de projeto, a ABNT NBR 16055:2022, se fundamenta considerando que a resistência característica a compressão do concreto (f_{ck}) não pode ser considerada superior a 40 MPa.

2.2.4 Limites para dimensões, deslocamentos e abertura de fissuras

2.2.4.1 *Dimensões mínimas*

Para paredes com até 3 m de altura, a espessura mínima da parede deve ser de 10 cm, podendo chegar a 8 cm em paredes internas de edificações de até dois pavimentos. Para paredes com altura superior a 3 m a espessura mínima deve ser de $h/30$.

2.2.4.2 *Juntas de trabalho*

A principal função das juntas de trabalho é prevenir o aparecimento de fissuras, rachaduras e deformações decorrentes de variação de temperatura, retração, variação brusca de carregamento e variação da altura ou espessura da parede.

Elas garantem a estabilidade e durabilidade das estruturas ao longo do tempo, minimizando os efeitos adversos das tensões induzidas pelas variações ambientais. Portanto, deve ser analisada a necessidade da colocação de juntas de trabalho na estrutura.

A ABNT NBR 16055:2022 indica e dá diretrizes aos tipos de juntas, mostradas a seguir:

a) Juntas de controle vertical

Para paredes de concreto dispostas no mesmo plano e na ausência de uma análise detalhada das condições específicas de cada parede, é necessário instalar juntas verticais de controle. O espaçamento máximo entre essas juntas deve ser

estabelecido com base em resultados de testes específicos, conforme descrito em projeto. Caso esses testes não tenham sido realizados, a prática recomendada é adotar um espaçamento máximo de 8 metros entre as juntas para paredes internas e de 6 metros para paredes externas.

As juntas podem ser passantes ou não passantes (recomenda-se uma profundidade mínima de 2 cm), pré-formadas ou serradas.

b) Juntas de controle horizontal

Levando em consideração uma dilatação excessiva da última laje, devido a uma possível exposição direta ao tempo, pode ser prevista uma junta de controle imediatamente sob esta laje, a critério do projetista estrutural. Não deve haver armadura de ligação entre a parede e a última laje. Essa junta segue os mesmos procedimentos das juntas de controle vertical.

Caso opte-se por utilizar essa junta, é necessário executar uma armadura de reforço nas paredes. O reforço deve ser acrescentado à armadura existente, em toda a extensão da parede, alojada na região da seção transversal junto à borda livre, com altura de duas vezes a espessura da parede. Essa armadura deve ter valor mínimo de 1 cm² e deve ser determinada por modelo de borda livre.

c) Junta de dilatação

Juntas de dilatação são elementos importantes em estruturas de concreto para permitir a expansão e contração térmica do material devido às variações de temperatura.

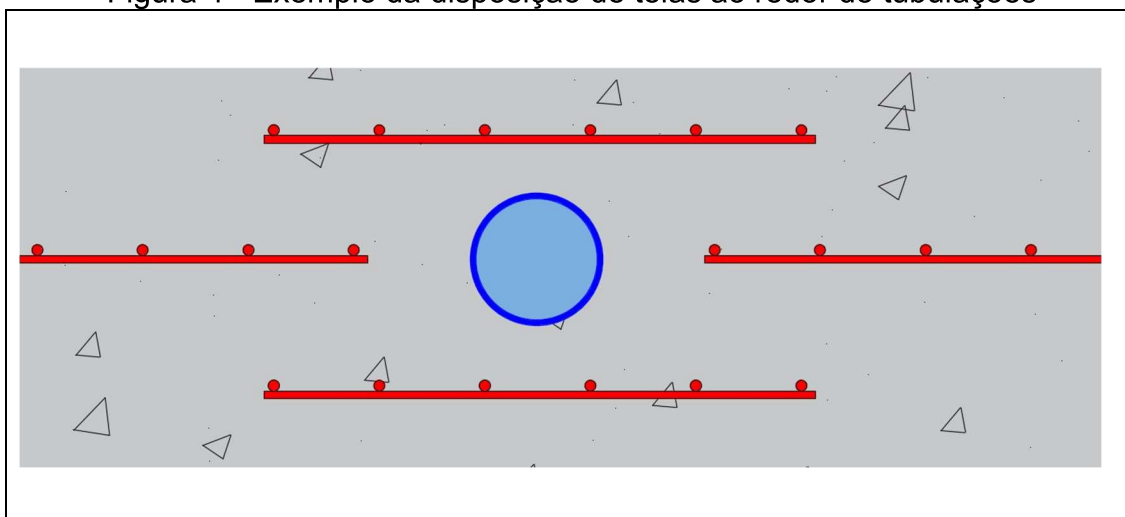
A ABNT NBR 16055:2022 recomenda a utilização de juntas de dilatação a cada 30 metros da estrutura em planta e quando houver variações bruscas de geometria ou de esforços verticais. Pode-se fazer a utilização de limites diferentes dos estabelecidos, desde que seja feita uma avaliação mais precisa dos efeitos da variação de temperatura do concreto sobre a estrutura

2.2.4.3 Instalações elétricas e demais sistemas

A ABNT NBR 16055:2022 estabelece condições para que tubulações elétricas verticais possam ser embutidas nas paredes de concreto, são elas:

- a) respeitar as condições de manutenibilidade indicadas na ABNT NBR 15575-2;
- b) diâmetro máximo de 25 % da espessura da parede, espaçado em no mínimo 5 cm, livre entre faces das tubulações, sem reforços;
- c) quando o diâmetro da tubulação estiver entre 25% e 50% da espessura da parede, no caso do uso de telas metálicas, recomenda-se que se coloque a tubulação centrada e com telas nas duas faces, com largura mínima de 60 cm e transpasse mínimo equivalente à metade da espessura de parede (Figura 4).

Figura 4 - Exemplo da disposição de telas ao redor de tubulações



Fonte: adaptado de ABNT NBR 16055:2022

- d) não é admitida a utilização de tubos metálicos embutidos.

Já se tratando de tubulações horizontais, a NBR apenas admite a sua utilização em trechos de até um terço do comprimento da parede (entre travamentos), não podendo ultrapassar 1 metro de comprimento, desde que não se considere esse trecho como tendo função estrutural.

Nos encontros de paredes, a uma distância inferior a três vezes a espessura da parede, não são permitidas tubulações horizontais ou verticais, respeitada a região de emenda das telas, a menos que haja uma verificação específica do projetista estrutural.

2.2.4.4 Instalações hidrossanitárias

A ABNT NBR 16055:2022 permite a utilização de instalações hidráulicas e sanitárias dispostos verticalmente em nichos previamente previstos no projeto estrutural. Permite a utilização embutida de PEX (tubulações flexíveis reticuladas encamisadas). O diâmetro máximo deve respeitar as dimensões previstas na norma.

2.2.5 Análise estrutural

2.2.5.1 Premissas e objetivos da análise estrutural de paredes de concreto armado

O objetivo da análise estrutural é garantir a segurança, estabilidade e desempenho das estruturas de concreto armado sob diversas condições de carga e ambiente. Através da análise é possível prever esforços internos, tensões, deslocamentos e deformações da estrutura como um todo, sempre considerando os estados limite último e de serviço (ELU e ELS).

Deve-se determinar corretamente o caminho descrito pelas forças, desde o local de aplicação das cargas até a fundação da estrutura. Além disso, a análise deve contemplar todas as interferências, como instalações elétricas e hidráulicas, além de aberturas, como portas e janelas.

2.2.5.2 Hipóteses básicas conforme norma

A ABNT NBR 16055 estabelece algumas hipóteses básicas para a execução do projeto de paredes de concreto armado moldada no local, são elas:

- a) para a análise das situações de serviço, pode-se considerar o comportamento elástico-linear para a obtenção dos esforços solicitantes;
- b) devem ser utilizadas as combinações de ações previstas na ABNT NBR 8681 (combinação rara, frequente e quase permanente) e as relativas à segurança, estabelecidas na ABNT NBR 6118:2023;
- c) é permitida a utilização de análise linear para obtenção dos esforços solicitantes, caso não seja possível utilizar um modelo mais preciso, com o objetivo de se calcularem as resultantes das tensões solicitantes que devem ser utilizadas no dimensionamento para análise das situações do Estado Limite Último (ELU);
- d) a parede componente do sistema estrutural de contraventamento pode ser representada por elemento linear, desde que se considere, além da deformação por flexão, a deformação por cisalhamento. A interação de paredes que se interceptam deve ser incluída no modelo, representando, de forma adequada, a eventual distinção entre a posição do centro de gravidade e do centro de cisalhamento da seção transversal composta (T, L, C etc.).

2.2.5.3 *Premissas básicas de concepção do projeto conforme norma*

As paredes de concreto armado projetadas conforme a ABNT NBR 16055:2022 devem seguir as seguintes premissas básicas:

- a) para ser considerada uma parede de concreto, o elemento deve ter o comprimento ao menos 5 vezes a sua espessura, caso contrário, o elemento deve ser dimensionado à flexão composta;
- b) a resistência característica à compressão no concreto (f_{ck}) de projeto deve ser menor ou igual a 40 MPa e deve atender aos requisitos de durabilidade em função da classe de agressividade ambiental;
- c) deve-se realizar a análise dos esforços de torção, quando o centro de gravidade não coincidir com o centro de torção, no caso da utilização de modelos de barras para as paredes;
- d) a abertura cuja maior dimensão seja menor ou igual a 61 cm e menor que 1/4 do menor valor entre a altura e o comprimento da parede na qual se

insere pode ser desconsiderada para efeito de interação, desde que as extremidades da abertura estejam afastadas pelo menos 60 cm de cada extremidade da parede. Quando houver mais de uma abertura na mesma parede, essa consideração só é permitida quando o trecho de parede entre duas aberturas for superior a 60 cm;

- e) caso seja feito o uso de paredes de concreto não estrutural, deve-se assegurar o seu total desligamento físico a quaisquer outros elementos estruturais, como paredes e lajes.

2.2.6 Dimensionamento

2.2.6.1 Generalidades

As paredes devem ser construídas de forma monolítica e com uma armadura de ligação equivalente à utilizada em todo o painel, assegurando-se que a quantidade mínima de armadura, estipulada em 2.2.6.3, seja respeitada, tanto na conexão entre paredes, na horizontal e na vertical, quanto na ligação entre paredes e lajes. Nas paredes internas do edifício simplificado, a armadura de ligação entre a parede e a laje pode ser dispensada. O comprimento mínimo de ligação em cada elemento deve ser de três vezes a espessura da parede. Caso sejam usadas barras isoladas na ligação, o espaçamento máximo entre elas não deve exceder 30 cm.

2.2.6.2 Premissas básicas de dimensionamento

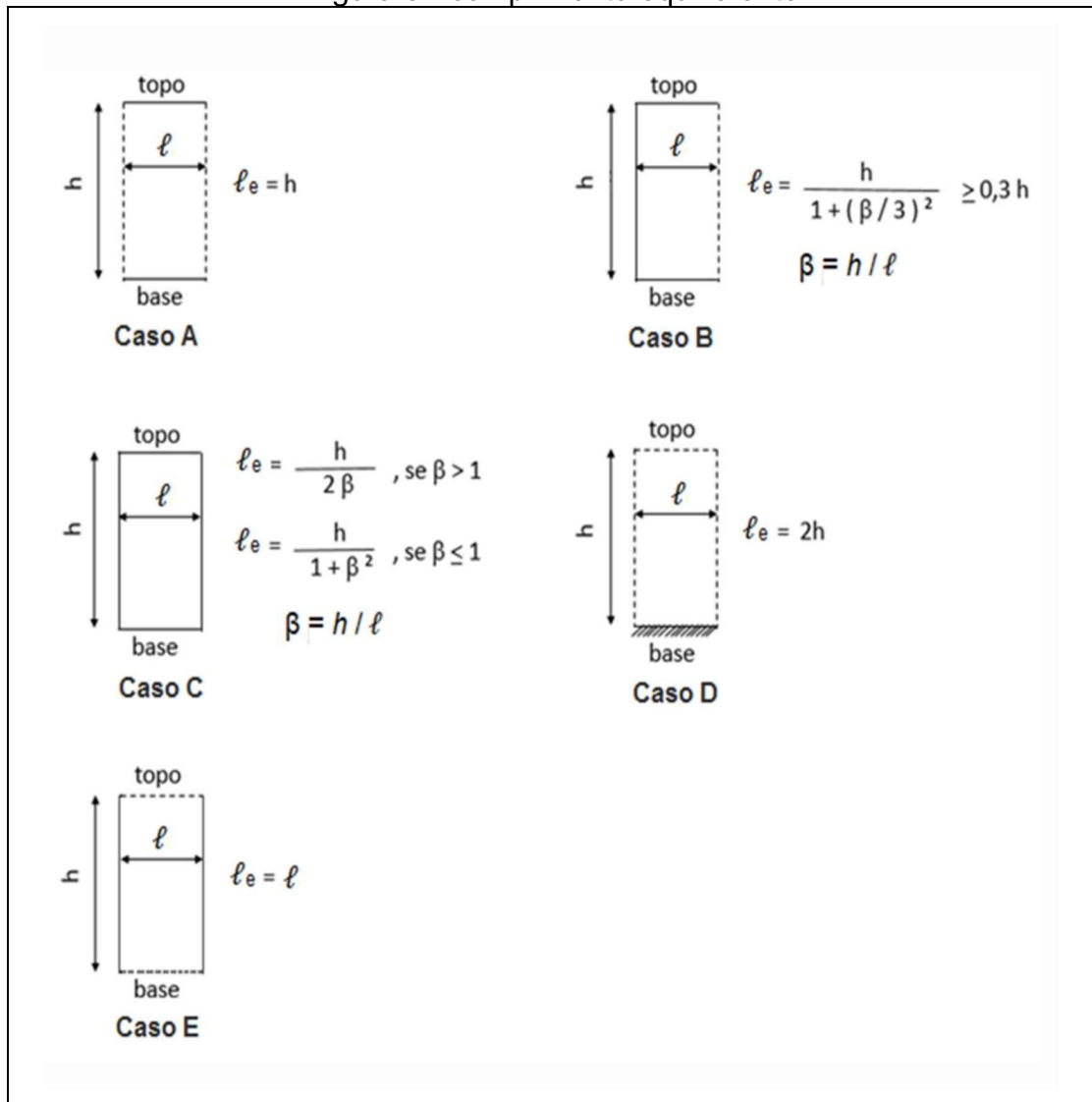
Conforme a ABNT NBR 16055, as estruturas de paredes de concreto devem atender às seguintes premissas básicas:

- a) trechos de parede com espessura máxima de 19 cm e comprimento menor que cinco vezes a sua espessura, considerados estruturais, devem ser dimensionados à flexão composta, desconsiderando-se a espessura mínima da ABNT NBR 6118:2023 e adotando-se $\gamma_n = 1,95 - 0,05 t$, sendo t a espessura da parede, em centímetros; excetuam-se os trechos que funcionam como travamento ortogonal à parede e os trechos curtos entre

caixilhos de janelas com aberturas verticais inferiores a 50% do pé-direito, desde que ligados à parede por armaduras devidamente ancoradas;

- b) paredes devem ser dimensionadas à flexo-compressão para os esforços atuantes, considerando-se como mínimo o maior valor entre as seguintes excentricidades:
- excentricidade mínima de $(1,5 + 0,03 t)$ cm, onde t é a espessura da parede;
 - excentricidade decorrente da pressão lateral do vento nas paredes externas.
- c) altura equivalente da parede (l_e) de acordo com a Figura 5, em que h é a distância de piso a piso.

Figura 5 - comprimento equivalente



Fonte: ABNT NBR 16055:2022

Deve-se usar ℓ_e como comprimento equivalente, sendo na direção horizontal ou vertical.

Ao momento de segunda ordem devem ser adicionados os momentos de primeira ordem, respeitando-se a excentricidade mínima, no caso da direção vertical.

No caso de utilização de tela dupla, deve ser considerada para o dimensionamento somente a colaboração da armadura tracionada. Pode ser utilizada a Equação (2), no caso de utilização de armaduras duplas (telas em ambas as faces), desde que:

- para $t \leq 18$ cm, a armadura vertical considerada deve ser 50 % do total da seção em cada face;

- para $t > 18$ cm, permite-se a utilização de 67 % do valor calculado, devido à maior eficiência das armaduras para estas espessuras de paredes, sendo, pelo menos a metade deste valor em cada face.

2.2.6.3 Armadura mínima

a) Seção de aço

A seção mínima de aço nas armaduras verticais feitas com aço CA-60 deve ser igual a 0,09% da seção de concreto. Em construções com até dois pavimentos, é permitido usar uma quantidade mínima de armadura que seja equivalente a 0,06% da seção do concreto. No entanto, essa redução não é aplicável aos dois pavimentos superiores de um edifício que tenha mais de dois pavimentos.

A seção mínima de aço nas armaduras horizontais deve representar 0,15% da seção transversal do concreto. No caso de utilização de concretos de baixa retração ou na ausência de controle específico, e para paredes externas com comprimento horizontal de até 6 metros e paredes internas de até 8 metros (ou entre juntas de controle), é permitido usar armadura mínima equivalente a 60% desses valores. Em construções de até dois pavimentos, é permitido utilizar armadura mínima equivalente a 40% desses valores. No entanto, essa redução não é aplicável aos dois pavimentos superiores de um edifício que tenha mais de dois pavimentos.

Na utilização de armaduras duplas (armaduras em ambas as faces) a quantidade mínima de armadura vertical deve ser aplicada separadamente em cada uma das faces. No entanto, para espessuras superiores a 18 centímetros, é possível reduzir esse valor em 33%. No que diz respeito às armaduras horizontais, a quantidade total mínima de armadura permanece inalterada.

Em paredes internas cuja espessura foi aumentada devido a motivos não relacionados à estrutura, como isolamento térmico ou acústico, é permitido calcular a armadura, incluindo a determinação da quantidade mínima, com base em uma espessura reduzida, desde que essa espessura seja reduzida em até 1/3 da espessura real, contanto que não seja menor do que a menor espessura do pavimento, observando as espessuras mínimas dispostas no item 2.2.4.1. Entretanto, para fins de cálculo das forças e esforços, é obrigatório utilizar a dimensão real.

A armadura de ligação nos cruzamentos de paredes deve ser maior ou igual à maior armadura horizontal entre as paredes que se encontram.

A armadura de ligação de paredes entre pavimentos subsequentes deve ser maior ou igual à maior armadura vertical entre as paredes que se encontram.

b) Espaçamento entre barras de aço

O espaçamento máximo permitido entre as barras das armaduras verticais e horizontais não pode exceder 30 centímetros

c) Quantidade de tela soldada

No caso de que telas soldadas forem utilizadas, as paredes de concreto podem conter apenas uma única tela soldada, posicionada longitudinalmente e próxima ao centro geométrico da seção horizontal da parede. No entanto, nos casos a seguir, é necessário especificar uma tela soldada para ambas as faces da parede (utilização de tela dupla):

- a) quando a espessura da parede for superior a 18 centímetros;
- b) em paredes localizadas no andar térreo de edifícios sujeitos a impacto de veículos, assim como em paredes que se conectam a marquises e terraços em balanço.

2.2.6.4 Resistência limite sob solicitação normal

A ABNT NBR 16055:2022 apresenta a equação (2) para a determinação da resistência de cálculo, que já considera as excentricidades transversais devidas à pressão máxima de vento característico de 1kN/m², desde que a excentricidade transversal não seja maior que a mínima de (1,5 + 0,03 t) cm. Além disso, essa equação já considera em sua expressão os efeitos de segunda ordem.

$$\eta d, resist = \frac{(0,85fcd + \rho.fscd)t}{k1[1 + 3k2(2 - k2)]} \leq \frac{(0,85fcd + \rho.fscd)t}{1,643} \leq vd, máx. fcd. t \quad (2)$$

Onde:

$\eta_{d, resist}$ é a normal resistente de cálculo, por unidade de comprimento, admitida no plano médio da parede, considerando a força normal aplicada na parede e o momento fletor na direção da mesma devido a vento e desaprumo;

ρ é a taxa geométrica da armadura vertical da parede, não maior que 1%. No caso de armadura dupla, ρ se refere à armadura na face menos comprimida;

t é a espessura da parede;

Sendo:

$f_{scd} = E_s \cdot 0,002 / \gamma_s$, considerando a compatibilização da deformação no aço com a do concreto adjacente

$$\gamma_c = 1,4 \cdot 1,2 = 1,68$$

$v_{d, máx} =$ 0,4 - Para paredes com tela centrada;
0,63 - Para paredes com tela dupla, sempre travada com grampos.

Os valores de λ devem ser calculados de acordo com a ABNT NBR 6118:2023 e os valores de l_e devem ser obtidos a partir da Figura 5.

Coefficiente k_1 e k_2 :

$$\text{Para: } \lambda < 35 \Rightarrow k_1 = 1, k_2 = 0$$

$$\text{Para: } 35 \leq \lambda \leq 86 \Rightarrow k_1 = \lambda/35, k_2 = 0$$

$$\text{Para: } 86 < \lambda \leq 120 \Rightarrow k_1 = \frac{\lambda}{35}, k_2 = \frac{\lambda-86}{35}$$

Quando as pressões do vento ultrapassam 1 kN/m², é necessário realizar verificações adicionais nas paredes periféricas que estão sujeitas à flexão simples. Para as paredes do último pavimento, o cálculo deve considerá-las como engastadas na parte inferior e apoiadas na laje de cobertura na parte superior. As paredes dos demais pavimentos devem ser calculadas como bi-engastadas.

A equação não é válida para os seguintes casos:

- a) paredes de concreto reforçado com fibra;
- b) paredes em balanço;
- c) paredes submetidas a esforços laterais elevados em ponto isolado.

O projeto é considerado adequado se os esforços solicitantes por metro de parede, calculados pelo método especificado, forem inferiores à resistência de cálculo especificada, para cada segmento da parede. No caso de uma borda vertical livre, o primeiro segmento adjacente deve ter um comprimento máximo de seis vezes a espessura da parede, com um limite de 1 metro, levando em consideração a carga normal máxima por unidade de comprimento desse segmento. Nesse trecho, é permitido utilizar uma taxa de armadura vertical de até 1,5%, desde que seja colocada simetricamente nas duas faces da parede e seja reforçada horizontalmente com grampos e estribos.

2.2.6.5 *Dimensionamento ao redor de aberturas*

Todas as aberturas que possuem uma dimensão horizontal igual ou superior a 40 centímetros devem ser reforçadas com armaduras horizontais tanto na parte superior quanto na parte inferior da abertura. A seção da armadura necessária será determinada com base em um modelo elástico ou biela-tirante.

No caso das vergas, a armadura longitudinal deve ser calculada como se fosse uma viga apoiada nas laterais, levando em conta o peso próprio da parede e a reação da laje projetada sobre ela. A altura da viga não pode ser maior que a metade da largura da abertura. A quantidade mínima de armadura a ser usada deve ser pelo menos igual à especificada na norma ABNT NBR 6118:2023, considerando a seção utilizada no cálculo, e nunca pode ser inferior a 1 cm². A ancoragem da armadura deve começar a partir do limite da abertura.

No caso das contravergas, o valor mínimo de armadura necessária é de 0,5 cm², com o comprimento de ancoragem medido a partir da face da abertura.

2.3 PRINCIPAIS ANÁLISES ESTRUTURAIS UTILIZADAS

Tratando-se de análise estrutural, existe uma ampla gama de métodos de análise possíveis, incluindo métodos analíticos (com hipóteses simplificadoras, muitas vezes usadas em cálculos manuais), métodos numéricos (como elementos finitos) e testes experimentais (como ensaios de laboratório).

Como o objetivo deste trabalho está ligado a redução de custos a partir da relação de custos de aço x concreto do mercado, será adotada uma análise estrutural mais simplificada para determinação dos esforços.

2.3.1 Cargas atuantes

Para determinar os esforços nas lajes, o primeiro passo é calcular as cargas atuantes por metro quadrado na estrutura. Os valores mínimos dessas cargas estão definidos na ABNT NBR 6120 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações, e são classificadas como cargas permanentes (g) e cargas acidentais (q). As cargas permanentes (g) incluem o peso próprio da estrutura e dos elementos fixos da construção, e elas permanecem praticamente constantes ao longo da vida da construção. Já as cargas acidentais (q) são aquelas que variam significativamente em torno de uma média devido ao uso das edificações, e são uniformemente distribuídas na estrutura.

2.3.1.1 Cargas permanentes

Em edifícios de concreto moldado no local, as cargas permanentes correspondem ao peso próprio dos elementos estruturais (lajes, vigas, elementos de vedação e blocos ou sapatas de fundação), revestimentos verticais (argamassa, revestimento cerâmico de parede, além de madeira ou pedras decorativas) e revestimentos horizontais (reboco no teto, contrapiso e pisos que podem ser de diferentes materiais, como cerâmico, madeira ou pedras).

A ABNT NBR 6120:2019 estabelece pesos específicos desses materiais de construção para serem adotados na definição das cargas permanentes (Tabela 1).

Tabela 1 – Pesos específicos dos materiais de construção civil
(continua)

Material		Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
1 Rochas naturais	Arenito	21 a 27 (24)
	Ardósia	28
	Basalto, diorito, gabro	27 a 31 (29)
	Calcário denso	20 a 29 (24,5)
	Gnaisse	30
	Granito, sienito, pórfiro	27 a 30 (28,5)
	Lava basáltica	24
	Mármore e calcário	28
	Outros calcários	20
	Taquilito	26
2 Blocos artificiais e pisos	Blocos de concreto vazados (função estrutural, classes A e B, ABNT NBR 6136)	14
	Blocos cerâmicos vazados com paredes vazadas (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)	12
	Blocos cerâmicos vazados com paredes maciças (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)	14
	Blocos cerâmicos maciços	18
	Blocos de concreto celular autoclavado (Classe C25 - ABNT NBR 13438)	5,5
	Blocos de vidro	9
	Blocos sílico-calcários	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Porcelanato	23
	Terracota	21
3 Argamassas e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cal	12 a 18 (15)
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23 (21)
	Argamassa de gesso	12 a 18 (15)
	Argamassa autonivelante	24
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Metais	Aço	77 a 78,5 (77,8)
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	83 a 85 (84)
	Chumbo	112 a 114 (113)
	Cobre	87 a 89 (88)
	Estanho	74
	Ferro forjado	76
	Ferro fundido	71 a 72,5 (71,8)
	Latão	83 a 85 (84)
	Zinco	71 a 72 (71,5)

Tabela 1 – Pesos específicos dos materiais de construção civil

(conclusão)

Material		Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
5 Madeiras	Madeiras naturais (umidade U = 12 %)	
	Cedro	5
	Pinho	5
	Quarubarana	6
	Louro, Imbuia, Pau-óleo	6,5
	Angelim Araroba, Angelim Pedra, Cafearana, Louro Preto	7
	Branquilha, Casca Grossa, Castelo, Guaiçara, Oiticica Amarela	8
	Guajuvirá, Guatambu, Grápia	8
	Canafistula, Capiúba, Guarapa Roraima, Guaraucaia, Mandioqueira	9
	Eucalipto, Tatajuba	10
	Angico, Cabriúva	10
	Champanhe, Ipê, Jatobá, Sucupira	11
	Angelim Ferro, Angelim Pedra Verdadeiro, Catiúba, Maçaranduba	12

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6120:2019

2.3.1.2 Cargas acidentais

As cargas acidentais são determinadas pela maneira como a laje é utilizada no projeto arquitetônico. Essas cargas incluem as influências causadas pelo uso das construções, como a presença de pessoas, móveis, diversos materiais e veículos, juntamente com seus efeitos, como forças de frenagem e impacto, e outros fatores como ação do vento, variação de temperatura, entre outros.

Para simplificação, essas cargas são consideradas uniformemente distribuídas na vertical, por toda a área da laje, com valores mínimos descritos na ABNT NBR 6120:2019.

É permitido, de acordo com a ABNT NBR 6120:2019, uma redução das cargas acidentais para o cálculo dos pilares (ou, no caso deste trabalho, das paredes de concreto), conforme Tabela 2.

Tabela 2 - redução permitida para cargas acidentais

Número de pisos que atuam sobre o elemento	Redução percentual das cargas acidentais
1, 2 e 3	0
4	20
5	40
6 ou mais	60

Fonte: ABNT NBR 6120:2019

2.3.2 Distribuição de esforços advindos das lajes

O cálculo dos esforços em lajes bidirecionais envolve o entendimento do comportamento de placas submetidas a carregamentos verticais. Dentre todos os métodos de cálculo possíveis, os mais usuais são o da Teoria Matemática de Elasticidade (método elástico) e pelo Método no Regime de Ruptura (charneiras plásticas), sendo esse segundo o que será utilizado nesse trabalho.

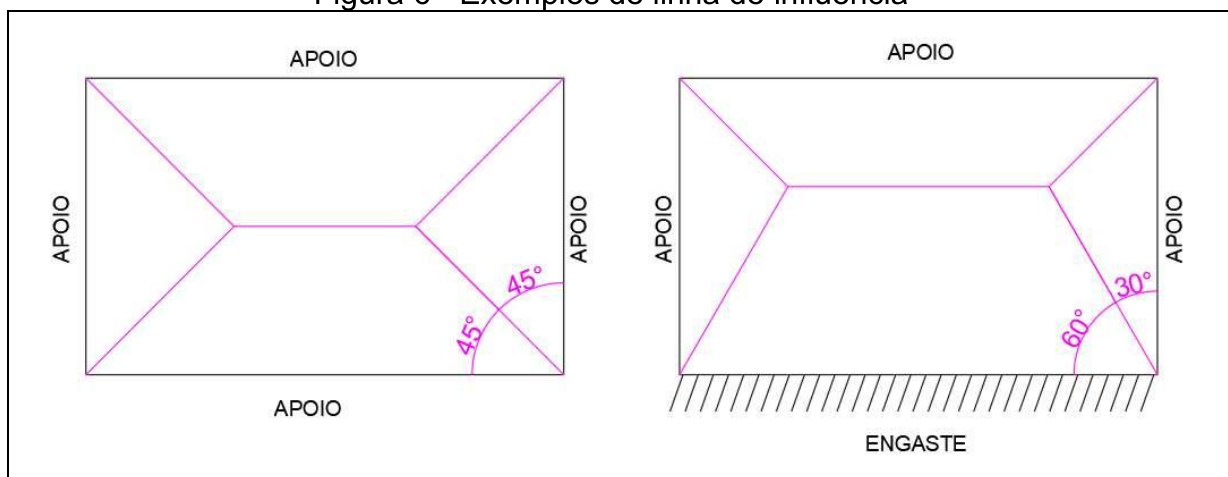
O Método no Regime de Ruptura tem como base os mecanismos de ruptura da laje, determinando como a laje chega ao colapso. Esse método (dentre os métodos simplificados) é eficaz para prever as reações de apoio nas paredes, porém não é eficiente no cálculo dos deslocamentos das lajes para considerações no estado limite de serviço. Para este trabalho, não será necessária a determinação dos deslocamentos das lajes, uma vez que apenas as paredes serão calculadas.

2.3.2.1 Método do regime de ruptura

O método do Regime de Ruptura, ou Charneiras Plásticas, considera as linhas de ruptura das lajes na determinação do carregamento transferido aos apoios. A ABNT NBR 6118:2023 permite que os carregamentos sejam considerados uniformemente distribuídos em uma mesma parede ao longo da viga.

As charneiras podem ser aproximadas por retas inclinadas, a partir dos vértices da laje, com ângulos de 45, 60 e 90° dependendo dos tipos de apoio, podendo ser engastados, apoiados ou de borda livre (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2021). A Figura 6 mostra alguns exemplos de linhas de ruptura e a obtenção das áreas de influência de cada parede.

Figura 6 - Exemplos de linha de influência



Fonte: adaptado de Carvalho e Figueiredo Filho (2021)

A partir da determinação da área de influência, basta multiplicá-la pelo carregamento distribuído da laje para obter a carga total sobre parede. Essa carga então é distribuída pelo comprimento útil total da parede, para a obtenção da carga por metro de parede.

2.3.3 Distribuição de esforços verticais entre paredes

Conforme especificado no item 2.2.1.2, as cargas percorrem uma trajetória inclinada ao longo das superfícies das paredes de concreto, redistribuindo-se inclusive entre paredes adjacentes. O ângulo máximo de caminhamento das cargas é de 45° em relação à vertical.

Conforme Nunes (2011), para o cálculo das cargas verticais em edifícios de parede de concreto armado, são utilizados procedimentos análogos aos empregados para o cálculo na alvenaria estrutural. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), os procedimentos mais usuais são os apresentados a seguir:

a. Paredes isoladas

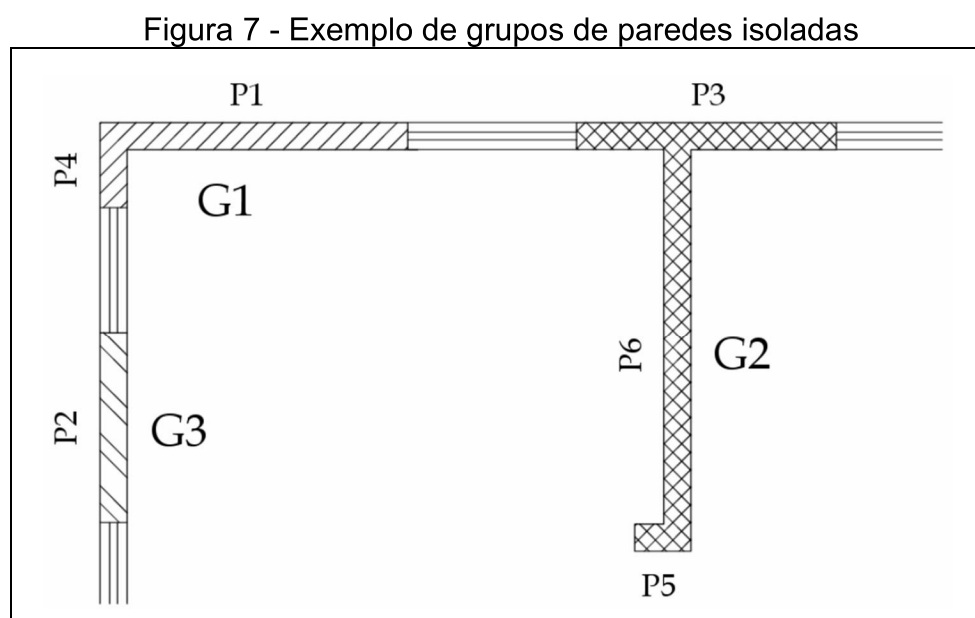
Nesse procedimento, pressupõe-se que não há qualquer interação entre uma parede e outra, ou seja, todas as paredes são consideradas como elementos isolados. Esse procedimento é considerado simplificado, uma vez que não leva em consideração a distribuição de cargas verticais na parede, ou seja, para calcular a

carga em uma parede em um determinado nível, basta somar todas as cargas que atuam nessa parede nos pavimentos localizados acima do nível em questão. Além de sua simplicidade, este método também é muito seguro para as paredes, pois, na ausência de distribuição uniforme das cargas, as resistências exigidas para os blocos sempre serão mais elevadas do que se fosse considerada a distribuição uniforme.

Entre os procedimentos mais usuais é considerado antieconômico e pode ocasionar uma estimativa imprecisa das ações atuantes sobre a estruturas de fundação, tornando-as mais caras. A sugestão proposta pelos autores Ramalho e Corrêa é que esse método de considerar as paredes como isoladas seja utilizado em edifícios de altura relativamente baixa, onde seus efeitos negativos são menos perceptíveis.

b. Grupo isolado de paredes

Nesse procedimento, delimita-se grupos de paredes que trabalhem de forma isolada, normalmente sendo delimitados por aberturas, como portas e janelas (Figura 7).



Fonte: SILVA, T.F.T. (2005)

As cargas são assumidas como uniformemente distribuídas em cada grupo de paredes analisado. Isso implica que as forças de interação em canto e bordas são consideradas adequadas para assegurar uma dispersão e uniformização completa em

uma altura limitada. Por outro lado, as forças de interação nas aberturas e nos limites dos grupos são ignoradas. Consequentemente, cada conjunto determinado operará de forma independente dos outros.

Segundo os autores Ramalho e Corrêa (2003), devido às suas características, este método pode ser considerado apropriado para construções de qualquer altura, salientando apenas que é de extrema importância que as ligações nos cantos e bordas permitam a transferência adequada de forças para todo o grupo.

c. Grupo de paredes com interação

Esse procedimento é muito semelhante ao do grupo de paredes isoladas, em que se reúnem as paredes em grupos e distribui-se igualmente as cargas das paredes ao longo desse grupo. A diferença desse procedimento é que incorpora uma sofisticação adicional, que permite a interação entre os próprios conjuntos de paredes. Portanto, a distinção principal entre este procedimento e o anterior, que considerava apenas a interação nas esquinas e bordas, é que agora também são consideradas forças de interação nas aberturas.

Conforme os autores Ramalho e Corrêa (2003), é fundamental destacar que essa interação não se limita a garantir uma uniformização completa da carga, uma vez que isso resultaria na determinação da carga vertical total de um pavimento e na sua divisão pelo comprimento total das paredes, gerando uma carga média igual para todos os elementos. Na realidade, é mais apropriado definir uma taxa de interação que representa quanto da diferença de cargas entre os conjuntos que interagem deve ser distribuída uniformemente em cada nível. Além disso, é igualmente importante que seja possível especificar quais conjuntos de paredes estão interagindo, permitindo assim que o projetista mantenha controle total sobre o processo.

2.4 BASE DE DADOS SINAPI

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção civil (SINAPI) é um sistema que fornece relatórios de insumos e composições que estão disponíveis por unidade federativa. O Decreto 7983/2013 atribui a administração do SINAPI à CAIXA e ao Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE), sendo a CAIXA encarregada da base técnica de engenharia, do processamento de dados e da

divulgação dos relatórios de preços e custos e o IBGE desempenha o papel de condução da pesquisa de preços, no tratamento dos dados, na elaboração e na divulgação dos índices, fornecendo informações atualizadas sobre os custos de materiais, mão de obra e serviços relacionados à construção. As tabelas de custos são atualizadas mensalmente e são a principal base usada para orçamentação de obras de interesse social, foco principal dessa pesquisa.

Todo o histórico de custos utilizado nesse trabalho é adquirido a partir das tabelas SINAPI, tanto pela sua relevância e reconhecimento nacional quanto pelo seu grande uso na orçamentação de custos em obras de cunho social, uma vez que, em geral, se trata de empreendimentos de baixo custo, cujo financiamento deve ser feito com base no SINAPI.

2.4.1 Histórico de custos do concreto e aço

Para a criação dos gráficos, os custos de aço e concreto serão retirados das tabelas de preço de referência de insumos do SINAPI, semestralmente a partir de junho de 2014, referentes ao estado de Santa Catarina. O aço utilizado será CA-60 e os custos do concreto serão separados para cada resistência característica entre 20 e 40 MPa. A Tabela 3 mostra um resumo de preços de aço e concreto, referente aos meses de junho e dezembro de cada ano.

Tabela 3 - histórico de preços de aço e concreto (SINAPI)

Data	Aço (por kg)	Concreto (por m ³)				
		C20	C25	C30	C35	C40
jun/23	R\$ 8,94	R\$ 480,00	R\$ 493,53	R\$ 509,98	R\$ 526,43	R\$ 549,15
dez/22	R\$ 9,56	R\$ 487,17	R\$ 500,90	R\$ 517,60	R\$ 534,29	R\$ 557,36
jun/22	R\$ 9,18	R\$ 461,00	R\$ 473,99	R\$ 489,79	R\$ 505,59	R\$ 527,42
dez/21	R\$ 10,18	R\$ 395,50	R\$ 406,64	R\$ 420,20	R\$ 433,75	R\$ 452,48
jun/21	R\$ 10,31	R\$ 336,50	R\$ 345,98	R\$ 357,51	R\$ 369,05	R\$ 384,98
dez/20	R\$ 7,49	R\$ 318,40	R\$ 327,38	R\$ 338,29	R\$ 349,20	R\$ 364,28
jun/20	R\$ 4,53	R\$ 301,03	R\$ 309,52	R\$ 319,84	R\$ 330,15	R\$ 344,41
dez/19	R\$ 4,60	R\$ 258,96	R\$ 269,01	R\$ 280,95	R\$ 292,95	R\$ 306,00
jun/19	R\$ 4,95	R\$ 246,50	R\$ 256,06	R\$ 267,43	R\$ 278,85	R\$ 291,27
dez/18	R\$ 4,73	R\$ 232,10	R\$ 241,10	R\$ 251,81	R\$ 262,56	R\$ 274,26
jun/18	R\$ 4,52	R\$ 240,70	R\$ 250,03	R\$ 261,13	R\$ 272,28	R\$ 284,42
dez/17	R\$ 4,11	R\$ 236,40	R\$ 245,57	R\$ 256,47	R\$ 267,42	R\$ 279,34
jun/17	R\$ 3,64	R\$ 236,40	R\$ 245,57	R\$ 256,47	R\$ 267,42	R\$ 279,34
dez/16	R\$ 3,65	R\$ 236,40	R\$ 245,57	R\$ 256,47	R\$ 267,42	R\$ 279,34
jun/16	R\$ 3,89	R\$ 240,70	R\$ 250,03	R\$ 261,13	R\$ 272,28	R\$ 284,42
dez/15	R\$ 3,98	R\$ 249,29	R\$ 258,96	R\$ 270,46	R\$ 282,01	R\$ 294,57
jun/15	R\$ 4,08	R\$ 249,29	R\$ 258,96	R\$ 270,46	R\$ 282,01	R\$ 294,57
dez/14	R\$ 3,97	R\$ 236,40	R\$ 245,57	R\$ 256,47	R\$ 267,43	R\$ 279,34
jun/14	R\$ 3,93	R\$ 236,40	R\$ 245,57	R\$ 256,47	R\$ 267,43	R\$ 279,34

Fonte: elaborado pelo autor

O aço aparece na tabela SINAPI com o código 39, cuja descrição do insumo é “ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO”, entre junho de 2014 e junho de 2019, e com o código 43059, cuja descrição do insumo é “ACO CA-60, 4,2 MM, OU 5,0 MM, OU 6,0 MM, OU 7,0 MM, VERGALHAO”, entre dezembro de 2019 e junho de 2023.

Os concretos aparecem na tabela SINAPI com os códigos 34492, 34493, 34494, 34495 e 34496, cujas descrição são, respectivamente:

- “CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)”;
- “CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)”;
- “CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)”;

- “CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C35, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)”;
- “CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C40, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)”.

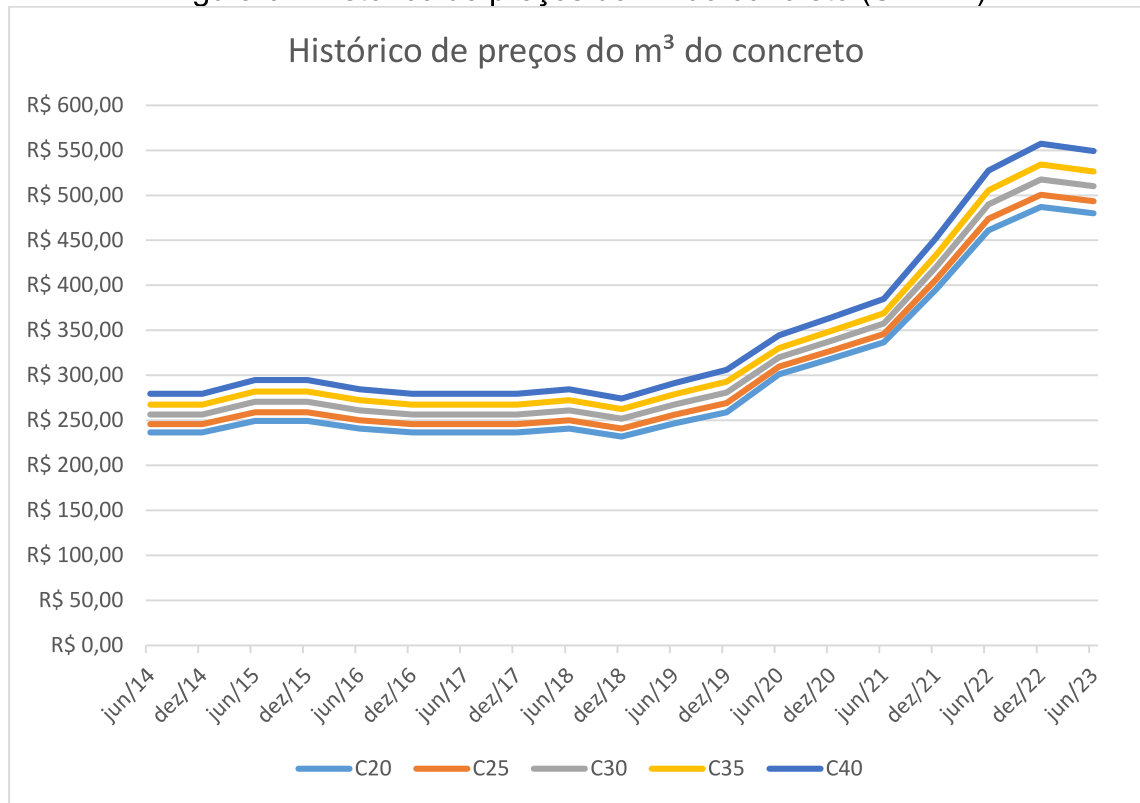
As figuras Figura 8 e Figura 9 mostram a evolução dos custos de aço e concreto ao longo do tempo.

Figura 8 - Histórico de preços do kg de aço (SINAPI)



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 9 - Histórico de preços do m³ do concreto (SINAPI)



Fonte: elaborado pelo autor

Uma vez coletados os preços históricos de aço e concreto é possível calcular a relação “concreto / aço” através da equação (3).

$$R(\text{concreto/aço}) = \frac{C_{\text{concreto}}}{C_{\text{aço}}} \quad (3)$$

sendo,

$R(\text{concreto/aço})$ Relação “concreto / aço” [sem unidade]

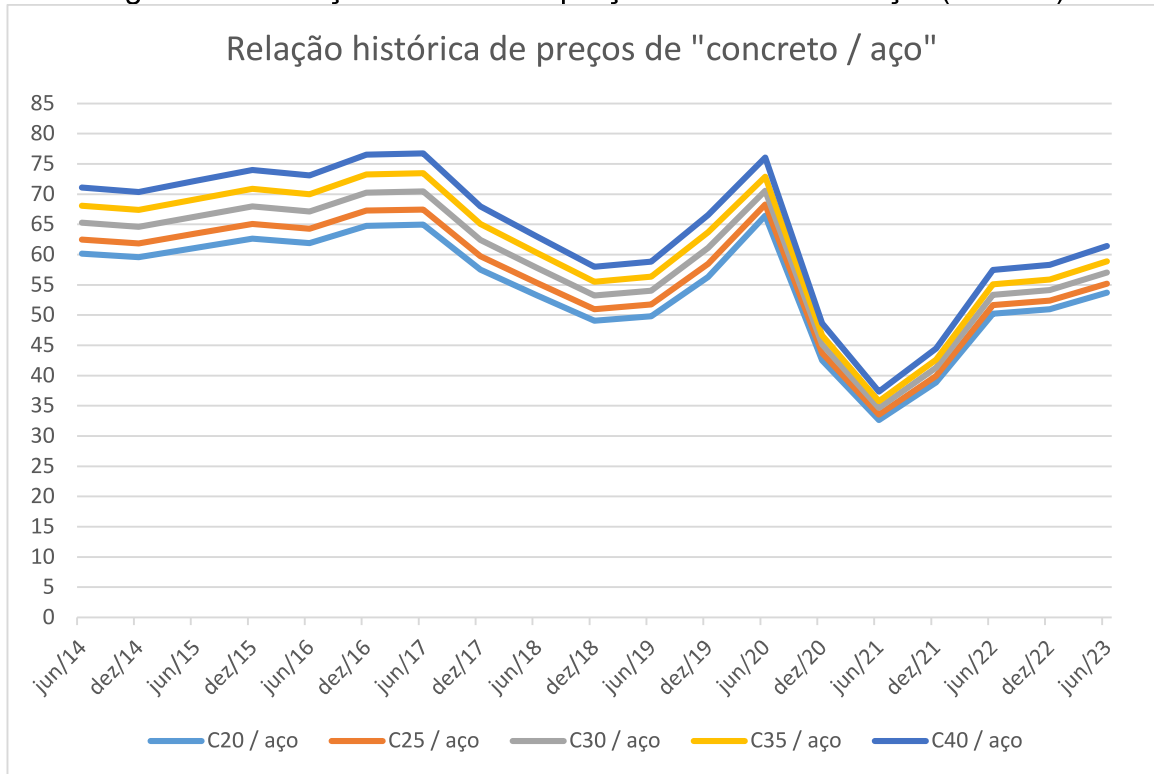
C_{concreto} Custo do m³ de concreto, em reais;

$C_{\text{aço}}$ Custo do kg de aço, em reais;

Essa relação é essencial para definir o valor relativo entre as variáveis principais desse trabalho (custo do concreto e aço). A Figura 10 apresenta um

histórico de relações “concreto / aço” para visualizar o contraste entre a variação dos valores de ao longo dos anos.

Figura 10 - Relação histórica de preços de “concreto / aço” (SINAPI)



Fonte: elaborado pelo autor

É possível observar um elevado crescimento do custo do aço entre junho de 2020 e junho de 2021, passando de R\$ 4,53 para R\$ 10,31 o kg, mais do que dobrou o preço em 1 ano, enquanto que o preço do concreto, apesar de subir, não teve um crescimento tão elevado comparativamente. A relação comparativa de custos de “concreto / aço” pode ser vista na Figura 10, evidenciando a brusca variação entre junho de 2020 e junho de 2021.

2.5 CONSIDERAÇÃO FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foi apresentado brevemente o sistema de construção com base em paredes de concreto armado moldado no local, evidenciando a sua eficiência de construção, resistência, durabilidade e sustentabilidade. O uso dessa técnica é uma excelente escolha quando trata-se de edificações de interesse social, uma vez que

possibilita uma alta velocidade de produção além de mostrar redução de custos quando comparada a técnica de alvenaria estrutural.

Além disso, foram apontados os principais itens da ABNT NBR 16055:2022, norma criada especificamente para essa técnica construtiva e que passou por recente atualização. Foi detalhado o dimensionamento conforme a norma, tendo como equação principal a Equação (2), que determina a resistência limite sob solicitação normal de cada parede, além de ser mostrado o comprimento equivalente a ser considerado no cálculo, conforme a Figura 5.

Para contemplar a base teórica para aplicação do método, definiram-se as principais análises estruturais utilizadas em edificações de parede de concreto moldadas no local, esclarecendo aspectos sobre as cargas atuantes e distribuição dessas cargas ao longo da estrutura. Foi definido o procedimento denominado de “Grupo isolado de paredes” que será utilizado na aplicação do método no capítulo 4.

Adicionalmente, foram mostrados dados históricos de custos de aço e concreto da base de dados SINAPI. Foi possível observar uma grande variação dos preços relativos “concreto / aço” entre junho de 2020 e junho de 2021.

3 MÉTODO PARA MINIMIZAR CUSTOS DE PAREDE DE CONCRETO ARMADO MOLDADA NO LOCAL PARA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Neste capítulo será desenvolvido um método para auxiliar na redução de custos, através da criação de tabelas de resistência e custos, que auxiliam na determinação da melhor composição de taxa de armadura e resistência característica do concreto a partir do custo.

Como descrito no item 1.3, o método apresentado será desenvolvido tendo como base a utilização de telas únicas, centradas na parede. Apesar disso, nada impede que as tabelas e cálculos sejam feitos considerando tela dupla.

Para a forma como as tabelas serão montadas e organizadas, será tomado como base o fato de que, em geral, um pavimento inteiro é concretado utilizando-se de um concreto com a mesma resistência característica (f_{ck}). Todavia, é possível fazer uso das mesmas tabelas para casos em que sejam utilizadas resistências diferentes em um mesmo pavimento. Pode-se também reorganizar as tabelas considerando outros aspectos, a critério do projetista.

3.1 CRIAÇÃO DAS TABELAS DE RESISTÊNCIA

Para a criação das tabelas de resistência será tomado como base principal a equação (2), fornecida pela ABNT NBR 16055:2022. Para isso, será criado o fator F1 que possibilitará reduzir e simplificar a equação (2). A partir disso, a equação será desmembrada dando origem a duas equações, uma que depende da taxa de armadura e outra que não depende. Por fim cada uma dessas equações será empregada para a criação das tabelas de resistência. Para que a norma seja atendida, a normal resistente de cálculo será adotada como o menor valor fornecido por essas tabelas.

3.1.1 Criação do fator F1

Analisando a equação (2) (resistência de cálculo sob normal de compressão), é notória a semelhança entre dois dos termos, que se diferenciam apenas pelo denominador, onde um dos termos é função dos fatores k_1 e k_2 e o outro é uma constante igual a 1,643. Para unificar os termos, será criado o fator F1, tal que:

$$F1 = k1[1 + 3k2(2 - k2)] \geq 1,643 \quad (4)$$

Com isso, a equação da resistência de cálculo pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\eta d, resist = \frac{(0,85fcd + \rho \cdot fscd)t}{F1} \leq vd, máx. fcd.t \quad (5)$$

3.1.2 Desmembramento da equação

Observando a equação da resistência de cálculo sob normal de compressão, Equação (5), é possível manipula-la e dividi-la em duas. A primeira, Equação (6), que depende da taxa de armadura vertical, e a segunda, Equação (7), que não depende da taxa de armadura vertical.

- a) Resistência de cálculo sob normal de compressão que depende da taxa de armadura vertical

$$\eta d, resist \leq \frac{(0,85fcd + \rho \cdot fscd)t}{F1} \quad (6)$$

- b) Resistência de cálculo sob normal de compressão que não depende da taxa de armadura vertical

$$\eta d, resist \leq vd, máx. fcd.t \quad (7)$$

Nota-se que o resultado Equação (6) depende da resistência de cálculo à compressão do concreto, da taxa geométrica da armadura vertical, das dimensões da parede e do tipo de vinculação entre paredes. Já a Equação (7) depende apenas da resistência de cálculo à compressão do concreto e das dimensões da parede. Portanto, um termo depende da quantidade de aço e o outro depende apenas do valor máximo da resistência do concreto, independentemente da taxa de armadura vertical.

Ambas as equações devem valer para que a equação original seja atendida. Portanto, a seguir cada uma dessas fórmulas será destrinchada e tomada como auxílio para reduzir custos da execução dessas paredes.

3.1.3 Tabelas de resistência

As tabelas respeitarão os limites de resistência característica do concreto (f_{ck}), taxa de armadura (ρ) e espessura de parede para tela centrada (t), estabelecidas na ABNT NBR 16055:2022, especificadas no item 2.2.

3.1.3.1 Tabelas com base na equação que depende da taxa de armadura

Conforme a Equação (6), a resistência de cálculo sob normal de compressão depende de cinco fatores, são eles:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,68} \quad (\text{conforme item 2.2.6.4})$$

ρ taxa geométrica da armadura vertical da parede.

$$f_{scd} = E_s \cdot \frac{0,002}{\gamma_s} = (210 \cdot 10^9) \cdot \frac{0,002}{1,15}$$

t Espessura da parede

$F1$ Fator que depende das dimensões da parede e do tipo de vínculo. (Equação (4))

Portanto, há quatro incógnitas para se calcular a resistência sob normal de compressão, a espessura da parede (t), a resistência característica do concreto (f_{ck}), a taxa de armadura vertical adotada (ρ) e o fator que depende do vínculo e dimensões da parede ($F1$).

Para a criação das tabelas, as linhas serão as incógnitas da espessura (t), que irão variar de 10 a 18 cm, e as colunas serão as incógnitas da taxa de armadura vertical, que irão variar de 0,09% a 1%. Esses são os limites inferiores e superiores estabelecidos conforme a norma ABNT NBR 16055:2022 (os limites podem ser extrapolados conforme visto no item 2.2, portanto é possível moldar as tabelas apresentadas conforme a necessidade de uso). O Quadro 4 esquematiza a forma que as tabelas devem ter.

Quadro 4 - Quadro esquemático das tabelas de resistências que dependem da taxa de armadura

f_{ck} (MPa)	Taxas de armaduras (%)
Espessuras (cm)	$\frac{(0,85f_{cd} + \rho.f_{scd})t}{F1}$ (Resistência sob normal de compressão em função de F1) (KN/m)

Fonte: elaborado pelo autor

Para contemplar todos os casos, variando a resistência característica do concreto entre os limites 20 e 40 MPa, será criada uma tabela para cada variação de 5 Mpa (Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8). As tabelas apresentam valores da resistência de cálculo sob normal de compressão em função do fator F1, em kN/m.

Tabela 4 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 20$ MPa (kN/m)

$f_{ck} = 20$ MPa		Taxa de armadura vertical										
		0,09%	0,15%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%	1,00%
espessura (cm)	10	1044,8 / F1	1066,7 / F1	1084,9 / F1	1121,5 / F1	1158,0 / F1	1194,5 / F1	1231,0 / F1	1267,6 / F1	1304,1 / F1	1340,6 / F1	1377,1 / F1
	11	1149,3 / F1	1173,4 / F1	1193,4 / F1	1233,6 / F1	1273,8 / F1	1314,0 / F1	1354,1 / F1	1394,3 / F1	1434,5 / F1	1474,7 / F1	1514,8 / F1
	12	1253,7 / F1	1280,0 / F1	1301,9 / F1	1345,8 / F1	1389,6 / F1	1433,4 / F1	1477,2 / F1	1521,1 / F1	1564,9 / F1	1608,7 / F1	1652,5 / F1
	13	1358,2 / F1	1386,7 / F1	1410,4 / F1	1457,9 / F1	1505,4 / F1	1552,9 / F1	1600,3 / F1	1647,8 / F1	1695,3 / F1	1742,8 / F1	1790,3 / F1
	14	1462,7 / F1	1493,4 / F1	1518,9 / F1	1570,1 / F1	1621,2 / F1	1672,3 / F1	1723,4 / F1	1774,6 / F1	1825,7 / F1	1876,8 / F1	1928,0 / F1
	15	1567,2 / F1	1600,0 / F1	1627,4 / F1	1682,2 / F1	1737,0 / F1	1791,8 / F1	1846,6 / F1	1901,3 / F1	1956,1 / F1	2010,9 / F1	2065,7 / F1
	16	1671,6 / F1	1706,7 / F1	1735,9 / F1	1794,4 / F1	1852,8 / F1	1911,2 / F1	1969,7 / F1	2028,1 / F1	2086,5 / F1	2145,0 / F1	2203,4 / F1
	17	1776,1 / F1	1813,4 / F1	1844,4 / F1	1906,5 / F1	1968,6 / F1	2030,7 / F1	2092,8 / F1	2154,8 / F1	2216,9 / F1	2279,0 / F1	2341,1 / F1
	18	1880,6 / F1	1920,0 / F1	1952,9 / F1	2018,6 / F1	2084,4 / F1	2150,1 / F1	2215,9 / F1	2281,6 / F1	2347,3 / F1	2413,1 / F1	2478,8 / F1

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 5 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 25$ MPa (kN/m)

$f_{ck} = 25$ MPa		Taxa de armadura vertical										
		0,09%	0,15%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%	1,00%
espessura (cm)	10	1297,8 / F1	1319,7 / F1	1337,9 / F1	1374,4 / F1	1411,0 / F1	1447,5 / F1	1484,0 / F1	1520,5 / F1	1557,1 / F1	1593,6 / F1	1630,1 / F1
	11	1427,5 / F1	1451,6 / F1	1471,7 / F1	1511,9 / F1	1552,1 / F1	1592,2 / F1	1632,4 / F1	1672,6 / F1	1712,8 / F1	1752,9 / F1	1793,1 / F1
	12	1557,3 / F1	1583,6 / F1	1605,5 / F1	1649,3 / F1	1693,2 / F1	1737,0 / F1	1780,8 / F1	1824,6 / F1	1868,5 / F1	1912,3 / F1	1956,1 / F1
	13	1687,1 / F1	1715,6 / F1	1739,3 / F1	1786,8 / F1	1834,3 / F1	1881,7 / F1	1929,2 / F1	1976,7 / F1	2024,2 / F1	2071,6 / F1	2119,1 / F1
	14	1816,9 / F1	1847,5 / F1	1873,1 / F1	1924,2 / F1	1975,4 / F1	2026,5 / F1	2077,6 / F1	2128,7 / F1	2179,9 / F1	2231,0 / F1	2282,1 / F1
	15	1946,6 / F1	1979,5 / F1	2006,9 / F1	2061,7 / F1	2116,5 / F1	2171,2 / F1	2226,0 / F1	2280,8 / F1	2335,6 / F1	2390,4 / F1	2445,1 / F1
	16	2076,4 / F1	2111,5 / F1	2140,7 / F1	2199,1 / F1	2257,5 / F1	2316,0 / F1	2374,4 / F1	2432,9 / F1	2491,3 / F1	2549,7 / F1	2608,2 / F1
	17	2206,2 / F1	2243,4 / F1	2274,5 / F1	2336,6 / F1	2398,6 / F1	2460,7 / F1	2522,8 / F1	2584,9 / F1	2647,0 / F1	2709,1 / F1	2771,2 / F1
	18	2336,0 / F1	2375,4 / F1	2408,3 / F1	2474,0 / F1	2539,7 / F1	2605,5 / F1	2671,2 / F1	2737,0 / F1	2802,7 / F1	2868,4 / F1	2934,2 / F1

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 6 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 30$ MPa (kN/m)

$f_{ck} = 30$ MPa		Taxa de armadura vertical										
		0,09%	0,15%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%	1,00%
espessura (cm)	10	1550,7 / F1	1572,6 / F1	1590,9 / F1	1627,4 / F1	1663,9 / F1	1700,5 / F1	1737,0 / F1	1773,5 / F1	1810,0 / F1	1846,6 / F1	1883,1 / F1
	11	1705,8 / F1	1729,9 / F1	1750,0 / F1	1790,2 / F1	1830,3 / F1	1870,5 / F1	1910,7 / F1	1950,9 / F1	1991,0 / F1	2031,2 / F1	2071,4 / F1
	12	1860,9 / F1	1887,2 / F1	1909,1 / F1	1952,9 / F1	1996,7 / F1	2040,6 / F1	2084,4 / F1	2128,2 / F1	2172,0 / F1	2215,9 / F1	2259,7 / F1
	13	2015,9 / F1	2044,4 / F1	2068,2 / F1	2115,6 / F1	2163,1 / F1	2210,6 / F1	2258,1 / F1	2305,6 / F1	2353,0 / F1	2400,5 / F1	2448,0 / F1
	14	2171,0 / F1	2201,7 / F1	2227,3 / F1	2278,4 / F1	2329,5 / F1	2380,7 / F1	2431,8 / F1	2482,9 / F1	2534,0 / F1	2585,2 / F1	2636,3 / F1
	15	2326,1 / F1	2359,0 / F1	2386,4 / F1	2441,1 / F1	2495,9 / F1	2550,7 / F1	2605,5 / F1	2660,3 / F1	2715,0 / F1	2769,8 / F1	2824,6 / F1
	16	2481,2 / F1	2516,2 / F1	2545,4 / F1	2603,9 / F1	2662,3 / F1	2720,7 / F1	2779,2 / F1	2837,6 / F1	2896,0 / F1	2954,5 / F1	3012,9 / F1
	17	2636,2 / F1	2673,5 / F1	2704,5 / F1	2766,6 / F1	2828,7 / F1	2890,8 / F1	2952,9 / F1	3015,0 / F1	3077,1 / F1	3139,1 / F1	3201,2 / F1
	18	2791,3 / F1	2830,8 / F1	2863,6 / F1	2929,4 / F1	2995,1 / F1	3060,8 / F1	3126,6 / F1	3192,3 / F1	3258,1 / F1	3323,8 / F1	3389,5 / F1

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 7 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 35$ MPa (kN/m)

$f_{ck} = 35$ MPa		Taxa de armadura vertical										
		0,09%	0,15%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%	1,00%
espessura (cm)	10	1803,7 / F1	1825,6 / F1	1843,9 / F1	1880,4 / F1	1916,9 / F1	1953,4 / F1	1990,0 / F1	2026,5 / F1	2063,0 / F1	2099,5 / F1	2136,1 / F1
	11	1984,1 / F1	2008,2 / F1	2028,3 / F1	2068,4 / F1	2108,6 / F1	2148,8 / F1	2189,0 / F1	2229,1 / F1	2269,3 / F1	2309,5 / F1	2349,7 / F1
	12	2164,4 / F1	2190,7 / F1	2212,7 / F1	2256,5 / F1	2300,3 / F1	2344,1 / F1	2388,0 / F1	2431,8 / F1	2475,6 / F1	2519,4 / F1	2563,3 / F1
	13	2344,8 / F1	2373,3 / F1	2397,0 / F1	2444,5 / F1	2492,0 / F1	2539,5 / F1	2587,0 / F1	2634,4 / F1	2681,9 / F1	2729,4 / F1	2776,9 / F1
	14	2525,2 / F1	2555,9 / F1	2581,4 / F1	2632,6 / F1	2683,7 / F1	2734,8 / F1	2785,9 / F1	2837,1 / F1	2888,2 / F1	2939,3 / F1	2990,5 / F1
	15	2705,6 / F1	2738,4 / F1	2765,8 / F1	2820,6 / F1	2875,4 / F1	2930,2 / F1	2984,9 / F1	3039,7 / F1	3094,5 / F1	3149,3 / F1	3204,1 / F1
	16	2885,9 / F1	2921,0 / F1	2950,2 / F1	3008,6 / F1	3067,1 / F1	3125,5 / F1	3183,9 / F1	3242,4 / F1	3300,8 / F1	3359,2 / F1	3417,7 / F1
	17	3066,3 / F1	3103,5 / F1	3134,6 / F1	3196,7 / F1	3258,8 / F1	3320,9 / F1	3382,9 / F1	3445,0 / F1	3507,1 / F1	3569,2 / F1	3631,3 / F1
	18	3246,7 / F1	3286,1 / F1	3319,0 / F1	3384,7 / F1	3450,5 / F1	3516,2 / F1	3581,9 / F1	3647,7 / F1	3713,4 / F1	3779,2 / F1	3844,9 / F1

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 8 - Resistência que depende da taxa de armadura, para $f_{ck} = 40$ MPa (kN/m)

$f_{ck} = 40$ MPa		Taxa de armadura vertical										
		0,09%	0,15%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%	1,00%
espessura (cm)	10	2056,7 / F1	2078,6 / F1	2096,9 / F1	2133,4 / F1	2169,9 / F1	2206,4 / F1	2242,9 / F1	2279,5 / F1	2316,0 / F1	2352,5 / F1	2389,0 / F1
	11	2262,3 / F1	2286,5 / F1	2306,5 / F1	2346,7 / F1	2386,9 / F1	2427,1 / F1	2467,2 / F1	2507,4 / F1	2547,6 / F1	2587,8 / F1	2627,9 / F1
	12	2468,0 / F1	2494,3 / F1	2516,2 / F1	2560,0 / F1	2603,9 / F1	2647,7 / F1	2691,5 / F1	2735,4 / F1	2779,2 / F1	2823,0 / F1	2866,8 / F1
	13	2673,7 / F1	2702,2 / F1	2725,9 / F1	2773,4 / F1	2820,9 / F1	2868,3 / F1	2915,8 / F1	2963,3 / F1	3010,8 / F1	3058,3 / F1	3105,7 / F1
	14	2879,4 / F1	2910,0 / F1	2935,6 / F1	2986,7 / F1	3037,9 / F1	3089,0 / F1	3140,1 / F1	3191,2 / F1	3242,4 / F1	3293,5 / F1	3344,6 / F1
	15	3085,0 / F1	3117,9 / F1	3145,3 / F1	3200,1 / F1	3254,8 / F1	3309,6 / F1	3364,4 / F1	3419,2 / F1	3474,0 / F1	3528,8 / F1	3583,5 / F1
	16	3290,7 / F1	3325,7 / F1	3355,0 / F1	3413,4 / F1	3471,8 / F1	3530,3 / F1	3588,7 / F1	3647,1 / F1	3705,6 / F1	3764,0 / F1	3822,4 / F1
	17	3496,4 / F1	3533,6 / F1	3564,7 / F1	3626,7 / F1	3688,8 / F1	3750,9 / F1	3813,0 / F1	3875,1 / F1	3937,2 / F1	3999,3 / F1	4061,3 / F1
	18	3702,0 / F1	3741,5 / F1	3774,3 / F1	3840,1 / F1	3905,8 / F1	3971,6 / F1	4037,3 / F1	4103,0 / F1	4168,8 / F1	4234,5 / F1	4300,2 / F1

Fonte: elaborado pelo autor

3.1.3.2 Tabela com base na equação que não depende da taxa de armadura

Conforme a Equação (7), a resistência de cálculo sob normal de compressão depende de três fatores, são eles:

$$v_{d,máx} = 0,4 - \text{Para paredes com tela centrada (conforme item 2.2.6.4)}$$

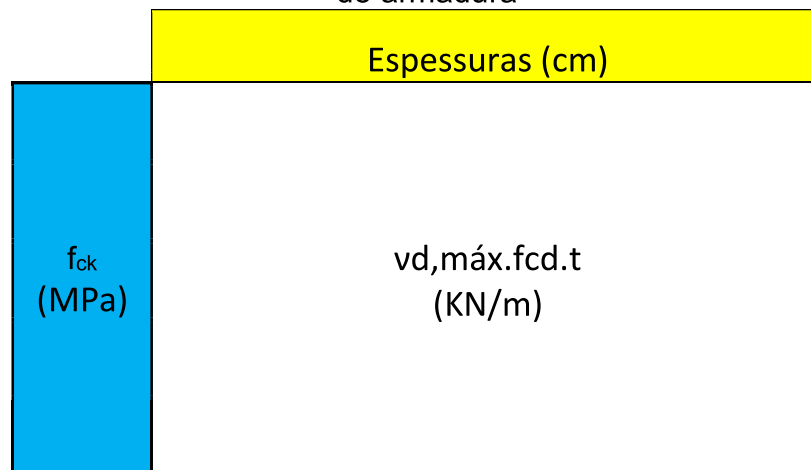
$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,68} \quad (\text{conforme item 2.2.6.4})$$

t Espessura da parede

Portanto, há apenas duas incógnitas, a espessura da parede (t) e a resistência característica do concreto (f_{ck}).

Para a criação da tabela, as colunas serão as incógnitas da espessura (t), que irão variar de 10 a 18 cm, e as linhas serão as incógnitas da resistência característica do concreto, que irão variar de 20 a 40 MPa. O Quadro 5 esquematiza a forma que a tabela deve ter.

Quadro 5 - Quadro esquemático da tabela de resistência que não depende da taxa de armadura



Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 9 mostra a resistência de cálculo sob normal de compressão adquirida com a equação que não depende da taxa de armaduras vertical.

Tabela 9 - Resistência de cálculo sob normal de compressão que não depende da taxa de armadura (kN/m)

		Espessura (cm)								
		10	11	12	13	14	15	16	17	18
f_{ck} (MPa)	20	476,19	523,81	571,43	619,05	666,67	714,29	761,90	809,52	857,14
	25	595,24	654,76	714,29	773,81	833,33	892,86	952,38	1011,90	1071,43
	30	714,29	785,71	857,14	928,57	1000,00	1071,43	1142,86	1214,29	1285,71
	35	833,33	916,67	1000,00	1083,33	1166,67	1250,00	1333,33	1416,67	1500,00
	40	952,38	1047,62	1142,86	1238,10	1333,33	1428,57	1523,81	1619,05	1714,29

Fonte: elaborado pelo autor

3.2 CRIAÇÃO DA TABELA DE CUSTOS

3.2.1 Manipulações iniciais

Para que seja possível criar um vínculo entre a tabela de custos e as tabelas de resistência, criadas no item 3.1.3, serão realizadas diversas manipulações algébricas para que seja encontrado o custo de execução em função apenas das dimensões da parede, da resistência característica do concreto (f_{ck}), da taxa de armadura vertical utilizada (ρ).

Inicialmente, será tomada a equação (8) para determinação do custo da parede.

$$C_{total} = V_{concreto} \cdot C_{concreto} + V_{aço} \cdot C_{aço}(m^3) \quad (8)$$

Em que:

C_{total} Custo total, em reais;

$V_{concreto}$ Volume de concreto, em m^3 ;

$C_{concreto}$ Custo do m^3 de concreto, em reais;

$V_{aço}$ Volume de aço, em m^3 ;

$C_{aço}(m^3)$ Custo do m^3 do aço, em reais.

A primeira manipulação que será feita é com relação aos volumes, da seguinte forma:

$$V_{concreto} = t . h . l \quad (9)$$

$$V_{aço} = h . A_{aço} \quad (10)$$

Sendo:

t Espessura da parede, em m;

h Altura da parede, em m;

$A_{aço}$ Área total da seção transversal do aço, em m².

A equação (11) é obtida após essa modificação.

$$C_{total} = t . h . l . C_{concreto} + h . A_{aço} . C_{aço}(m^3) \quad (11)$$

A próxima manipulação é com relação ao custo do aço (que em geral é dado por kg de aço) e a área de aço que tem relação direta com a taxa de armadura vertical (ρ), como a seguir:

$$C_{aço}(m^3) = C_{aço} . D_{aço} = 7860 . C_{aço} \quad (12)$$

$$A_{aço} = \rho . t . l \quad (13)$$

Em que:

$C_{aço}$ Custo do kg de aço, em reais;

$D_{aço}$ =7860 kg/m³, (Densidade do aço);

ρ Taxa de armadura vertical, em %.

Com essas substituições a equação (14) é obtida.

$$C_{total} = t . h . l . C_{concreto} + 7860 . t . h . l . \rho . C_{aço} \quad (14)$$

Colocando os termos t , h e l em evidência obtemos a equação final:

$$C_{total} = t \cdot h \cdot l \cdot (C_{concreto} + 7860 \cdot \rho \cdot Caço) \quad (15)$$

É possível observar que uma parte da equação depende única e exclusivamente das dimensões da parede ($t \cdot h \cdot l$), enquanto outra, depende apenas do custo do concreto, custo do aço e taxa de armadura vertical ($C_{concreto} + 7860 \cdot \rho \cdot Caço$).

3.2.2 Tabela de custos

Para que possa ser usada para quaisquer paredes, a tabela de custos mostrará o custo da parede por m^3 , ou seja, sem a parcela das dimensões ($t \cdot h \cdot l$) da Equação (15).

Para a criação da tabela, as colunas serão as incógnitas da taxa de armadura vertical (ρ), que irão variar de 0,09 % a 1 %, e as linhas serão as incógnitas da resistência característica do concreto, que irão variar de 20 a 40 Mpa (Quadro 6). Como o custo do concreto depende de sua resistência característica, em cada linha o custo do concreto ($C_{concreto}$) será diferente.

Quadro 6 – Custo unitário do concreto armado em função da taxa de armadura e da resistência do concreto (R\$/m³)

	Taxa de armadura vertical (%)
f_{ck} (MPa)	$(C_{concreto}, f_{ck} + 7860 \cdot \rho \cdot Caço)$ (R\$ / m ³)

Fonte: elaborado pelo autor

Diferentemente das tabelas da resistência sob normal de compressão, vistas no item 3.1.3, a tabela de custos depende exclusivamente do custo dos materiais no mercado, portanto não é possível criar tabelas padrão como no caso das tabelas de resistência. Assim, torna-se necessário fazer um estudo de caso e definir preços de concreto e aço para a criação das tabelas de custos e posterior determinação da relação concreto x aço que resulta em um custo total mínimo.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA MINIMIZAR CUSTOS A PARTIR DE ANÁLISE DE PROJETO

Nesse capítulo será mostrada uma maneira prática de se utilizar as tabelas criadas no capítulo 3 para auxiliar na redução dos custos de execução de um empreendimento que utiliza a técnica de paredes de concreto moldadas no local, através da determinação da melhor composição de taxa de armadura e resistência característica do concreto a partir do custo.

4.1 SOBRE O PROJETO

O projeto, para o estudo desse trabalho, tem como base um empreendimento da região da Grande Florianópolis realizada pela “Empresa X”, nacionalmente conhecida e especializada na execução de paredes de concreto armado moldado no local. A empresa ora estudada será chamada de Empresa X ao longo do trabalho para preservar a identidade da empresa.

Trata-se de um empreendimento de habitação de interesse social, formando um conjunto de 26 blocos, cada qual composto por 5 pavimentos, contendo cada pavimento 4 apartamentos e o bloco de ligação onde fica o elevador e escadarias (Figura 11).

Figura 11 - Planta baixa padrão (Empresa X)



Fonte: elaborado pelo autor

O apartamento padrão é composto por 2 quartos, 1 banheiro, sala, cozinha e área de serviço.

Para fins didáticos, o prédio também será analisado extrapolando a quantidade de pavimentos para 15.

Como mencionado no tópico 1.3, a execução de todos pavimentos é feita com fôrmas reutilizáveis que, após a desforma, são realocadas para a execução de outro

pavimento padrão. O que torna as espessuras das paredes imutáveis ao longo dos pavimentos, a menos que haja a troca de fôrmas, o que inviabilizaria a análise e o empreendimento. Portanto, será fixada a espessura de todas as paredes em 10 cm.

Para fins desse estudo, o empreendimento será considerado como classe de agressividade ambiental II. Como foi visto no item 2.2.2, quando utilizada armadura com cobertura igual ou superior a 1,5 vezes o cobertura especificado na NBR 6118:2023 (o que ocorre quando a armadura é centrada na parede), pode-se utilizar as prescrições de uma classe de agressividade ambiental imediatamente mais branda.

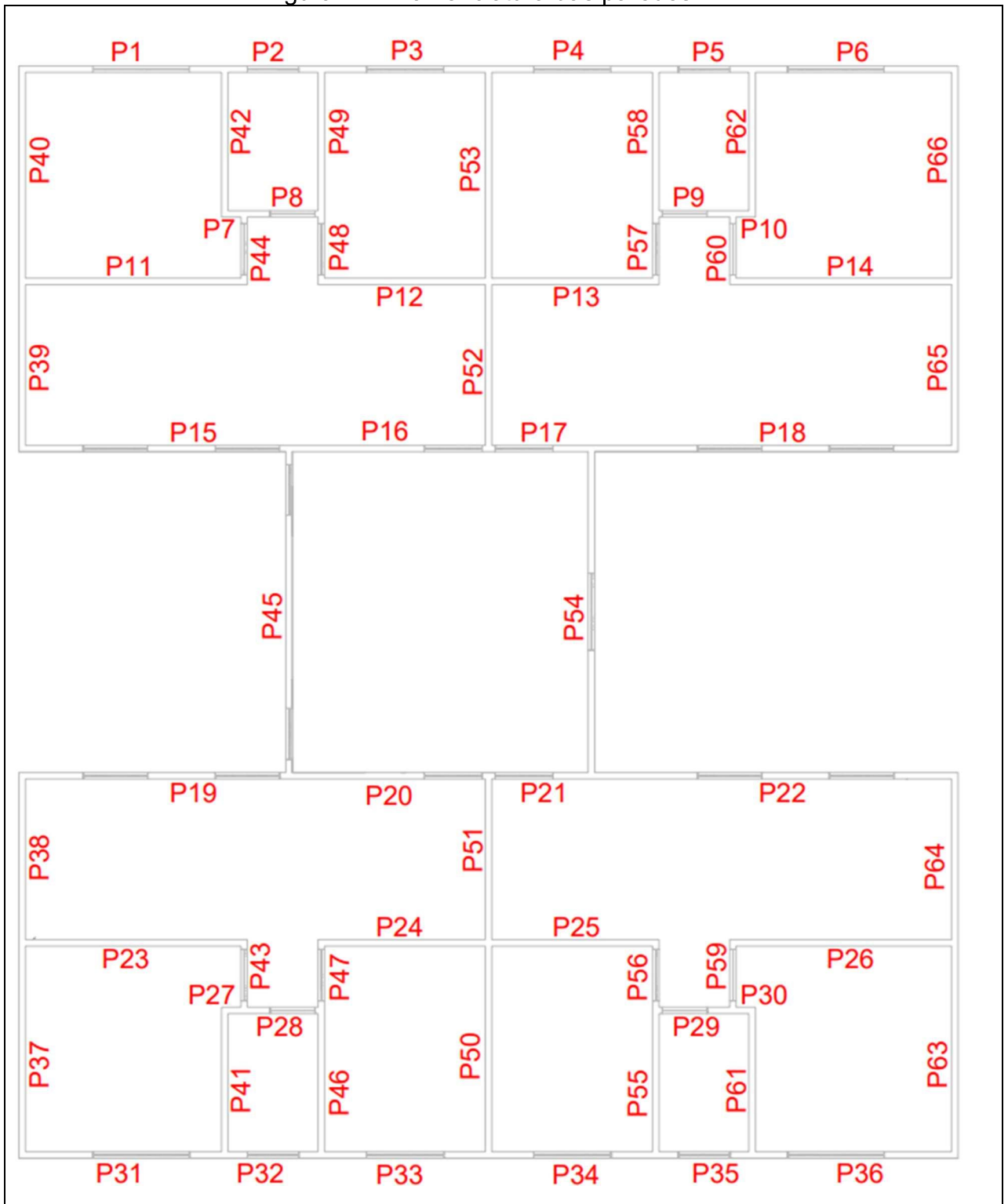
A distância de piso a piso (entrepiso) será considerada de 3 metros. Para alturas maiores do que essa, conforme a ABNT NBR 16055:2022, não é permitido o uso de paredes de 10 cm de espessura. Para alturas menores, a esbelteza da parede diminui. Ou seja, será considerada essa altura pois é a que garante maior esbelteza para a espessura considerada.

4.2 CARGAS ATUANTES NO PROJETO

Nesse item, serão apresentadas as cargas estipuladas para os apartamentos e o bloco central.

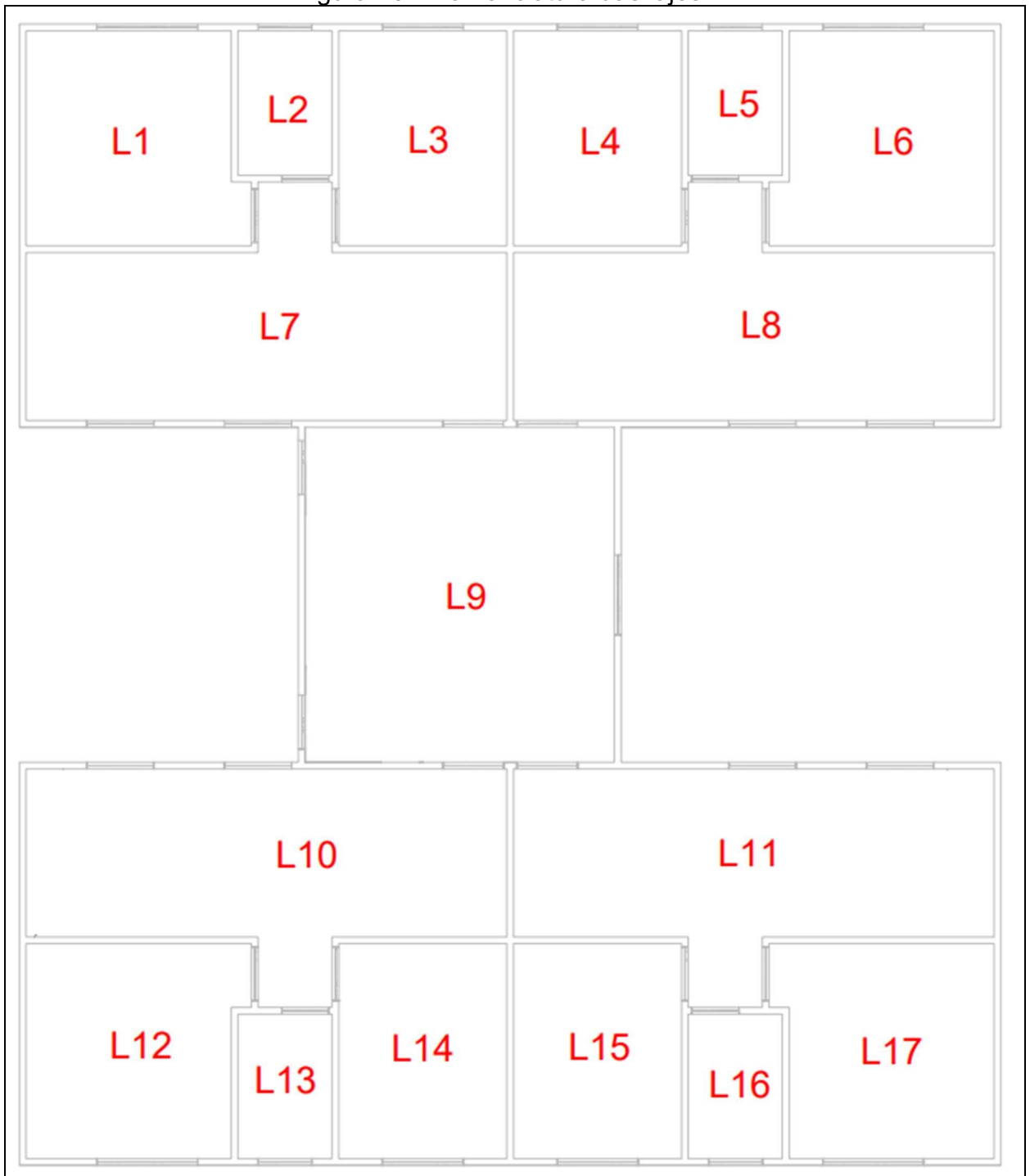
Para melhor organização dos cálculos e definições, as paredes e lajes serão nomeadas, conforme Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Nomenclatura das paredes



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 13 - Nomenclatura das lajes



Fonte: elaborado pelo autor

Ao todo, cada pavimento é composto por 66 paredes que se sobrepõem entre pavimentos e 17 lajes.

Vale lembrar que o foco deste trabalho não está no cálculo preciso das cargas atuantes e análise estrutural, mas sim, na redução do custo das paredes uma vez que a análise estrutural foi feita, independentemente do método utilizado. Portanto, as

cargas adotadas aqui serão arbitradas pelo autor. Além disso, para simplificação de cálculos, no bloco das escadarias será desconsiderada a escada e elevador, sendo adotado para todo o bloco uma laje maciça de concreto de 13 cm, sem vazios.

a) Cargas permanentes

Para o projeto em questão será admitido que todas as lajes são maciças de concreto armado (tanto dos apartamentos quanto do bloco central) e que tenham contrapiso e piso cerâmico, em sua parte superior, e reboco, em sua parte inferior. As espessuras adotadas, seus respectivos pesos específicos e carga por área são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Cargas por área dos elementos horizontais adotadas no projeto

Carga	espessura (cm)	peso específico aparente (ABNT NBR 6120:2019) (kN/m ³)	Carga por área (kN/m ²)
Laje dos apartamentos	10,0	25	2,5
Laje do bloco central	13,0	25	3,25
Reboco	1,5	19	0,285
Contrapiso	3,0	21	0,63
Cerâmica	1,0	18	0,18

Fonte: elaborado pelo autor

Portanto, a carga total advinda dos elementos horizontais por unidade de área dos apartamentos é de $g = 3,60 \text{ kN/m}^2$ e do bloco central de $g = 4,35 \text{ kN/m}^2$. Vale ressaltar que, em geral, para obras de interesse social não são executados reboco e contrapiso. Entretanto, para este trabalho essas cargas serão consideradas.

Além disso, devem ser consideradas as cargas advindas das próprias paredes (elementos verticais), que serão compostas pelo próprio elemento de concreto, de 10 cm, e por uma camada de reboco em cada face, de 1,5 cm cada lado. Os pesos específicos e suas respectivas cargas por área são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Cargas por área dos elementos verticais adotadas no projeto

Carga	espessura (cm)	peso específico aparente (ABNT NBR 6120:2019) (kN/m ³)	Carga por m ² (kN/m ²)
Paredes de concreto	10,0	25	2,5
Reboco	2 x 1,5	19	2 x 0,285

Fonte: elaborado pelo autor

Portanto, a carga total por área gerada pelos elementos verticais é de $g = 3,07$ kN/m².

b) Cargas acidentais

A Tabela 12 mostra os valores de cargas acidentais dos ambientes presentes no empreendimento em questão, com base na norma ABNT NBR 6120:2019.

Tabela 12 - Cargas acidentais dos ambientes

Ambiente	Carga por área (kN/m ²) ABNT NBR 6120:2019
Dormitórios	1,5
Sala, copa, cozinha	1,5
Sanitários	1,5
Despensa, área de serviço e lavanderia	2
Corredores de uso comum	3

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6120:2019

Portanto, será adotado:

- Para dormitórios, $q = 1,5$ kN/m²;
- Para os banheiros, $q = 1,5$ kN/m²;
- Para o ambiente composto de sala, cozinha e área de serviço, $q = 2$ kN/m²;
- Para o bloco central $q = 3$ kN/m².

Com todas as cargas (permanente e acidentais) estabelecidas, é possível adquirir a Tabela 13, que mostra as cargas atuantes em cada laje.

Tabela 13 - Cargas atuantes nas lajes

Laje	Carga permanente (kN/m ²)	Carga acidental (kN/m ²)
L1	3,60	1,5
L2	3,60	1,5
L3	3,60	1,5
L4	3,60	1,5
L5	3,60	1,5
L6	3,60	1,5
L7	3,60	2
L8	3,60	2
L9	4,35	3
L10	3,60	2
L11	3,60	2
L12	3,60	1,5
L13	3,60	1,5
L14	3,60	1,5
L15	3,60	1,5
L16	3,60	1,5
L17	3,60	1,5

Fonte: elaborado pelo autor

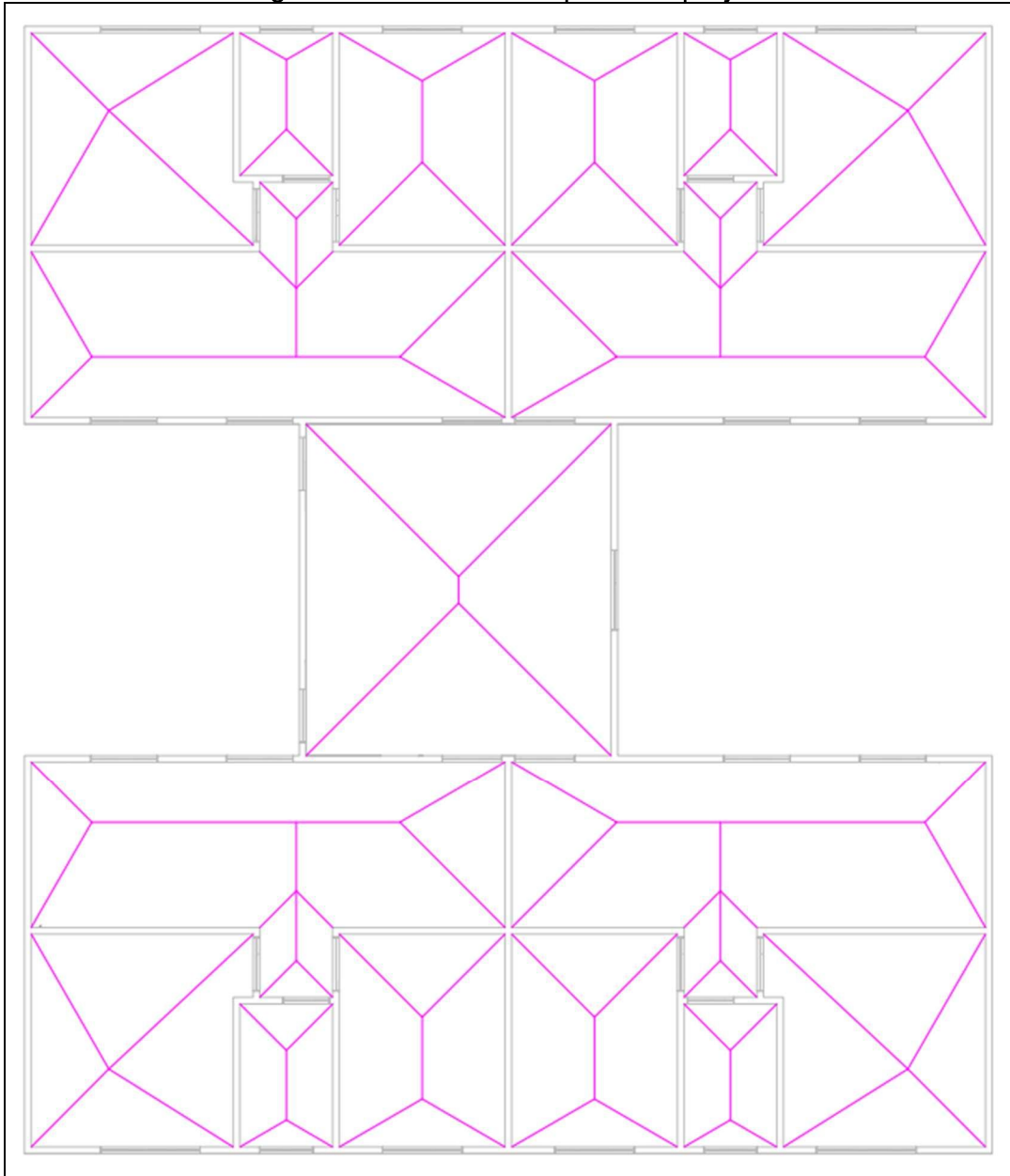
4.3 ANÁLISE ESTRUTURAL DO PROJETO

A análise estrutural utilizada é com base na descrita no item 2.3, sendo utilizado o método do regime de ruptura (charneiras plásticas), para distribuição dos esforços horizontais, e procedimento de grupo isolado de paredes, para distribuição das cargas entre paredes.

4.3.1 Cargas advindas das lajes

Conforme descrito no item 2.3.2.1 o método do regime de ruptura (charneiras plásticas) é uma excelente ferramenta para descrever a área de influência que o carregamento de cada laje exerce sobre cada parede. Na Figura 14 são apresentadas as linhas de ruptura do projeto de estudo.

Figura 14 - Linhas de ruptura do projeto



Fonte: elaborado pelo autor

A partir das linhas de ruptura e da análise das áreas de influência, é possível calcular a carga distribuída advinda das lajes aplicada em cada uma das paredes. A Tabela 14 mostra as cargas totais em cada parede.

Tabela 14 - Cargas advindas das lajes aplicadas nas paredes

Parede	Carga permanente aplicada na parede (kN)	Carga Acidental aplicada na parede (kN)	Parede	Carga permanente aplicada na parede (kN)	Carga Acidental aplicada na parede (kN)
P1	6,52	2,72	P34	3,28	1,37
P2	1,04	0,44	P35	1,04	0,44
P3	3,28	1,37	P36	6,52	2,72
P4	3,28	1,37	P37	6,84	2,85
P5	1,04	0,44	P38	4,18	2,32
P6	6,52	2,72	P39	4,18	2,32
P7	1,24	0,52	P40	6,84	2,85
P8	2,59	1,24	P41	10,81	4,50
P9	2,59	1,24	P42	10,81	4,50
P10	1,24	0,52	P43	5,30	2,50
P11	32,22	16,19	P44	5,30	2,50
P12	18,72	9,61	P45	27,27	18,81
P13	18,72	9,61	P46	11,00	4,58
P14	32,22	16,19	P47	5,24	2,47
P15	11,25	6,25	P48	5,24	2,47
P16	23,79	15,28	P49	11,00	4,58
P17	12,07	7,76	P50	20,16	8,40
P18	15,37	8,54	P51	14,40	8,00
P19	11,25	6,25	P52	14,40	8,00
P20	23,79	15,28	P53	20,16	8,40
P21	12,07	7,76	P54	27,27	18,81
P22	15,37	8,54	P55	11,00	4,58
P23	32,22	16,19	P56	5,24	2,47
P24	18,72	9,61	P57	5,24	2,47
P25	18,72	9,61	P58	11,00	4,58
P26	32,22	16,19	P59	5,30	2,50
P27	1,24	0,52	P60	5,30	2,50
P28	2,59	1,24	P61	10,81	4,50
P29	2,59	1,24	P62	10,81	4,50
P30	1,24	0,52	P63	6,84	2,85
P31	6,52	2,72	P64	4,18	2,32
P32	1,04	0,44	P65	4,18	2,32
P33	3,28	1,37	P66	6,84	2,85

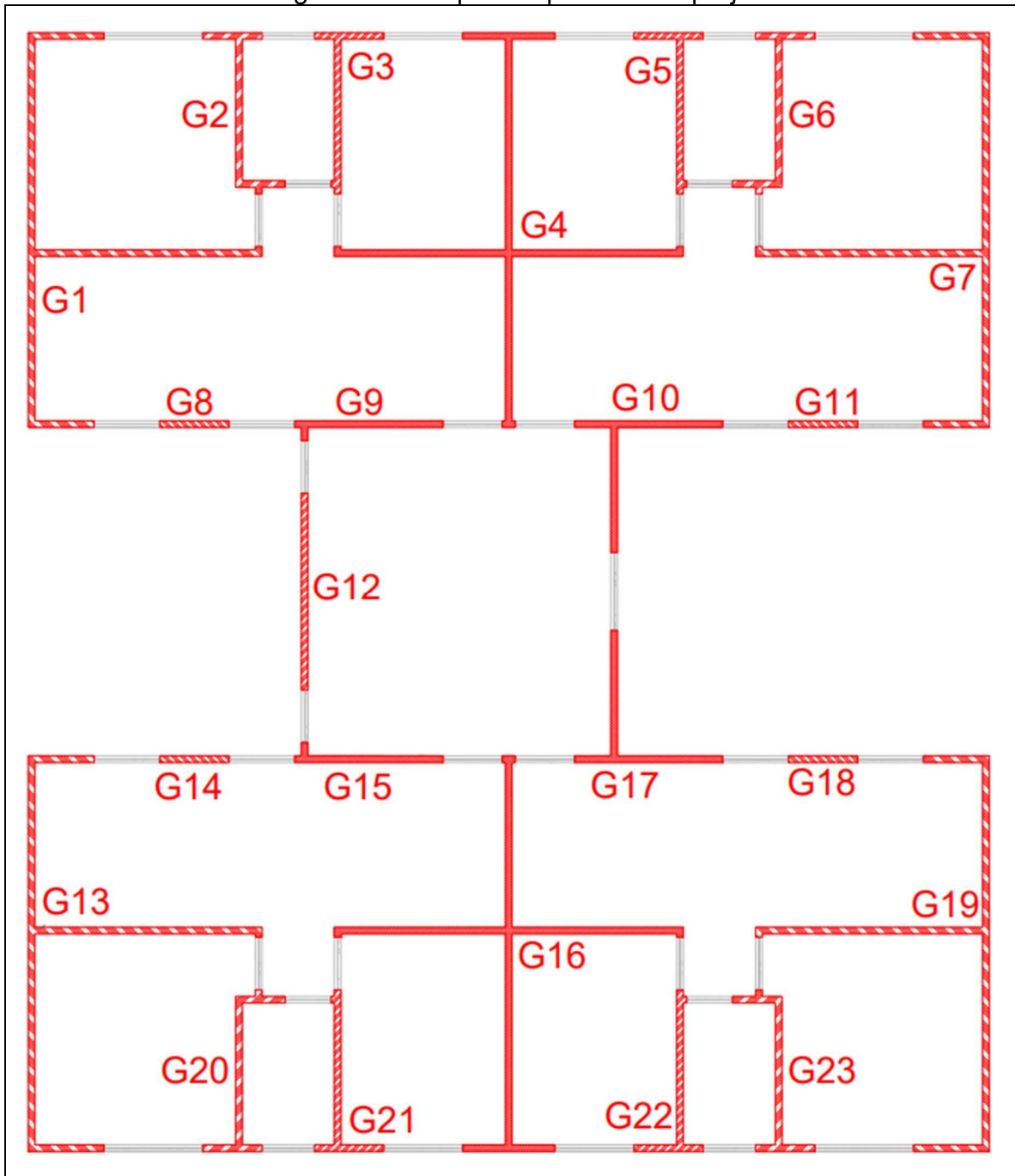
Fonte: elaborado pelo autor

Vale lembrar que as cargas apresentadas na tabela acima são apenas as cargas advindas das lajes. É necessário, ainda, considerar as cargas do peso próprio das paredes. Essa consideração é feita no item 4.3.2, após a definição dos grupos isolados de paredes.

4.3.2 Grupos isolados de paredes

Conforme descrito no item 2.3.3, para se utilizar do procedimento de grupo de paredes isoladas, é necessário separar as paredes em grupos delimitados por aberturas, como portas e janelas. A Figura 15 mostra a delimitação dos grupos de paredes do projeto.

Figura 15 - Grupos de paredes do projeto



Fonte: elaborado pelo autor

Neste procedimento, as cargas em cada grupo são consideradas uniformemente distribuídas, sendo a carga total igual a soma das parcelas de carga proveniente de cada parede. Vale lembrar que, para o projeto em questão, cada parede distribui cargas horizontais para até 3 grupos de paredes, por isso, para facilitar entendimento, a Tabela 15 é dividida em 3 conjuntos denominados grupos A, B e C e mostra a parcela de carga que cada parede distribui para cada grupo de paredes (essa etapa ainda não leva em consideração o peso próprio das paredes).

Tabela 15 - Parcela de carga vertical que cada parede distribui a cada grupo
(continua)

Parede	Grupo A			Grupo B			Grupo C		
	Grupo	Carga permanente (kN)	Carga accidental (kN)	Grupo	Carga permanente (kN)	Carga accidental (kN)	Grupo	Carga permanente (kN)	Carga accidental (kN)
P1	G1	3,84	1,60	G2	2,67	1,11			
P2	G2	0,52	0,22	G3	0,52	0,22			
P3	G3	1,64	0,68	G4	1,64	0,68			
P4	G4	1,64	0,68	G5	1,64	0,68			
P5	G5	0,52	0,22	G6	0,52	0,22			
P6	G6	2,67	1,11	G7	3,84	1,60			
P7	G2	1,24	0,52						
P8	G2	1,65	0,79	G3	0,94	0,45			
P9	G5	0,94	0,45	G6	1,65	0,79			
P10	G6	1,24	0,52						
P11	G1	32,22	16,19						
P12	G4	18,72	9,61						
P13	G4	18,72	9,61						
P14	G7	32,22	16,19						
P15	G1	3,93	2,18	G8	5,56	3,09	G9	1,76	0,98
P16	G4	4,22	2,71	G9	19,56	12,57			
P17	G4	4,15	2,66	G10	7,92	5,09			
P18	G10	5,85	3,25	G11	5,58	3,10	G7	3,94	2,19
P19	G13	3,93	2,18	G14	5,56	3,09	G15	1,76	0,98
P20	G15	19,56	12,57	G16	4,22	2,71			
P21	G16	4,15	2,66	G17	7,92	5,09			
P22	G17	5,85	3,25	G18	5,58	3,10	G19	3,94	2,19
P23	G13	32,22	16,19						
P24	G16	18,72	9,61						
P25	G16	18,72	9,61						
P26	G19	32,22	16,19						
P27	G20	1,24	0,52						
P28	G20	1,65	0,79	G21	0,94	0,45			

Tabela 15 - Parcela de carga vertical que cada parede distribui a cada grupo
(conclusão)

Parede	Grupo A			Grupo B			Grupo C		
	Grupo	Carga permanente (kN)	Carga acidental (kN)	Grupo	Carga permanente (kN)	Carga acidental (kN)	Grupo	Carga permanente (kN)	Carga acidental (kN)
P29	G22	0,94	0,45	G23	1,65	0,79			
P30	G23	1,24	0,52						
P31	G13	3,84	1,60	G20	2,67	1,11			
P32	G20	0,52	0,22	G21	0,52	0,22			
P33	G16	1,64	0,68	G21	1,64	0,68			
P34	G16	1,64	0,68	G22	1,64	0,68			
P35	G22	0,52	0,22	G23	0,52	0,22			
P36	G19	3,84	1,60	G23	2,67	1,11			
P37	G13	6,84	2,85						
P38	G13	4,18	2,32						
P39	G1	4,18	2,32						
P40	G1	6,84	2,85						
P41	G20	10,81	4,50						
P42	G2	10,81	4,50						
P43	G13	2,65	1,25	G20	2,65	1,25			
P44	G1	2,65	1,25	G2	2,65	1,25			
P45	G9	3,48	2,40	G12	20,32	14,01	G15	3,48	2,40
P46	G21	11,00	4,58						
P47	G16	2,62	1,24	G21	2,62	1,24			
P48	G3	2,62	1,24	G4	2,62	1,24			
P49	G3	11,00	4,58						
P50	G16	20,16	8,40						
P51	G16	14,40	8,00						
P52	G4	14,40	8,00						
P53	G4	20,16	8,40						
P54	G10	13,64	9,41	G17	13,64	9,41			
P55	G22	11,00	4,58						
P56	G16	2,62	1,24	G22	2,62	1,24			
P57	G4	2,62	1,24	G5	2,62	1,24			
P58	G5	11,00	4,58						
P59	G19	2,65	1,25	G23	2,65	1,25			
P60	G6	2,65	1,25	G7	2,65	1,25			
P61	G23	10,81	4,50						
P62	G6	10,81	4,50						
P63	G19	6,84	2,85						
P64	G19	4,18	2,32						
P65	G7	4,18	2,32						
P66	G7	6,84	2,85						

Fonte: elaborado pelo autor

Antes de somar cada parcela de carga mostrada na tabela anterior, é necessário calcular todas as cargas de peso próprio em cada grupo de paredes. Sendo assim, a Tabela 16 mostra o peso próprio de cada grupo (neste trabalho não será descontado o peso de concreto equivalente a área de aberturas, portanto a carga será levemente maior, a favor da segurança).

Tabela 16 - Peso próprio de cada grupo de paredes

Grupo	Peso próprio (kN)
G1	121,67
G2	54,59
G3	49,05
G4	143,48
G5	49,05
G6	54,59
G7	121,67
G8	18,98
G9	35,63
G10	53,22
G11	18,98
G12	35,17
G13	121,67
G14	18,98
G15	35,63
G16	143,48
G17	53,22
G18	18,98
G19	121,67
G20	54,59
G21	49,05
G22	49,05
G23	54,59

Fonte: elaborado pelo autor

Por fim, ao somar as parcelas de carga (Tabela 15) e peso próprio (Tabela 16) de cada grupo, obtém-se as cargas permanentes e acidentais para cada pavimento (considerando o conjunto de laje e paredes). Além disso, ao dividir a carga total de cada grupo pelo seu comprimento total, sem aberturas, é obtida a carga distribuída, dada em kN/m. A Tabela 17 mostra a carga total e carga distribuída de cada grupo de paredes.

Tabela 17 - Cargas em cada grupo de paredes, considerando um único pavimento

Grupo	Carga permanente total (kN)	Carga acidental total (kN)	Carga permanente distribuída (kN/m)	Carga acidental distribuída (kN/m)
G1	175,33	26,39	15,17	2,28
G2	74,13	8,39	18,45	2,09
G3	65,77	7,17	18,41	2,01
G4	232,36	44,83	18,35	3,54
G5	65,77	7,17	18,41	2,01
G6	74,13	8,39	18,45	2,09
G7	175,35	26,40	15,18	2,28
G8	24,54	3,09	23,26	2,93
G9	60,43	15,94	23,99	6,33
G10	80,63	17,74	19,07	4,20
G11	24,55	3,10	23,27	2,94
G12	55,49	14,01	18,39	4,65
G13	175,33	26,39	15,17	2,28
G14	24,54	3,09	23,26	2,93
G15	60,43	15,94	23,99	6,33
G16	232,36	44,83	18,35	3,54
G17	80,63	17,74	19,07	4,20
G18	24,55	3,10	23,27	2,94
G19	175,35	26,40	15,18	2,28
G20	74,13	8,39	18,45	2,09
G21	65,77	7,17	18,41	2,01
G22	65,77	7,17	18,41	2,01
G23	74,13	8,39	18,45	2,09

Fonte: elaborado pelo autor

4.3.3 Carga total no pavimento

Para a utilização das tabelas criadas no capítulo 3, é necessário definir um pavimento para ser analisado. Para esse trabalho, será analisado o pavimento térreo e, como já mencionado, será considerado um prédio de 5 pavimentos e um prédio de 15 pavimentos, ambos com o mesmo pavimento tipo.

Como exposto no item 2.3.1.2, a ABNT NBR 6120:2019 permite considerar uma redução das cargas acidentais conforme a quantidade de pavimentos acima do pavimento a ser analisado. No caso de um prédio de 5 pavimento, há 6 pavimentos acima do pavimento térreo (5 pavimentos mais a laje de cobertura), e no caso de um prédio de 15 pavimentos, há 16 pavimentos acima. Portanto, em ambos os casos a redução da carga acidental será de 60%, conforme a Tabela 2.

Para simplificação de cálculo, será considerado que a laje de cobertura tem as mesmas cargas permanentes e acidentais que os pavimentos tipo. Além disso, para o cálculo da carga majorada no estado limite último (ELU), as cargas permanentes e acidentais devem ser multiplicadas pelos coeficientes de majoração $\gamma_g = 1,4$ e $\gamma_q = 1,4$, respectivamente, conforme a ABNT NBR 6118:2023. Assim, as cargas permanentes, acidentais e majoradas distribuídas de cada grupo de paredes do pavimento térreo são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Cargas distribuídas de cada grupo de paredes do pavimento térreo.

Grupo	5 pavimentos			15 pavimentos		
	Carga permanente distribuída (kN/m)	Carga acidental distribuída (kN/m)	Carga majorada distribuída (kN/m)	Carga permanente distribuída (kN/m)	Carga acidental distribuída (kN/m)	Carga majorada distribuída (kN/m)
G1	91,05	5,48	135,14	242,80	14,62	360,38
G2	110,67	5,01	161,95	295,13	13,35	431,87
G3	110,44	4,81	161,36	294,52	12,84	430,29
G4	110,08	8,50	166,01	293,56	22,66	442,70
G5	110,44	4,81	161,36	294,52	12,84	430,29
G6	110,67	5,01	161,95	295,13	13,35	431,87
G7	91,06	5,48	135,16	242,82	14,62	360,42
G8	139,56	7,03	205,22	372,15	18,75	547,26
G9	143,96	15,19	222,81	383,89	40,51	594,16
G10	114,41	10,07	174,28	305,10	26,86	464,75
G11	139,63	7,05	205,36	372,36	18,80	547,62
G12	110,36	11,15	170,12	294,31	29,73	453,65
G13	91,05	5,48	135,14	242,80	14,62	360,38
G14	139,56	7,03	205,22	372,15	18,75	547,26
G15	143,96	15,19	222,81	383,89	40,51	594,16
G16	110,08	8,50	166,01	293,56	22,66	442,70
G17	114,41	10,07	174,28	305,10	26,86	464,75
G18	139,63	7,05	205,36	372,36	18,80	547,62
G19	91,06	5,48	135,16	242,82	14,62	360,42
G20	110,67	5,01	161,95	295,13	13,35	431,87
G21	110,44	4,81	161,36	294,52	12,84	430,29
G22	110,44	4,81	161,36	294,52	12,84	430,29
G23	110,67	5,01	161,95	295,13	13,35	431,87

Fonte: elaborado pelo autor

Uma vez calculadas as cargas majoradas distribuídas em cada grupo, é possível definir a carga de cada parede. Para isso, a carga de cada parede será considerada a maior carga entre os grupos das quais a parede faz parte, por exemplo, considerando o prédio de 5 pavimentos, a parede P15 pertence aos grupos G1, G8 e

G9, cujas cargas majoradas distribuídas são 135,14, 205,22 e 222,81 kN/m, respectivamente, portanto, a carga majorada distribuída adotada para a parede será 222,81 kN/m. Essa adoção não é obrigatória, apenas é feita para que não haja emendas do aço nas aberturas de uma mesma parede, principalmente para o caso de utilização de tela de aço prontas (malha pop), em que as malhas são fixadas em todo o comprimento da parede e posteriormente são recortadas nas aberturas. Os grupos nos quais cada parede faz parte e as cargas majoradas distribuídas adotadas podem ser vistas na Tabela 19.

Tabela 19 - Carga majorada distribuída adotada em cada parede
(continua)

Parede	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Carga majorada distribuída adotada (kN/m)	
				5 pavimentos	15 pavimentos
P1	G1	G2		161,95	431,87
P2	G2	G3		161,95	431,87
P3	G3	G4		166,01	442,70
P4	G4	G5		166,01	442,70
P5	G5	G6		161,95	431,87
P6	G6	G7		161,95	431,87
P7	G2			161,95	431,87
P8	G2	G3		161,95	431,87
P9	G5	G6		161,95	431,87
P10	G6			161,95	431,87
P11	G1			135,14	360,38
P12	G4			166,01	442,70
P13	G4			166,01	442,70
P14	G7			135,16	360,42
P15	G1	G8	G9	222,81	594,16
P16	G4	G9		222,81	594,16
P17	G4	G10		174,28	464,75
P18	G10	G11	G7	205,36	547,62
P19	G13	G14	G15	222,81	594,16
P20	G15	G16		222,81	594,16
P21	G16	G17		174,28	464,75
P22	G17	G18	G19	205,36	547,62
P23	G13			135,14	360,38
P24	G16			166,01	442,70
P25	G16			166,01	442,70
P26	G19			135,16	360,42
P27	G20			161,95	431,87
P28	G20	G21		161,95	431,87

Tabela 19 - Carga majorada distribuída adotada em cada parede

(conclusão)

Parede	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Carga majorada distribuída adotada (kN/m)	
				5 pavimentos	15 pavimentos
P29	G22	G23		161,95	431,87
P30	G23			161,95	431,87
P31	G13	G20		161,95	431,87
P32	G20	G21		161,95	431,87
P33	G16	G21		166,01	442,70
P34	G16	G22		166,01	442,70
P35	G22	G23		161,95	431,87
P36	G19	G23		161,95	431,87
P37	G13			135,14	360,38
P38	G13			135,14	360,38
P39	G1			135,14	360,38
P40	G1			135,14	360,38
P41	G20			161,95	431,87
P42	G2			161,95	431,87
P43	G13	G20		161,95	431,87
P44	G1	G2		161,95	431,87
P45	G9	G12	G15	222,81	594,16
P46	G21			161,36	430,29
P47	G16	G21		166,01	442,70
P48	G3	G4		166,01	442,70
P49	G3			161,36	430,29
P50	G16			166,01	442,70
P51	G16			166,01	442,70
P52	G4			166,01	442,70
P53	G4			166,01	442,70
P54	G10	G17		174,28	464,75
P55	G22			161,36	430,29
P56	G16	G22		166,01	442,70
P57	G4	G5		166,01	442,70
P58	G5			161,36	430,29
P59	G19	G23		161,95	431,87
P60	G6	G7		161,95	431,87
P61	G23			161,95	431,87
P62	G6			161,95	431,87
P63	G19			135,16	360,42
P64	G19			135,16	360,42
P65	G7			135,16	360,42
P66	G7			135,16	360,42

Fonte: elaborado pelo autor

4.4 UTILIZAÇÃO DAS TABELAS

4.4.1 Informações preliminares

4.4.1.1 Dimensões das paredes

As dimensões das paredes são mostradas na Tabela 20.

Tabela 20 - dimensões das paredes

Parede	Comprimento (l)(cm)	espessura (e)(cm)	altura (h)(cm)	Parede	Comprimento (l)(cm)	espessura (e)(cm)	altura (h)(cm)
P1	317	10	300	P34	261	10	300
P2	151	10	300	P35	151	10	300
P3	261	10	300	P36	317	10	300
P4	261	10	300	P37	332	10	300
P5	151	10	300	P38	261	10	300
P6	317	10	300	P39	261	10	300
P7	30	10	300	P40	332	10	300
P8	121	10	300	P41	226	10	300
P9	121	10	300	P42	226	10	300
P10	30	10	300	P43	106	10	300
P11	347	10	300	P44	106	10	300
P12	261	10	300	P45	512	10	300
P13	261	10	300	P46	226	10	300
P14	347	10	300	P47	106	10	300
P15	417	10	300	P48	106	10	300
P16	312	10	300	P49	226	10	300
P17	161	10	300	P50	332	10	300
P18	567	10	300	P51	261	10	300
P19	417	10	300	P52	261	10	300
P20	312	10	300	P53	332	10	300
P21	161	10	300	P54	512	10	300
P22	567	10	300	P55	226	10	300
P23	347	10	300	P56	106	10	300
P24	261	10	300	P57	106	10	300
P25	261	10	300	P58	226	10	300
P26	347	10	300	P59	106	10	300
P27	30	10	300	P60	106	10	300
P28	121	10	300	P61	226	10	300
P29	121	10	300	P62	226	10	300
P30	30	10	300	P63	332	10	300
P31	317	10	300	P64	261	10	300
P32	151	10	300	P65	261	10	300
P33	261	10	300	P66	332	10	300

Fonte: elaborado pelo autor

Essas dimensões de comprimento (l), espessura (e) e altura (h) são retiradas diretamente do projeto e são essenciais para o cálculo do fator $F1$ (definido no item 3.1.1) e para o cálculo dos custos, através da equação (15).

4.4.1.2 Cálculo de $F1$

Inicialmente, deve-se calcular o raio de giração e a esbeltez (λ) a partir do comprimento equivalente (le), conforme Figura 5, no qual foi considerado o caso C para todas as paredes. Esses valores, referentes a cada parede, podem ser vistos na Tabela 21.

Tabela 21 - Esbeltez de cada parede

Parede	le (cm)	i (cm)	λ (le/i)	Parede	le (cm)	i (cm)	λ (le/i)
P1	158	2,89	54,82	P34	131	2,89	45,21
P2	76	2,89	26,15	P35	76	2,89	26,15
P3	131	2,89	45,21	P36	158	2,89	54,82
P4	131	2,89	45,21	P37	165	2,89	57,21
P5	76	2,89	26,15	P38	131	2,89	45,21
P6	158	2,89	54,82	P39	131	2,89	45,21
P7	15	2,89	5,20	P40	165	2,89	57,21
P8	61	2,89	20,96	P41	113	2,89	39,14
P9	61	2,89	20,96	P42	113	2,89	39,14
P10	15	2,89	5,20	P43	53	2,89	18,36
P11	172	2,89	59,47	P44	53	2,89	18,36
P12	131	2,89	45,21	P45	223	2,89	77,36
P13	131	2,89	45,21	P46	113	2,89	39,14
P14	172	2,89	59,47	P47	53	2,89	18,36
P15	198	2,89	68,48	P48	53	2,89	18,36
P16	156	2,89	54,00	P49	113	2,89	39,14
P17	81	2,89	27,89	P50	165	2,89	57,21
P18	234	2,89	81,19	P51	131	2,89	45,21
P19	198	2,89	68,48	P52	131	2,89	45,21
P20	156	2,89	54,00	P53	165	2,89	57,21
P21	81	2,89	27,89	P54	223	2,89	77,36
P22	234	2,89	81,19	P55	113	2,89	39,14
P23	172	2,89	59,47	P56	53	2,89	18,36
P24	131	2,89	45,21	P57	53	2,89	18,36
P25	131	2,89	45,21	P58	113	2,89	39,14
P26	172	2,89	59,47	P59	53	2,89	18,36
P27	15	2,89	5,20	P60	53	2,89	18,36
P28	61	2,89	20,96	P61	113	2,89	39,14
P29	61	2,89	20,96	P62	113	2,89	39,14
P30	15	2,89	5,20	P63	165	2,89	57,21
P31	158	2,89	54,82	P64	131	2,89	45,21
P32	76	2,89	26,15	P65	131	2,89	45,21
P33	131	2,89	45,21	P66	165	2,89	57,21

Fonte: elaborado pelo autor

Uma vez calculada a esbeltez de cada parede, é possível definir os valores de k_1 e k_2 , mostrado no item 2.2.6.4, para, por fim, calcular o valor de F_1 , conforme Equação (4), respeitando o valor mínimo de 1,643. A tabela com valores de k_1 , k_2 e F_1 de cada parede pode ser visto na Tabela 22.

Tabela 22 - Valor de F_1 de cada parede

Parede	k_1	k_2	F_1	Parede	k_1	k_2	F_1
P1	1,566	0	1,643	P34	1,292	0	1,643
P2	1,000	0	1,643	P35	1,000	0	1,643
P3	1,292	0	1,643	P36	1,566	0	1,643
P4	1,292	0	1,643	P37	1,635	0	1,643
P5	1,000	0	1,643	P38	1,292	0	1,643
P6	1,566	0	1,643	P39	1,292	0	1,643
P7	1,000	0	1,643	P40	1,635	0	1,643
P8	1,000	0	1,643	P41	1,118	0	1,643
P9	1,000	0	1,643	P42	1,118	0	1,643
P10	1,000	0	1,643	P43	1,000	0	1,643
P11	1,699	0	1,699	P44	1,000	0	1,643
P12	1,292	0	1,643	P45	2,210	0	2,210
P13	1,292	0	1,643	P46	1,118	0	1,643
P14	1,699	0	1,699	P47	1,000	0	1,643
P15	1,957	0	1,957	P48	1,000	0	1,643
P16	1,543	0	1,643	P49	1,118	0	1,643
P17	1,000	0	1,643	P50	1,635	0	1,643
P18	2,320	0	2,320	P51	1,292	0	1,643
P19	1,957	0	1,957	P52	1,292	0	1,643
P20	1,543	0	1,643	P53	1,635	0	1,643
P21	1,000	0	1,643	P54	2,210	0	2,210
P22	2,320	0	2,320	P55	1,118	0	1,643
P23	1,699	0	1,699	P56	1,000	0	1,643
P24	1,292	0	1,643	P57	1,000	0	1,643
P25	1,292	0	1,643	P58	1,118	0	1,643
P26	1,699	0	1,699	P59	1,000	0	1,643
P27	1,000	0	1,643	P60	1,000	0	1,643
P28	1,000	0	1,643	P61	1,118	0	1,643
P29	1,000	0	1,643	P62	1,118	0	1,643
P30	1,000	0	1,643	P63	1,635	0	1,643
P31	1,566	0	1,643	P64	1,292	0	1,643
P32	1,000	0	1,643	P65	1,292	0	1,643
P33	1,292	0	1,643	P66	1,635	0	1,643

Fonte: elaborado pelo autor

4.4.1.3 Custo do aço e concreto

Os custos de aço e concreto serão referentes aos preços de junho de 2020 e junho de 2021. Como visto no item 2.4.1 o preço do aço nesse período passou de 4,53 R\$/kg para 10,31 R\$/kg, enquanto que o preço do concreto, apesar de ter aumentado o valor, não passou por variação tão brusca. Serão tomados esses valores com discrepante relação aço x concreto para que possam ser usados como comparação na aplicação das tabelas criadas nesse trabalho.

Os preços de aço e concretos, com diferentes resistências características, para os dois diferentes períodos podem ser vistos na Tabela 23.

Tabela 23 - Preços de aço e concreto referentes a junho de 2020 e junho de 2021 (SINAPI)

Data	Aço (R\$/kg)	Concreto (R\$/m ³)				
		C20	C25	C30	C35	C40
Junho/2020	4,53	301,03	309,52	319,84	330,15	344,41
Junho/2021	10,31	336,5	345,98	357,51	369,05	384,98

Fonte: elaborado pelo autor

4.4.2 Utilização das tabelas de resistência

Para a utilização das tabelas de resistência, criadas no item 3.1.3, é necessário apenas os valores de carga majorada de carga parede (Tabela 19) e os fatores F1 de cada parede (Tabela 22).

Primeiramente, para auxiliar a utilização das tabelas de resistência que dependem da taxa de armadura, a carga majorada de cada parede será multiplicada pelo seu respectivo fator F1, conforme Tabela 24.

Tabela 24 - Carga majorada distribuída multiplicada pelo fator F1
(continua)

Parede	Carga majorada distribuída adotada (kN/m)		Carga majorada * F1	
	5 pavimentos	15 pavimentos	5 pavimentos	15 pavimentos
P1	161,95	431,87	266,09	709,57
P2	161,95	431,87	266,09	709,57
P3	166,01	442,70	272,76	727,35
P4	166,01	442,70	272,76	727,35
P5	161,95	431,87	266,09	709,57
P6	161,95	431,87	266,09	709,57
P7	161,95	431,87	266,09	709,57
P8	161,95	431,87	266,09	709,57
P9	161,95	431,87	266,09	709,57
P10	161,95	431,87	266,09	709,57
P11	135,14	360,38	229,63	612,35
P12	166,01	442,70	272,76	727,35
P13	166,01	442,70	272,76	727,35
P14	135,16	360,42	229,66	612,42
P15	222,81	594,16	435,94	1162,52
P16	222,81	594,16	366,08	976,21
P17	174,28	464,75	286,34	763,58
P18	205,36	547,62	476,39	1270,37
P19	222,81	594,16	435,94	1162,51
P20	222,81	594,16	366,07	976,20
P21	174,28	464,75	286,34	763,58
P22	205,36	547,62	476,39	1270,37
P23	135,14	360,38	229,63	612,35
P24	166,01	442,70	272,76	727,35
P25	166,01	442,70	272,76	727,35
P26	135,16	360,42	229,66	612,42
P27	161,95	431,87	266,09	709,57
P28	161,95	431,87	266,09	709,57
P29	161,95	431,87	266,09	709,57
P30	161,95	431,87	266,09	709,57
P31	161,95	431,87	266,09	709,57
P32	161,95	431,87	266,09	709,57
P33	166,01	442,70	272,76	727,35
P34	166,01	442,70	272,76	727,35
P35	161,95	431,87	266,09	709,57
P36	161,95	431,87	266,09	709,57
P37	135,14	360,38	222,04	592,11
P38	135,14	360,38	222,04	592,11

Tabela 24 - Carga majorada distribuída multiplicada pelo fator F1

(conclusão)

Parede	Carga majorada distribuída adotada (kN/m)		Carga majorada * F1	
	5 pavimentos	15 pavimentos		5 pavimentos
P39	135,14	360,38	222,04	592,11
P40	135,14	360,38	222,04	592,11
P41	161,95	431,87	266,09	709,57
P42	161,95	431,87	266,09	709,57
P43	161,95	431,87	266,09	709,57
P44	161,95	431,87	266,09	709,57
P45	222,81	594,16	492,49	1313,31
P46	161,36	430,29	265,11	706,97
P47	166,01	442,70	272,76	727,35
P48	166,01	442,70	272,76	727,35
P49	161,36	430,29	265,11	706,97
P50	166,01	442,70	272,76	727,35
P51	166,01	442,70	272,76	727,35
P52	166,01	442,70	272,76	727,35
P53	166,01	442,70	272,76	727,35
P54	174,28	464,75	385,22	1027,26
P55	161,36	430,29	265,11	706,97
P56	166,01	442,70	272,76	727,35
P57	166,01	442,70	272,76	727,35
P58	161,36	430,29	265,11	706,97
P59	161,95	431,87	266,09	709,57
P60	161,95	431,87	266,09	709,57
P61	161,95	431,87	266,09	709,57
P62	161,95	431,87	266,09	709,57
P63	135,16	360,42	222,06	592,17
P64	135,16	360,42	222,06	592,17
P65	135,16	360,42	222,06	592,17
P66	135,16	360,42	222,06	592,17

Fonte: elaborado pelo autor

Essa modificação possibilita a comparação direta desses valores com os valores das tabelas do item 3.1.3.1. Com isso, ao invés de serem criadas dezenas ou centenas de tabelas, para cada diferente fator F1, é possível usar as 5 tabelas criadas, apenas desconsiderando a divisão por F1, uma vez que esse fator já foi multiplicado na carga majorada.

É possível agora fazer uso das tabelas de resistência, criadas no item 3.1.3. Ao analisar a Tabela 19, nota-se que as maiores cargas distribuídas para 5 e 15

pavimentos são, respectivamente, 222,81 e 594,16 kN/m. Ao comparar esses valores com a tabela de resistência que não depende da taxa de armadura (Tabela 9), sabendo que as paredes têm 10 cm de espessura, conclui-se que:

- a) para o prédio com 5 pavimentos, pode-se fazer uso de concreto de qualquer resistência característica;
- b) para o prédio de 15 pavimentos, não é possível fazer uso de concreto com resistência característica igual a 20 MPa, uma vez que a carga majorada de 594,16 kN/m ultrapassa o valor da resistência máxima da tabela de 476,19 kN/m.

Uma vez determinadas as limitações da tabela que não depende da taxa de armaduras é possível utilizar as tabelas que depende da taxa de armadura, criadas no item 3.1.3.1, para definir a taxa de armadura de cada parede. Para isso, o valor da carga majorada multiplicada pelo fator F1 (Tabela 24) deve ser comparado com os valores das tabelas, para cada resistência característica do concreto, assim, definindo a taxa de armadura de cada parede. As tabelas 25 e 26 mostram os valores de taxa de armadura vertical, em porcentagem, para cada parede e cada resistência característica do concreto (f_{ck}), para o térreo de ambos os prédios.

Tabela 25 - Taxa de armadura, relacionada a cada parede e cada resistência característica do concreto, para o prédio de 5 pavimentos

(continua)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P1	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P2	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P3	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P4	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P5	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P6	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P7	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P8	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P9	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P10	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P11	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P12	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P13	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P14	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P15	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P16	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P17	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P18	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P19	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P20	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P21	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P22	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P23	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P24	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P25	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P26	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P27	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P28	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P29	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P30	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P31	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P32	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P33	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P34	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P35	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P36	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P37	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P38	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P39	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P40	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P41	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P42	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P43	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P44	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%

Tabela 25 - Taxa de armadura, relacionada a cada parede e cada resistência característica do concreto, para o prédio de 5 pavimentos

(conclusão)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P45	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P46	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P47	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P48	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P49	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P50	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P51	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P52	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P53	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P54	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P55	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P56	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P57	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P58	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P59	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P60	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P61	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P62	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P63	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P64	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P65	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P66	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 26 - Taxa de armadura, relacionada a cada parede e cada resistência característica do concreto, para o prédio de 15 pavimentos

(continua)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P1	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P2	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P3	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P4	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P5	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P6	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P7	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P8	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P9	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P10	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P11	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P12	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P13	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P14	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P15	0,50%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P16	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P17	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P18	0,80%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P19	0,50%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P20	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P21	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P22	0,80%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P23	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P24	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P25	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P26	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P27	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P28	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P29	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P30	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P31	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P32	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P33	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P34	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P35	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P36	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P37	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P38	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%

Tabela 26 - Taxa de armadura, relacionada a cada parede e cada resistência característica do concreto, para o prédio de 15 pavimentos

(conclusão)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P39	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P40	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P41	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P42	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P43	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P44	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P45	0,90%	0,15%	0,09%	0,09%	0,09%
P46	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P47	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P48	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P49	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P50	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P51	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P52	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P53	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P54	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P55	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P56	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P57	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P58	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P59	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P60	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P61	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P62	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P63	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P64	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P65	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
P66	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%

Fonte: elaborado pelo autor

Nota-se que para o prédio de 5 pavimentos, até mesmo utilizando o concreto com menor resistência característica, todas as paredes resultaram em uma taxa de armadura mínima (0,09%). Já para o prédio de 15 pavimentos, os concretos com resistência característica iguais a 20 e 25 MPa resultaram em paredes com uma taxa de armadura diferente da mínima, salientando que, como visto anteriormente, o

concreto com resistência característica de 20 MPa não pode ser usado nesse caso, uma vez que excede a capacidade resistiva conforme a outra tabela de resistência.

Vale lembrar que as tabelas de resistência são criadas a partir das determinações das normas em vigor (até o momento da publicação deste trabalho), não dependendo dos preços de mercado do concreto e aço. Em outras palavras, é possível criar todas essas tabelas, para cada pavimento do empreendimento, ainda em fase de projeto, ficando a critério da construtora definir a resistência característica do concreto (f_{ck}) que utilizará a partir dos preços de mercado do concreto e aço.

4.4.3 Utilização da tabela de custos

Uma vez descobertas as restrições através da Tabela 9 e correlacionas as taxas de armaduras necessárias com cada parede e cada resistência característica do concreto através das tabelas do item 3.1.3.1, é possível calcular o custo para produção de cada parede.

4.4.3.1 Tabelas de custos

As Tabelas 27 e 28 são criadas conforme o item 3.2.2, referente aos preços de aço e concreto de junho de 2020 e junho de 2021 (Tabela 23).

Tabela 27 - Custo unitário do concreto armado verticalmente (por m³), referente aos preços de junho de 2020

Concreto	Taxa de armadura vertical										
	0,09%	0,15%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%	1,00%
C20	R\$ 333,08	R\$ 354,44	R\$ 372,24	R\$ 407,85	R\$ 443,45	R\$ 479,06	R\$ 514,66	R\$ 550,27	R\$ 585,88	R\$ 621,48	R\$ 657,09
C25	R\$ 341,57	R\$ 362,93	R\$ 380,73	R\$ 416,34	R\$ 451,94	R\$ 487,55	R\$ 523,15	R\$ 558,76	R\$ 594,37	R\$ 629,97	R\$ 665,58
C30	R\$ 351,89	R\$ 373,25	R\$ 391,05	R\$ 426,66	R\$ 462,26	R\$ 497,87	R\$ 533,47	R\$ 569,08	R\$ 604,69	R\$ 640,29	R\$ 675,90
C35	R\$ 362,20	R\$ 383,56	R\$ 401,36	R\$ 436,97	R\$ 472,57	R\$ 508,18	R\$ 543,78	R\$ 579,39	R\$ 615,00	R\$ 650,60	R\$ 686,21
C40	R\$ 376,46	R\$ 397,82	R\$ 415,62	R\$ 451,23	R\$ 486,83	R\$ 522,44	R\$ 558,04	R\$ 593,65	R\$ 629,26	R\$ 664,86	R\$ 700,47

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 28 – Custo unitário do concreto armado verticalmente (por m³), referente aos preços de junho de 2021

Concreto	Taxa de armadura vertical										
	0,09%	0,15%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%	1,00%
C20	R\$ 409,43	R\$ 458,05	R\$ 498,57	R\$ 579,61	R\$ 660,65	R\$ 741,68	R\$ 822,72	R\$ 903,76	R\$ 984,79	R\$ 1.065,83	R\$ 1.146,87
C25	R\$ 418,91	R\$ 467,53	R\$ 508,05	R\$ 589,09	R\$ 670,13	R\$ 751,16	R\$ 832,20	R\$ 913,24	R\$ 994,27	R\$ 1.075,31	R\$ 1.156,35
C30	R\$ 430,44	R\$ 479,06	R\$ 519,58	R\$ 600,62	R\$ 681,66	R\$ 762,69	R\$ 843,73	R\$ 924,77	R\$ 1.005,80	R\$ 1.086,84	R\$ 1.167,88
C35	R\$ 441,98	R\$ 490,60	R\$ 531,12	R\$ 612,16	R\$ 693,20	R\$ 774,23	R\$ 855,27	R\$ 936,31	R\$ 1.017,34	R\$ 1.098,38	R\$ 1.179,42
C40	R\$ 457,91	R\$ 506,53	R\$ 547,05	R\$ 628,09	R\$ 709,13	R\$ 790,16	R\$ 871,20	R\$ 952,24	R\$ 1.033,27	R\$ 1.114,31	R\$ 1.195,35

Fonte: elaborado pelo autor

Vale lembrar que os custos apresentados referem-se apenas aos custos do concreto e de armaduras verticais, ficando de fora custos referentes às armaduras horizontais, formas, mão de obra, entre outros.

Uma vez adquiridos os custos por metro cúbico de parede, relativos a cada resistência característica do concreto e cada taxa de armaduras, eles podem ser correlacionados com cada parede, com base na Tabela 25 e na Tabela 26. Esses valores, ao serem multiplicados pelo volume de cada parede, mostram os custos de execução, em reais.

As tabelas 29, 30, 31 e 32 mostram os custos de execução de cada parede, para cada resistência característica do concreto, para ambos os anos de análise, além de mostrar o custo total para a execução do pavimento.

Tabela 29 - Custo de execução das paredes, prédio de 5 pavimentos, preços de junho de 2020

(continua)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P1	R\$ 316,75	R\$ 324,83	R\$ 334,64	R\$ 344,45	R\$ 358,01
P2	R\$ 150,88	R\$ 154,73	R\$ 159,40	R\$ 164,07	R\$ 170,53
P3	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P4	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P5	R\$ 150,88	R\$ 154,73	R\$ 159,40	R\$ 164,07	R\$ 170,53
P6	R\$ 316,75	R\$ 324,83	R\$ 334,64	R\$ 344,45	R\$ 358,01
P7	R\$ 29,98	R\$ 30,74	R\$ 31,67	R\$ 32,60	R\$ 33,88
P8	R\$ 120,91	R\$ 123,99	R\$ 127,73	R\$ 131,48	R\$ 136,65
P9	R\$ 120,91	R\$ 123,99	R\$ 127,73	R\$ 131,48	R\$ 136,65
P10	R\$ 29,98	R\$ 30,74	R\$ 31,67	R\$ 32,60	R\$ 33,88
P11	R\$ 346,73	R\$ 355,57	R\$ 366,31	R\$ 377,05	R\$ 391,89
P12	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P13	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P14	R\$ 346,73	R\$ 355,57	R\$ 366,31	R\$ 377,05	R\$ 391,89
P15	R\$ 416,68	R\$ 427,30	R\$ 440,21	R\$ 453,11	R\$ 470,95
P16	R\$ 311,76	R\$ 319,71	R\$ 329,36	R\$ 339,01	R\$ 352,36
P17	R\$ 160,88	R\$ 164,98	R\$ 169,96	R\$ 174,94	R\$ 181,83
P18	R\$ 566,56	R\$ 581,00	R\$ 598,56	R\$ 616,09	R\$ 640,35
P19	R\$ 416,68	R\$ 427,30	R\$ 440,21	R\$ 453,11	R\$ 470,95
P20	R\$ 311,76	R\$ 319,71	R\$ 329,36	R\$ 339,01	R\$ 352,36
P21	R\$ 160,88	R\$ 164,98	R\$ 169,96	R\$ 174,94	R\$ 181,83
P22	R\$ 566,56	R\$ 581,00	R\$ 598,56	R\$ 616,09	R\$ 640,35
P23	R\$ 346,73	R\$ 355,57	R\$ 366,31	R\$ 377,05	R\$ 391,89
P24	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P25	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P26	R\$ 346,73	R\$ 355,57	R\$ 366,31	R\$ 377,05	R\$ 391,89
P27	R\$ 29,98	R\$ 30,74	R\$ 31,67	R\$ 32,60	R\$ 33,88
P28	R\$ 120,91	R\$ 123,99	R\$ 127,73	R\$ 131,48	R\$ 136,65
P29	R\$ 120,91	R\$ 123,99	R\$ 127,73	R\$ 131,48	R\$ 136,65
P30	R\$ 29,98	R\$ 30,74	R\$ 31,67	R\$ 32,60	R\$ 33,88
P31	R\$ 316,75	R\$ 324,83	R\$ 334,64	R\$ 344,45	R\$ 358,01
P32	R\$ 150,88	R\$ 154,73	R\$ 159,40	R\$ 164,07	R\$ 170,53
P33	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P34	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P35	R\$ 150,88	R\$ 154,73	R\$ 159,40	R\$ 164,07	R\$ 170,53
P36	R\$ 316,75	R\$ 324,83	R\$ 334,64	R\$ 344,45	R\$ 358,01
P37	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
P38	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P39	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P40	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95

Tabela 29 - Custo de execução das paredes, prédio de 5 pavimentos, preços de junho de 2020

(conclusão)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P41	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P42	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P43	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P44	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P45	R\$ 511,60	R\$ 524,64	R\$ 540,50	R\$ 556,33	R\$ 578,24
P46	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P47	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P48	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P49	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P50	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
P51	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P52	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P53	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
P54	R\$ 511,60	R\$ 524,64	R\$ 540,50	R\$ 556,33	R\$ 578,24
P55	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P56	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P57	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P58	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P59	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P60	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P61	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P62	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P63	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
P64	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P65	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P66	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
Total	R\$ 16.091,53	R\$ 16.501,70	R\$ 17.000,28	R\$ 17.498,38	R\$ 18.187,30

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 30 - Custo de execução das paredes, prédio de 5 pavimentos, preços de junho de 2021

(continua)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P1	R\$ 389,37	R\$ 398,39	R\$ 409,35	R\$ 420,33	R\$ 435,48
P2	R\$ 185,47	R\$ 189,77	R\$ 194,99	R\$ 200,22	R\$ 207,43
P3	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P4	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P5	R\$ 185,47	R\$ 189,77	R\$ 194,99	R\$ 200,22	R\$ 207,43
P6	R\$ 389,37	R\$ 398,39	R\$ 409,35	R\$ 420,33	R\$ 435,48
P7	R\$ 36,85	R\$ 37,70	R\$ 38,74	R\$ 39,78	R\$ 41,21
P8	R\$ 148,62	R\$ 152,07	R\$ 156,25	R\$ 160,44	R\$ 166,22
P9	R\$ 148,62	R\$ 152,07	R\$ 156,25	R\$ 160,44	R\$ 166,22
P10	R\$ 36,85	R\$ 37,70	R\$ 38,74	R\$ 39,78	R\$ 41,21
P11	R\$ 426,22	R\$ 436,09	R\$ 448,09	R\$ 460,10	R\$ 476,69
P12	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P13	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P14	R\$ 426,22	R\$ 436,09	R\$ 448,09	R\$ 460,10	R\$ 476,69
P15	R\$ 512,20	R\$ 524,06	R\$ 538,48	R\$ 552,92	R\$ 572,85
P16	R\$ 383,23	R\$ 392,10	R\$ 402,89	R\$ 413,70	R\$ 428,61
P17	R\$ 197,76	R\$ 202,33	R\$ 207,90	R\$ 213,48	R\$ 221,17
P18	R\$ 696,45	R\$ 712,57	R\$ 732,18	R\$ 751,81	R\$ 778,91
P19	R\$ 512,20	R\$ 524,06	R\$ 538,48	R\$ 552,92	R\$ 572,85
P20	R\$ 383,23	R\$ 392,10	R\$ 402,89	R\$ 413,70	R\$ 428,61
P21	R\$ 197,76	R\$ 202,33	R\$ 207,90	R\$ 213,48	R\$ 221,17
P22	R\$ 696,45	R\$ 712,57	R\$ 732,18	R\$ 751,81	R\$ 778,91
P23	R\$ 426,22	R\$ 436,09	R\$ 448,09	R\$ 460,10	R\$ 476,69
P24	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P25	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P26	R\$ 426,22	R\$ 436,09	R\$ 448,09	R\$ 460,10	R\$ 476,69
P27	R\$ 36,85	R\$ 37,70	R\$ 38,74	R\$ 39,78	R\$ 41,21
P28	R\$ 148,62	R\$ 152,07	R\$ 156,25	R\$ 160,44	R\$ 166,22
P29	R\$ 148,62	R\$ 152,07	R\$ 156,25	R\$ 160,44	R\$ 166,22
P30	R\$ 36,85	R\$ 37,70	R\$ 38,74	R\$ 39,78	R\$ 41,21
P31	R\$ 389,37	R\$ 398,39	R\$ 409,35	R\$ 420,33	R\$ 435,48
P32	R\$ 185,47	R\$ 189,77	R\$ 194,99	R\$ 200,22	R\$ 207,43
P33	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P34	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P35	R\$ 185,47	R\$ 189,77	R\$ 194,99	R\$ 200,22	R\$ 207,43
P36	R\$ 389,37	R\$ 398,39	R\$ 409,35	R\$ 420,33	R\$ 435,48
P37	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
P38	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P39	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P40	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08

Tabela 30 - Custo de execução das paredes, prédio de 5 pavimentos, preços de junho de 2021

(conclusão)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P41	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P42	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P43	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P44	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P45	R\$ 628,89	R\$ 643,45	R\$ 661,16	R\$ 678,89	R\$ 703,35
P46	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P47	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P48	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P49	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P50	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
P51	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P52	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P53	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
P54	R\$ 628,89	R\$ 643,45	R\$ 661,16	R\$ 678,89	R\$ 703,35
P55	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P56	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P57	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P58	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P59	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P60	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P61	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P62	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P63	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
P64	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P65	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P66	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
Total	R\$ 19.780,52	R\$ 20.238,52	R\$ 20.795,56	R\$ 21.353,08	R\$ 22.122,69

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 31 - Custo de execução das paredes, prédio de 15 pavimentos, preços de junho de 2020

(continua)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P1	R\$ 316,75	R\$ 324,83	R\$ 334,64	R\$ 344,45	R\$ 358,01
P2	R\$ 150,88	R\$ 154,73	R\$ 159,40	R\$ 164,07	R\$ 170,53
P3	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P4	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P5	R\$ 150,88	R\$ 154,73	R\$ 159,40	R\$ 164,07	R\$ 170,53
P6	R\$ 316,75	R\$ 324,83	R\$ 334,64	R\$ 344,45	R\$ 358,01
P7	R\$ 29,98	R\$ 30,74	R\$ 31,67	R\$ 32,60	R\$ 33,88
P8	R\$ 120,91	R\$ 123,99	R\$ 127,73	R\$ 131,48	R\$ 136,65
P9	R\$ 120,91	R\$ 123,99	R\$ 127,73	R\$ 131,48	R\$ 136,65
P10	R\$ 29,98	R\$ 30,74	R\$ 31,67	R\$ 32,60	R\$ 33,88
P11	R\$ 346,73	R\$ 355,57	R\$ 366,31	R\$ 377,05	R\$ 391,89
P12	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P13	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P14	R\$ 346,73	R\$ 355,57	R\$ 366,31	R\$ 377,05	R\$ 391,89
P15	R\$ 599,30	R\$ 427,30	R\$ 440,21	R\$ 453,11	R\$ 470,95
P16	R\$ 311,76	R\$ 319,71	R\$ 329,36	R\$ 339,01	R\$ 352,36
P17	R\$ 160,88	R\$ 164,98	R\$ 169,96	R\$ 174,94	R\$ 181,83
P18	R\$ 996,58	R\$ 581,00	R\$ 598,56	R\$ 616,09	R\$ 640,35
P19	R\$ 599,30	R\$ 427,30	R\$ 440,21	R\$ 453,11	R\$ 470,95
P20	R\$ 311,76	R\$ 319,71	R\$ 329,36	R\$ 339,01	R\$ 352,36
P21	R\$ 160,88	R\$ 164,98	R\$ 169,96	R\$ 174,94	R\$ 181,83
P22	R\$ 996,58	R\$ 581,00	R\$ 598,56	R\$ 616,09	R\$ 640,35
P23	R\$ 346,73	R\$ 355,57	R\$ 366,31	R\$ 377,05	R\$ 391,89
P24	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P25	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P26	R\$ 346,73	R\$ 355,57	R\$ 366,31	R\$ 377,05	R\$ 391,89
P27	R\$ 29,98	R\$ 30,74	R\$ 31,67	R\$ 32,60	R\$ 33,88
P28	R\$ 120,91	R\$ 123,99	R\$ 127,73	R\$ 131,48	R\$ 136,65
P29	R\$ 120,91	R\$ 123,99	R\$ 127,73	R\$ 131,48	R\$ 136,65
P30	R\$ 29,98	R\$ 30,74	R\$ 31,67	R\$ 32,60	R\$ 33,88
P31	R\$ 316,75	R\$ 324,83	R\$ 334,64	R\$ 344,45	R\$ 358,01
P32	R\$ 150,88	R\$ 154,73	R\$ 159,40	R\$ 164,07	R\$ 170,53
P33	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P34	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P35	R\$ 150,88	R\$ 154,73	R\$ 159,40	R\$ 164,07	R\$ 170,53
P36	R\$ 316,75	R\$ 324,83	R\$ 334,64	R\$ 344,45	R\$ 358,01
P37	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
P38	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P39	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P40	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95

Tabela 31 - Custo de execução das paredes, prédio de 15 pavimentos, preços de junho de 2020

(conclusão)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P41	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P42	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P43	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P44	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P45	R\$ 954,60	R\$ 557,46	R\$ 540,50	R\$ 556,33	R\$ 578,24
P46	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P47	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P48	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P49	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P50	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
P51	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P52	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P53	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
P54	R\$ 511,60	R\$ 524,64	R\$ 540,50	R\$ 556,33	R\$ 578,24
P55	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P56	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P57	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P58	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P59	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P60	R\$ 105,92	R\$ 108,62	R\$ 111,90	R\$ 115,18	R\$ 119,71
P61	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P62	R\$ 225,82	R\$ 231,58	R\$ 238,58	R\$ 245,57	R\$ 255,24
P63	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
P64	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P65	R\$ 260,80	R\$ 267,45	R\$ 275,53	R\$ 283,60	R\$ 294,76
P66	R\$ 331,74	R\$ 340,20	R\$ 350,48	R\$ 360,75	R\$ 374,95
Total	R\$ 17.759,80	R\$ 16.534,51	R\$ 17.000,28	R\$ 17.498,38	R\$ 18.187,30

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 32 - Custo de execução das paredes, prédio de 15 pavimentos, preços de junho de 2021

(continua)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P1	R\$ 389,37	R\$ 398,39	R\$ 409,35	R\$ 420,33	R\$ 435,48
P2	R\$ 185,47	R\$ 189,77	R\$ 194,99	R\$ 200,22	R\$ 207,43
P3	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P4	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P5	R\$ 185,47	R\$ 189,77	R\$ 194,99	R\$ 200,22	R\$ 207,43
P6	R\$ 389,37	R\$ 398,39	R\$ 409,35	R\$ 420,33	R\$ 435,48
P7	R\$ 36,85	R\$ 37,70	R\$ 38,74	R\$ 39,78	R\$ 41,21
P8	R\$ 148,62	R\$ 152,07	R\$ 156,25	R\$ 160,44	R\$ 166,22
P9	R\$ 148,62	R\$ 152,07	R\$ 156,25	R\$ 160,44	R\$ 166,22
P10	R\$ 36,85	R\$ 37,70	R\$ 38,74	R\$ 39,78	R\$ 41,21
P11	R\$ 426,22	R\$ 436,09	R\$ 448,09	R\$ 460,10	R\$ 476,69
P12	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P13	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P14	R\$ 426,22	R\$ 436,09	R\$ 448,09	R\$ 460,10	R\$ 476,69
P15	R\$ 927,85	R\$ 524,06	R\$ 538,48	R\$ 552,92	R\$ 572,85
P16	R\$ 383,23	R\$ 392,10	R\$ 402,89	R\$ 413,70	R\$ 428,61
P17	R\$ 197,76	R\$ 202,33	R\$ 207,90	R\$ 213,48	R\$ 221,17
P18	R\$ 1.675,13	R\$ 712,57	R\$ 732,18	R\$ 751,81	R\$ 778,91
P19	R\$ 927,85	R\$ 524,06	R\$ 538,48	R\$ 552,92	R\$ 572,85
P20	R\$ 383,23	R\$ 392,10	R\$ 402,89	R\$ 413,70	R\$ 428,61
P21	R\$ 197,76	R\$ 202,33	R\$ 207,90	R\$ 213,48	R\$ 221,17
P22	R\$ 1.675,13	R\$ 712,57	R\$ 732,18	R\$ 751,81	R\$ 778,91
P23	R\$ 426,22	R\$ 436,09	R\$ 448,09	R\$ 460,10	R\$ 476,69
P24	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P25	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P26	R\$ 426,22	R\$ 436,09	R\$ 448,09	R\$ 460,10	R\$ 476,69
P27	R\$ 36,85	R\$ 37,70	R\$ 38,74	R\$ 39,78	R\$ 41,21
P28	R\$ 148,62	R\$ 152,07	R\$ 156,25	R\$ 160,44	R\$ 166,22
P29	R\$ 148,62	R\$ 152,07	R\$ 156,25	R\$ 160,44	R\$ 166,22
P30	R\$ 36,85	R\$ 37,70	R\$ 38,74	R\$ 39,78	R\$ 41,21
P31	R\$ 389,37	R\$ 398,39	R\$ 409,35	R\$ 420,33	R\$ 435,48
P32	R\$ 185,47	R\$ 189,77	R\$ 194,99	R\$ 200,22	R\$ 207,43
P33	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P34	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P35	R\$ 185,47	R\$ 189,77	R\$ 194,99	R\$ 200,22	R\$ 207,43
P36	R\$ 389,37	R\$ 398,39	R\$ 409,35	R\$ 420,33	R\$ 435,48
P37	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
P38	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P39	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P40	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08

Tabela 32 - Custo de execução das paredes, prédio de 15 pavimentos, preços de junho de 2021

(conclusão)

Parede	Concreto				
	C20	C25	C30	C35	C40
P41	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P42	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P43	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P44	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P45	R\$ 1.637,11	R\$ 718,13	R\$ 661,16	R\$ 678,89	R\$ 703,35
P46	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P47	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P48	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P49	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P50	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
P51	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P52	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P53	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
P54	R\$ 628,89	R\$ 643,45	R\$ 661,16	R\$ 678,89	R\$ 703,35
P55	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P56	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P57	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P58	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P59	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P60	R\$ 130,20	R\$ 133,21	R\$ 136,88	R\$ 140,55	R\$ 145,62
P61	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P62	R\$ 277,60	R\$ 284,02	R\$ 291,84	R\$ 299,66	R\$ 310,46
P63	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
P64	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P65	R\$ 320,59	R\$ 328,01	R\$ 337,04	R\$ 346,07	R\$ 358,55
P66	R\$ 407,80	R\$ 417,24	R\$ 428,72	R\$ 440,22	R\$ 456,08
Total	R\$ 23.577,41	R\$ 20.313,21	R\$ 20.795,56	R\$ 21.353,08	R\$ 22.122,69

Fonte: elaborado pelo autor

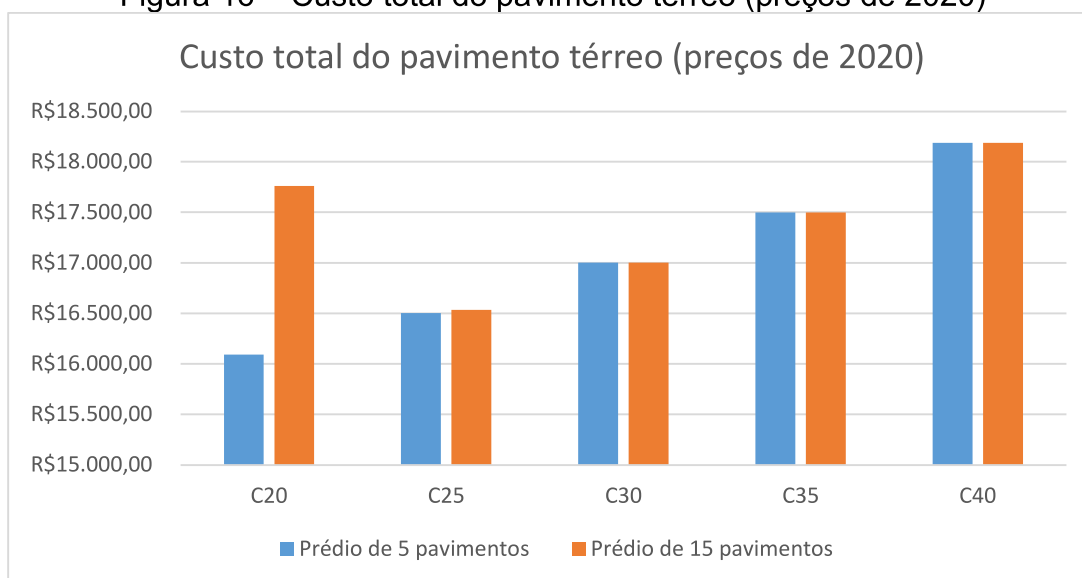
Tratando-se do prédio de 5 pavimentos, é de se esperar que o custo total seja menor com a utilização do concreto com menor resistência característica (e menor custo), uma vez que, para qualquer situação, a taxa de armadura necessária é a mínima estabelecida de 0,09%.

Para o prédio de 15 pavimentos, a resistência característica do concreto que resultou em menor custo foi de 25 MPa. É possível observar que, para algumas

paredes isoladas, o menor custo para sua execução é utilizando-se um concreto com uma resistência característica diferente, a exemplo da parede P45 que tem seu custo reduzido com a utilização de um concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, porém, como foi pré-estabelecido que em um mesmo pavimento é feito o uso de um mesmo f_{ck} do concreto, o custo total se dá somando-se todos os custos de execução unitários das paredes. Vale lembrar ainda que, como mencionado anteriormente, o concreto com resistência característica igual a 20 MPa não pode ser utilizado nesse caso.

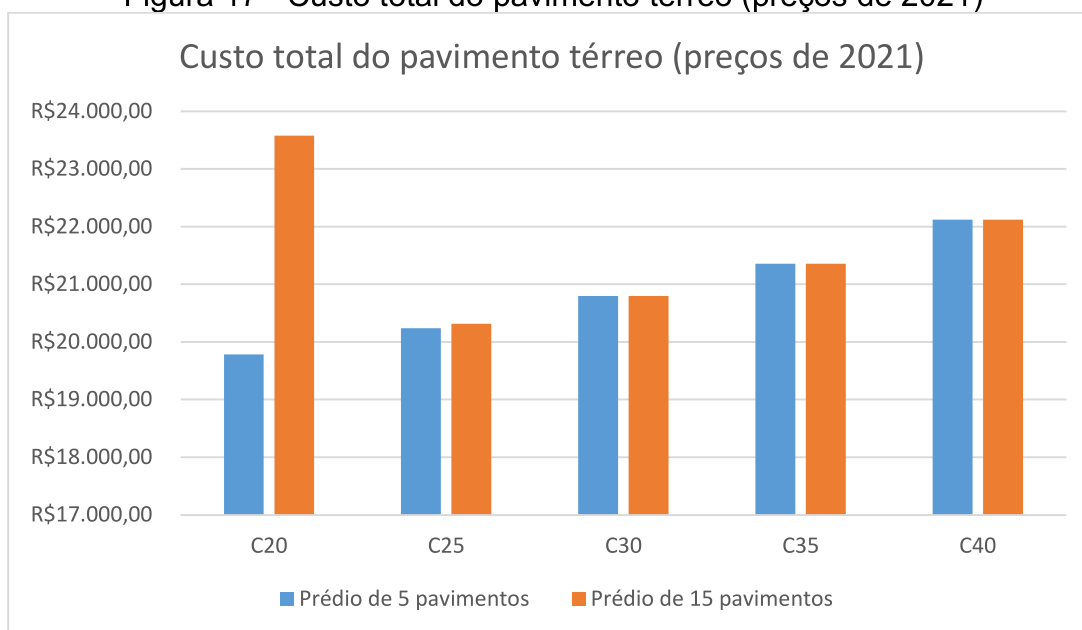
Uma vez criadas as tabelas de custos de execução dos pavimentos, é possível fazer uma análise comparativa dos custos através de gráficos de barras, referentes aos períodos de junho de 2020 (Figura 16) e junho de 2021 (Figura 17).

Figura 16 – Custo total do pavimento térreo (preços de 2020)



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 17 - Custo total do pavimento térreo (preços de 2021)



Fonte: elaborado pelo autor

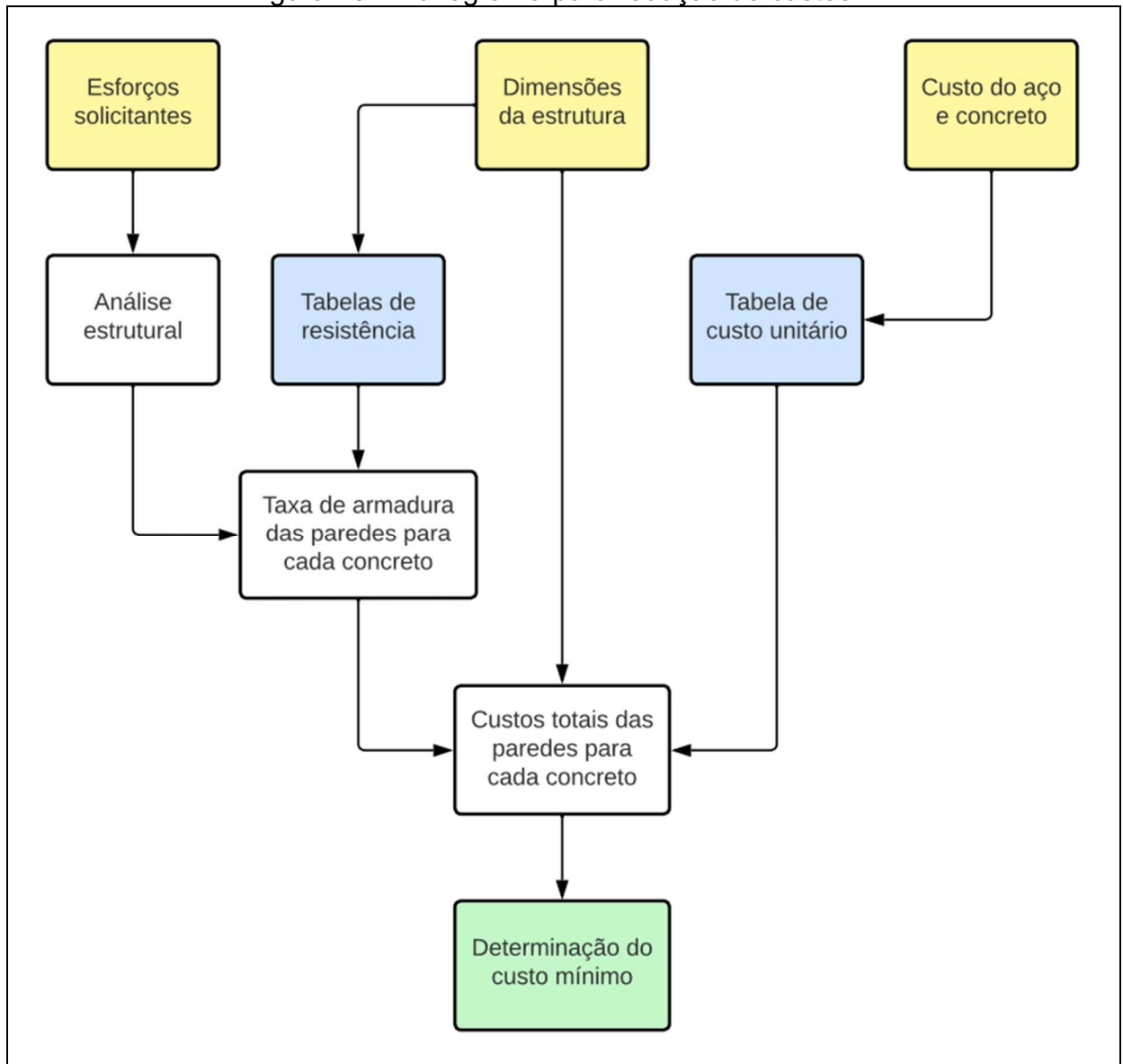
Através desses gráficos é possível visualizar facilmente pontos de custo mínimo e fazer uma análise comparativa entre os períodos de análise dos custos. Nota-se que não houve mudança no concreto que resultou em custo mínimo, ou seja, tanto para o ano de 2020 quanto para o ano de 2021, a resistência característica que resultou em menor custo foi a mesma para ambos os casos (20 MPa e 25 MPa para os prédios de 5 e 15 pavimentos, respectivamente).

5 CONCLUSÃO

Quanto ao cumprimento dos objetivos propostos no presente trabalho de conclusão de curso, tem-se que os objetivos específicos foram cumpridos, alcançando-se também o cumprimento do objetivo geral. Tratando-se dos objetivos específicos, no item 2.1 foi apresentado o sistema construtivo de paredes de concreto armado moldadas *in loco*, sendo considerado um sistema econômico e de alta velocidade, ideal para empreendimentos de interesse social, cumprindo assim o objetivo específico a). No item 2.2 foram apontados os principais pontos da norma ABNT NBR 16055:2022, com destaque ao item 2.2.6, que detalha o dimensionamento das paredes de concreto, cumprindo assim o objetivo específico b). No item 2.3 foram abordadas as principais análises estruturais usadas para o dimensionamento de paredes de concreto moldadas no local, onde foram mostradas as principais cargas atuantes na estrutura e o caminhamento dessas cargas ao longo da estrutura, cumprindo assim o objetivo específico c). No capítulo 3 foram criadas as tabelas de resistência e tabelas de custos das paredes por metro cúbico, que juntas auxiliam na redução de custos da técnica construtiva, cumprindo assim o objetivo específico d). No capítulo 4 foi apresentado o empreendimento que serviu como estudo de caso deste trabalho, foram definidas as cargas atuantes no projeto que serviram para a análise estrutural realizada e por fim, foram criadas e usadas as tabelas de resistência e custos para a determinação do custo mínimo do pavimento, cumprindo assim o objetivo específico e). Com o cumprimento de todos os objetivos específicos, também cumpriu-se o objetivo geral deste trabalho de propor um método de avaliação de custos para identificar a situação estrutural (taxa de armadura vs resistência característica do concreto) mais vantajosa economicamente para execução de paredes de concreto armado moldadas no local.

O método criado, com a elaboração de tabelas de resistência e custo, se mostrou uma ferramenta útil para a determinação do custo mínimo possível para a execução de um pavimento. Com poucos dados de entrada (dimensões da estrutura, esforços solicitantes e custo do aço e concreto) foi possível gerar uma série de tabelas que auxiliam a redução de custos. A Figura 18 apresenta o fluxograma das informações, mostrando todas as tabelas criadas no processo, desde os dados de entrada até a redução do custo.

Figura 18 - Fluxograma para redução de custos



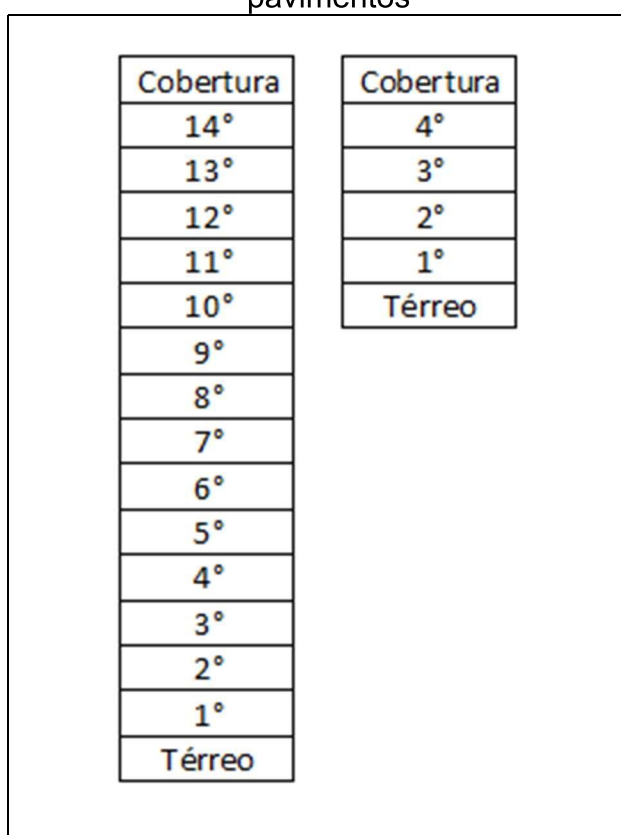
Fonte: elaborado pelo autor

Esse fluxograma organiza as informações e pode ser útil a futuros usuários que queiram aplicar o processo em outro tipo de projeto. É possível observar que, dentre os três dados de entrada, os esforços solicitantes e dimensões da estrutura são imutáveis ao longo do tempo, sendo apenas os custos de aço e concreto variáveis conforme preços de mercado. Analisando o fluxograma, fica evidente que o único fluxo de informações que muda com o tempo entra apenas na última etapa, antes da determinação do custo mínimo. Ou seja, todas as outras etapas, até a determinação da “taxa de armadura das paredes para cada concreto” não se alteram e podem ser feitas apenas uma vez ainda em fase de projeto, independentemente da quantidade de pavimentos e quantidade de blocos do empreendimento. Com auxílio de planilha

eletrônica, apenas alterando os dados iniciais de custo de concreto e aço a cada execução de um novo pavimento, é possível rapidamente determinar qual resistência característica do concreto resultará no menor custo.

Tratando-se do projeto, foram analisados os pavimentos térreos de um prédio de 5 pavimentos e de um prédio de 15 pavimentos. Em questões de cargas verticais, o pavimento térreo do prédio de 5 pavimentos é equivalente ao 10° pavimento do prédio de 15 pavimentos, como é esquematizado na Figura 19.

Figura 19 - Equivalência esquemática entre as cargas verticais dos prédios de 5 e 15 pavimentos



Fonte: elaborado pelo autor

Ao comparar os pavimentos térreos de ambos os prédios (ou o pavimento térreo e o 10° do mesmo prédio de 15 pavimentos), as taxas de armadura fornecidas pelas “tabelas que dependem da taxa de aço”, ao vincular com a “tabela de custos” mostram que o custo mínimo no prédio de 5 pavimentos era obtido com utilização do concreto C20 e o custo mínimo no prédio de 15 pavimentos é obtido com o concreto C25. Isso significa que em um mesmo prédio é possível minimizar os custos ao utilizar-se de diferentes resistências características do concreto para diferentes pavimentos e

o método criado nesse trabalho auxilia no processo. Vale lembrar também que a “tabela que não depende da taxa de aço” mostrou um impedimento quanto ao uso do concreto C20 para o prédio de 15 pavimentos.

Ao verificar agora os resultados de um mesmo pavimento, mas nos diferentes períodos (com diferença nos preços de aço e concreto), observa-se que não houve mudança quanto ao concreto escolhido. Ou seja, nos prédios de 5 e 15 pavimentos, as resistências características dos concretos que resultaram em menor custo total foram de 20 e 25 MPa, respectivamente, independente do custo dos materiais. É possível que isso se deva a baixos valores de F_1 (fator definido no item 3.1.1, que é função direta da esbeltez de cada parede), o que gerou taxa de armadura mínima na maioria das paredes, fazendo com que não houvesse tanta redução de aço com o aumento da resistência do concreto (uma vez que a taxa de armadura já era mínima). Mais estudos são necessários para afirmar que em projetos que possuam paredes com maior esbeltez (ao elevar o pé direito por exemplo), o custo total de um mesmo pavimento seja reduzido com a utilização de concreto com resistência característica diferente.

Quanto aos aspectos relacionados às dificuldades verificadas ao longo da realização desse trabalho de conclusão de curso, destacam-se o pouco acesso aos dados de projeto, a grande gama de incógnitas da equação (6) (resistência de cálculo sob normal de compressão que depende da taxa de armadura vertical) e a necessidade de refazer a análise estrutural para cada mudança de espessura da parede. Devido ao pouco acesso a dados da Empresa X, definições como os tipos de revestimento usados (e conseqüentemente o seu peso específico) ficaram a critério do autor deste trabalho, possivelmente acarretando em cargas maiores do que as usadas pela Empresa X, uma vez que foram utilizados pesos específicos elevados, a favor da segurança. Para resolver as demais dificuldades, foi fixada a espessura da parede em 10 cm, uma vez que isso elimina uma das incógnitas da equação (6) e mantém a análise estrutural inalterada.

O método mostrou-se uma rápida e eficiente ferramenta para determinação das resistências características do concreto e taxa de armadura necessárias para cada parede, fornecendo ainda, os custos mínimos para cada caso.

Além disso, quando analisado com os diferentes preços de concreto e aço (nas diferentes datas escolhidas, conforme histórico SINAPI), o projeto estudado nesse trabalho não demonstrou diferença no concreto e taxa de aço que resultaram no custo

mínimo, mesmo com a grande variação do custo do aço, sendo necessário avaliar outros cenários para conclusão mais precisa.

Para finalizar, os baixos lucros relacionados ao ramo da habitação de interesse social fazem necessária a otimização de recursos para saúde financeira e sobrevivência das empresas. O método proposto neste trabalho pode ser útil às empresas desse ramo, uma vez que é capaz de auxiliar na redução de seus custos de execução, já na fase de projeto.

5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

As sugestões apresentadas têm o objetivo de expandir as possibilidades quanto às restrições aplicadas no item 1.3, ampliar as análises com a finalidade de observar o que ocorre com paredes com esbeltez mais elevada e reduzir os custos totais da utilização da técnica de paredes de concreto armado moldadas no local. As sugestões de trabalhos futuros são:

- a) neste trabalho foram fixadas as espessuras das paredes em 10 cm, conforme projeto. A sugestão é fazer a análise não se limitando a uma espessura pré-fixada. É possível fazer uso das mesmas tabelas criadas neste trabalho, apenas observando que com o aumento das espessuras das paredes também aumentam seus pesos próprios na etapa de análise estrutural;
- b) considerar cargas do vento, criando tabelas para as armaduras horizontais (não analisadas neste trabalho). É possível criar tabelas de custos com base tanto nas armaduras verticais quanto nas horizontais, criando um sistema mais preciso para determinação dos custos mínimos;
- c) fazer análises similares as desse trabalho em projetos com paredes que possuem maior esbeltez, elevando os fatores $F1$ (definido no item 3.1.1), fazendo com que sejam necessárias taxas de armadura mais elevadas nas paredes. É possível que isso gere resultados diferentes de acordo com os custos de aço de concreto no mercado;
- d) simular variações maiores dos preços do aço e concreto, a fim de definir a melhor relação para as mais diversas relações de custo de concreto e aço;

- e) criar um software que realize simulações com variações de espessura de parede, resistência característica do concreto e taxa de armadura, fazendo as análises estruturais de forma computacional;
- f) fazer um estudo de mão de obra para execução das paredes, por se tratar de outro custo (além do aço e concreto) com grande relevância no custo total de execução, fazendo parte do grupo A da curva ABC.

REFERÊNCIAS

ABREU, J. P. M. de et al. (2023). Análise comparativa de custo e de construtibilidade em projeto de habitação de interesse social. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v18, n1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/gtp.v18i1.183649>
Acesso em: 22 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BORGES, C. S. **Dimensionamento de Painéis Pré-moldados de Concreto Autoportante**. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2018.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014**. 4. Ed. São Paulo: EdUFSCar, 2021.

Entregue cerca de 1,6 milhões de moradias em todo o país entre 2019 e 2022. Gov.br. 27 dez. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2022/12/entregue-cerca-de-1-6-milhao-de-moradias-em-todo-o-pais-entre-2019-e-2022#:~:text=O%20Governo%20Federal%2C%20por%20meio,Programa%20Casa%20Verde%20e%20Amarela.> Acesso em: 22 nov. 2023.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Deficit habitacional no Brasil – 2016-2019 /** Fundação João Pinheiro. – Belo Horizonte: FJP, 2021.

NUNES, V.Q.G. **Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto armado.** 2011. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Paredes de concreto moldadas in loco: o que são e por que usá-las na sua obra? Tecnosil. 6 fev. 2023. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/paredes/> Acesso em: 22 nov. 2023.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria estrutural.** 1. Ed. São Paulo: Pini, 2003.

RORIZ, M. Desempenho térmico e as paredes de concreto. **Núcleo Parede de Concreto**, 3 jul. 2013. Disponível em: <https://nucleoparededeconcreto.com.br/desempenho-termico-e-as-paredes-de-concreto/> Acesso em: 22 nov. 2023

RIBEIRO, L. da C.; TORRES, T. A. S.; CRUZ, H. M. Investigação de perdas do Sistema Toyota de Produção em obras de paredes de concreto moldadas no local. Em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–11. DOI: 10.46421/sibragec.v13i00.2674. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/2674>. Acesso em: 22 nov. 2023.

SILVA, L. S. Z. R. S. **A Percepção do Usuário de Habitação Unifamiliar em Relação ao Sistema Construtivo Industrializado - Avaliação do Grau de Satisfação**. 128p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

SILVA, T. F. T. **Estudo da Interação Entre Edifícios de Alvenaria Estrutural e Pavimentos em Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SINAPI. Relatórios de Insumos e Composições - SC. **CAIXA**. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_651
Acesso em: 22 nov. 2023

TORRES, G. Preço do Aço – tudo que você precisa saber. **Sienge**, 3 abr. 2023.
Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/preco-do-aco-tudo/>
Acesso em: 21 out. 2023.