



GUILHERME MICAEL CARVALHO SOUZA

**ESTUDO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES
VERTICAIS E SUAS IMPLICAÇÕES NA ESPECIFICAÇÃO
DA RESISTÊNCIA DE BLOCOS ESTRUTURAIS**

**LAVRAS - MG
2022**

GUILHERME MICAEL CARVALHO SOUZA

**ESTUDO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES VERTICAIS E SUAS
IMPLICAÇÕES NA ESPECIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE BLOCOS
ESTRUTURAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Rafael Santos de Moraes
Orientador

**LAVRAS - MG
2022**

GUILHERME MICAEL CARVALHO SOUZA

**ESTUDO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES VERTICAIS E SUAS
IMPLICAÇÕES NA ESPECIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE BLOCOS
ESTRUTURAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 03 de Maio de 2022

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo (UFLA)

Prof. Dr. Rafael Santos de Moraes (UFLA)

Prof. Dr. Wisner Coimbra de Paula (UFLA)

RAFAEL SANTOS DE MORAES

Prof. Dr. Rafael Santos de Moraes
Orientador

**LAVRAS - MG
2022**

À minha família. Em especial minha mãe, Letícia, pelo exemplo de conduta, superação, força e dedicação, além de todo apoio e incentivo durante a vida e graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela dádiva da vida e pela oportunidade de ser capaz de lutar pelos meus sonhos.

À minha mãe, Leticia Renata, por me mostrar que tudo é possível quando realizado com dedicação e amor, além de todo exemplo pessoal e profissional durante minha vida.

À minha avó, Maria Tereza, por todos os conselhos e amparo em todas as fases da minha vida.

À minha família, por todo apoio e carinho, em especial meu irmão, João Pedro, e meu tio, Márcio, por toda cumplicidade e dedicação em auxiliar na busca pelos meus objetivos.

Ao meu pai, Márcio, por todo suporte e dedicação.

À Universidade Federal de Lavras, por toda infraestrutura oferecida, possibilitando-me a realização da graduação em Engenharia Civil com qualidade e excelência.

A todos meus amigos e colegas que fizeram parte direta ou indiretamente da minha formação profissional e pessoal ao longo da graduação.

Ao Prof. Dr. Rafael Santos de Moraes, pela disponibilidade para orientação e pelo apoio na elaboração deste trabalho.

Aos meus colegas de treino, por fazerem parte do meu equilíbrio físico-mental, ponto fundamental para a conclusão do curso e deste trabalho.

“Um ato de caridade traz em si a argamassa indestrutível da eterna Perfeição, composta de sabedoria e justiça, trabalho e solidariedade, confiança e paz.”

(Francisco Cândido Xavier / Emmanuel)

RESUMO

A alvenaria estrutural adquiriu grande espaço no mercado da construção civil nos últimos tempos. Sendo assim, além da atualização das disposições normativas, é relevante o estudo de temas que interfiram diretamente nos projetos e dimensionamento da alvenaria estrutural. O presente trabalho tem por objetivo analisar a diferença entre as metodologias de distribuição das ações verticais (paredes isoladas e grupos isolados de paredes) em conjunto à variação de dois tipos usuais de lajes (maciças e pré-moldadas de concreto armado), a fim de avaliar o impacto dessas variáveis na especificação dos blocos de concreto. Dessa forma, a partir de um projeto autoral, para o qual foram quantificadas todas as ações verticais, foi possível obter os resultados para as resistências necessárias em cada caso, realizando-se as considerações cabíveis para cada modelo de distribuição das ações verticais, bem como a análise do tipo de laje em relação a cada modelo. Ao fim do processo, foi possível concluir que o método de paredes isoladas não é recomendado para edifícios de múltiplos pavimentos (independentemente do tipo de laje utilizado). Além disso, para o modelo de grupos isolados de paredes, percebe-se uma satisfatória distribuição dos carregamentos, utilizando lajes maciças ou pré-moldadas (o tipo de laje não impactou de forma significativa no dimensionamento dos blocos), resultando em valores requeridos inferiores de resistência quando comparado com o modelo de paredes isoladas.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Modelos de distribuição de ações. Dimensionamento à compressão simples.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Descrição da metodologia do trabalho.	15
Figura 2 - Conjunto habitacional Central Parque Lapa.	17
Figura 3 - Exemplo de modulação.....	19
Figura 4 - Tipos de blocos cerâmicos.....	20
Figura 5 – Bloco estrutural de concreto.	21
Figura 6 - Áreas de influência das paredes nas lajes.	25
Figura 7 - Exemplo de divisão de grupos isolados.....	26
Figura 8 - Áreas de influência para um grupo de paredes.....	27
Figura 9 - Edifício discretizado em elementos finitos.....	30
Figura 10 - Processo de divisão das áreas pelas charneiras.....	39
Figura 11 - Exemplo de laje pré-moldada.	40
Figura 12 – Esquema para determinação das reações de apoio em lajes pré-moldadas.....	41
Figura 13 - Planta baixa pavimento térreo (medidas em metro).	44
Figura 14 - Planta baixa pavimento tipo (medidas em metro).	45
Figura 15 - Modulação da primeira fiada do pavimento tipo.....	47
Figura 16 - Modulação da segunda fiada do pavimento tipo.	48
Figura 17 - Modulação da primeira fiada do pavimento térreo.....	49
Figura 18 - Modulação da segunda fiada do pavimento térreo.	50
Figura 19 - Representação das lajes maciças.	51
Figura 20 - Representação das charneiras para lajes maciças.	52
Figura 21 - Representação das lajes pré-moldadas.....	53
Figura 22 - Nomenclatura das paredes estruturais.	54
Figura 23 - Divisão dos grupos de paredes.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe, largura e espessura mínima para os blocos.	22
Tabela 2 - Propriedades da alvenaria - blocos de concreto.	32
Tabela 3 - Propriedades da alvenaria - blocos cerâmicos.....	33
Tabela 4 - Propriedades da alvenaria - tijolos cerâmicos.	33
Tabela 5 - Valores para γ_m	34
Tabela 6 - Recomendação para especificação dos blocos - ABNT NBR 16868-1: 2020.	37
Tabela 7 - Comprimento das paredes e dos grupos.	56
Tabela 8 - Peso próprio da alvenaria estrutural.	57
Tabela 9 - Peso próprio para as lajes maciças.	57
Tabela 10 - Peso próprio para as lajes pré-moldadas.	57
Tabela 11 - Resultados para as cargas em paredes isoladas para um pavimento – lajes maciças.	60
Tabela 12 - Carregamentos totais acumulados para as paredes por pavimento – lajes maciças.	62
Tabela 13 - f_{pk} necessário para paredes isoladas por pavimento – lajes maciças.	63
Tabela 14 - Resistência dos blocos necessária por pavimento para paredes isoladas – lajes maciças.	64
Tabela 15 - Resultados para as cargas em paredes isoladas para um pavimento – lajes pré-moldadas.....	65
Tabela 16 - Carregamentos totais acumulados por pavimento para paredes isoladas – lajes pré-moldadas.	66
Tabela 17 - f_{pk} necessário para paredes isoladas por pavimento – lajes pré-moldadas.	67
Tabela 18 - Resistência dos blocos necessária por pavimento – lajes pré-moldadas.	68
Tabela 19 - Carregamentos totais acumulados para cada grupo por pavimento – lajes maciças.	69
Tabela 20 - f_{pk} necessário para os grupos de paredes por pavimento – lajes maciças.....	70
Tabela 21 - Resistência necessária por pavimento para o grupo mais solicitado – lajes maciças.	70
Tabela 22 - Carregamentos totais acumulados para cada grupo por pavimento – lajes pré-moldadas.....	71
Tabela 23 - f_{pk} necessário para os grupos de paredes por pavimento – lajes pré-moldadas.....	72

Tabela 24 - Resistência necessária por pavimento para o grupo mais solicitado – lajes pré-moldadas.....	72
Tabela 25 - Especificação dos blocos por pavimento e para cada caso, em MPa.	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivo	14
1.2	Justificativas.....	14
1.3	Metodologia.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Alvenaria Estrutural.....	17
2.2	Modulação e blocos	18
2.2.1	Modulação	18
2.2.2	Blocos cerâmicos.....	20
2.2.3	Blocos de concreto	21
2.3	Ações	22
2.4	Modelos de distribuição das ações verticais.....	23
2.4.1	Paredes isoladas.....	24
2.4.2	Grupos isolados de paredes	25
2.4.3	Grupos de paredes com interação.....	28
2.4.4	Análise por elementos finitos	29
2.4.5	Grupos totais de paredes.....	30
2.5	Parâmetros para o dimensionamento	30
2.6	Dimensionamento à compressão simples	35
2.7	Lajes de concreto armado	37
2.7.1	Lajes maciças.....	38
2.7.2	Lajes pré-moldadas.....	40
3	MODELAGEM	43
3.1	Projeto arquitetônico.....	43
3.2	Modulação	46
3.3	Lajes.....	51

3.4	Definição das paredes estruturais e dos grupos isolados	53
3.5	Levantamento das ações verticais.....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	Modelo de distribuição de paredes isoladas.....	59
4.1.1	Lajes maciças:	59
4.1.2	Lajes pré-moldadas.....	65
4.2	Modelo de distribuição de grupos isolados de paredes.....	69
4.2.1	Lajes maciças.....	69
4.2.2	Lajes pré-moldadas.....	71
5	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A construção civil pode ser representada pelo conjunto de atividades e medidas que têm por objetivo a realização de obras de diversos tipos. Incluem-se nesse segmento a edificação de vias, portos, aeroportos, residências unifamiliares, multifamiliares, áreas comerciais, dentre vários outros tipos de obras.

Sendo assim, é notório que as construções são essenciais para o desenvolvimento da sociedade contemporânea. Logo, o estudo e o aperfeiçoamento dos métodos construtivos são imprescindíveis para a otimização e o desenvolvimento desse ramo, destacando-se a importância da engenharia civil e da contribuição técnica por ela oferecida.

As estruturas se destacam por representar metaforicamente o esqueleto da edificação. Nesse âmbito, percebe-se o conservadorismo brasileiro nos sistemas construtivos, baseando-se, na maioria das vezes, em estruturas de concreto armado e alvenarias de vedação. Porém, existem outros sistemas interessantes e que vêm ganhando espaço no mercado, como é o caso da alvenaria estrutural.

A alvenaria estrutural pode ser considerada um sistema construtivo industrializado por possuir modularização (seus blocos são de tamanhos padrão, sem variações significativas), e que, embora necessite de mão de obra mais especializada, culmine em uma série de vantagens para a obra, como: a redução na utilização de formas; o menor consumo de aço; a simultaneidade nas etapas, otimizando o cronograma e a menor geração de entulho.

Com intuito de aprimorar e desenvolver a base técnica e o acervo teórico desse tema, é notório que sejam desenvolvidas pesquisas e estudos abrangendo as várias vertentes da alvenaria estrutural. Assim sendo, o projeto e a execução desse sistema construtivo poderão ser aprimorados e atualizados ao longo dos anos, garantindo segurança e o bom desempenho da estrutura.

Sob esse aspecto, para alvenaria estrutural é de suma importância que os modelos de distribuição das cargas verticais sejam cautelosamente analisados para o dimensionamento da estrutura. A escolha de um determinado modelo para a distribuição das ações afeta diretamente a resistência dos blocos, o que altera, conseqüentemente, o planejamento financeiro da obra.

Os modelos de distribuição, segundo Ramalho e Corrêa (2003), podem ser divididos em: paredes isoladas, grupos isolados de paredes, grupos de paredes com interação e modelagem tridimensional em elementos finitos.

Desse modo, o presente trabalho foi desenvolvido com base no estudo do comportamento estrutural ao avaliar a utilização de diferentes tipos de lajes (maciça ou pré-moldada) e suas implicações, em conjunto com os diferentes modelos de distribuição de ações verticais propostos pela literatura.

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é analisar o efeito da consideração do modelo de paredes isoladas e de grupos isolados de paredes, utilizados para a distribuição das ações verticais, na especificação da resistência dos blocos estruturais, considerando-se o emprego de lajes maciças de concreto armado e lajes pré-moldadas com vigotas de concreto.

1.2 Justificativas

É evidente a necessidade de progresso e inovação na construção civil visando a otimização de processos e o desenvolvimento da tecnologia da construção. Logo, fomenta-se avaliar o emprego de novos sistemas que levem a agilidade e a economia por meio de estudos teóricos e práticos sobre o assunto de interesse.

A alvenaria estrutural no Brasil tem crescido e se consolidado progressivamente ao longo dos anos. Para isso, foi necessário que o campo de estudos a respeito desse sistema construtivo/estrutural fosse aprimorado, justificando a elaboração de uma nova norma técnica (ABNT NBR 16868:2020) e vários outros trabalhos acadêmicos nessa disciplina.

Tendo em vista os avanços nos estudos e na normatização do sistema, justifica-se a contribuição e o aprofundamento nos mais diversos campos da alvenaria estrutural, sendo essa a principal justificativa para elaboração deste trabalho, o qual busca fazer uma análise relevante sobre as consequências da escolha de certo modelo de distribuição das ações verticais, aliado às lajes maciças ou pré-moldadas, de modo a colaborar para futuras decisões de projeto.

1.3 Metodologia

A fim de se atingir o objetivo, a metodologia proposta para o desenvolvimento do trabalho foi dividida em quatro etapas:

Etapa 1 – Planejamento

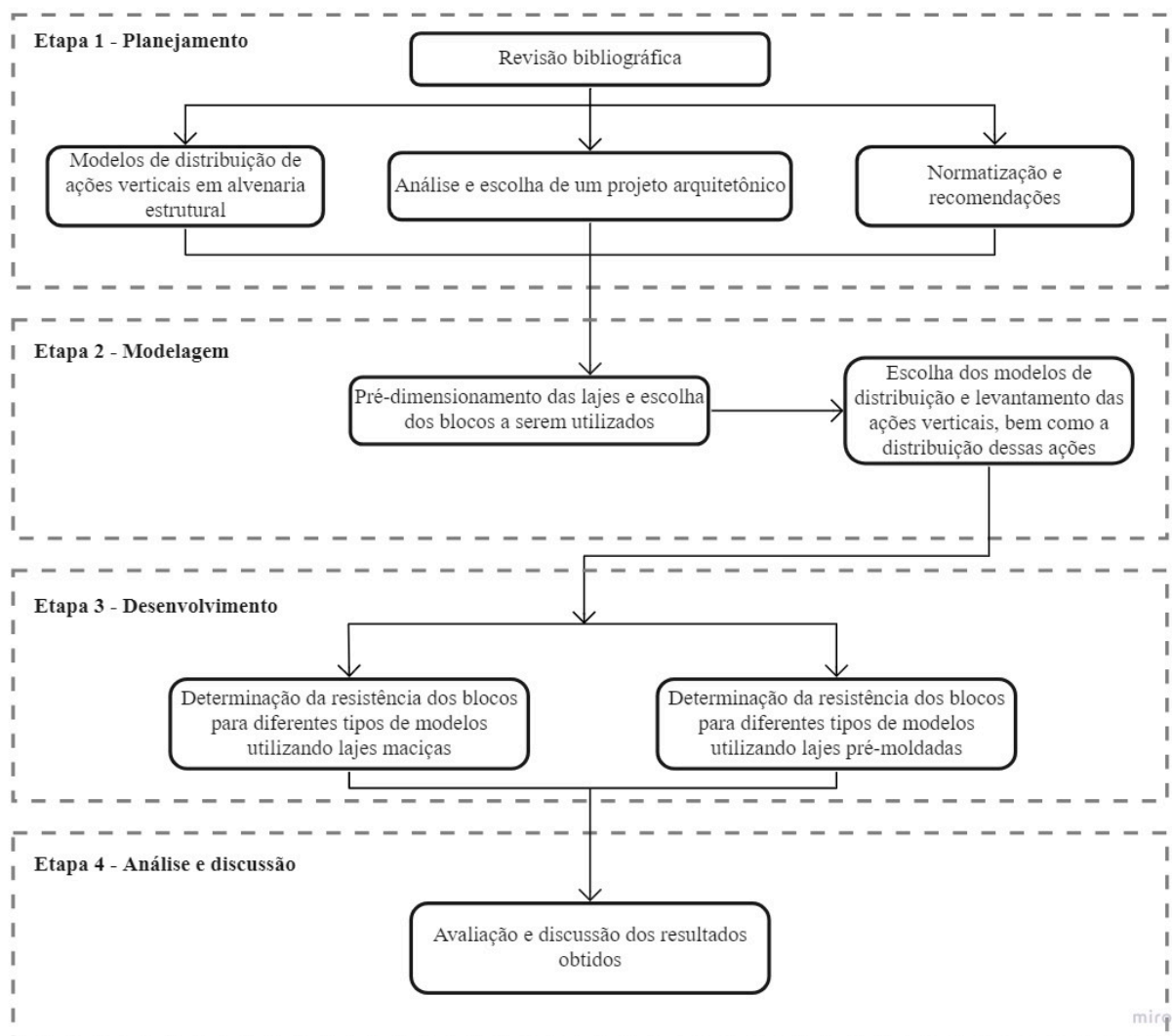
Etapa 2 – Modelagem

Etapa 3 – Desenvolvimento

Etapa 4 – Análise e Discussão

O desenvolvimento e as atividades previstas em cada etapa estão ilustrados no fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1- Descrição da metodologia do trabalho.



Fonte: Do autor (2021).

Etapa 1 – Planejamento

Esta etapa engloba todos os processos iniciais, realizando pesquisas e revisões sobre o tema proposto com o intuito de familiarizar com os termos da disciplina e aprofundar nos conteúdos necessários para o desenvolvimento do trabalho. Para tal, são utilizados livros,

dissertações e teses sobre alvenaria estrutural, além de trabalhos voltados a análise dos diferentes modelos de distribuição de ações e suas implicações no dimensionamento.

Ainda nesta etapa, define-se o projeto a ser utilizado no estudo dos modelos de distribuição, atentando-se aos requisitos exigidos pelo sistema construtivo no aspecto arquitetônico (dimensões dos ambientes em função do tamanho do bloco estrutural utilizado).

Após a revisão bibliográfica para aprofundamento do tema e a determinação da planta a ser utilizada para o levantamento das ações verticais, procede-se para a Etapa 2 do trabalho.

Etapa 2 – Modelagem

Dando prosseguimento aos estudos realizados, é possível pré-dimensionar as lajes a serem utilizadas na concepção do projeto (maciças e pré-moldadas). A seguir, determinam-se o material do bloco (concreto ou cerâmico) e as suas famílias (dimensões padronizadas).

Determina-se então os modelos a serem utilizados para a análise e posterior comparação, sendo eles: paredes isoladas e grupos isolados de paredes.

Tendo sido determinada a espessura das lajes e a família de blocos, aliados à concepção arquitetônica determinada na etapa anterior, prossegue-se para o levantamento das ações verticais do edifício.

Etapa 3 – Desenvolvimento

Nesta etapa realiza-se a análise dos modelos e seus impactos nas resistências dos blocos (os do primeiro pavimento, mais solicitados). Para isso, é realizada a distribuição das ações levantadas na etapa anterior de acordo com o modelo e o tipo de laje.

Dessa forma, realiza-se o dimensionamento das paredes do primeiro pavimento e a especificação das resistências necessárias para os blocos.

Etapa 4 – Análise e discussão

Na quarta e última etapa do trabalho apresentou-se os resultados obtidos, bem como as considerações a respeito de cada modelo de distribuição e o tipo de laje utilizado para a distribuição das ações, sendo possível relacionar o método com as resistências dos blocos que forem especificadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a contextualização do tema objeto desta pesquisa, neste capítulo são apresentados e detalhados os conceitos necessários para o desenvolvimento e a conclusão do trabalho.

2.1 Alvenaria Estrutural

Muito se discorre a respeito das construções em alvenaria e seu histórico de milhares de anos. Embora seja um fato que o empilhamento de rochas e blocos seja historicamente provado de datas antes de Cristo, esse método era totalmente empírico e experimental, não sendo normatizado ou calculado.

A alvenaria estrutural surge por volta de 1950, sendo a partir de então concebida por meio de cálculos racionais. A partir dessa data (1950) surgem os primeiros códigos e normas para o cálculo na Europa e América do Norte, delimitando uma nova ‘era’ para a alvenaria estrutural. No Brasil, em 1966, destaca-se o Estado de São Paulo como pioneiro desse sistema construtivo, onde foram concebidos edifícios utilizando blocos de concreto e alvenaria armada, fomentando esse mercado no país (PRUDÊNCIO JÚNIOR et al., 2002).

A Figura 2 representa uma das primeiras obras em alvenaria estrutural do país, o Conjunto Habitacional Central Parque Lapa, com 4 pavimentos em alvenaria estrutural armada e blocos estruturais de concreto.

Figura 2 - Conjunto habitacional Central Parque Lapa.



Fonte: www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural

O mercado atual para alvenaria estrutural demonstra-se aquecido com o aumento significativo do volume de obras nos últimos anos. Edifícios e residências projetadas para a alvenaria estrutural vêm ganhando espaço no mercado, considerando-se a racionalização da obra, velocidade de execução e praticidade do método.

2.2 Modulação e blocos

Os blocos podem ser considerados os componentes básicos da alvenaria estrutural, sendo responsáveis pela modulação (as dimensões dos ambientes são dependentes do tamanho do bloco) e determinantes para a resistência da estrutura.

Como destacam Ramalho e Corrêa (2003), os tipos de blocos mais utilizados no Brasil são os de concreto, os cerâmicos e os sílico-calcáreos, nessa ordem, do mais para os menos utilizados. Os blocos podem ser vazados (quando possuem um índice de vazios maior que 25% de sua área total) ou maciços (quando possuem um índice de vazios de no máximo 25% de sua área total), sendo essa característica de extrema importância, pois as tensões calculadas podem ser função de sua área bruta (desconsiderando os vazios) ou líquida, descontando-se a área de vazios.

Os blocos estruturais devem ter resistências mínimas, sejam eles de material concreto ou cerâmico. De acordo com a ABNT NBR 6136:2016 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos, a mínima resistência característica do bloco à compressão varia de acordo com a sua classe, apresentando valores de 8, 4 e 3 MPa, para as classes A, B e C, respectivamente.

Para os blocos cerâmicos, a ABNT NBR 15270-1:2017 – Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria: requisitos, estabelece que os blocos devem ter resistência característica à compressão mínima de 4 MPa.

2.2.1 Modulação

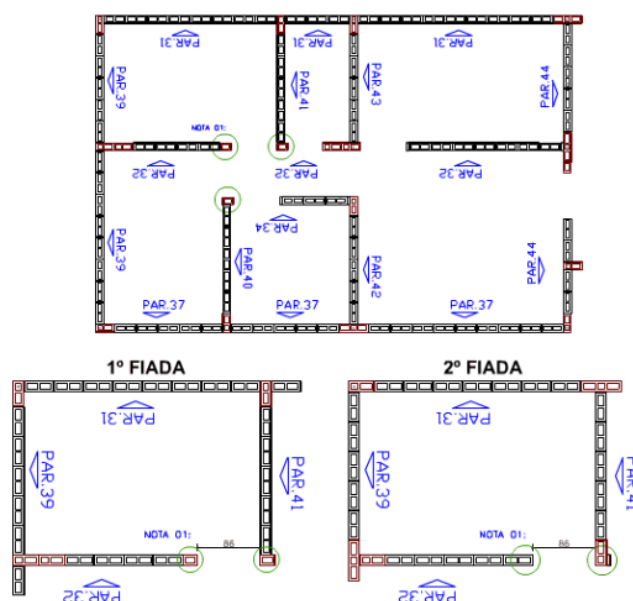
A modulação é um processo fundamental para que a alvenaria estrutural seja econômica e racional, além de garantir os parâmetros previstos em projeto. É necessário que as dimensões da edificação sejam moduladas de acordo com o tamanho dos blocos (família de blocos), visto que esses não devem ser cortados, o que acarretaria em um maior custo e menor racionalidade no caso de uso de enchimentos.

Além do acréscimo no custo, os enchimentos interferem de forma negativa no dimensionamento da estrutura, visto que as paredes trabalharão isoladas como consequência desses enchimentos, fazendo com que a distribuição das ações entre as paredes do edifício seja feita de forma a sobrecarregar alguns elementos, prejudicando a eficiência do conjunto. Dessa forma, para que se tenha uma obra em alvenaria estrutural otimizada, deve-se garantir a modulação das dimensões, aceitando-se pequenos ajustes estratégicos (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Para essa etapa, como destacam Ramalho e Corrêa (2003), é necessário conhecer os blocos empregados no Brasil. A ABNT NBR 6136:2016, que trata de blocos vazados de concreto para alvenaria estrutural, especifica as larguras como: largura nominal de 15 cm, blocos M-15, e largura nominal de 20 cm, denominados M-20. Além desses, a norma apresenta larguras nominais de 12,5 cm, 10 cm e 7,5 cm, das famílias M-12,5, M-10 e M-7,5, respectivamente.

Na Figura 3 é apresentado um exemplo de modulação para uma planta genérica, evidenciando-se a utilização apenas de blocos inteiros e blocos especiais, de forma a não utilizar blocos cortados ou adaptados de forma inadequada. Desse modo, percebe-se a necessidade de que todas as medidas dos ambientes sejam múltiplas do tamanho do bloco (e dos blocos especiais), para que seja feita a divisão correta do número inteiro de peças para cada parede.

Figura 3 - Exemplo de modulação.



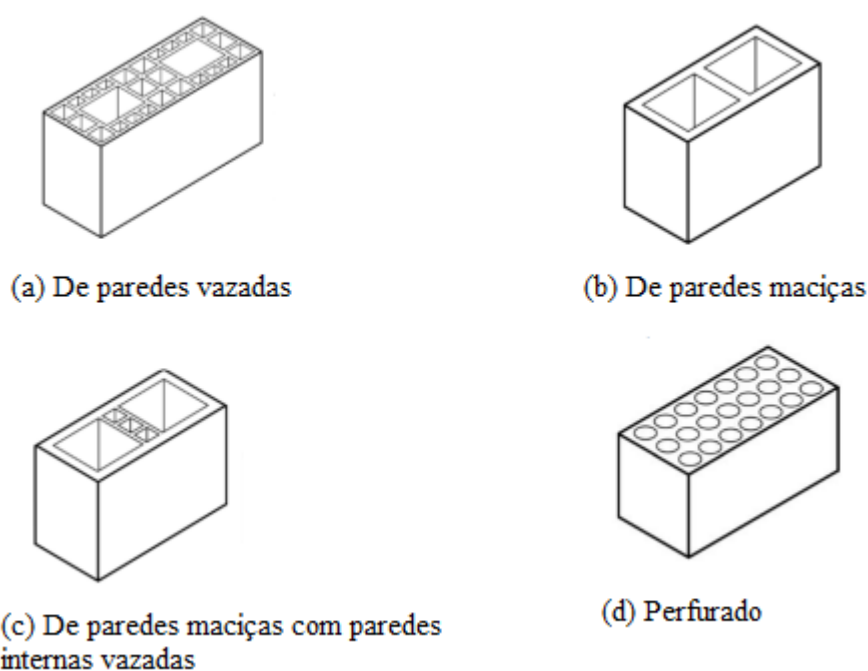
Fonte: Manual de Tecnologia – BRICKA Alvenaria Estrutural.

2.2.2 Blocos cerâmicos

Os tijolos e blocos cerâmicos foram as unidades mais utilizadas ao longo do tempo devido ao seu fácil acesso, visto que existem diversas fontes de argila e fábricas artesanais em diferentes regiões. Dessa forma, são componentes economicamente viáveis e ainda são utilizados em larga escala para a vedação e a alvenaria estrutural (PARSEKIAN et al., 2014).

Os blocos cerâmicos vazados são comumente empregados na construção civil e possuem área líquida entre 40 e 75% da área bruta da seção transversal. Com esse índice de vazios, é proporcionado uma grande economia na construção, uma vez que é possível a utilização de blocos maiores e de menor peso. Na Figura 4 são apresentados alguns tipos de blocos cerâmicos utilizados na construção civil atualmente.

Figura 4 - Tipos de blocos cerâmicos.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15270 – 1: 2017.

Outra característica importante, conforme indica Parsekian et al. (2014), é a durabilidade dos blocos cerâmicos, a qual está relacionada com algumas propriedades, sendo a resistência à compressão um bom indicativo. Blocos com alta resistência geralmente possuem

queima uniforme a altas temperaturas, o que resulta em um material com baixo índice de impurezas, preservando assim a funcionalidade e boas propriedades ao longo dos anos.

2.2.3 Blocos de concreto

Os blocos de concreto têm como base o cimento Portland, o que confere resistência a partir da boa hidratação do cimento e da tecnologia do concreto aplicada. Os blocos de concreto, atualmente, são largamente utilizados no Brasil, uma vez que suas propriedades são excelentes para a vedação ou função estrutural. É apresentado na Figura 5 um bloco de concreto que pode ser facilmente encontrado nas obras de alvenaria estrutural.

Figura 5 – Bloco estrutural de concreto.



Fonte: www.leroymerlin.com.br.

Sua produção é resumida basicamente em cimento, agregados e água, embora outros aglomerantes possam ser utilizados (fillers, escória de alto forno e cinza volante, por exemplo). Utilizam-se fábricas automatizadas baseadas no emprego de vibro-prensas, onde o material é compactado e vibrado dentro de moldes metálicos, conferindo um desmolde e transporte que não danifique a peça (PARSEKIAN et al., 2014).

Como indicado anteriormente, os blocos de concreto são comercializados nas classes A, B e C, para as quais a ABNT NBR 6136:2016 apresenta as seguintes aplicações:

- Para aplicação abaixo do nível do solo, devem ser utilizados os blocos classe A;

- Permite-se o uso de blocos com função estrutural classe C, com largura de 90 mm, para edificações de no máximo um pavimento;
- Permite-se o uso de blocos com função estrutural classe C, com largura de 115 mm, para edificações de no máximo dois pavimentos;
- Permite-se o uso de blocos com função estrutural classe C, com larguras de 140 mm e 190 mm, para edificações de até cinco pavimentos;
- Os blocos com largura de 65 mm têm seu uso restrito para alvenaria sem função estrutural.

Ademais, cada classe de bloco deve apresentar uma espessura mínima de suas paredes, conforme a ABNT NBR 6136: 2016, como representado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classe, largura e espessura mínima para os blocos.

Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais ^a mm	Paredes Transversais	
			Paredes ^a mm	Espessura equivalente ^b mm/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

^a Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito

^b Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (mm), dividida pelo comprimento nominal do bloco em metros

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6136: 2016.

2.3 Ações

Como lembram Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), toda estrutura, inclusive os edifícios em alvenaria estrutural, estará sujeita a várias ações de naturezas diferentes. As ações podem ser classificadas conforme a ABNT NBR 8681: 2004 – Ações e segurança nas estruturas – do seguinte modo:

- Ações permanentes podem ser definidas como ações que ocorrem com valores praticamente constantes, ou com pequena variabilidade em torno de sua média, ao

longo de toda vida útil da estrutura, podendo ser distinguidas em diretas ou indiretas, da seguinte forma:

- Ações permanentes diretas: peso próprio dos elementos (estrutura e todos elementos construtivos permanentes), peso dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas;
- Ações permanentes indiretas: protensão, recalques de apoio e retração dos materiais;
- Ações variáveis são aquelas cargas acidentais das construções, bem como efeitos das forças de frenagem, de impacto e centrífugas, os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito e em geral as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas. Podem ser divididas em:
 - Ações variáveis normais: ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de dada construção;
 - Ações variáveis especiais: em estruturas que necessitem de ações especiais como ações sísmicas ou de natureza ou intensidade especiais;
- Ações excepcionais são aquelas decorrentes de explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

No contexto deste trabalho, visando a análise apenas da compressão simples, deve-se atentar às ações verticais, as quais serão responsáveis pela solicitação de compressão nos blocos, visto que tais ações tendem a atuar de forma direta sobre as paredes resistentes ou sobre as lajes, que por sua vez, transmitem as cargas para as paredes.

Ressalta-se o uso da ABNT NBR 6120: 2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações – como referência para o levantamento das ações de peso próprio e de utilização a serem consideradas no modelo analisado neste trabalho.

2.4 Modelos de distribuição das ações verticais

Para a realização do dimensionamento das estruturas de alvenaria estrutural, assim como nas estruturas de concreto, é necessário que sejam quantificadas todas as ações verticais e, na sequência, definir o seu caminho até as fundações, sendo esse processo denominado por

distribuição das ações. Nas estruturas em alvenaria estrutural, a consideração ou não da interação entre as paredes interfere na trajetória das ações no edifício.

Sendo assim, de acordo com o procedimento adotado, a distribuição das ações verticais pode resultar em tensões consideravelmente diferentes, o que deve ser analisado para a definição do procedimento ideal. Ademais, visto que as paredes apresentarão solicitações diferentes e que o maior valor de resistência de prisma encontrado será utilizado para especificar a resistência de bloco de todo o pavimento, o processo de análise dos modelos de distribuição de ações verticais é de extrema importância para a economia e segurança do projeto como um todo.

Dentre os principais modelos, de acordo com Ramalho e Corrêa (2003), destacam-se: paredes isoladas, grupos isolados de paredes, grupos de paredes com interação e modelagem tridimensional em elementos finitos. Nos próximos tópicos serão explanados os conceitos e pontos importantes sobre esses modelos, de forma a esclarecer como são utilizados e seus potenciais pontos positivos e negativos.

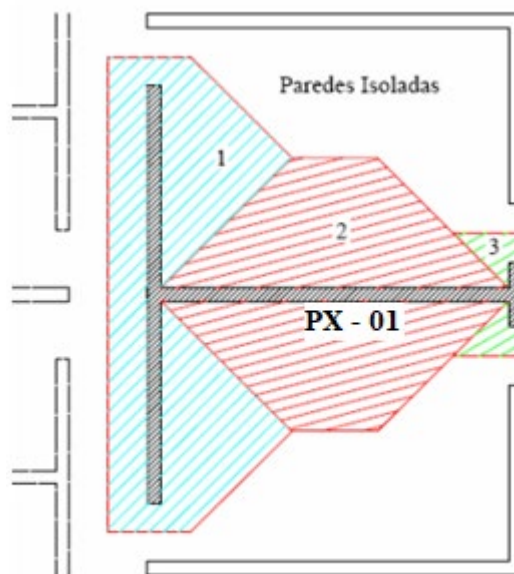
2.4.1 Paredes isoladas

Este procedimento baseia-se na consideração de que cada parede se comporta como um elemento independente, não interagindo com as demais paredes. De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), trata-se de um procedimento simples e rápido, e também muito seguro para as paredes, visto que caso não haja uniformização das cargas, as resistências prescritas para os blocos serão superiores às que seriam indicadas caso houvesse a uniformização.

Para encontrar a carga em uma determinada parede, basta somar o peso próprio da parede estudada e as cargas atuantes provenientes das lajes dos pavimentos que estão acima do nível considerado. A Figura 6 representa uma das formas para obtenção das cargas por meio das áreas de influência de cada parede em relação à laje.

Como ilustrado na Figura 6, pode-se concluir, então, que a ação atuante na parede PX-01 será resultado da ação compreendida pela área 2 da laje, acrescida do peso próprio da referida parede, além das ações provenientes dos demais pavimentos acima do pavimento estudado.

Figura 6 - Áreas de influência das paredes nas lajes.



Fonte: Adaptado de Silva (2003a).

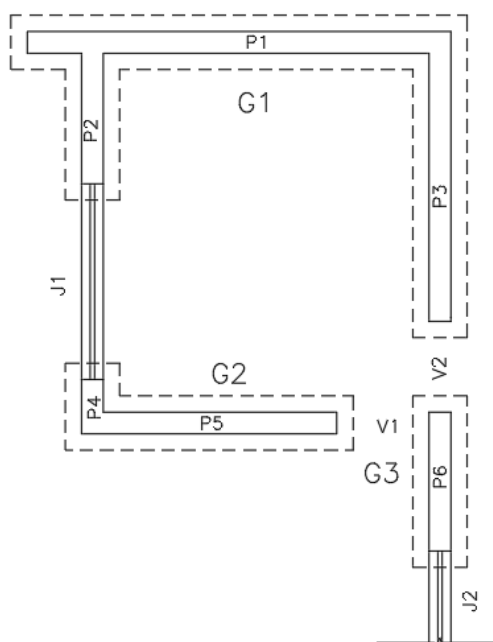
Um ponto negativo deste procedimento é o quesito econômico, visto que blocos mais resistentes implicam em custos mais altos. Ademais, a hipótese de que as paredes são completamente isoladas não condiz com a realidade, visto que fatores como a amarração entre as paredes produzem forças de interação entre elas, e por consequência, faz com que as paredes trabalhem de forma conjunta e não isolada, como proposto no método.

Parsekian (2012) recomenda que esse procedimento seja aplicado em edificações de alturas relativamente pequenas, amenizando os efeitos negativos, e para casos sem amarração entre paredes.

2.4.2 Grupos isolados de paredes

Neste procedimento, os grupos são definidos como conjuntos de paredes solidárias entre si, delimitadas geralmente por aberturas, portas ou janelas. Considera-se que as cargas sejam totalmente uniformizadas nos grupos. Porém, desconsideram-se as forças de interação nas aberturas, as quais delimitam os grupos. Portanto, cada grupo de paredes trabalha isoladamente dos demais (RAMALHO; CORRÊA, 2003). É apresentado na Figura 7 um exemplo de divisão dos grupos de acordo com as aberturas presentes na concepção.

Figura 7- Exemplo de divisão de grupos isolados.

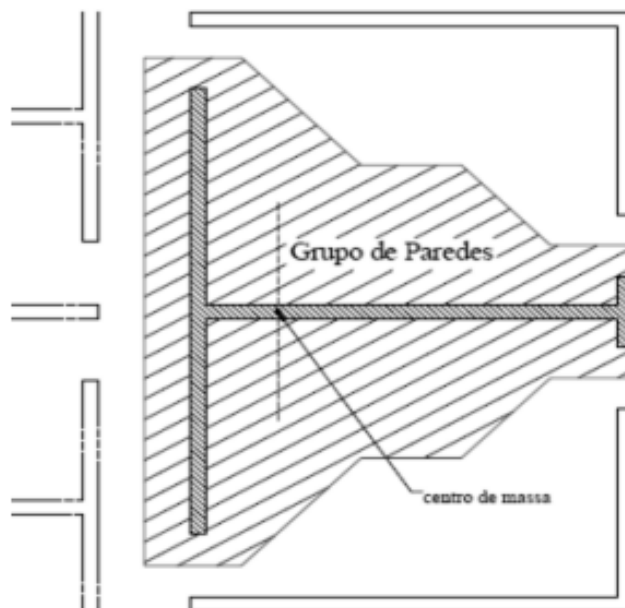


Fonte: Do autor (2022).

Como já explanado anteriormente, os grupos são definidos pelas paredes que são solidárias e delimitados pela presença de aberturas. Na Figura 7, o grupo de paredes 1 (G1) é constituído pelas paredes P1, P2 e P3, delimitadas pelas aberturas da janela 1 (J1) e do vão 2 (V2). Da mesma forma, o grupo 2 é composto pelas paredes P4 e P5, e o grupo 3 pela parede P6, que está isolada.

Assim como no método anterior (paredes isoladas), as ações das lajes em cada um dos grupos são obtidas a partir do traçado de triângulos e trapézios (regiões formadas pelas linhas de ruptura das lajes de concreto), como exemplificado na Figura 8.

Figura 8 - Áreas de influência para um grupo de paredes.



Fonte: Parsekian (2012).

Também pode ser considerado um método simples e de fácil aplicação (embora mais trabalhoso que o método anterior), visto que após a obtenção das cargas para determinado grupo, basta que seja calculado o comprimento equivalente do grupo, o qual receberá a carga calculada anteriormente. Sendo assim, encontrada a ação no grupo estudado, somam-se as ações dos demais pavimentos (neste caso, o número de vezes que este mesmo grupo se repete nos pavimentos acima), seguindo o mesmo processo de paredes isoladas.

Ainda, de acordo com Ramalho e Corrêa (2003), é considerado um procedimento seguro, principalmente por considerar as aberturas como os limites dos grupos de paredes. Além disso, considera-se que produza reações adequadas para as estruturas de apoio, o que é um fator bastante importante para escolha de determinado método.

No âmbito econômico, desde que sejam escolhidos grupos coerentes, trata-se de um método racional e que resulta na especificação de blocos com resistências adequadas, o que é uma grande vantagem quando comparado com o método de paredes isoladas. Sendo assim, pode ser utilizado para edificações de qualquer altura, desde que avaliada corretamente as forças de interação em cantos e bordas.

2.4.3 Grupos de paredes com interação

Este método nada mais é do que a continuidade do método de grupos isolados de paredes com o adicional de que os grupos interagem entre si. Dessa forma, acrescentam-se as forças de interação sobre as aberturas, além da interação de canto e bordas considerado anteriormente.

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a interação não pode se limitar a uma uniformização completa do carregamento, visto que dessa forma seria o mesmo de se encontrar a carga vertical total de um pavimento e dividi-la pelo comprimento total das paredes, obtendo uma carga média comum a todos elementos. Então, deve-se propor uma taxa de interação, que representará o quanto da diferença de carga entre os grupos que interagem deve ser uniformizada em cada nível.

Ainda, de acordo com Capuzzo Neto (2000), nesse método há a liberdade de se utilizar a taxa de interação do macrogrupo de acordo com o tipo de ligação existente, de modo que as taxas referentes à diferentes aberturas possuam valores não comuns.

Esse método é mais trabalhoso que os dois apresentados anteriormente, sendo recomendado por Ramalho e Corrêa (2003) a automatização dos processos por meio de planilhas eletrônicas. Uma sugestão, segundo os autores para se considerar a interação, pode ser dada pelas Equações (1), (2) e (3) indicadas seguir:

$$d_i = (q_i + q_m) \cdot (1 - t) \quad (1)$$

$$q_m = \frac{(q_1 + q_2 + \dots + q_n)}{n} \quad (2)$$

$$q_i = q_m + d_i \quad (3)$$

Em que:

n = número de grupos que estão interagindo;

q_i = carga do grupo i ;

q_m = carga média dos grupos que estão interagindo, calculada pela carga total dividida pelo comprimento total;

d_i = diferença de carga do grupo em relação à carga média;

t = taxa de interação.

O procedimento demanda muita experiência do projetista, visto que parâmetros como a divisão do grupo, a taxa de interação e os grupos que interagem entre si são todos definidos pelo projetista. Sendo assim, quanto bem utilizado, é seguro e confiável, produzindo, inclusive, ações adequadas para a estrutura de suporte.

De certa forma, a economia é a grande vantagem desse método, visto que as especificações de resistências dos blocos resultantes tendem a ser menores que nos métodos anteriores. Considera-se, ainda, um procedimento adequado para edificações de qualquer altura, embora seja necessário avaliar a real ocorrência das forças de interação, tanto nos cantos e bordas como nas regiões de abertura, sendo essas, parâmetros fundamentais para a utilização do método (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

2.4.4 Análise por elementos finitos

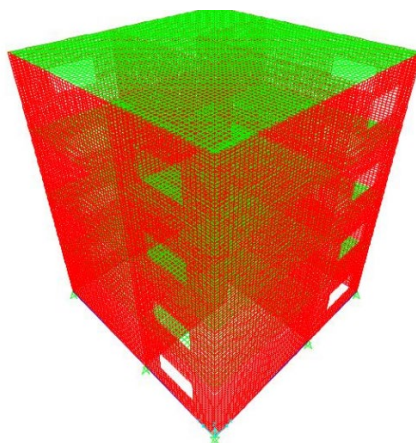
Este método baseia-se na modelagem da estrutura discretizada com elementos de membrana ou chapa, com os carregamentos aplicados ao nível de cada pavimento. Desse modo, a uniformização será dada pelos deslocamentos ao nível de cada nó dos elementos discretizados.

Ramalho e Corrêa (2003) citam que esse é um procedimento interessante, embora apresente algumas dificuldades na montagem dos dados e na interpretação dos resultados, além da complexidade em representar o material alvenaria.

Ressalta-se, ainda, a evolução dos *softwares* desde a obra proposta por Ramalho e Corrêa (2003), a qual apresentava este método como não viável por necessitar de pesquisas adicionais para a efetivação de segurança e eficiência do método (chegar à dados confiáveis para uma boa representação da alvenaria com o intuito de se fazer uma simulação satisfatória e segura). Atualmente, utilizando um *software* como o SAP 2000® é possível chegar a resultados mais confiáveis, embora a representação da alvenaria como um todo (elemento estrutural) ainda seja deficiente.

A Figura 9 representa um edifício em alvenaria estrutural sendo analisado por um software em elementos finitos. É possível observar a divisão dos painéis e lajes em várias partes, para análise por elemento.

Figura 9 - Edifício discretizado em elementos finitos.



Fonte: Silva (2003a).

2.4.5 Grupos totais de paredes

Embora pouco citado, este método aparece em algumas literaturas e deve ser apresentado como uma alternativa para a distribuição de cargas verticais.

Esse procedimento seria o extremo contrário do método citado no item 2.4.1 (Paredes Isoladas), visto que as cargas serão distribuídas completamente uniformizadas entre suas várias paredes. Isto é, não são consideradas diferenças entre as paredes, todas estariam sob a mesma tensão, fazendo com que a carga total pudesse ser dividida de forma uniforme pela área de todas as paredes da estrutura.

Para Silva (2003a), esse processo é muito simples e se torna muito econômico, pois resulta em uma uniformização entre as paredes resistentes. Todavia, um grande problema nesse caso é o fator de segurança, visto que para a utilização do método, as interações entre as paredes solicitantes devem ser extremamente eficazes, ligações perfeitas. Logo, embora o procedimento seja de simples aplicação e de grande relevância quanto à uniformização geral das cargas, não se recomenda o seu uso dado o problema na consideração da interação perfeita entre as paredes.

2.5 Parâmetros para o dimensionamento

Em se tratando de compressão simples, a resistência da alvenaria (f_k) deve ser determinada com base no ensaio de paredes. No caso de alvenarias com blocos de 190 mm de altura e junta de argamassa de 10 mm, essa resistência pode ser estimada a partir da resistência característica de compressão simples de prismas e pequenas paredes.

Dessa forma, apresentam-se as seguintes relações:

- $f_k = f_{par,k}$ (resistência característica de paredes, obtida a partir do ensaio de um mínimo de 3 paredes com 1,20 metros de comprimento por 2,60 metros de altura);
- $f_k = 0,85.f_{ppk}$ (resistência característica de pequenas paredes, obtida a partir do ensaio de um mínimo de 6 pequenas paredes com 2 blocos por 5 blocos, não inferior à 70 cm);
- $f_k = 0,70.f_{pk}$ (resistência característica de prismas, obtida a partir do ensaio de um mínimo de 6 prismas com 1 bloco de comprimento por 2 blocos de altura).

De acordo com Parsekian (2014), os ensaios de resistência à compressão de prisma são utilizados para mensurar a capacidade de resistência da parede e também para controle da obra. Dessa forma, o ensaio de resistência à compressão de prisma tomou grande espaço nas pesquisas, além de gerar relações dessa resistência com a resistência à compressão de blocos e paredes.

Ainda segundo o autor, devido às limitações das máquinas de ensaio em relação à sua capacidade máxima em relação às dimensões limite, e levando em conta algumas outras correlações práticas, o prisma acabou por ser definido como o principal corpo de prova para avaliação de alvenarias, ao invés de paredes em escala real ou reduzida.

Sendo assim, é importante citar a norma técnica vigente para esse tipo de dimensionamento, a ABNT NBR 16868-1:2020 - Alvenaria estrutural – projeto.

Além disso, as propriedades de alguns componentes devem ser seguidas de acordo com as normas competentes, sendo assim, a ABNT NBR 16868-1:2020 cita que:

- **Blocos e Tijolos:**

Para tijolos cerâmicos, aplica-se a ABNT NBR 15270-1:2017 - Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Requisitos;

Para os blocos de concreto, aplica-se a ABNR NBR 6136:2016 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos.

- **Argamassa e Graute:**

Argamassas para utilização no assentamento da alvenaria devem seguir os requisitos presentes na ABNT NBR 13281: 2005 - Argamassa para

assentamento e revestimento de paredes e tetos. Sua resistência deve ser determinada de acordo com as especificações da ABNT NBR 16868- 2:2020, Anexo A;

Para o graute, quando especificado, suas características e impactos na alvenaria devem ser estudados em laboratório nas condições de sua utilização, de acordo com o ensaio de compressão de prismas, pequenas paredes ou paredes. Ainda, sua resistência à compressão característica (f_{gk}) não pode ser inferior a 15 MPa;

- **Armaduras:**

Quando especificada a utilização de armaduras, suas propriedades devem ser obtidas conforme a ABNT NBR 7480:2008 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação.

Assim como os componentes citados acima, as propriedades dos blocos cerâmicos e de concreto são imprescindíveis para o dimensionamento da estrutura. Sendo assim, é apresentado nas Tabelas 2, 3 e 4 tais propriedades de acordo com a ABNT NBR 16868-1:2020.

Tabela 2- Propriedades da alvenaria - blocos de concreto.

Componente	Propriedade	Valor
Bloco de concreto	Módulo de deformação longitudinal	$800 \cdot f_{pk}$ se $f_{bk} \leq 20$ MPa
		$750 \cdot f_{pk}$ se $f_{bk} = 22$ e 24 MPa
		$700 \cdot f_{pk}$ se $f_{bk} \geq 26$ MPa
	Coeficiente de Poisson	0,20
	Coeficiente de dilatação térmica linear	$9,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
	Coeficiente de deformação unitária por retração da alvenaria ^a	$500 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$
	Coeficiente de fluência específica (considerando tensões de área líquida, ajustar para área bruta).	0,36 mm/m/MPa

^a Este valor deve ser aumentado para $600 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$ quando os blocos forem produzidos sem cura a vapor e na verificação de perdas quando a protensão for aplicada antes de 14 dias após a execução da parede.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16868-1:2020.

Tabela 3- Propriedades da alvenaria - blocos cerâmicos.

Componente	Propriedade	Valor
Bloco cerâmico	Módulo de deformação longitudinal	$600 \cdot f_{pk}$
	Coefficiente de Poisson	0,15
	Coefficiente de dilatação térmica linear	$6,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
	Coefficiente de expansão por umidade	$300 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$
	Coefficiente de fluência específica (considerando tensões de área líquida, ajustar para área bruta).	0,15 mm/m/MPa

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16868-1: 2020.

Tabela 4- Propriedades da alvenaria - tijolos cerâmicos.

Componente	Propriedade	Valor
Tijolo cerâmico	Módulo de deformação longitudinal	$600 \cdot f_{pk}$
	Coefficiente de Poisson	0,15
	Coefficiente de dilatação térmica linear	$6,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
	Coefficiente de expansão por umidade	$300 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$
	Coefficiente de fluência específica	0,15 mm/m/MPa

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16868-1: 2020.

Após definidas as normas e apresentadas as propriedades dos principais materiais, procede-se para as resistências, as quais apresentam seus valores característicos e de cálculo (ponderadas por coeficientes). As principais resistências são:

- $f_d = f_k / \gamma_m$
- $f_{td} = f_{tk} / \gamma_m$

- $f_{vd} = f_{vk}/\gamma_m$
- $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_m$

Em que:

f_d = resistência à compressão simples de cálculo da alvenaria;

f_k = resistência característica à compressão simples da alvenaria;

f_{td} = resistência de cálculo de tração na flexão;

f_{tk} = resistência característica de tração da flexão;

f_{vd} = resistência de cálculo ao cisalhamento da alvenaria;

f_{vk} = resistência característica ao cisalhamento;

f_{yd} = resistência de cálculo de escoamento da armadura;

f_{yk} = resistência característica de escoamento da armadura.

Para que sejam definidas as resistências de cálculo é necessário que sejam adotados valores para o coeficiente de ponderação γ_m . Os valores para o estado limite-último (ELU) são apresentados na Tabela 5, de acordo com a ABNR NBR 16868-1:2020, sendo adequados para obras executadas de acordo com a norma ABNT NBR 16868-2:2020. Ressalta-se que para verificação do ELS (estado limite de serviço) deve ser utilizado $\gamma_m = 1,0$

Tabela 5- Valores para γ_m .

Combinações	Alvenaria	Graute	Aço
Normais	2,0	2,0	1,15
Especiais ou de construção	1,5	1,5	1,15
Excepcionais	1,5	1,5	1,0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16868-1.

Ainda, segundo a ABNT NBR 16868-1: 2020, alguns pontos, tais como:

- A resistência característica à compressão simples da alvenaria (f_k) deve ser determinada pelo ensaio de paredes, conforme ABNT NBR 16868-3:2020;
- Para alvenaria de blocos de 190 mm de altura e junta de argamassa de 10mm, esse valor pode ser adotado como 70% da resistência característica de compressão simples de prisma (f_{pk}), ou 85% da pequena parede (f_{ppk});

- Para uso de tijolos, a resistência característica à compressão simples da alvenaria pode ser considerada como 60% da resistência característica de compressão simples do prisma (f_{pk});
- As resistências características de paredes ou prismas necessariamente devem ser determinadas conforme as especificações da ABNT NBR 16868-3:2020;
- Caso as juntas horizontais forem assentadas com argamassa parcial (apenas sobre as paredes longitudinais dos blocos) e se a resistência for estimada pelos ensaios de prisma ou pequena parede, com argamassa aplicada em toda a área líquida dos blocos, a resistência característica à compressão simples deve ser reduzida em 20%, ou seja, corrigida por um fator de 0,80;
- Dada a não possibilidade de alinhamento vertical entre os septos transversais dos blocos na parede, o cálculo deve ser feito considerando argamassa parcial, desconsiderando eventuais desalinhamentos.

2.6 Dimensionamento à compressão simples

A compressão é a solicitação mais comum e mais simples a ser analisada. Os elementos usuais a serem analisados à compressão simples são as paredes e os pilares (elemento estrutural semelhante à parede, porém com comprimento menor que cinco vezes a sua espessura), sejam eles armados ou não. Sendo assim, evidencia-se a importância desse tipo de dimensionamento, visto que as paredes e pilares são os elementos mais importantes em qualquer estrutura de alvenaria estrutural (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

De acordo com a ABNT NBR 16868-1: 2020, para um elemento de alvenaria em estado limite-último, o esforço solicitante de cálculo S_d deve ser menor ou igual ao esforço resistente de cálculo R_d . Posto isso, a força normal resistente de cálculo para pilares e paredes é dada pelas Equações (4) e (5), respectivamente.

$$N_{rd} = 0,9 \cdot f_d \cdot A \cdot R \quad (4)$$

$$N_{rd} = f_d \cdot A \cdot R \quad (5)$$

Em que:

N_{rd} = força normal resistente de cálculo;

f_d = resistência à compressão de cálculo da alvenaria;

A = área da seção resistente;

R = coeficiente redutor devido à esbeltez da parede = $\left[1 - \left(\frac{\lambda}{40}\right)^3\right]$, sendo λ a esbeltez da parede ou pilar, dada pela altura efetiva (h_e) dividida pela espessura efetiva (t_e).

Por conseguinte, ao desenvolver os termos das Equações (4) e (5), obtém-se a Equação (6), a qual possibilita a determinação da resistência característica necessária para o prisma (f_{pk}) e, por consequência, a resistência necessária do bloco (f_{bk}) por meio da Tabela F.1 - Recomendação para a especificação dos materiais da alvenaria estrutural – anexa à ABNT NBR 16868-1:2020.

$$\gamma_f \cdot N_k \leq A \cdot \begin{pmatrix} 1,0 - \text{Paredes} \\ 0,9 - \text{Pilares} \end{pmatrix} \cdot \frac{0,7 \cdot f_{pk}}{\gamma_m} \cdot \left[1 - \left(\frac{h_e}{40 \cdot t_e}\right)^3\right] \quad (6)$$

Em que:

γ_f = coeficiente de ponderação das ações;

γ_m = coeficiente de ponderação da resistência;

N_k = força normal característica;

f_{pk} = resistência característica à compressão do prisma;

h_e = altura efetiva;

t_e = espessura efetiva.

A tabela normativa pode ser resumida para este trabalho conforme a Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Recomendação para especificação dos blocos - ABNT NBR 16868-1: 2020.

Tipo de bloco	f_{bk} (MPa)	f_{pk} (MPa)
Bloco vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14 x 39 cm)	3,0	2,4
	4,0	3,2
	6,0	4,5
	8,0	6,0
	10,0	7,0
	12,0	8,4
	14,0	9,8
	16,0	10,4
	18,0	11,7
	20,0	12,0
	22,0	12,1
	24,0	13,2

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16868-1: 2020.

2.7 Lajes de concreto armado

As lajes podem ser classificadas como elementos planos bidimensionais (aqueles em que duas de suas dimensões são muito maiores que uma terceira, neste caso a espessura) que têm a função de receber a maior parte das ações aplicadas no piso ou cobertura de uma edificação. As ações atuantes dependem do tipo de utilização da edificação, podendo ser exemplificadas como a circulação de pessoas, presença de móveis, pisos e paredes, ou qualquer outro tipo de carga que eventualmente faça parte daquele ambiente (BASTOS, 2015).

De acordo com a NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto, a definição para placas pode ser dada como elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. Ainda segundo a norma, as placas de concreto são usualmente denominadas como lajes.

No que diz respeito à alvenaria estrutural, as lajes desempenham um importante papel na edificação, apresentando a função de uniformizar e transferir as cargas às paredes estruturais. Sendo assim, alguns tipos podem ser utilizados, tais como: lajes maciças moldadas in loco, lajes maciças pré-moldadas, lajes pré-moldadas treliçadas, e outras. É necessário, então, que seja

feito estudo da laje ideal para determinada edificação, baseando-se no porte e na utilização daquele edifício.

2.7.1 Lajes maciças

As lajes maciças são aquelas em que toda sua espessura é composta por concreto, apresentando armaduras longitudinais de flexão e, quando necessário, transversais, sendo apoiadas em vigas ou paredes nas suas bordas. São comumente utilizadas em conjunto com a alvenaria estrutural, apresentando grande rigidez horizontal e baixa rotação nos apoios, necessitando, porém, de muitas fôrmas e escoramentos.

Uma classificação importante para as lajes maciças é quanto às suas direções de armação, podendo ser armadas em uma ou duas direções. As lajes armadas em uma direção possuem relação entre o maior e o menor lado superior a dois, sendo que nas lajes armadas em duas direções essa relação é menor ou igual a dois.

Dessa forma:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} > 2 ; \text{para lajes armadas em uma direção}$$

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \leq 2 ; \text{para lajes armadas em duas direções}$$

Em que:

l_y = maior lado da laje;

l_x = menor lado da laje.

Considerando sua aplicação na alvenaria estrutural, uma etapa fundamental é a determinação das reações de apoio das lajes, (que neste caso serão as cargas descarregadas nas paredes estruturais que servem de apoio para as lajes).

A ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – recomenda que o cálculo das reações de apoio das lajes maciças retangulares com ação uniformemente distribuída pode ser feito a partir da determinação aproximadas das linhas de plastificação, obtidas de acordo com as condições de vinculação dos bordos. Assim sendo, as charneiras podem ser representadas por retas inclinadas, a partir dos vértices, da seguinte forma:

- Com ângulo de 45° entre dois apoios do mesmo tipo;

- Com ângulo de 60° a partir do apoio engastado, se o outro estiver simplesmente apoiado;
- Com ângulo de 90° a partir do apoio, quando a borda ao lado for livre.

Por fim, a reação em determinado apoio pode ser determinada pela Equação (7):

$$R_{bordo} = \frac{p \cdot A_n}{l_{bordo}} \quad (7)$$

Em que:

R_{bordo} = reação no bordo estudado (kN/m);

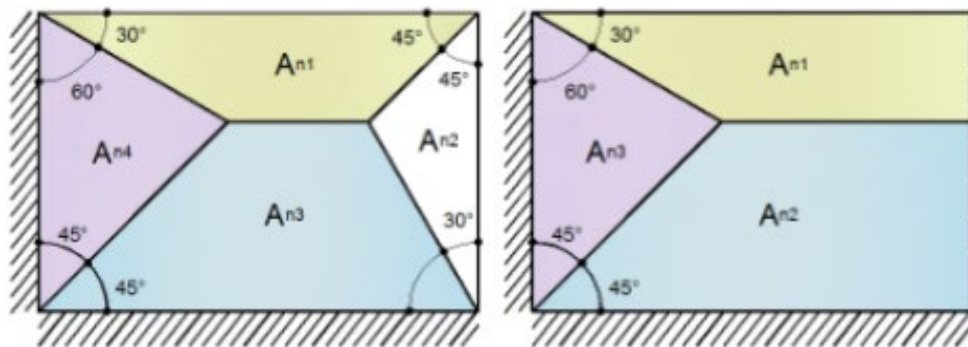
p = carga uniformemente distribuída na laje (kN/m²);

A_n = área definida pela figura, a depender do bordo (m²);

l_{bordo} = vão do bordo estudado (m).

O processo é exemplificado na Figura 10.

Figura 10 - Processo de divisão das áreas pelas charneiras.



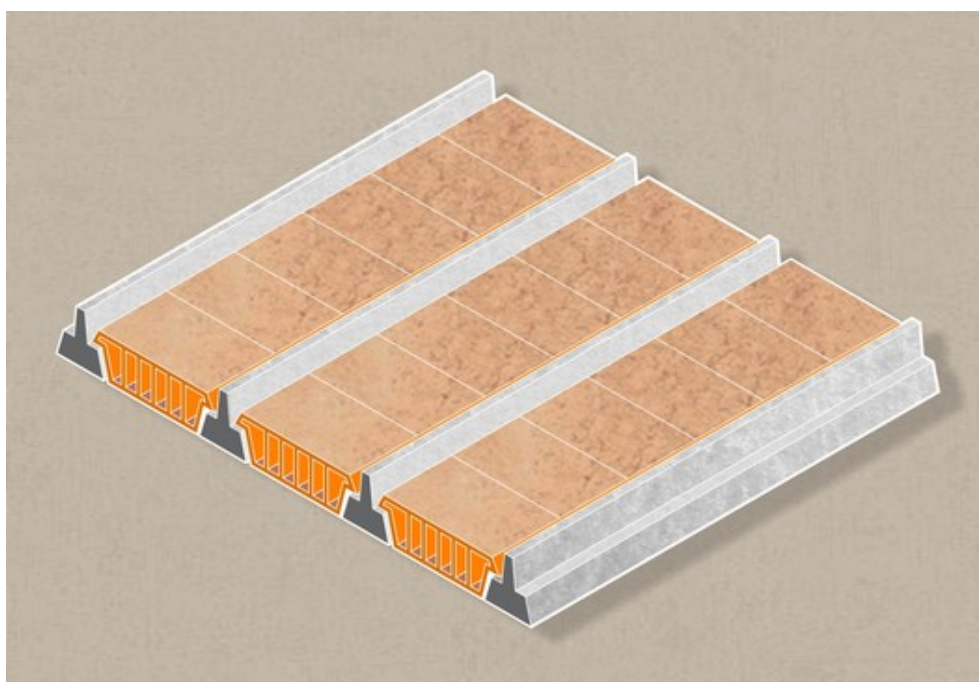
Fonte: Borja (2016).

Sendo assim, conforme a Figura 10, percebe-se a divisão como citado anteriormente, respeitando os tipos de vinculação dos bordos da laje e seus respectivos ângulos para as charneiras. Ao fim do processo, geram-se as áreas referentes a cada bordo, sendo possível, por meio da Equação (7), determinar o valor da reação de apoio naquele bordo.

2.7.2 Lajes pré-moldadas

As lajes pré-moldadas, mais especificamente as nervuradas, segundo a ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – são as moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, em que a zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ou não ser adicionados materiais inertes, tais como o EPS ou lajotas cerâmicas. Dessa forma, é uma solução extremamente interessante, visto que o concreto tracionado (o qual não desempenha um papel efetivo na estrutura) é substituído por um material mais leve, reduzindo-se, assim, consideravelmente o peso próprio das lajes. A Figura 11 representa uma laje pré-moldada do tipo treliçada, evidenciando os locais de enchimento com material inerte (lajotas cerâmicas).

Figura 11 - Exemplo de laje pré-moldada.



Fonte: www.archdaily.com.br.

Assim como nas lajes maciças, é fundamental que sejam calculadas as reações de apoio das lajes pré-moldadas. Nesse caso, considerando lajes com vigotas em apenas uma direção, o cálculo das reações de apoio (solicitação nas vigas ou paredes) é relativamente simples, sendo necessário apenas multiplicar o carregamento distribuído sobre a laje pelo vão paralelo ao vão estudado, e dividir pelo número de apoios (neste caso 2), visto que a charneira gerada por este

tipo de laje se dá por uma única linha perpendicular ao sentido de armação, dividindo a laje em duas áreas iguais. Sendo assim, a reação no bordo é dada pela Equação (8):

$$R_{bordo} = \frac{p \cdot A}{2} \quad (8)$$

Em que:

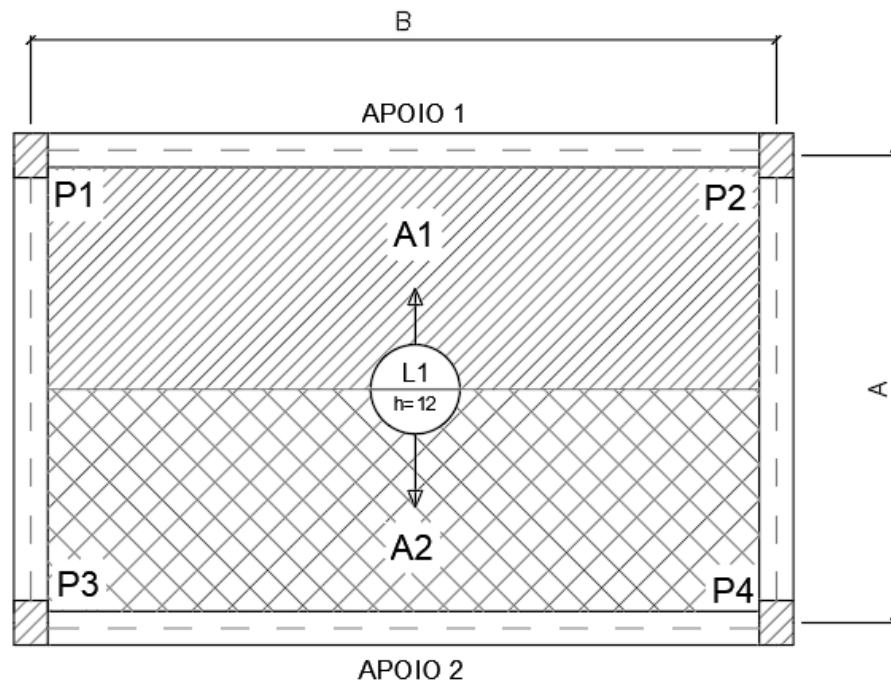
R_{bordo} = reação nos dois bordos de apoio (kN/m);

p = carga distribuída na laje (kN/m²);

A = vão perpendicular ao bordo estudado (m).

A Figura 12 representa o esquema para a determinação da reação de apoio de uma laje pré-moldada armada em uma direção através da Equação (8).

Figura 12 – Esquema para determinação das reações de apoio em lajes pré-moldadas.



Fonte: Do autor (2022).

Por fim, utilizando-se as lajes pré-moldadas unidirecionais com o sistema construtivo de alvenaria estrutural, é perceptível que as paredes compreendidas entre P1 - P2 (apoio 1) e P3 - P4 (apoio 2) serão mais solicitadas. Entretanto, deve-se levar em conta o carregamento nos apoios paralelos à direção de armação da laje. Carvalho e Figueiredo Filho (2014), a partir de análises experimentais, citam que essa parcela de carregamento pode chegar a 25% da carga distribuída na laje (12,5% para cada apoio paralelo). Embora seja uma parcela considerável, as paredes com maior carregamento serão aquelas que servem de apoio direto para a laje (perpendiculares ao seu vão), portanto neste trabalho não serão contabilizadas as parcelas de carga para as paredes paralelas à direção de armação da laje

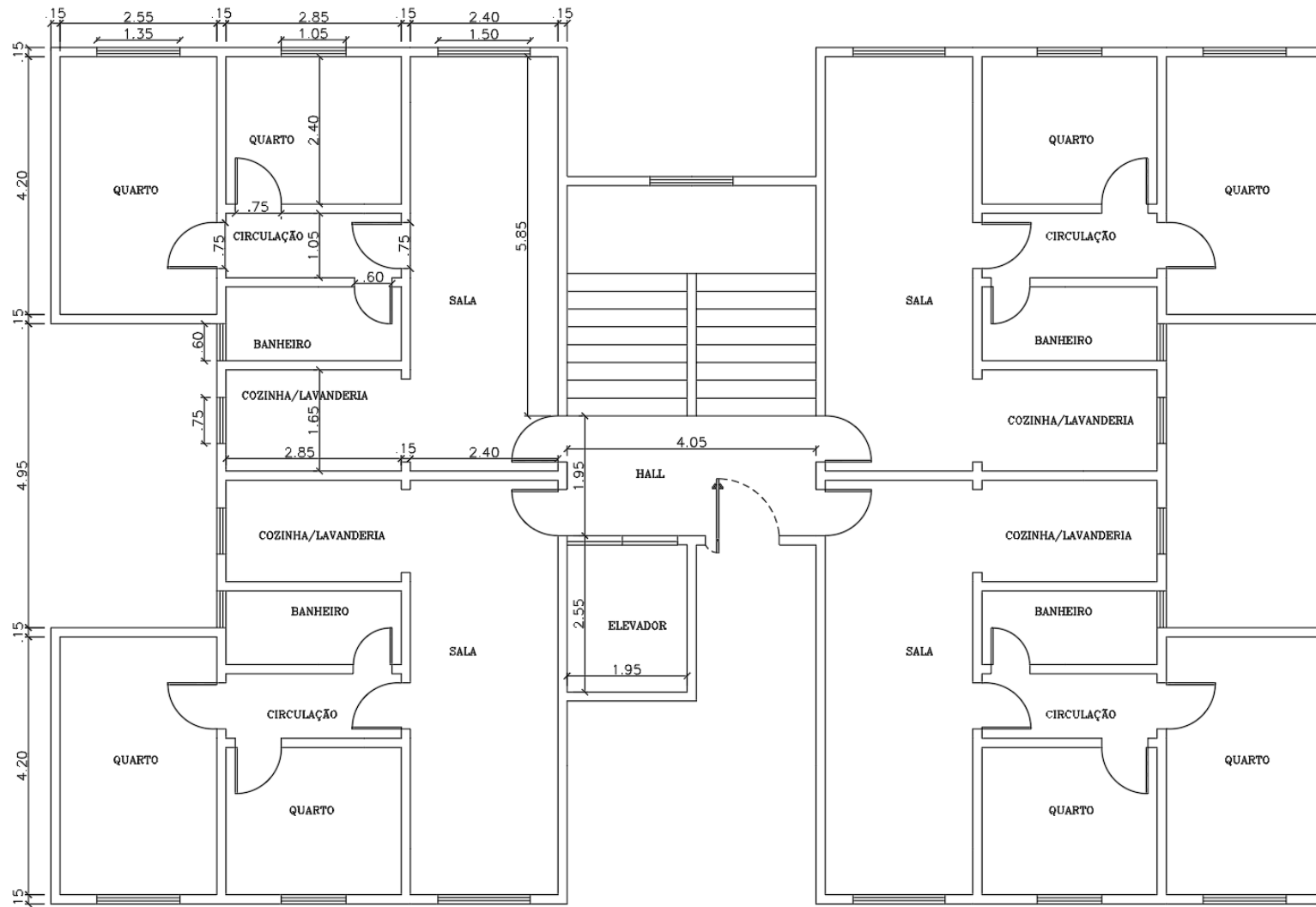
3 MODELAGEM

Apresentada a parte teórica, prossegue-se para a modelagem de um exemplo para a comparação entre os modelos de distribuição de ações verticais combinados à utilização das lajes maciças ou pré-moldadas. Em todos os processos de modelagem foi utilizado o *software* AutoCAD® (versão estudantil) para a realização dos desenhos e a aferição de ângulos, medidas e áreas necessárias para realização do trabalho.

3.1 Projeto arquitetônico

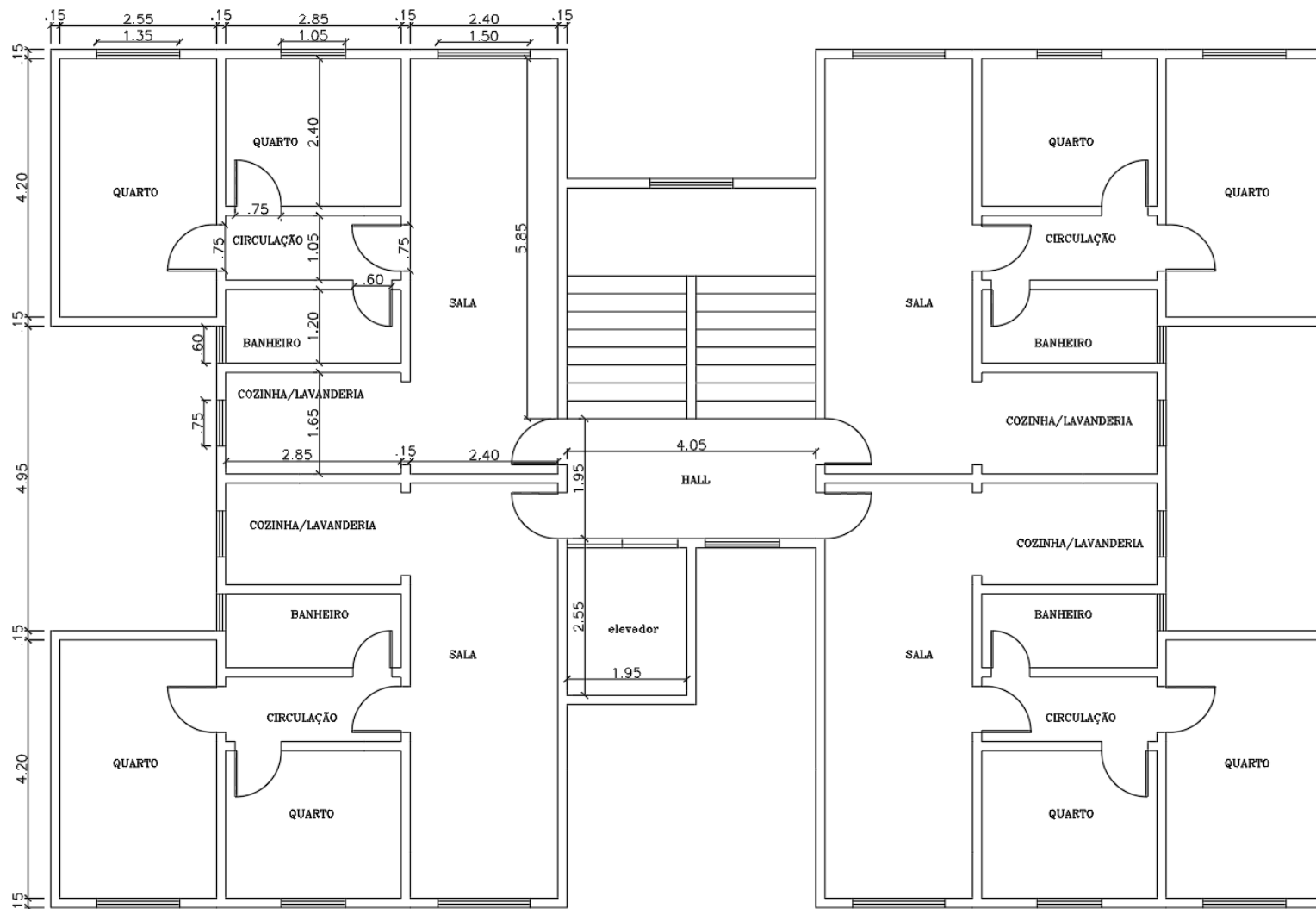
Para o estudo e a realização do dimensionamento à compressão e a análise dos modelos de distribuição das ações verticais se faz necessário a escolha de um projeto arquitetônico como modelo. Foi escolhido um edifício residencial composto por oito andares e quatro apartamentos por andar. Além disso, o edifício conta com um elevador e uma escada central para o acesso aos demais pavimentos. As Figuras 13 e 14 representam o pavimento térreo e tipo do edifício, respectivamente, evidenciando que a diferença entre os pavimentos se dá na entrada do edifício, onde no pavimento térreo existe uma porta pivotante de entrada e, nos pavimentos tipo, uma janela.

Figura 13 - Planta baixa pavimento térreo (medidas em metro).



Fonte: Do autor (2022)

Figura 14 - Planta baixa pavimento tipo (medidas em metro).



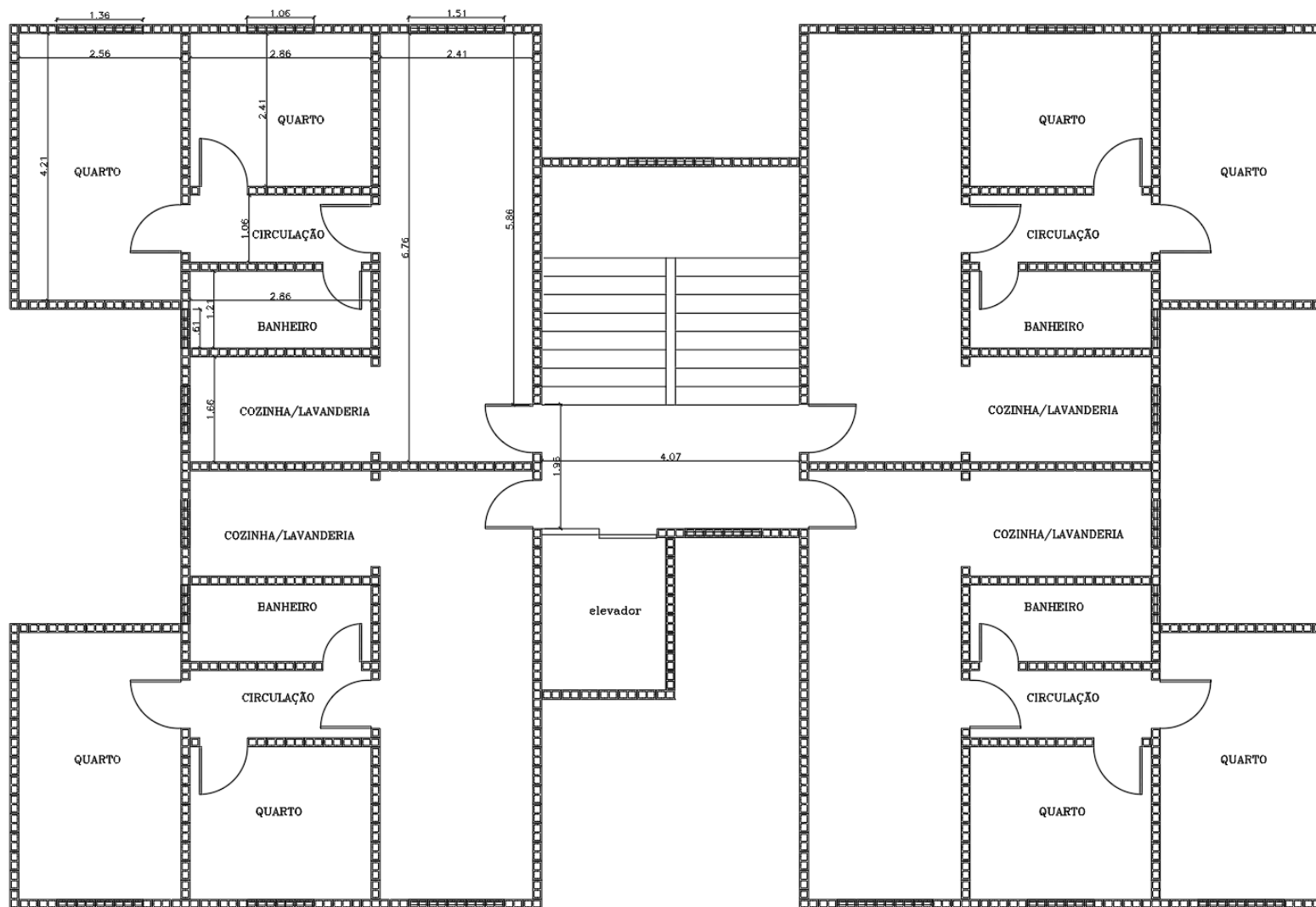
Fonte: Do autor (2022).

3.2 Modulação

Definido o projeto arquitetônico, foi possível fazer a modulação com blocos da família M15 (14cm x 19cm x 29cm), ajustando o projeto arquitetônico para a compatibilização das dimensões modulares do bloco (as medidas devem ser múltiplas de 15cm, visto que além da dimensão do bloco adotou-se 1cm de juntas). Além disso, adotou-se um pé direito de 2,80m, proveniente da modulação vertical dos blocos (19cm + 1cm de junta). Logo, todas as paredes estruturais terão 2.80m de altura.

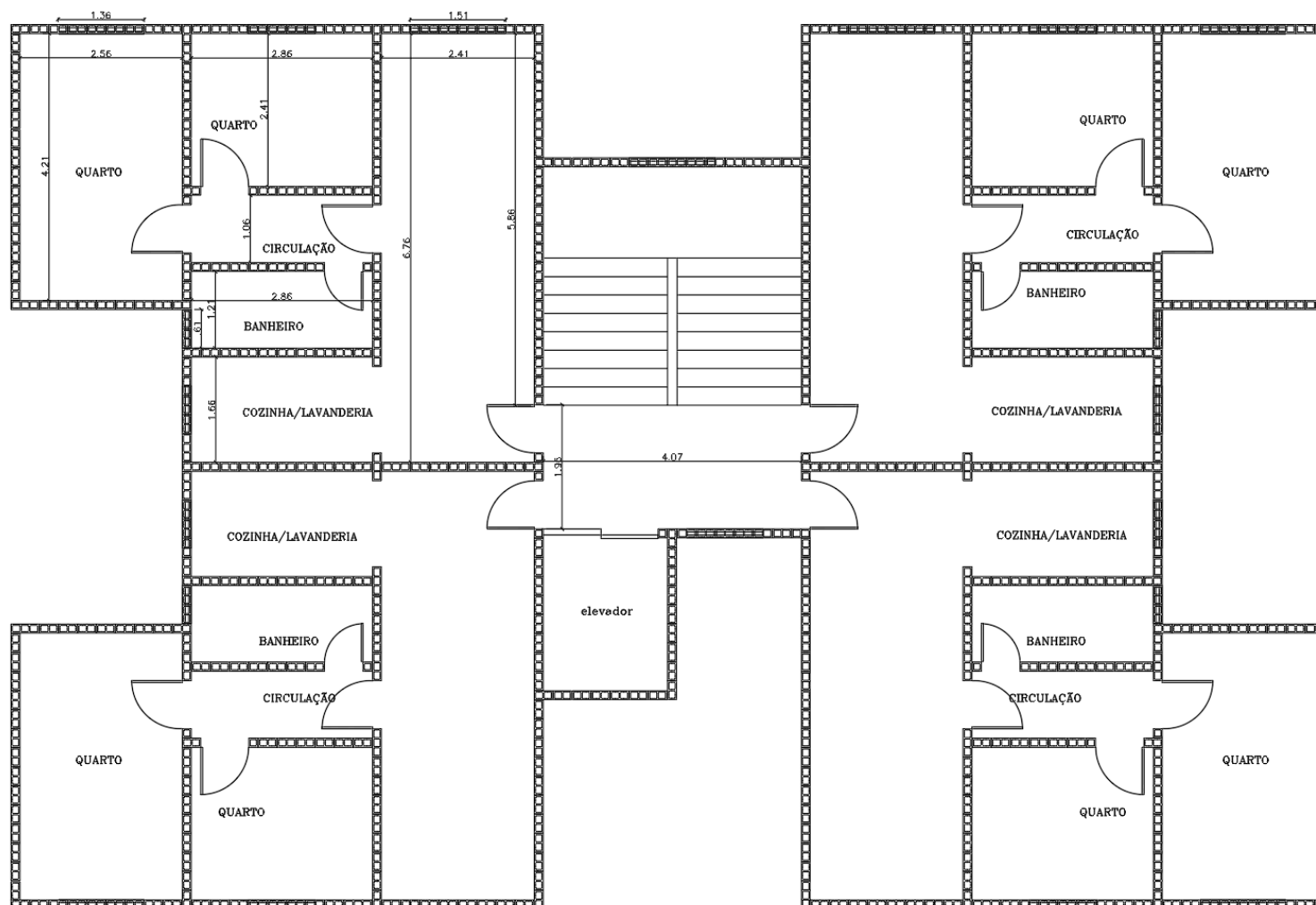
As Figuras 15 e 16 representam a modulação das duas primeiras fiadas do pavimento tipo, assim como as Figuras 17 e 18 representam as duas primeiras fiadas do pavimento térreo, prezando sempre pela amarração direta entre os blocos, fazendo uso da alternância no início de cada fiada e a utilização de blocos especiais para ligação em T.

Figura 15 - Modulação da primeira fiada do pavimento tipo.



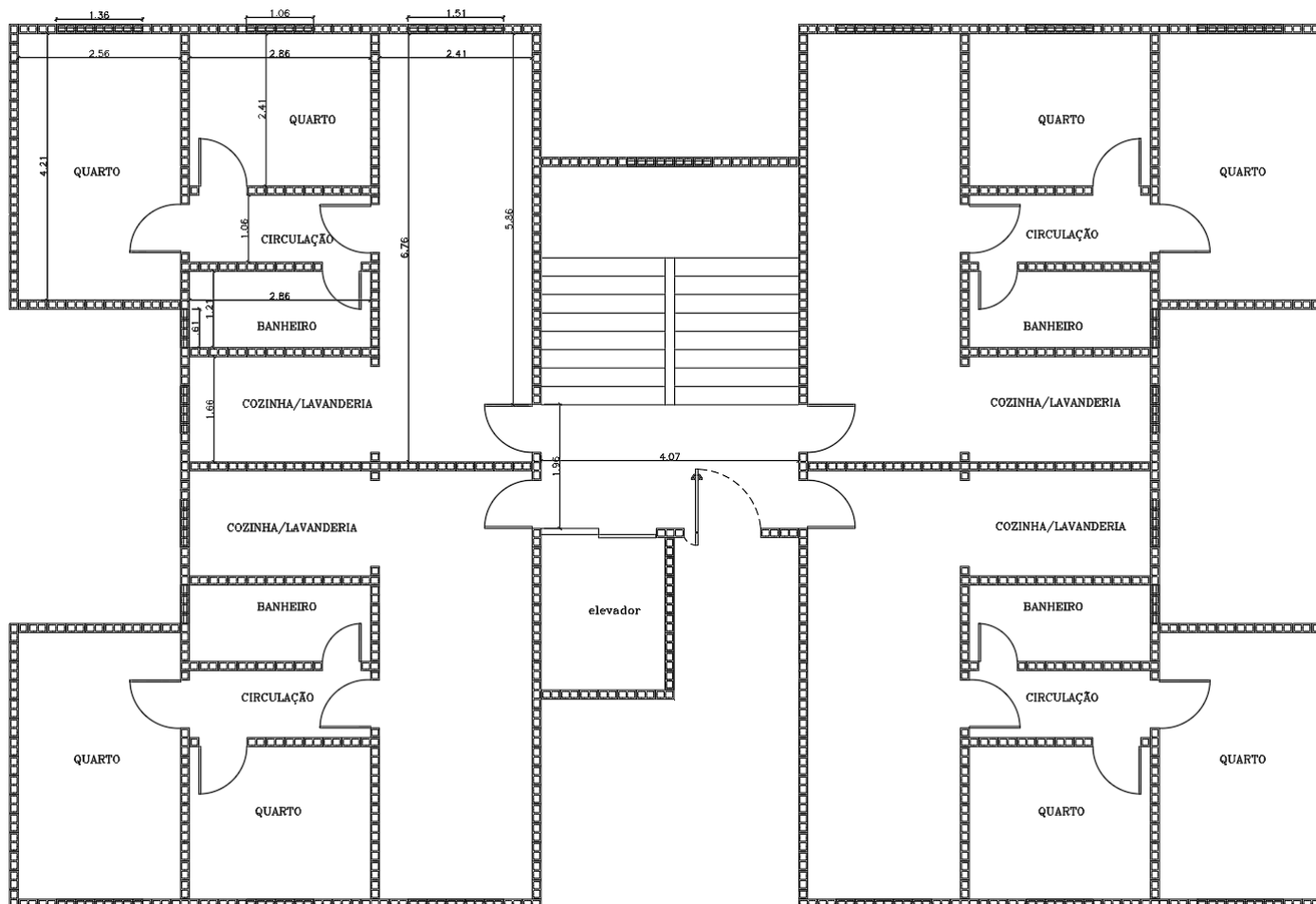
Fonte: Do autor (2022).

Figura 16 - Modulação da segunda fiada do pavimento tipo.



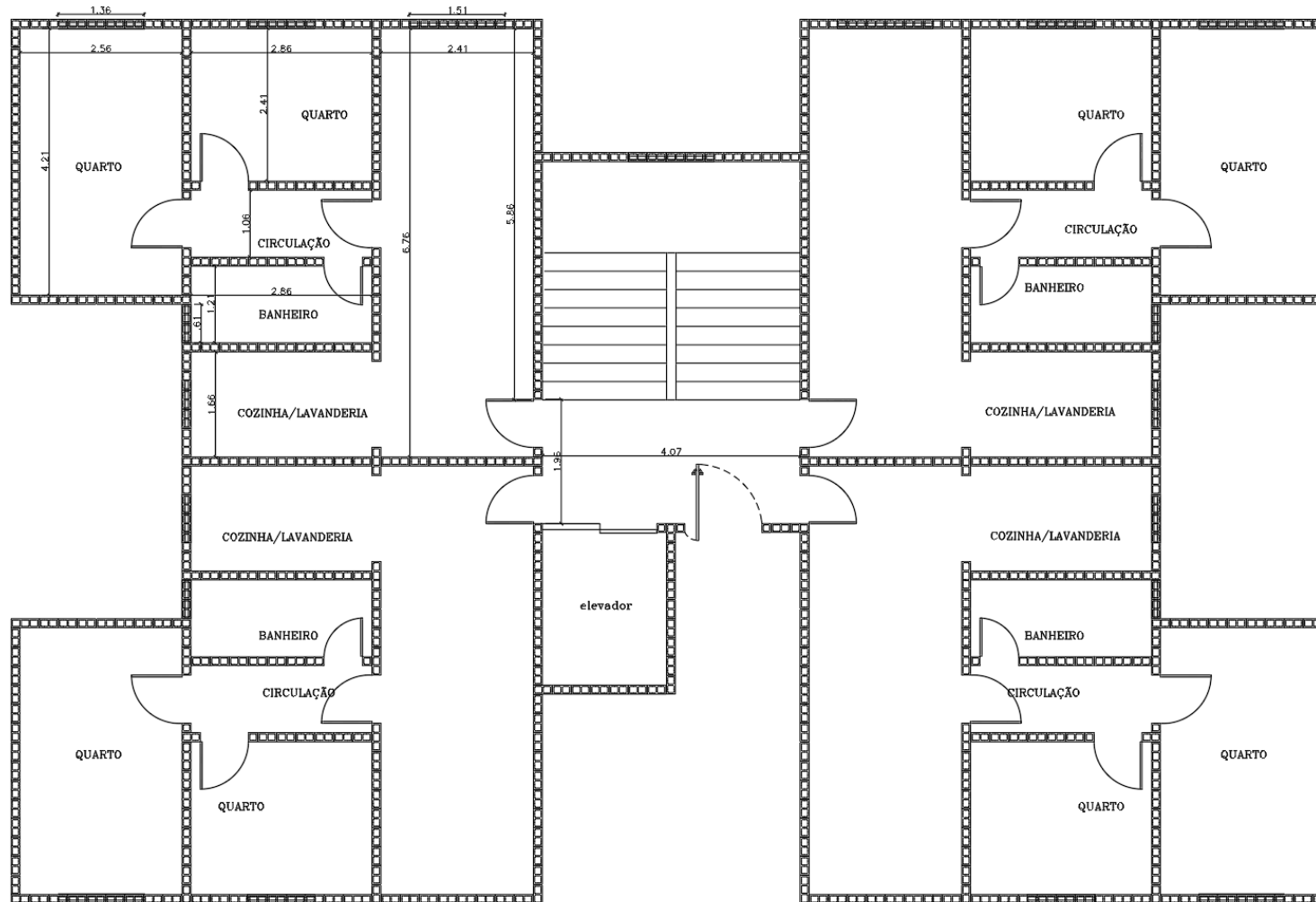
Fonte: Do autor (2022).

Figura 17 - Modulação da primeira fiada do pavimento térreo.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 18 - Modulação da segunda fiada do pavimento térreo.



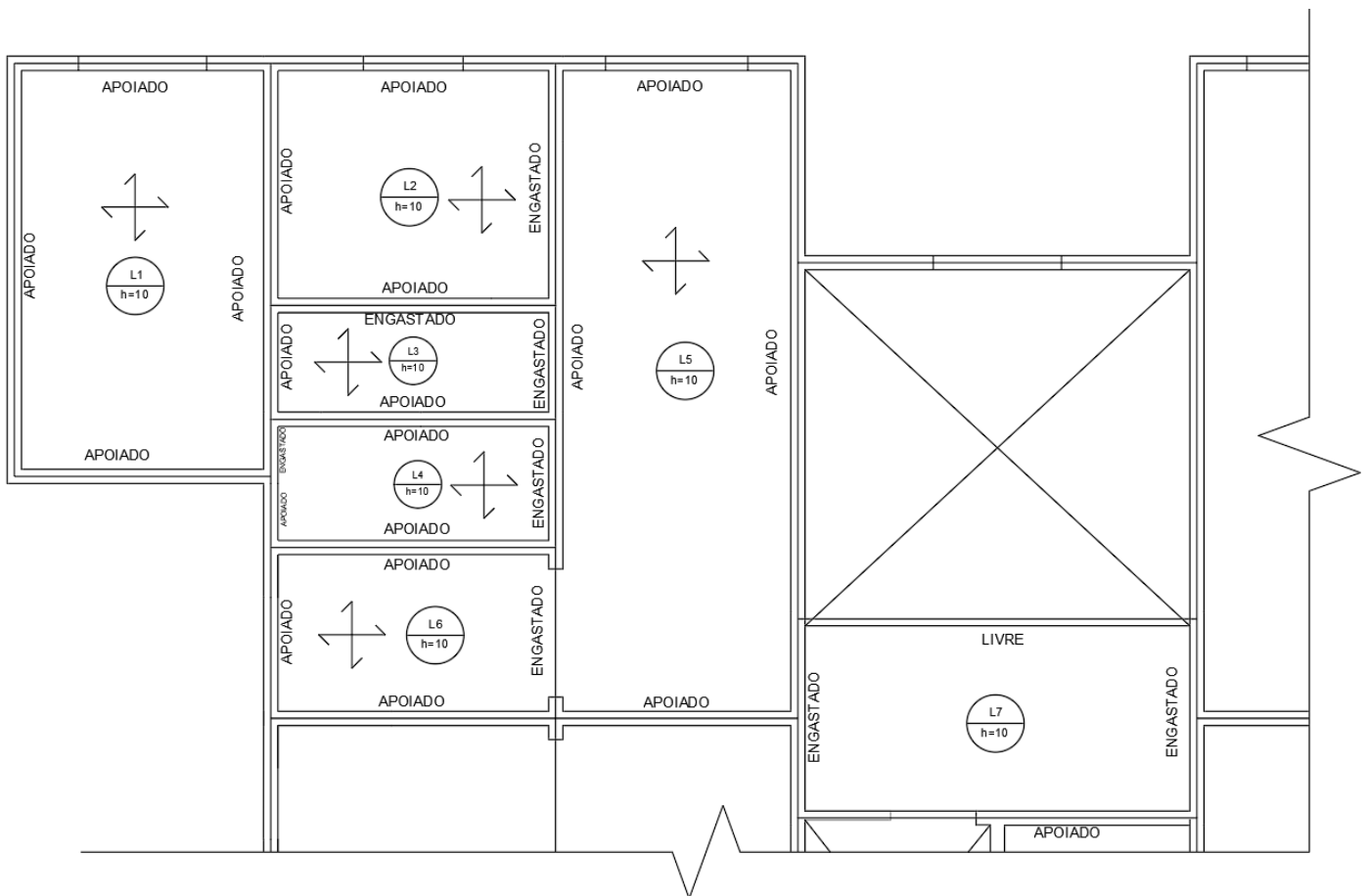
Fonte: Do autor (2022).

3.3 Lajes

A seguir, foram elaboradas as plantas de fôrma para as lajes maciças (bem como suas charneiras) e para as lajes treliçadas, conforme as Figuras 19, 20 e 21. A fim de melhorar a visualização, serão representadas as lajes de um apartamento modelo e da área de uso comum (hall), visto que o restante das lajes será igual devido à simetria do edifício.

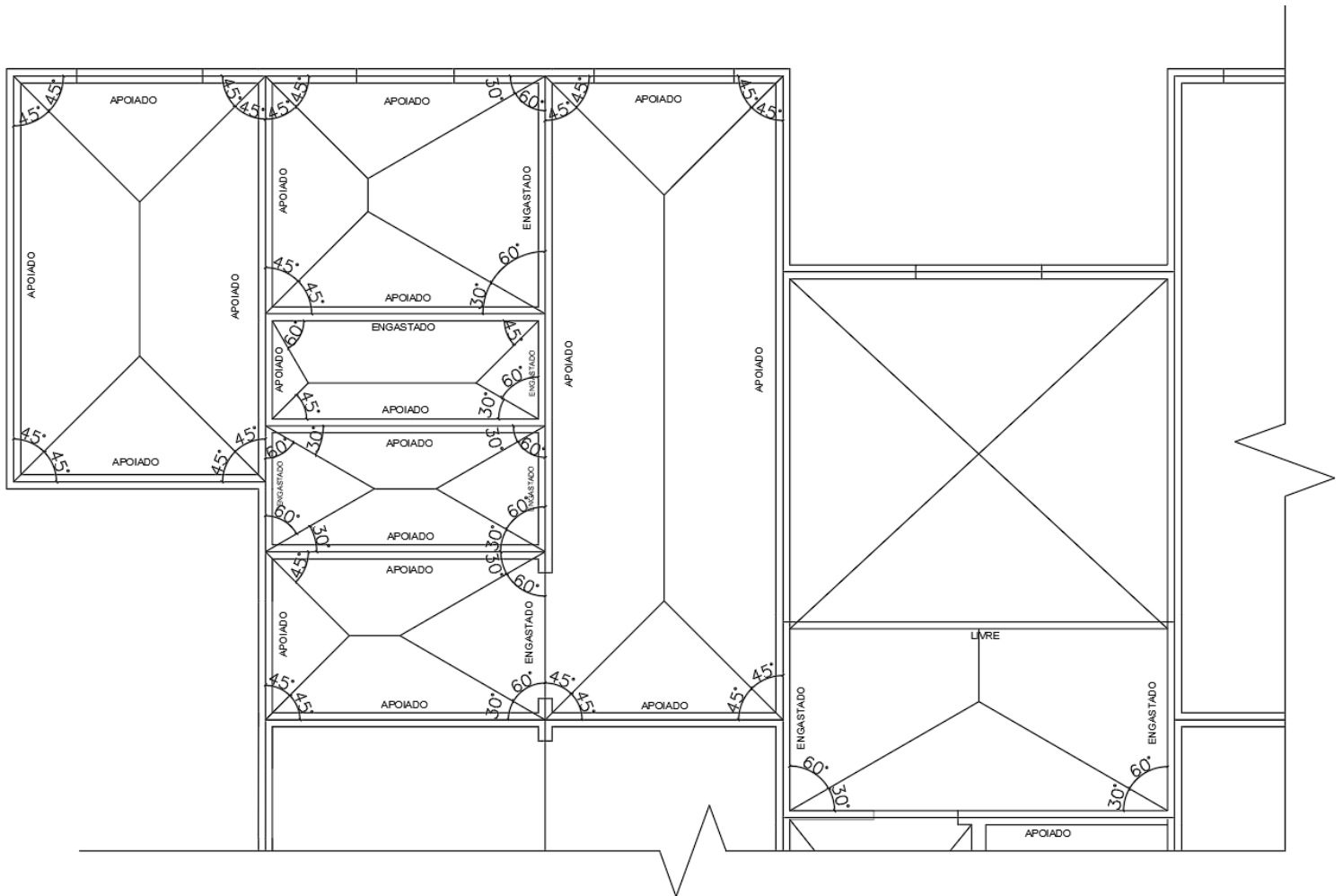
Considerando um pré-dimensionamento para lajes maciças baseado em $Lx/40$ (menor vão da laje dividido por 40), adotou-se uma laje de 10cm de altura a favor da segurança (desconsiderando o acabamento), padronizadas para todo o edifício. No caso das lajes pré-moldadas, utilizou-se tabelas de fornecedores para a determinação da sua altura, adotando uma laje com altura de 12cm (desconsiderando o acabamento).

Figura 19 - Representação das lajes maciças.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 20 - Representação das charneiras para lajes maciças.

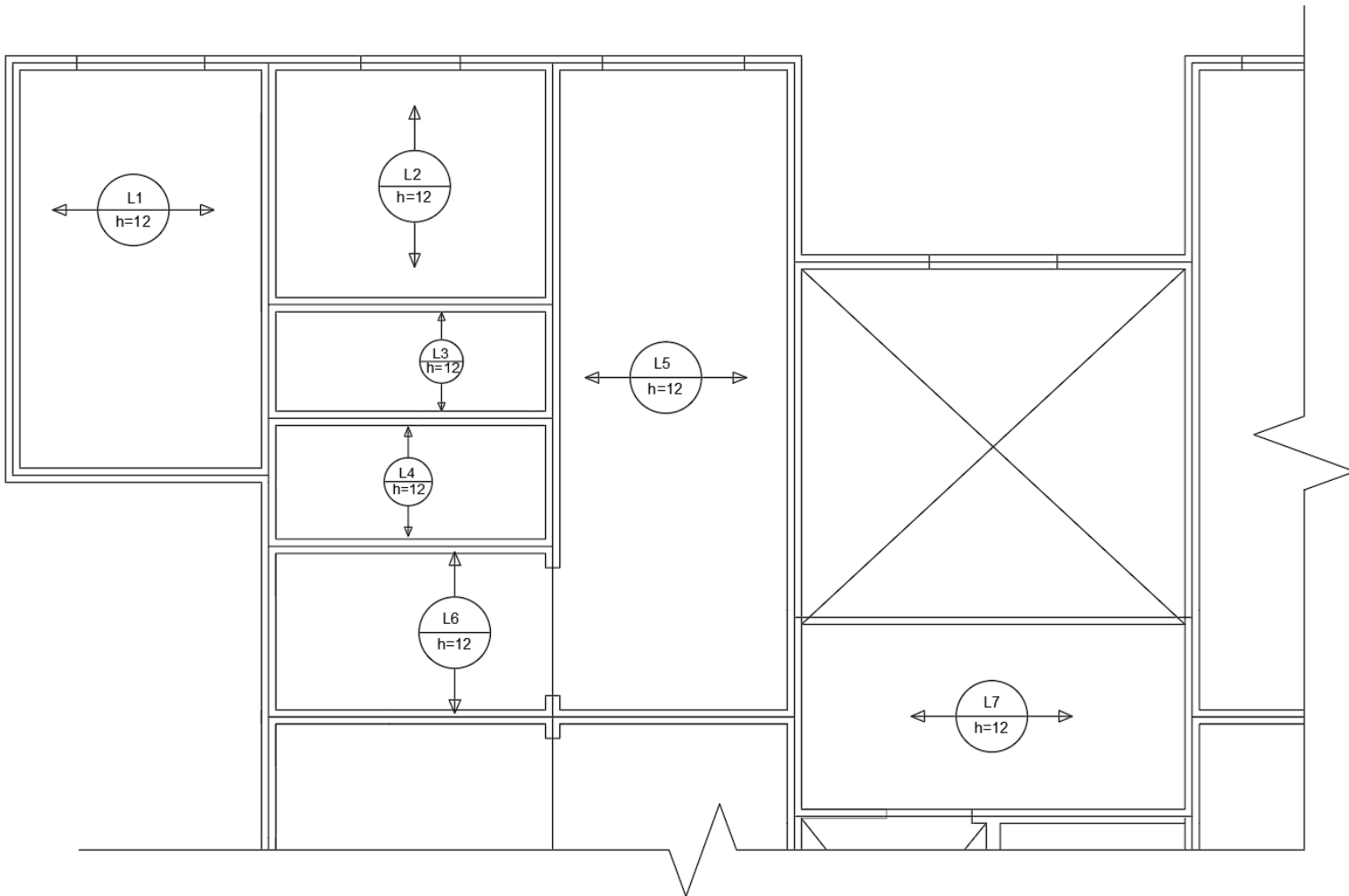


Fonte: Do autor (2022).

Para classificação dos apoios das lajes foi utilizado o método de áreas. Dessa forma, considera-se que uma laje está engastada em outra quando sua área for duas vezes menor do que a área da laje adjacente. Sendo assim, foi possível traçar as linhas de ruptura com base no tipo de apoio de cada laje (livre, apoiado ou engastado), lançando mão de linhas inclinadas com ângulos de 30°, 45° e 60° a partir do vértice do encontro dos eixos centrais das paredes, definindo-se as áreas de influência de cada apoio.

Seguindo as recomendações de concreto armado, as lajes treliçadas foram armadas de acordo com o menor vão (sendo este o de maior solicitação). Contudo, para laje a 7, foi adotado o maior vão para armação, visto que seu menor vão apresenta um bordo livre (escada), sendo esta a única exceção. A Figura 21 representa a disposição das lajes treliçadas.

Figura 21 - Representação das lajes pré-moldadas.



Fonte: Do autor (2022).

3.4 Definição das paredes estruturais e dos grupos isolados

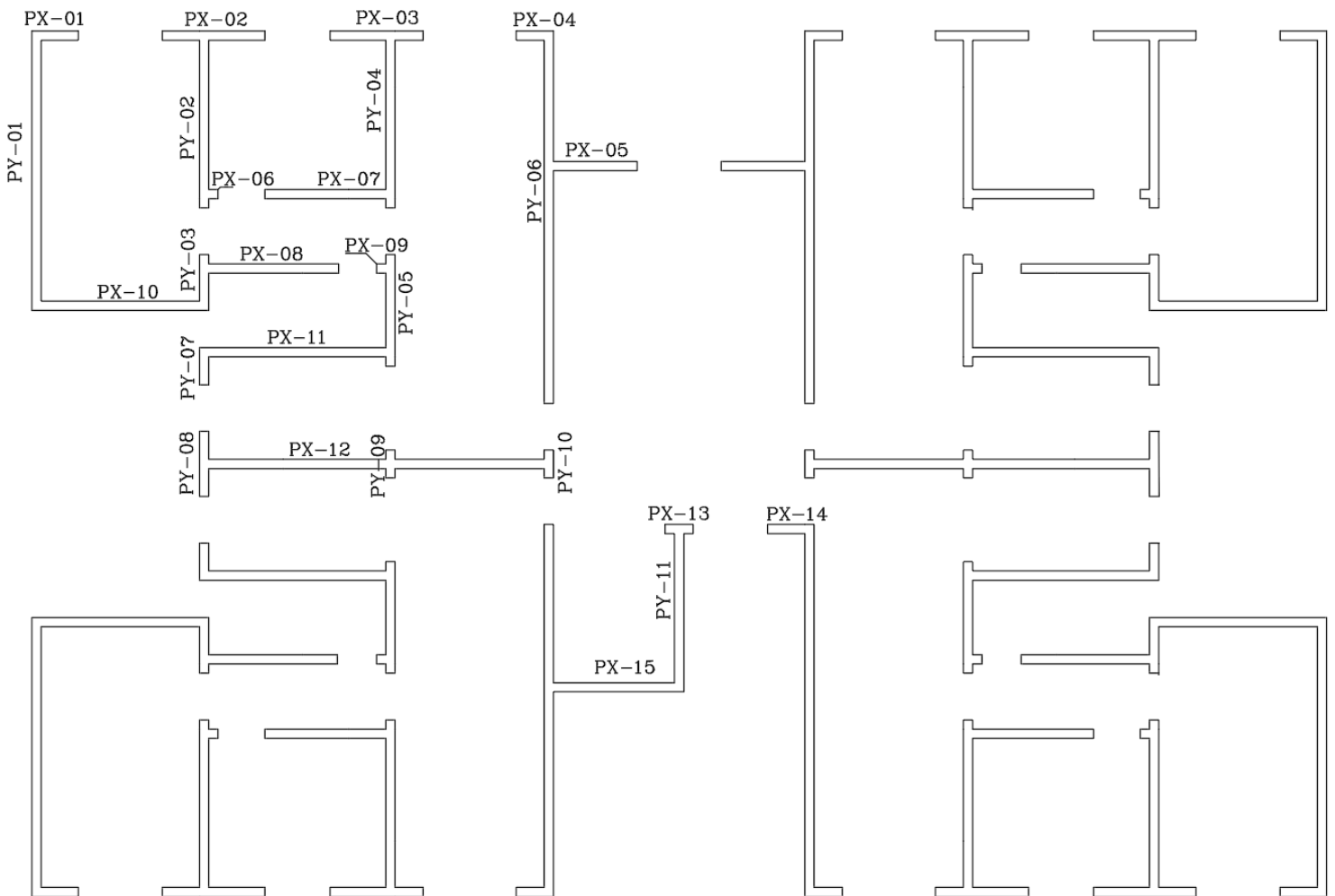
A definição e a nomeação das paredes estruturais são de suma importância para a análise estrutural e a distribuição das ações. Sendo assim, foram definidas as paredes que serão consideradas como sendo estruturais dentro do sistema (no caso estudado, apenas a parede de entrada do elevador não será estrutural, sendo desconsiderados os shafts ou paredes hidráulicas para fins de simplificação).

Os limites de cada parede foram considerados segundo as extremidades das aberturas e suas dimensões foram baseadas na distância entre eixos das paredes. Cada parede foi nomeada

segundo a direção ‘X’ ou ‘Y’, e sua numeração dada da esquerda para direita e de cima para baixo.

Dada a simetria do edifício, apenas as paredes diferentes serão representadas, visto que aquelas sem nomeação são simétricas às demais. A Figura 22 representa a nomeação das paredes estruturais do edifício modelo.

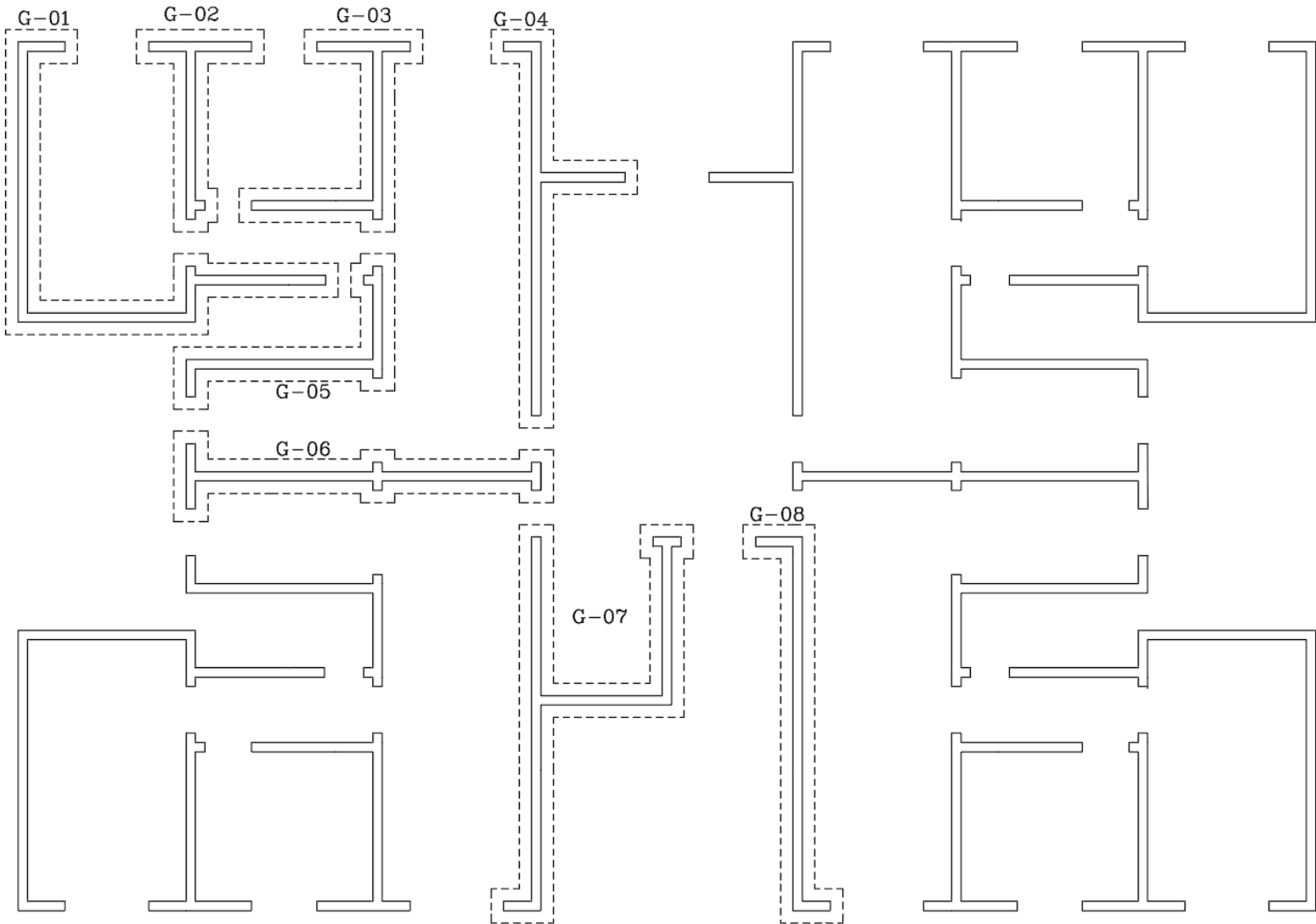
Figura 22- Nomenclatura das paredes estruturais.



Fonte: Do autor (2022).

Ainda, seguindo o mencionado item 2.4.2 *Grupos isolados de paredes* foi possível realizar a divisão dos grupos de paredes para a estrutura proposta, conforme a Figura 23, baseando-se nas aberturas como o limite dos grupos e sendo representados apenas os grupos com componentes diferentes (os grupos iguais não foram representados a fim de melhorar a visualização).

Figura 23 - Divisão dos grupos de paredes.



Fonte: Do autor (2022).

Com as paredes nomeadas e os grupos definidos, foi possível determinar o comprimento de cada parede (medido de eixo a eixo), bem como o comprimento equivalente dos grupos, o qual será utilizado para a distribuição da carga para cada grupo. É apresentado na Tabela 7 os dados obtidos por meio do AutoCAD®.

Tabela 7 - Comprimento das paredes e dos grupos.

Parade Estrutural	Comprimento (m)	Grupo	Comprimento total (m)
PX-01	0,675		
PX-08	2,165		
PX-10	2,700	G-01	10,715
PY-01	4,350		
PY-03	0,825		
PX-02	1,650		
PX-06	0,225	G-02	4,650
PY-02	2,775		
PX-03	1,500		
PX-07	2,025	G-03	6,300
PY-04	2,775		
PX-04	0,525		
PX-05	1,425	G-04	7,875
PY-06	5,925		
PX-09	0,225		
PX-11	3,000	G-05	5,550
PY-05	1,800		
PY-07	0,525		
PX-12	5,550		
PY-08	1,050	G-06	7,500
PY-09	0,450		
PY-10	0,450		
PX-04	0,525		
PX-13	0,450		
PX-15	2,100	G-07	11,550
PY-06	5,925		
PY-11	2,550		
PX-04	0,525		
PX-14	0,675	G-08	7,125
PY-06	5,925		

Fonte: Do autor (2022).

3.5 Levantamento das ações verticais

Para o levantamento das ações verticais, todos os parâmetros como peso específico e sobrecarga de utilização foram consultados e utilizados de acordo com a ABNT NBR 6120: 2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Sendo assim, foi possível definir o peso próprio para alvenaria e para as lajes, conforme as Tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8- Peso próprio da alvenaria estrutural.

Elemento	Material	Altura (m)	Peso específico (kN/m ²)	Carga (kN/m)
Alvenaria	Bloco de concreto vazado (Classes A e B - ABNT NBR 6136: 2014)	2,800	2,700	7,560
	Total			7,560

Fonte: Do autor (2022).

Para obtenção do valor de 2,70 kN/m² considerou-se o bloco vazado de concreto classe A e B, admitindo uma espessura de revestimento por face de 2cm. A atual norma ABNT NBR 6120: 2019 fornece o valor do peso próprio por metro quadrado, bastando multiplicar pela altura da parede estudada (2,80m para todos os pavimentos) para se obter um carregamento linearmente distribuído.

Tabela 9 - Peso próprio para as lajes maciças.

Elemento	Material	Espessura (m)	Peso específico (kN/m ³)	Carga (kN/m ²)
Laje maciça	Concreto	0,100	25	2,500
	Regularização	0,030	21	0,630
	Piso	0,012	23	0,276
	Forro	-	-	0,250
Total				3,656

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 10 - Peso próprio para as lajes pré-moldadas.

Elemento	Material	Espessura (m)	Peso específico (kN/m ³)	Carga (kN/m ²)
Laje pré-moldada	Peso próprio concretada (incluindo capa)	-	-	1,760
	Regularização	0,030	21	0,630
	Piso	0,012	23	0,276
	Forro	-	-	0,250
Total				2,916

Fonte: Do autor (2022).

Para as lajes, além do peso próprio do concreto (para as maciças) e do peso próprio das lajes pré-moldadas (retirado de um catálogo de fabricantes reconhecidos no país), considerou-se o acabamento do pavimento. Portanto, adotou-se a utilização de um piso em porcelanato, de uma camada de regularização de 3 cm (argamassa de areia e cimento), além da presença de forro de gesso acartonado.

Ademais, segundo a NBR 6120 (ABNT, 2019), têm-se valores diferentes para sobrecarga de utilização para cada ambiente do apartamento. A fim de simplificação, adotou-se o maior dentre os ambientes como uma sobrecarga geral para todas as lajes. Sendo assim, tem-se 2 kN/m^2 referente a utilização do ambiente ‘despensa, área de serviço e lavanderia’, em edifícios residenciais.

Sendo assim, obteve-se o resultado total do carregamento por metro quadrado para cada tipo de laje, sendo eles, $5,656 \text{ kN/m}^2$ para as lajes maciças, e $4,916 \text{ kN/m}^2$ para as lajes pré-moldadas.

Para a escada, considerou-se um peso próprio de $5,100 \text{ kN/m}^2$ (considerando as dimensões e a utilização de concreto armado com $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$). Além disso, segundo a ABNT NBR 6120: 2019, para edifícios residenciais considera-se uma sobrecarga de utilização de $2,500 \text{ kN/m}^2$. A fim de simplificação, a escada será considerada apoiada no patamar (laje de $h=10\text{cm}$, o qual estará apoiado nas paredes PX – 05 e PY – 06) e na laje do hall dos apartamentos. Sendo assim, a laje do patamar e a laje do hall, considerando $3,656 \text{ kN/m}^2$ para peso próprio e $2,500 \text{ kN/m}^2$ de utilização de escada, receberão ainda um carregamento adicional de $2,17 \text{ kN/m}^2$ referente à reação de apoio dos degraus da escada, totalizando $8,330 \text{ kN/m}^2$ para as lajes maciças. No caso das lajes pré-moldadas, apenas a laje do hall será alterada, logo, seu carregamento total será de $7,586 \text{ kN/m}^2$ (peso próprio, utilização de $2,500 \text{ kN/m}^2$ e reação da escada).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das planilhas elaboradas no Microsoft Excel®, as quais foram utilizadas para o dimensionamento do modelo proposto anteriormente.

4.1 Modelo de distribuição de paredes isoladas

Para melhor apresentação dos resultados, foram divididos de acordo com o modelo de distribuição proposto. Sendo assim, nesta seção serão apresentados todos os resultados obtidos para o modelo de paredes isoladas.

4.1.1 Lajes maciças:

Definidas as características das paredes, foram obtidos os carregamentos totais distribuídos e concentrados para todas as paredes isoladas referente a um pavimento, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados para as cargas em paredes isoladas para um pavimento – lajes maciças.

Parede Estrutural	Comprimento (m)	Área de influência (m ²)	Reação das lajes (kN/m)	Peso próprio (kN/m)	Total distribuído (kN/m)	Total (kN)
PX-01	0,68	0,91	7,63	7,56	15,19	10,26
PX-02	1,65	1,91	6,54	7,56	14,10	23,27
PX-03	1,50	1,46	5,51	7,56	13,07	19,61
PX-04	0,53	0,81	8,76	7,56	16,32	8,57
PX-05	1,43	1,23	7,22	7,56	14,78	21,06
PX-06	0,23	0,44	11,15	7,56	18,71	4,21
PX-07	2,03	2,97	8,28	7,56	15,84	32,08
PX-08	2,17	2,97	7,76	7,56	15,32	33,17
PX-09	0,23	0,17	4,23	7,56	11,79	2,65
PX-10	2,70	1,82	3,82	7,56	11,38	30,72
PX-11	3,00	2,40	4,52	7,56	12,08	36,23
PX-12	5,55	5,63	5,74	7,56	13,30	73,81
PX-13	0,45	1,70	21,40	7,56	28,96	13,03
PX-14	0,68	0,42	3,48	7,56	11,04	7,45
PX-15	2,10	0,00	0,00	7,56	7,56	15,88
PY-01	4,35	3,73	4,85	7,56	12,41	53,98
PY-02	2,78	4,64	9,46	7,56	17,02	47,23
PY-03	0,83	0,66	4,53	7,56	12,09	9,98
PY-04	2,78	5,74	11,69	7,56	19,25	53,42
PY-05	1,80	5,04	15,85	7,56	23,41	42,13
PY-06	5,93	6,55	8,66	7,56	16,22	96,10
PY-07	0,53	0,37	3,98	7,56	11,54	6,06
PY-08	1,05	0,74	3,98	7,56	11,54	12,11
PY-09	0,45	2,14	26,90	7,56	34,46	15,51
PY-10	0,45	0,33	40,08	7,56	47,64	21,44
PY-11	2,55	0,00	0,00	7,56	7,56	19,28

Fonte: Do autor (2022).

As medidas da área de influência e comprimento foram obtidas por meio do AutoCAD® utilizando os desenhos das paredes e charneiras já apresentados. Portanto, para obtenção do carregamento linearmente distribuído, basta que seja multiplicada a área de influência de cada parede pelo carregamento da laje (em kN/m²). Posteriormente, para a resultante pontual, multiplica-se o carregamento distribuído pelo comprimento da parede. A resultante pontual será utilizada para o cálculo do carregamento distribuído nos grupos.

Algumas considerações importantes podem ser feitas quanto à Tabela 11 - Resultados para as cargas em paredes isoladas para um pavimento – lajes maciças.:

- A parede PX-05 recebe somente as cargas da laje do patamar da escada e seu peso próprio. Portanto, seu carregamento se dá pela multiplicação da sua área de influência pelo carregamento de 8,330 kN/m², referente à laje do patamar.
- As paredes PY-06 e PY-10 recebem as cargas das lajes comuns (5,656 kN/m²) e das lajes de escada (8,330 kN/m²). Portanto, além da área de influência apresentada na tabela referente às lajes comuns, há um acréscimo devido à área da escada. Sendo assim, para a parede PY-06, tem-se: $[(6,550 \text{ m}^2 \times 5,656 \text{ kN/m}^2) + (1,712 \text{ m}^2 \times 8,330 \text{ kN/m}^2)] / 5,93\text{m} = 8,660 \text{ kN/m}$. O mesmo processo foi realizado para a parede PY-10.

Adiante, foi possível determinar os carregamentos acumulados para cada parede e para cada pavimento. A Tabela 12 apresenta os valores resultantes, sendo que, para um dado pavimento, o carregamento será a soma dos carregamentos dos pavimentos acima, mais o carregamento referente àquele pavimento.

Tabela 12 - Carregamentos totais acumulados para as paredes por pavimento – lajes maciças.

Parede Estrutural	Total acumulado (kN/m)								
	8º pav.	7º pav.	6º pav.	5º pav.	4º pav.	3º pav.	2º pav.	1º pav.	Térreo
PX-01	15,19	30,39	45,58	60,77	75,97	91,16	106,35	121,55	136,74
PX-02	14,10	28,21	42,31	56,42	70,52	84,62	98,73	112,83	126,93
PX-03	13,07	26,15	39,22	52,29	65,36	78,44	91,51	104,58	117,65
PX-04	16,32	32,63	48,95	65,27	81,58	97,90	114,22	130,53	146,85
PX-05	14,78	29,55	44,33	59,10	73,88	88,65	103,43	118,21	132,98
PX-06	18,71	37,43	56,14	74,85	93,57	112,28	131,00	149,71	168,42
PX-07	15,84	31,68	47,52	63,37	79,21	95,05	110,89	126,73	142,57
PX-08	15,32	30,64	45,96	61,28	76,60	91,91	107,23	122,55	137,87
PX-09	11,79	23,58	35,36	47,15	58,94	70,73	82,52	94,31	106,09
PX-10	11,38	22,75	34,13	45,51	56,88	68,26	79,64	91,01	102,39
PX-11	12,08	24,16	36,23	48,31	60,39	72,47	84,54	96,62	108,70
PX-12	13,30	26,60	39,90	53,20	66,50	79,80	93,10	106,40	119,70
PX-13	28,96	57,92	86,88	115,84	144,80	173,76	202,72	231,68	260,64
PX-14	11,04	22,09	33,13	44,17	55,22	66,26	77,30	88,35	99,39
PX-15	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PY-01	12,41	24,82	37,23	49,64	62,05	74,45	86,86	99,27	111,68
PY-02	17,02	34,04	51,06	68,08	85,10	102,12	119,14	136,16	153,18
PY-03	12,09	24,18	36,27	48,36	60,45	72,55	84,64	96,73	108,82
PY-04	19,25	38,50	57,75	77,00	96,25	115,50	134,75	154,00	173,25
PY-05	23,41	46,81	70,22	93,62	117,03	140,44	163,84	187,25	210,66
PY-06	16,22	32,44	48,66	64,88	81,10	97,32	113,54	129,76	145,98
PY-07	11,54	23,07	34,61	46,14	57,68	69,21	80,75	92,28	103,82
PY-08	11,54	23,07	34,61	46,14	57,68	69,21	80,75	92,28	103,82
PY-09	34,46	68,91	103,37	137,83	172,29	206,74	241,20	275,66	310,12
PY-10	47,64	95,28	142,93	190,57	238,21	285,85	333,49	381,14	428,78
PY-11	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04

Fonte: Do autor (2022).

Com os dados obtidos prossegue-se para a determinação do f_{pk} utilizando a Equação (6) já apresentada. Dessa forma, isolando a resistência necessária do prisma e utilizando os valores de $\gamma_m = 2,0$ e $\gamma_f = 1,4$, é possível obter o f_{pk} necessário para cada parede e em cada pavimento conforme a Tabela 13.

Tabela 13 - f_{pk} necessário para paredes isoladas por pavimento – lajes maciças.

Parede Estrutural	f_{pk} necessário (MPa)								
	8º pav.	7º pav.	6º pav.	5º pav.	4º pav.	3º pav.	2º pav.	1º pav.	Térreo
PX-01	0,50	0,99	1,49	1,98	2,48	2,98	3,47	3,97	4,47
PX-02	0,46	0,92	1,38	1,84	2,30	2,76	3,22	3,68	4,14
PX-03	0,43	0,85	1,28	1,71	2,13	2,56	2,99	3,41	3,84
PX-04	0,53	1,07	1,60	2,13	2,66	3,20	3,73	4,26	4,80
PX-05	0,48	0,96	1,45	1,93	2,41	2,89	3,38	3,86	4,34
PX-06	0,61	1,22	1,83	2,44	3,06	3,67	4,28	4,89	5,50
PX-07	0,52	1,03	1,55	2,07	2,59	3,10	3,62	4,14	4,66
PX-08	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
PX-09	0,38	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46
PX-10	0,37	0,74	1,11	1,49	1,86	2,23	2,60	2,97	3,34
PX-11	0,39	0,79	1,18	1,58	1,97	2,37	2,76	3,15	3,55
PX-12	0,43	0,87	1,30	1,74	2,17	2,61	3,04	3,47	3,91
PX-13	0,95	1,89	2,84	3,78	4,73	5,67	6,62	7,57	8,51
PX-14	0,36	0,72	1,08	1,44	1,80	2,16	2,52	2,88	3,25
PX-15	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PY-01	0,41	0,81	1,22	1,62	2,03	2,43	2,84	3,24	3,65
PY-02	0,56	1,11	1,67	2,22	2,78	3,33	3,89	4,45	5,00
PY-03	0,39	0,79	1,18	1,58	1,97	2,37	2,76	3,16	3,55
PY-04	0,63	1,26	1,89	2,51	3,14	3,77	4,40	5,03	5,66
PY-05	0,76	1,53	2,29	3,06	3,82	4,59	5,35	6,11	6,88
PY-06	0,53	1,06	1,59	2,12	2,65	3,18	3,71	4,24	4,77
PY-07	0,38	0,75	1,13	1,51	1,88	2,26	2,64	3,01	3,39
PY-08	0,38	0,75	1,13	1,51	1,88	2,26	2,64	3,01	3,39
PY-09	1,13	2,25	3,38	4,50	5,63	6,75	7,88	9,00	10,13
PY-10	1,56	3,11	4,67	6,22	7,78	9,33	10,89	12,45	14,00
PY-11	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22

Fonte: Do autor (2022).

Os resultados apresentados na Tabela 13 são de suma importância para a análise deste modelo de distribuição. É perceptível que paredes curtas acabam por necessitar de altas resistências na base do edifício, visto a consideração da não interação entre as paredes. Dessa forma, para a escolha dos blocos por pavimento, foi escolhida a parede mais solicitada (com maior f_{pk} requerido) e assim, utilizando a tabela F.1 - Recomendação para a especificação dos materiais da alvenaria estrutural – anexa à ABNT NBR 16868-1:2020 (resumida na Tabela 6 - Recomendação para especificação dos blocos - ABNT NBR 16868-1: 2020 deste trabalho), determinou-se a resistência necessária para os blocos de concreto considerando-se o modelo de paredes isoladas e a utilização de lajes maciças, resultados estes apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resistência dos blocos necessária por pavimento para paredes isoladas – lajes maciças.

Pavimento	f_{pk} necessário (MPa)	f_{pk} adotado (MPa)	f_{bk} adotado (MPa)
Térreo	14,00	14,00	28,00
1°	12,45	13,20	24,00
2°	10,89	11,70	18,00
3°	9,33	9,80	14,00
4°	7,78	8,40	12,00
5°	6,22	7,00	10,00
6°	4,67	6,00	8,00
7°	3,11	3,20	6,00
8°	1,56	2,40	3,00

Fonte: Do autor (2022).

É notável que os valores de resistência para os blocos são altos, divergindo da referência de 1 MPa por pavimento para blocos de concreto. O caso crítico neste caso se deu pela parede PY-10, a qual apresenta um comprimento pequeno (45 centímetros) e um carregamento consideravelmente alto devido à sua área de influência fazer parte de duas lajes de apartamento e de uma maior área para o hall (laje esta que apresenta um carregamento mais alto devido à escada).

Dessa forma, para o pavimento térreo, a norma não apresenta sugestões para f_{pk} maior que 13,2 MPa (resistência de prisma oco para blocos de concreto). Sendo assim, considerando resultados apresentados na literatura para blocos de maiores resistências e seguindo a lógica da norma (a qual apresenta uma eficiência menor conforme o aumento da resistência do bloco), adotou-se uma eficiência de 50% para determinação do f_{bk} (resistência do bloco) necessário.

Cabe salientar que a parede PY-10, caso fosse adotado este modelo de distribuição, provavelmente seria grauteada, o que reduziria a resistência necessária para o bloco. Porém, como o objetivo do trabalho é comparar os modelos e os tipos de laje, os resultados obtidos servirão de parâmetro para uma posterior análise. Ao desconsiderar essa parede, a segunda maior resistência necessária no pavimento térreo seria a resistência de prisma de 10,13 MPa (para a parede PY-09), resultando em um bloco de 16,0 MPa segundo a tabela normativa, o que reduz consideravelmente em relação aos 28 MPa apresentados, embora esta resistência necessária ainda seja alta devido ao método de distribuição das ações verticais.

4.1.2 Lajes pré-moldadas

Assim como para as lajes maciças, foram determinados os carregamentos distribuídos e concentrados para um pavimento referente a cada parede isolada do modelo, de acordo com a Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados para as cargas em paredes isoladas para um pavimento – lajes pré-moldadas.

Parede Estrutural	Comprimento (m)	Área de influência (m ²)	Reação das lajes (kN/m)	Peso próprio (kN/m)	Total distribuído (kN/m)	Total (kN)
PX-01	0,68	0,00	0,00	7,56	7,56	5,10
PX-02	1,65	1,75	5,21	7,56	12,77	21,07
PX-03	1,50	1,75	5,73	7,56	13,29	19,94
PX-04	0,53	0,00	0,00	7,56	7,56	3,97
PX-05	1,43	1,23	7,22	7,56	14,78	21,06
PX-06	0,23	0,99	21,63	7,56	29,19	6,57
PX-07	2,03	4,10	9,94	7,56	17,50	35,44
PX-08	2,17	2,77	6,29	7,56	13,85	29,98
PX-09	0,23	0,59	12,80	7,56	20,36	4,58
PX-10	2,70	0,00	0,00	7,56	7,56	20,41
PX-11	3,00	4,14	6,79	7,56	14,35	43,04
PX-12	5,55	4,07	3,60	7,56	11,16	61,96
PX-13	0,45	0,00	0,00	7,56	7,56	3,40
PX-14	0,68	0,00	0,00	7,56	7,56	5,10
PX-15	2,10	0,00	0,00	7,56	7,56	15,88
PY-01	4,35	5,36	6,05	7,56	13,61	59,21
PY-02	2,78	4,00	7,08	7,56	14,64	40,64
PY-03	0,83	1,46	8,71	7,56	16,27	13,43
PY-04	2,78	3,77	6,68	7,56	14,24	39,52
PY-05	1,80	3,50	9,55	7,56	17,11	30,80
PY-06	5,93	7,56	8,68	7,56	16,24	96,21
PY-07	0,53	0,00	0,00	7,56	7,56	3,97
PY-08	1,05	0,00	0,00	7,56	7,56	7,94
PY-09	0,45	2,08	22,72	7,56	30,28	13,63
PY-10	0,45	1,32	82,85	7,56	90,41	40,68
PY-11	2,55	0,00	0,00	7,56	7,56	19,28

Fonte: Do autor (2022).

O processo de cálculo é análogo ao utilizado nas lajes maciças, atentando às paredes PX-05, PY-06 e PY-10, que recebem carregamento das lajes da escada. Para as lajes pré-moldadas, o modelo de paredes isoladas pode ser ainda mais crítico para paredes curtas, visto que essas paredes podem receber metade do carregamento distribuído na laje, o que ocorre com a parede PY-10.

Sendo assim, prosseguiu-se para o cálculo dos carregamentos acumulados por pavimento, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Carregamentos totais acumulados por pavimento para paredes isoladas – lajes pré-moldadas.

Parede Estrutural	Total acumulado (kN/m)								
	8° pav.	7° pav.	6° pav.	5° pav.	4° pav.	3° pav.	2° pav.	1° pav.	Térreo
PX-01	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PX-02	12,77	25,54	38,32	51,09	63,86	76,63	89,41	102,18	114,95
PX-03	13,29	26,59	39,88	53,17	66,47	79,76	93,05	106,35	119,64
PX-04	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PX-05	14,78	29,55	44,33	59,10	73,88	88,65	103,43	118,21	132,98
PX-06	29,19	58,38	87,57	116,76	145,95	175,14	204,33	233,52	262,71
PX-07	17,50	35,00	52,50	70,00	87,51	105,01	122,51	140,01	157,51
PX-08	13,85	27,69	41,54	55,38	69,23	83,08	96,92	110,77	124,61
PX-09	20,36	40,72	61,08	81,44	101,80	122,15	142,51	162,87	183,23
PX-10	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PX-11	14,35	28,69	43,04	57,38	71,73	86,07	100,42	114,76	129,11
PX-12	11,16	22,33	33,49	44,66	55,82	66,99	78,15	89,32	100,48
PX-13	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PX-14	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PX-15	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PY-01	13,61	27,22	40,84	54,45	68,06	81,67	95,28	108,89	122,51
PY-02	14,64	29,29	43,93	58,58	73,22	87,87	102,51	117,15	131,80
PY-03	16,27	32,55	48,82	65,10	81,37	97,65	113,92	130,20	146,47
PY-04	14,24	28,49	42,73	56,97	71,21	85,46	99,70	113,94	128,18
PY-05	17,11	34,22	51,33	68,44	85,55	102,66	119,77	136,88	153,99
PY-06	16,24	32,48	48,71	64,95	81,19	97,43	113,67	129,91	146,14
PY-07	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PY-08	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04
PY-09	30,28	60,57	90,85	121,13	151,41	181,70	211,98	242,26	272,55
PY-10	90,41	180,82	271,23	361,64	452,05	542,46	632,87	723,28	813,69
PY-11	7,56	15,12	22,68	30,24	37,80	45,36	52,92	60,48	68,04

Fonte: Do autor (2022).

Com os carregamentos acumulados para cada pavimento, foi possível apresentar na Tabela 17, a partir da Equação (6), para o dimensionamento à compressão simples, o f_{pk} necessário para cada parede por pavimento.

Tabela 17 - f_{pk} necessário para paredes isoladas por pavimento – lajes pré-moldadas.

Parede Estrutural	f_{pk} necessário (MPa)								
	8º pav.	7º pav.	6º pav.	5º pav.	4º pav.	3º pav.	2º pav.	1º pav.	Térreo
PX-01	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PX-02	0,42	0,83	1,25	1,67	2,09	2,50	2,92	3,34	3,75
PX-03	0,43	0,87	1,30	1,74	2,17	2,60	3,04	3,47	3,91
PX-04	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PX-05	0,48	0,96	1,45	1,93	2,41	2,89	3,38	3,86	4,34
PX-06	0,95	1,91	2,86	3,81	4,77	5,72	6,67	7,63	8,58
PX-07	0,57	1,14	1,71	2,29	2,86	3,43	4,00	4,57	5,14
PX-08	0,45	0,90	1,36	1,81	2,26	2,71	3,16	3,62	4,07
PX-09	0,66	1,33	1,99	2,66	3,32	3,99	4,65	5,32	5,98
PX-10	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PX-11	0,47	0,94	1,41	1,87	2,34	2,81	3,28	3,75	4,22
PX-12	0,36	0,73	1,09	1,46	1,82	2,19	2,55	2,92	3,28
PX-13	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PX-14	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PX-15	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PY-01	0,44	0,89	1,33	1,78	2,22	2,67	3,11	3,56	4,00
PY-02	0,48	0,96	1,43	1,91	2,39	2,87	3,35	3,83	4,30
PY-03	0,53	1,06	1,59	2,13	2,66	3,19	3,72	4,25	4,78
PY-04	0,47	0,93	1,40	1,86	2,33	2,79	3,26	3,72	4,19
PY-05	0,56	1,12	1,68	2,23	2,79	3,35	3,91	4,47	5,03
PY-06	0,53	1,06	1,59	2,12	2,65	3,18	3,71	4,24	4,77
PY-07	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PY-08	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22
PY-09	0,99	1,98	2,97	3,96	4,94	5,93	6,92	7,91	8,90
PY-10	2,95	5,90	8,86	11,81	14,76	17,71	20,67	23,62	26,57
PY-11	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,73	1,97	2,22

Fonte: Do autor (2022).

Novamente, para determinação do f_{bk} necessário por pavimento, adotou-se o maior valor de f_{pk} dentre todas as paredes do pavimento. Neste caso, assim como nas lajes maciças, o maior valor necessário se dá na parede PY-10, por apresentar um pequeno comprimento e um carregamento alto devido às áreas de influência das lajes do apartamento e do hall (que neste caso descarrega metade de sua carga nesta parede, havendo um grande carregamento em um comprimento relativamente pequeno).

Logo, assumindo os maiores valores de f_{pk} por pavimento, utilizou-se novamente uma eficiência de 50% para determinação da resistência dos blocos para os casos não apresentados na tabela de sugestão da norma.

A Tabela 18 apresenta os valores adotados para os blocos. Nota-se um grande aumento na resistência necessária, aumento este oriundo da parede PY-10, que serve de apoio para a laje do hall, assumindo uma área de influência de metade de todo o carregamento da laje, o que gera tensões muito superiores quando comparadas à laje maciça.

Tabela 18 - Resistência dos blocos necessária por pavimento – lajes pré-moldadas.

Pavimento	f_{pk} necessário (MPa)	f_{pk} adotado (MPa)	f_{bk} adotado (MPa)
Térreo	26,57	26,57	53,14
1º	23,62	23,62	47,24
2º	20,67	20,67	41,34
3º	17,71	17,71	35,42
4º	14,76	14,76	29,52
5º	11,81	12,10	22,00
6º	8,86	9,80	14,00
7º	5,9	6,00	8,00
8º	2,95	3,20	4,00

Fonte: Do autor (2022).

Para as lajes pré-moldadas é interessante pontuar que, desconsiderando-se a parede PY-10 (um caso específico por se tratar de uma parede muito curta que serve de apoio direto para um dos lados da laje pré-moldada), a segunda parede mais solicitada seria a parede PY-09, a qual requer uma resistência de prisma de 8,90 MPa no térreo, culminando em uma resistência de bloco necessária de 14 MPa conforme a tabela de sugestão da norma. Portanto, é notório a redução de 53,14 MPa para 14 MPa, evidenciando como a parede PY-10 se trata de um caso singular.

Portanto, percebe-se como o método de paredes isoladas pode sobrecarregar alguns elementos considerando a não interação entre as paredes, o que na prática não ocorre, visto que a própria modulação do edifício apresenta uma amarração direta entre os blocos (as juntas apresentam-se defasadas entre as fiadas), havendo assim uma distribuição de carga entre as paredes.

4.2 Modelo de distribuição de grupos isolados de paredes

Após ter sido realizado o dimensionamento para paredes isoladas, o processo de cálculo considerando o modelo de grupos isolados é relativamente simples. Definidos os grupos, basta que sejam somadas as cargas concentradas de cada parede que compõe o grupo, e então, dividi-las pelo comprimento equivalente do grupo (soma dos comprimentos das paredes pertencentes ao grupo). Desse modo, obtém-se o carregamento distribuído para o grupo, sendo necessário, por fim, aplicar a Equação (6) para realização do dimensionamento.

4.2.1 Lajes maciças

Como mencionado anteriormente, definiu-se os carregamentos totais por grupo e por pavimento, considerando os dados obtidos na Tabela 7 - Comprimento das paredes e dos grupos, e na Tabela 11 - Resultados para as cargas em paredes isoladas para um pavimento. Os resultados obtidos compõem a Tabela 19.

Tabela 19 - Carregamentos totais acumulados para cada grupo por pavimento – lajes maciças.

Grupo	Total acumulado (kN/m)								
	8º pav.	7º pav.	6º pav.	5º pav.	4º pav.	3º pav.	2º pav.	1º pav.	Térreo
G-01	12,89	25,78	38,66	51,55	64,44	77,33	90,21	103,10	115,99
G-02	16,07	32,13	48,20	64,27	80,33	96,40	112,47	128,53	144,60
G-03	16,68	33,37	50,05	66,74	83,42	100,10	116,79	133,47	150,15
G-04	15,96	31,93	47,89	63,86	79,82	95,79	111,75	127,72	143,68
G-05	15,69	31,38	47,07	62,75	78,44	94,13	109,82	125,51	141,20
G-06	16,38	32,77	49,15	65,53	81,91	98,30	114,68	131,06	147,45
G-07	13,23	26,47	39,70	52,94	66,17	79,40	92,64	105,87	119,11
G-08	15,74	31,47	47,21	62,95	78,68	94,42	110,16	125,89	141,63

Fonte: Do autor (2022).

De antemão é perceptível a uniformização das cargas em relação ao método anterior (paredes isoladas). Isso se dá pela interação entre as paredes e, conseqüentemente, o espalhamento das cargas entre as paredes solidárias.

Definidas as cargas totais atuantes em cada grupo, aplica-se a equação para dimensionamento à compressão simples, sendo possível determinar o f_{pk} necessário para cada grupo e em cada pavimento, conforme a Tabela 20.

Tabela 20 - f_{pk} necessário para os grupos de paredes por pavimento – lajes maciças.

Grupo	f_{pk} necessário (MPa)								
	8° pav.	7° pav.	6° pav.	5° pav.	4° pav.	3° pav.	2° pav.	1° pav.	Térreo
G-01	0,42	0,84	1,26	1,68	2,10	2,52	2,95	3,37	3,79
G-02	0,52	1,05	1,57	2,10	2,62	3,15	3,67	4,20	4,72
G-03	0,54	1,09	1,63	2,18	2,72	3,27	3,81	4,36	4,90
G-04	0,52	1,04	1,56	2,09	2,61	3,13	3,65	4,17	4,69
G-05	0,51	1,02	1,54	2,05	2,56	3,07	3,59	4,10	4,61
G-06	0,53	1,07	1,60	2,14	2,67	3,21	3,74	4,28	4,81
G-07	0,43	0,86	1,30	1,73	2,16	2,59	3,02	3,46	3,89
G-08	0,51	1,03	1,54	2,06	2,57	3,08	3,60	4,11	4,62

Fonte: Do autor (2022).

Sendo assim, como realizado para paredes isoladas, foi escolhido o mais solicitado dentre os grupos, que neste caso é o grupo 3, composto pelas paredes PX-03, PX-04 e PY-04. Lançando mão da tabela F.1 - Recomendação para a especificação dos materiais da alvenaria estrutural – anexa à ABNT NBR 16868-1:2020 (resumida pela Tabela 6 deste trabalho), as resistências necessárias para os blocos em cada pavimento foram obtidas e encontram-se apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 - Resistência necessária por pavimento para o grupo mais solicitado – lajes maciças.

Pavimento	f_{pk} necessário (MPa)	f_{pk} adotado (MPa)	f_{bk} adotado (MPa)
Térreo	4,90	6,00	8,00
1°	4,36	4,50	6,00
2°	3,81	4,50	6,00
3°	3,27	4,50	6,00
4°	2,72	3,20	4,00
5°	2,18	3,20	4,00
6°	1,63	2,40	3,00
7°	1,09	2,40	3,00
8°	0,54	2,40	3,00

Fonte: Do autor (2022).

Nota-se uma redução significativa quando comparado aos resultados obtidos para o modelo de paredes isoladas, conferindo resistências mais baixas (próximo a 1 MPa por pavimento) ao considerar a real interação entre as paredes, derivada da amarração entre os blocos executada na prática.

4.2.2 Lajes pré-moldadas

Por fim, realizou-se os cálculos para as lajes pré-moldadas, assim como foi feito para as lajes maciças, definindo os carregamentos totais por grupo e por pavimento, considerando os dados obtidos na Tabela 15 - Resultados para as cargas em paredes isoladas para um pavimento – lajes pré-moldadas – e na Tabela 11 - Resultados para as cargas em paredes isoladas para um pavimento – lajes maciças. Os resultados para os grupos referentes às lajes pré-moldadas são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Carregamentos totais acumulados para cada grupo por pavimento – lajes pré-moldadas.

Grupo	Total acumulado (kN/m)								Térreo
	8º pav.	7º pav.	6º pav.	5º pav.	4º pav.	3º pav.	2º pav.	1º pav.	
G-01	13,68	27,35	41,03	54,71	68,38	82,06	95,73	109,41	123,09
G-02	15,80	31,60	47,40	63,20	79,00	94,80	110,60	126,40	142,20
G-03	19,34	38,68	58,02	77,36	96,70	116,05	135,39	154,73	174,07
G-04	6,34	12,68	19,03	25,37	31,71	38,05	44,40	50,74	57,08
G-05	11,54	23,08	34,61	46,15	57,69	69,23	80,76	92,30	103,84
G-06	8,68	17,35	26,03	34,70	43,38	52,05	60,73	69,40	78,08
G-07	6,15	12,30	18,45	24,60	30,74	36,89	43,04	49,19	55,34
G-08	10,35	20,69	31,04	41,38	51,73	62,08	72,42	82,77	93,12

Fonte: Do autor (2022).

Embora para as lajes pré-moldadas haja também uma maior uniformização dos carregamentos, ao considerar que as lajes se apoiam apenas nas paredes perpendiculares ao seu vão, é perceptível que haverá grupos mais solicitados que outros (como por exemplo o grupo 03, que possui um carregamento aproximadamente três vezes maior que o do grupo 04). Dessa forma, percebe-se que a utilização de lajes maciças juntamente com o modelo de grupos isolados proporciona uma melhor distribuição dos carregamentos quando comparada à utilização de lajes pré-moldadas.

Com os carregamentos definidos, foi possível determinar os valores para a resistência de prisma (f_{pk}) necessária para cada grupo por pavimento, de acordo com a Tabela 23.

Tabela 23- f_{pk} necessário para os grupos de paredes por pavimento – lajes pré-moldadas.

Grupo	f_{pk} necessário (MPa)								
	8° pav.	7° pav.	6° pav.	5° pav.	4° pav.	3° pav.	2° pav.	1° pav.	Térreo
G-01	0,45	0,89	1,34	1,79	2,23	2,68	3,13	3,57	4,02
G-02	0,52	1,03	1,55	2,06	2,58	3,10	3,61	4,13	4,64
G-03	0,63	1,26	1,89	2,53	3,16	3,79	4,42	5,05	5,68
G-04	0,21	0,41	0,62	0,83	1,04	1,24	1,45	1,66	1,86
G-05	0,38	0,75	1,13	1,51	1,88	2,26	2,64	3,01	3,39
G-06	0,28	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,27	2,55
G-07	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,41	1,61	1,81
G-08	0,34	0,68	1,01	1,35	1,69	2,03	2,36	2,70	3,04

Fonte: Do autor (2022).

Novamente, utilizando a Tabela 6 - Recomendação para especificação dos blocos - ABNT NBR 16868-1: 2020(recomendação da ABNT NBR 16868-1: 2020) e considerando-se o grupo mais solicitado por pavimento (neste caso, o grupo 03), chega-se à especificação da resistência dos blocos (f_{bk}) para o modelo de grupos isolados com a utilização de lajes pré-moldadas armadas em uma direção, conforme a Tabela 24.

Tabela 24 - Resistência necessária por pavimento para o grupo mais solicitado – lajes pré-moldadas.

Pavimento	f_{pk} necessário (MPa)	f_{pk} adotado (MPa)	f_{bk} adotado (MPa)
Térreo	5,68	6,00	8,00
1°	5,05	6,00	8,00
2°	4,42	4,50	6,00
3°	3,79	4,50	6,00
4°	3,16	3,20	4,00
5°	2,53	3,20	4,00
6°	1,89	2,40	3,00
7°	1,26	2,40	3,00
8°	0,63	2,40	3,00

Fonte: Do autor (2022)

Após a especificação dos blocos para os dois modelos e para os diferentes tipos de lajes, é possível realizar uma comparação entre as combinações de modelos e lajes, como é apresentado na Tabela 25.

Tabela 25 - Especificação dos blocos por pavimento e para cada caso, em MPa.

Pavimento	Modelo de distribuição de ações			
	Paredes isoladas		Grupos de paredes isolados	
	Lajes Maciças	Lajes pré-moldadas	Lajes Maciças	Lajes pré-moldadas
Térreo	28,00	53,14	8,00	8,00
1º	24,00	47,24	6,00	8,00
2º	18,00	41,34	6,00	6,00
3º	14,00	35,42	6,00	6,00
4º	12,00	29,52	4,00	4,00
5º	10,00	22,00	4,00	4,00
6º	8,00	14,00	3,00	3,00
7º	6,00	8,00	3,00	3,00
8º	3,00	4,00	3,00	3,00

Fonte: Do autor (2022).

De um modo geral, percebe-se a inviabilidade da utilização do método de paredes isoladas para um edifício com as disposições arquitetônicas e modulação como o apresentado neste trabalho, requerendo blocos com resistência de até 53 MPa (considerando o pavimento térreo e utilizando lajes pré-moldadas). Ainda sobre o modelo de paredes isoladas, ressalta-se o caso singular da parede PY-10, a qual foi responsável pela necessidade de blocos com altas resistências. Ademais, é notável a redução da resistência necessária quando o dimensionamento foi realizado pelo método de grupos isolados. A utilização de tipos de lajes diferentes não resultou em grandes variações, alterando apenas o 2º pavimento (6,0 MPa para lajes maciças e 8,0 MPa para lajes pré-moldadas).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo analisar e comparar os métodos de distribuição das ações verticais (paredes isoladas e grupos isolados de paredes), bem como a utilização de lajes maciças e pré-moldadas, avaliando o impacto dessas variáveis na especificação dos blocos (resistência à compressão necessária para os blocos de concreto).

Analisando-se os modelos de distribuição, a diferença entre a resistência necessária para os blocos, independentemente do tipo de laje utilizada, é considerável, uma vez que o método de paredes isoladas traz consigo situações críticas, principalmente em paredes curtas, que apresentam uma razoável área de influência nas lajes. Vale ressaltar, ainda, que este método é, de certa forma, teórico, visto que na prática as paredes seriam executadas com amarrações, o que provoca, inevitavelmente, a interação entre elas. Sendo assim, conclui-se que o método de paredes isoladas não é recomendável para edifícios de maior porte, sendo usual apenas em edificações pequenas, como casas térreas.

Por outro lado, o modelo de grupos isolados, o qual considera a distribuição das cargas entre as paredes que compõem o grupo, apresentou resultados mais condizentes com a realidade dos projetos em alvenaria estrutural para blocos de concreto (admitindo um somatório médio de 1 MPa por pavimento, ou seja, em um edifício de 8 pavimentos, espera-se uma resistência à compressão necessária de 8 MPa na base do edifício). Além disso, é perceptível como os grupos se aproximaram quanto às solicitações utilizando lajes maciças, evidenciando a uniformização dos carregamentos por todas as paredes e grupos que fazem parte do sistema estrutural.

Com relação ao tipo de laje, tendo como base o modelo de grupos isolados de paredes, a variação entre as lajes maciças e pré-moldadas não implicou em significativas mudanças na especificação dos blocos. No caso do modelo de paredes isoladas o aumento foi de fato significativo, visto que a parede PY-10, além do seu baixo comprimento, realizou a função de apoio para uma das lajes mais solicitadas do edifício, o que provocou um aumento considerável quando utilizado lajes pré-moldadas.

Em suma, as principais conclusões obtidas na realização do trabalho foram:

- O modelo de paredes isoladas certamente é inviável para edifícios de múltiplos pavimentos;
- A utilização de lajes pré-moldadas ou maciças, considerando-se o modelo de distribuição ‘paredes isoladas’, pode acarretar em altas resistências necessárias principalmente em paredes curtas;

- O modelo de distribuição de grupos isolados proporciona uma maior uniformização das cargas, gerando uma redução de até 3,5 vezes na resistência necessária para os blocos do térreo quando comparado ao modelo de paredes isoladas;
- A utilização de lajes maciças ou pré-moldadas para o modelo ‘grupo de paredes isoladas’ não representou um ponto crítico na especificação dos blocos. Sendo assim, a escolha do tipo de laje se dará por questões econômicas e regionais e não pela diferença de solicitação na estrutura.

Por fim, como sugestão para possíveis trabalhos futuros, pode-se analisar outros modelos de distribuição, como o ‘grupo de paredes com interação’ e o método computacional por elementos finitos. Além disso, um estudo econômico além da especificação dos blocos também seria um ponto relevante para aprofundamento, visando conhecer os métodos mais econômicos para o dimensionamento à compressão simples.

REFERÊNCIAS

- ACCETTI, K. M. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria**. São Carlos. 247 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-1: Alvenaria estrutural – Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-1: Alvenaria estrutural – Parte 2: Execução e controle de obras**. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-1: Alvenaria estrutural – Parte 3: Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.
- BASTOS, P. S. **Lajes de concreto**. 113 f. - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2021.
- BORJA, E. V. **Construções em concreto armado**. Notas de aula. Instituto Federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- CAPUZZO NETO, V. **Estudo teórico e experimentação da interação de paredes de alvenaria estrutural submetida a ações verticais**. São Carlos. 111p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
- CARVALHO, R. C., FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado - Segundo a NBR 6118:2014**. 4ed. ed. São Carlos, SP: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2014. v. 01. 415p.
- MOHAMAD, G. **Construções em Alvenaria Estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2005.
- PARSEKIAN, G. A., Hamid, A. A., Drysdale, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. 2ª Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.
- PARSEKIAN, G. A., **Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto**. São Carlos: EdUFSCar, 2012.
- PRUDÊNCIO Jr., L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria Estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002.

RAMALHO, M. A. CORRÊA, M. R. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2003.

SILVA, W. J. **Estudo experimental de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos de blocos cerâmicos sujeitas a ações verticais**. Ilha Solteira. 160p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2003.