



AMADOR INÁCIO MOREIRA

**CONCEPÇÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM
ALVENARIA ESTRUTURAL: ANÁLISE DA COMPRESSÃO
SIMPLES**

**LAVRAS - MG
2022**

AMADOR INÁCIO MOREIRA

**CONCEPÇÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM ALVENARIA
ESTRUTURAL: ANÁLISE DA COMPRESSÃO SIMPLES**

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

Prof. Dr. Rafael Santos de Moraes
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

AMADOR INÁCIO MOREIRA

**CONCEPÇÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM ALVENARIA
ESTRUTURAL: ANÁLISE DA COMPRESSÃO SIMPLES**

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

APROVADA em 12 de setembro de 2022.

Prof. Dr. Lucas Henrique Pedrozo Abreu (UFLA)
Prof. Dr. Maykmiller Carvalho Rodrigues (UFLA)
Prof. Dr. Rafael Santos de Moraes (UFLA)

RAFAEL SANTOS DE MORAES

Prof. Dr. Rafael Santos de Moraes
Orientador

**LAVRAS - MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela dádiva da vida e por estar ao meu lado a todo momento.

Aos meus pais, Sérgio e Rozimar, pelo apoio incondicional e todo o incentivo durante a minha graduação.

Aos meus avós, tios, primos por toda a força e estímulo durante a graduação.

A todos os colegas e amigos que estiveram ao meu lado durante a graduação e que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação.

À Universidade Federal de Lavras, por toda a infraestrutura oferecida, em especial à Escola de Engenharia.

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

A todo o corpo docente do curso de Engenharia Civil.

RESUMO

A construção civil tem se mostrado bastante aquecida no Brasil, porém, o déficit habitacional no país ainda apresenta valores elevados. Além disso, o número de habitações que apresentam algum tipo de inadequação, seja de característica urbanas, de infraestrutura ou fundiárias é ainda maior. Sendo assim, o presente estudo tem por objetivo a elaboração do projeto de uma habitação unifamiliar para população de baixa renda, modular e concebido em alvenaria estrutural, uma vez que esse sistema construtivo, se empregado da maneira correta e bem planejada, pode levar a uma redução do custo e no tempo de execução da obra. Dessa forma, a partir do projeto proposto, após quantificadas as ações verticais atuantes, foi possível realizar o dimensionamento à compressão simples utilizando os modelos de distribuição de paredes isoladas e grupos isolados de paredes, culminando nas resistências necessárias dos blocos para os modelos propostos. Ao fim do processo foi possível concluir que, para a edificação analisada, os resultados obtidos para a resistência de prisma adotada, assim como os valores de resistência dos blocos, foram os mesmos para ambos os modelos propostos, embora tenham apresentado variações quanto aos valores de resistência de prisma requeridos, os quais foram superiores para o modelo de paredes isoladas.

Palavras-chave: Modelos de distribuição das ações verticais. Projeto arquitetônico. Modulação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.....	11
Figura 2 – Edifício Monadnock.....	14
Figura 3 – Conjunto habitacional Central Parque da Lapa construído em 1966.....	15
Figura 4 – Conjunto habitacional Central Parque da Lapa construído em 1972.....	15
Figura 5 – Blocos estruturais: (a) cerâmico e (b) concreto.....	16
Figura 6 – Tipos de blocos cerâmicos.	17
Figura 7 – Representação da modulação da primeira fiada.....	19
Figura 8 – Representação da modulação da segunda fiada.	19
Figura 9 – Exemplo de elevação de um grupo de paredes.	20
Figura 10 – Área de influência da laje para as paredes.	22
Figura 11 – Exemplo para grupos isolados de paredes.	23
Figura 12 – Área de influência da laje considerando grupos isolados de paredes.	23
Figura 13 – Exemplo de macrogrupo de paredes	25
Figura 14 – Laje treliçada.....	26
Figura 15 – Esquema para determinação das reações de apoio.....	27
Figura 16 – Modulação da primeira fiada.	34
Figura 17 – Modulação da segunda fiada.....	35
Figura 18 – Elevação.	36
Figura 19 – Amarração T.....	36
Figura 20 – Paredes estruturais.....	38
Figura 21 – Grupos de paredes.....	40
Figura 22 – Planta de forma das lajes.....	42
Figura 23 – Áreas de influência.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões nominais de blocos cerâmicos estruturais.....	18
Tabela 2 – Valores de γ_m	28
Tabela 3 – Recomendação para especificação dos materiais da alvenaria estrutural.....	32
Tabela 4 – Comprimento das paredes e dos grupos.	41
Tabela 5 – Áreas de influência das lajes sobre as paredes.	45
Tabela 6 – Cargas provenientes da cobertura.	46
Tabela 7 – Carga proveniente do reservatório de água.	46
Tabela 8 – Carga das paredes estruturais.....	47
Tabela 9 – Peso próprio das lajes	47
Tabela 10 – Resultados para as cargas de acordo com o modelo de paredes isoladas.	48
Tabela 11 – f_{pk} necessário de acordo com o modelo de paredes isoladas.....	50
Tabela 12 – Resistência dos blocos (f_{bk}) de acordo com o modelo de paredes isoladas.....	51
Tabela 13 – Cargas nos grupos isolados de paredes.....	52
Tabela 14 – f_{pk} necessário para grupos isolados de paredes.	52
Tabela 15 – Resistência dos blocos (f_{bk}) de acordo com o modelo de grupos isolados de paredes.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Metodologia	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Alvenaria Estrutural	13
2.2	Blocos	16
2.2.1	Blocos cerâmicos.....	17
2.3	Modulação.....	18
2.4	Ações.....	20
2.5	Modelos de distribuição das ações verticais	21
2.5.1	Paredes isoladas.....	21
2.5.2	Grupos isolados de paredes	22
2.5.3	Grupos de paredes com interação	24
2.5.4	Análise por elementos finitos	25
2.6	Lajes.....	26
2.6.1	Lajes pré-moldadas.....	26
2.7	Dimensionamento.....	27
2.7.1	Parâmetros para o dimensionamento	28
2.7.2	Dimensionamento à compressão simples	30
3	DESENVOLVIMENTO.....	33
3.1	Projeto arquitetônico	33
3.2	Modulação.....	33
3.3	Definição das paredes estruturais e dos grupos isolados.....	37
3.4	Lajes pré-moldadas.....	41
3.5	Ações verticais	45
3.5.1	Telhado.....	45
3.5.2	Caixa d'água.....	46
3.5.2	Peso próprio da parede	46
3.5.3	Peso próprio da laje	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	Paredes isoladas.....	48
4.1	Grupos isolados de paredes	52
5	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	APÊNDICE A	57

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o mercado imobiliário brasileiro tem se apresentado bastante aquecido, mesmo com o cenário da pandemia do Coronavírus e com a alta da taxa Selic, fechando o ano de 2021 em 9,25% ao ano, e atingindo a marca de 13,75% ao ano em agosto de 2022, sendo este o maior valor registrado desde 2017.

Em 2021 o mercado fechou com bom desempenho, com previsões otimistas também para o ano de 2022, apresentando crescimento nas vendas de imóveis, financiamento e crédito imobiliário, além do lançamento de novos empreendimentos por todo o país e do aumento na procura por imóveis para aluguel.

Por outro lado, apesar de os dados demonstrarem a alta do mercado imobiliário no Brasil, de acordo com estudo realizado pela Fundação João Pinheiro (2021), o déficit habitacional do país ainda é de 5,8 milhões de moradias. Além disso, cerca de outras 24,8 milhões das moradias apresentam algum tipo de inadequação, seja de características de infraestrutura urbana, edificações ou fundiárias.

Nesse contexto, destaca-se a importância de um crescimento racional, visto que ocupações irregulares têm se tornado um problema muito comum nos dias atuais, trazendo reflexos tanto em áreas ambientais quanto urbanísticas, além dos problemas sociais relacionados à segurança pública.

De acordo com o Art. 6º da redação da Emenda Constitucional nº 90 de 2015 da Constituição da República (1988), todo cidadão brasileiro tem direito à moradia, porém, para que esse direito seja exercido de forma plena e digna, é fundamental que sejam observados requisitos mínimos sociais, ambientais, econômicos e urbanísticos.

Como alternativa para reduzir o déficit habitacional no país são implementados os programas habitacionais do governo, voltados principalmente para as populações de baixa renda, com a premissa de proporcionarem financiamento facilitado para diferentes faixas da população, com menores taxas de juros e subsídios.

Dessa forma, é importante o uso de sistemas construtivos mais econômicos e eficientes, além da elaboração de um orçamento bem planejado, evitando falhas e a necessidade de retrabalhos. No entanto, isso não implica em uma habitação com qualidade inferior, afinal, as construtoras devem seguir e obedecer às normas de desempenho e habitabilidade, como a ABNT NBR 15575:2013 - Norma de Desempenho. Um outro fator diretamente ligado ao menor custo final da habitação é o tempo de execução, sendo que a demora para a finalização da obra

pode afetar no seu preço final, uma vez que é necessário desembolsar mais recursos para a mão de obra.

Tendo em vista a necessidade da redução de custos nas habitações, o uso do sistema construtivo em alvenaria estrutural, se empregado de maneira correta e bem planejada, pode ser um bom aliado, uma vez que reduz o consumo de matérias-primas com maior valor agregado, como o aço, o concreto e formas.

De acordo com o trabalho desenvolvido por Silva Júnior (2018), houve uma redução de 27% dos custos de um projeto de pequeno porte executado em alvenaria estrutural em comparação com o mesmo projeto executado em concreto armado, além de também ser responsável por diminuir o tempo de execução da obra, uma vez que esse tipo de construção é mais rápida.

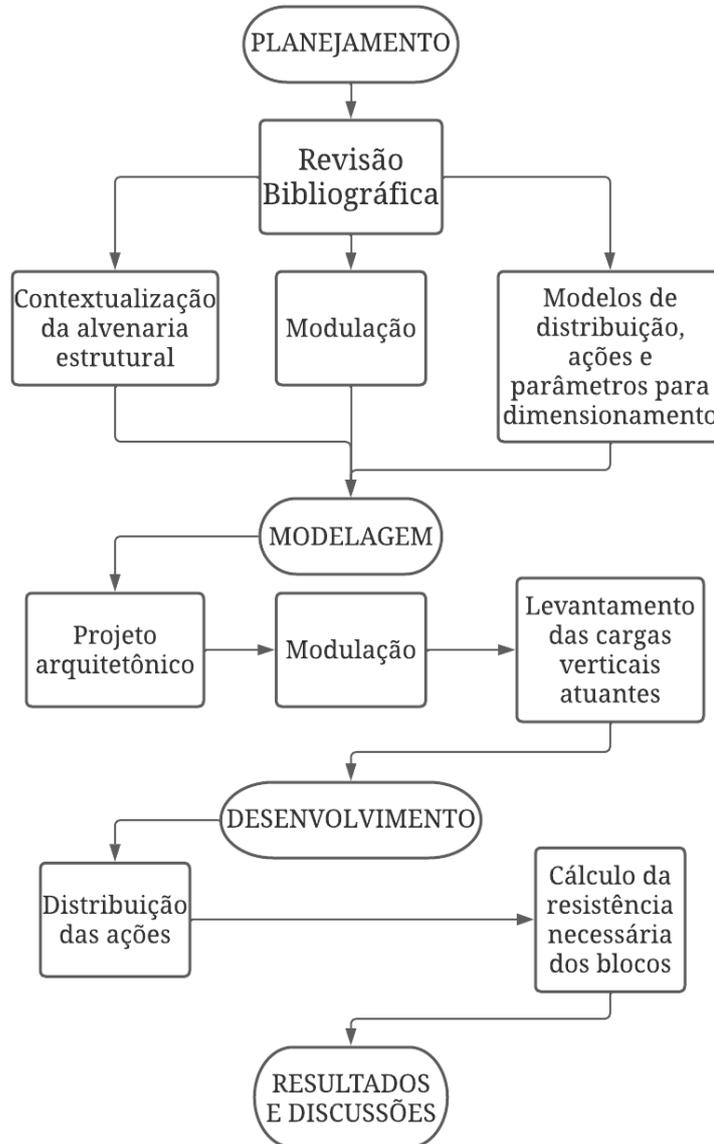
Nesse sentido, e considerando o cenário atual do mercado brasileiro, a alvenaria estrutural, se empregada nas habitações propostas para programas habitacionais, pode se tornar uma boa aliada nas obras proporcionando um bom desempenho, redução de custos e uma alternativa mais viável para famílias de baixa renda viverem com dignidade, segurança e conforto.

Sendo assim, este trabalho tem o objetivo elaborar um projeto arquitetônico de uma habitação unifamiliar que se enquadre nos parâmetros das habitações de interesse social e seja concebida em alvenaria estrutural, com blocos cerâmicos da família 14 x 29cm e com lajes pré-moldadas, culminando com a especificação da resistência dos blocos para os modelos de paredes isoladas e grupos isolados de paredes.

1.1 Metodologia

A fim de se atingir o objetivo do trabalho, a metodologia foi dividida em quatro etapas: planejamento, modelagem, desenvolvimento e resultados e discussões, conforme ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.



Fonte: Do autor (2022).

- **Planejamento:** Nesta etapa foram realizadas pesquisas e revisões sobre o tema abordado, a fim de se familiarizar com os termos e aprofundar nos conteúdos necessários para a elaboração do trabalho. Para isso foram utilizados livros, teses, dissertações dentre outros estudos sobre alvenaria estrutural;
- **Modelagem:** Nesta etapa definiu-se a arquitetura e a modulação do projeto, considerando-se blocos cerâmicos (14 x 29cm), além do levantamento das ações verticais atuantes na edificação;
- **Desenvolvimento:** Etapa em que foram realizadas as distribuições das ações quantificadas na etapa anterior do projeto considerando os modelos de paredes isoladas e grupos de paredes isoladas. Por fim, especificam-se as resistências necessárias para os blocos estruturais;
- **Resultados e Discussões:** Na quarta e última etapa são apresentados e discutidos os resultados obtidos para os modelos propostos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor contextualização do tema proposto, neste capítulo serão apresentados os termos e conceitos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Alvenaria Estrutural

Com origem datada da pré-história, a alvenaria pode ser considerada um dos sistemas construtivos mais antigos da humanidade, contando com obras com mais de 10 mil anos. Já no império Romano foram observados avanços nesse sistema, com o início do emprego de tijolos de barro cozido, o que de acordo com Brock (1994) provavelmente se deu pela percepção de que os tijolos que ficavam próximos ao fogo eram mais duráveis.

Ainda que as construções de alvenaria datem de milhares de anos e que vários desses exemplos a utilizavam como estrutura, o sistema construtivo em alvenaria estrutural é bem mais recente, com aproximadamente 70 a 80 anos.

Dessa forma, Moraes (2012) define a alvenaria estrutural como sendo um sistema construtivo, concebido por meio de cálculos racionais e com segurança pré-estabelecida, no qual as paredes constituídas por componentes estruturais desempenham tanto a função de vedação dos espaços como se constituem na própria estrutura, sendo capaz de resistir a uma combinação de solicitações.

De acordo com Richter (2007), a partir do século XVII passou-se a aplicar princípios estatísticos para a investigação da estabilidade em arcos e domos, e somente no século XIX passou-se a estudar a alvenaria estrutural por meio de testes de resistência dos elementos. Apesar disso, ainda se elaboravam os projetos de alvenaria estrutural a partir de métodos empíricos.

No final do século XIX os edifícios em alvenaria estrutural já se encontravam em um patamar bastante desenvolvido, principalmente nos Estados Unidos e na Europa, sendo um marco a construção do Edifício Monadnock, em Chicago, com 17 pavimentos e paredes com 1,80 metros de espessura de tijolos cerâmicos. A Figura 2 ilustra esse edifício.

Porém, a partir dessa época, a alvenaria estrutural começou a perder espaço com o surgimento das estruturas em aço, concreto armado e concreto protendido. Para Calçada (1998), isso se deu devido à grande perda de espaço na edificação gerada pelas grandes espessuras das paredes, fato que desencorajava o emprego do sistema.

Figura 2 – Edifício Monadnock.

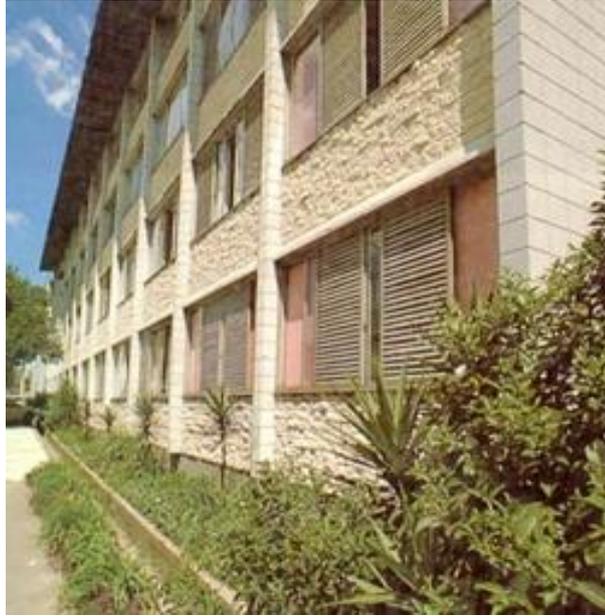


Fonte: <https://www.istockphoto.com>.

Como citado por Prudêncio Junior (2002) em seu livro “Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto”, somente por volta dos anos de 1950 começaram a surgir os primeiros códigos e normas para o cálculo de estruturas em alvenaria estrutural na Europa e na América do Norte. A partir daí as estruturas passaram a ser concebidas por meio de cálculos racionais e não mais por métodos empíricos e experimentais como eram feitas anteriormente.

No Brasil, o estado de São Paulo aparece como um dos pioneiros na construção empregando o sistema construtivo de alvenaria estrutural, com o conjunto habitacional “Central Parque da Lapa” construído em 1966, com 4 pavimentos, conforme a Figura 3. Posteriormente a construção desse conjunto, foram construídos utilizando o mesmo sistema mais 4 blocos com 16 pavimentos, em 1972, conforme a Figura 4.

Figura 3 – Conjunto habitacional Central Parque da Lapa construído em 1966.



Fonte: comunidade-da-construcao.com.br.

Figura 4 – Conjunto habitacional Central Parque da Lapa construído em 1972.



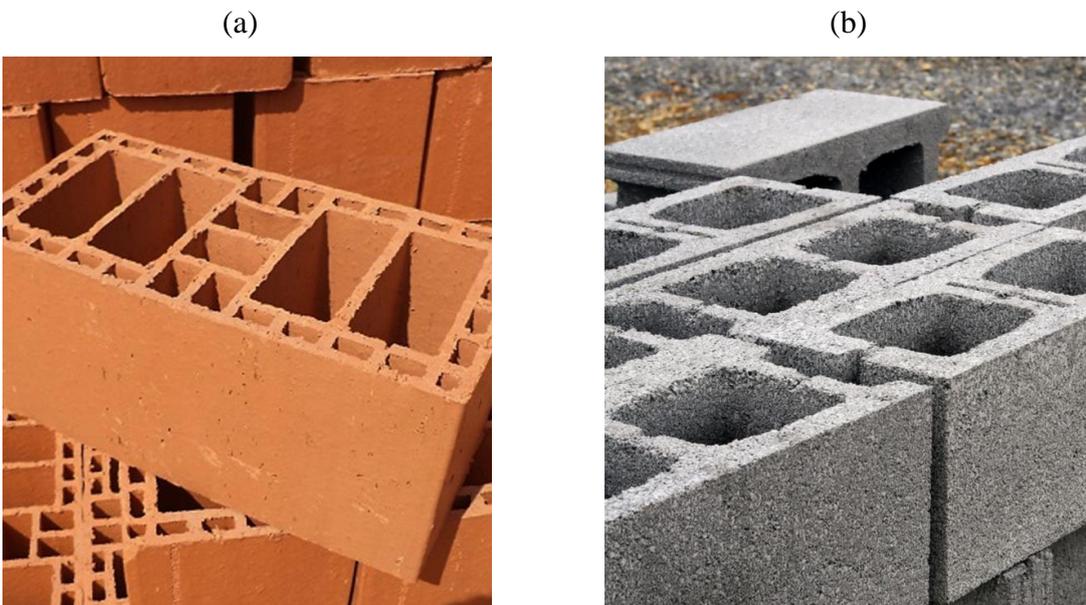
Fonte: www.vivadecora.com.br.

2.2 Blocos

Os blocos estruturais são os principais componentes de uma estrutura em alvenaria estrutural. São eles os responsáveis pela modulação do projeto, isto é, todas as dimensões são dependentes dos tamanhos dos blocos utilizados, o que evita cortes nos blocos, fato este que implicaria na perda da racionalização do sistema.

Os blocos estruturais podem ser fabricados utilizando diferentes tipos de materiais, porém, no Brasil, como citado por Ramalho e Corrêa (2003), os tipos de blocos mais utilizados são os blocos de concreto, os cerâmicos e os sílico-calcáreos. Os blocos também podem apresentar variações quanto às suas seções, podendo ser vazados ou maciços, fator este que pode influenciar diretamente nos resultados, uma vez que as tensões calculadas podem ser obtidas em função da área bruta, desconsiderado os vazios, ou através da área líquida, na qual é subtraída a área dos vazios. Na Figura 5 são apresentados os blocos cerâmicos e blocos de concreto.

Figura 5 – Blocos estruturais: (a) cerâmico e (b) concreto.



Fonte: www.ceramicaconstrular.com.br.

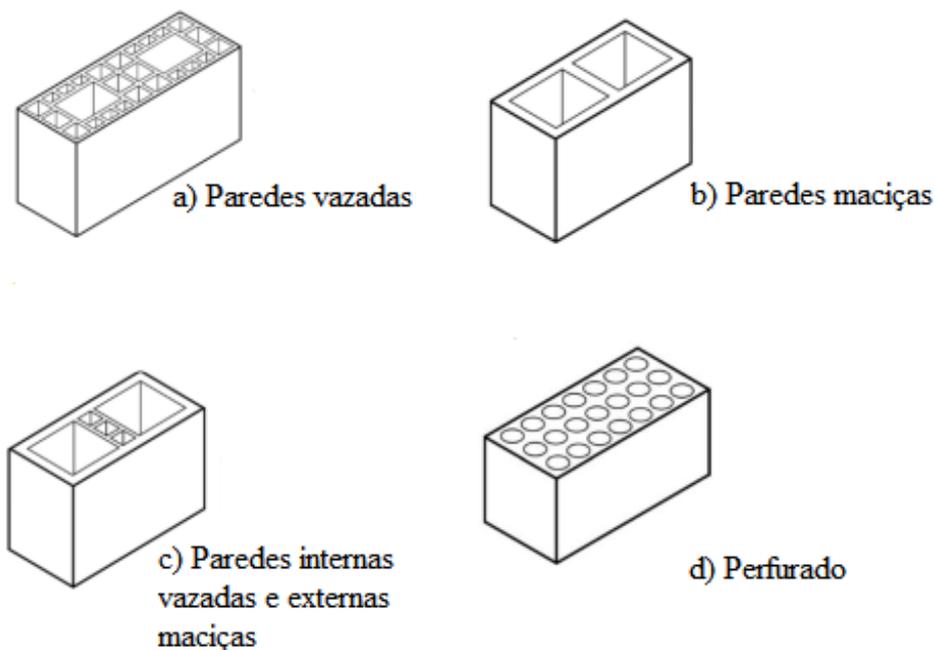
2.2.1 Blocos cerâmicos

De acordo com Parsekian (2014), no Brasil, os tijolos e blocos cerâmicos foram os mais utilizados historicamente devido ao seu fácil acesso, uma vez que existem diversas jazidas de argila em diferentes regiões. Além disso, o seu histórico de durabilidade e a boa aparência, somadas com a baixa manutenção, contribuem para a viabilidade econômica fazendo com que este ainda seja amplamente utilizado tanto em alvenarias de vedação quanto estruturais.

Os blocos cerâmicos são divididos quanto a sua aplicação, “vedação” ou “estruturais”, e diferem em vários requisitos, em especial a resistência. A ABNT NBR 15270-1:2017 – Componentes Cerâmicos-Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos, trata das especificações destes componentes.

De acordo com a norma ABNT NBR 15270:2017, os blocos cerâmicos estruturais são classificados como: de paredes vazadas, de paredes maciças ou perfurados, podendo ainda apresentar paredes externas maciças e internas vazadas conforme a Figura 6. Os blocos de alvenaria estrutural devem apresentar resistência mínima à compressão de 4MPa podendo chegar à 20MPa.

Figura 6 – Tipos de blocos cerâmicos.



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

Além das formas, os blocos também variam conforme suas dimensões de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões nominais de blocos cerâmicos estruturais.

Dimensões modulares L x H x C Módulo dimensional M = 10cm	Dimensões nominais (cm)					
	Largura L	Altura H	Comprimento C			
			Bloco principal	1/2 Bloco	Bloco L	Bloco T
M x (5/4)M x (5/2)M	9	11,5	24	11,5	-	34
M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	34
M x (2)M x (3)M			29	14	24	39
M x (2)M x (4)M			39	19	29	49
			59	29	-	-
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M			39	19	31,5	51,5
			59	29	-	-
(3/2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
			59	29	-	-
(2)M x (2)M x (3)M	19	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M			39	19	-	59
			59	29	-	-

Fonte: ABNT NBR 15270:2017.

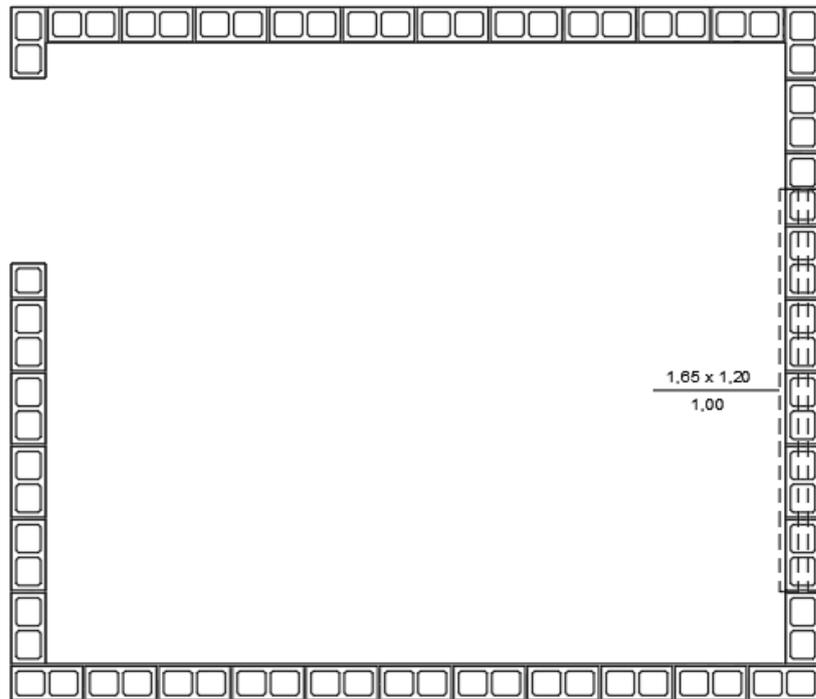
2.3 Modulação

Como citado anteriormente, para edificações projetadas para alvenaria estrutural, as dimensões dos ambientes devem ser múltiplas das dimensões dos blocos utilizados para se evitar a necessidade de cortes nos blocos. Ou seja, as dimensões devem ser modulares.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), a modulação da edificação é extremamente importante para garantir que a obra seja econômica e viável. Caso a modulação não venha a ocorrer, serão necessários enchimentos devido ao fato dos blocos não poderem ser cortados, o que eleva o custo da obra e diminui a racionalidade da mesma.

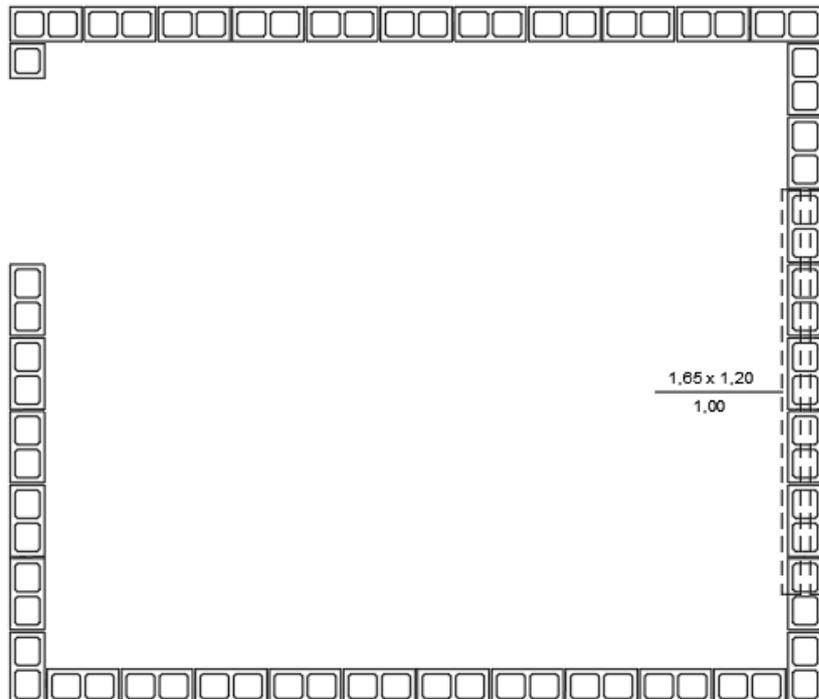
Para a modulação se faz necessário o conhecimento das famílias de blocos disponíveis comercialmente. As Figuras 7 e 8 representam um exemplo de modulação da primeira e segunda fiadas de um grupo de paredes, assim como a Figura 9 representa a elevação das paredes.

Figura 7 – Representação da modulação da primeira fiada.



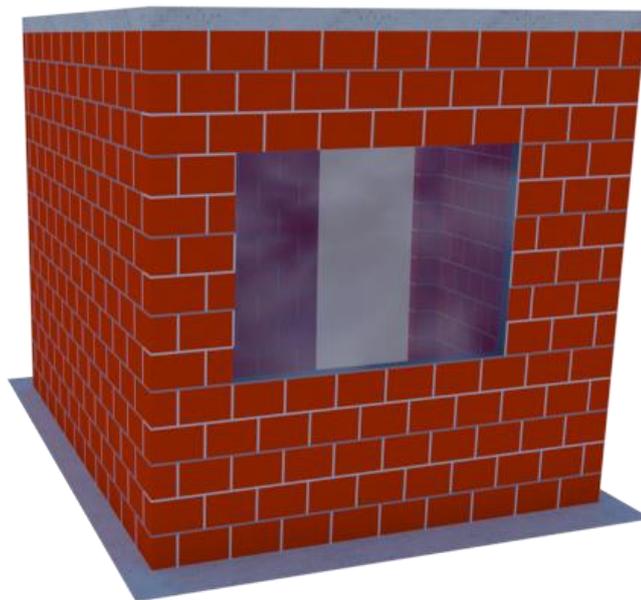
Fonte: Do autor (2022).

Figura 8 – Representação da modulação da segunda fiada.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 9 – Exemplo de elevação de um grupo de paredes.



Fonte: Do autor (2022).

2.4 Ações

De acordo com a ABNT NBR 8681:2004 – Ações e segurança nas estruturas, as ações são definidas como causas que geram esforços ou deformações nas estruturas. A norma ainda classifica as ações quanto a sua variabilidade no tempo como:

- 1) Ações permanentes: são aquelas que ocorrem com valores constantes ou com pequena variação ao longo do tempo, podendo ser divididas em diretas ou indiretas.
 - a) Ações permanentes diretas: peso próprio da estrutura e de todos os elementos da construção, peso de equipamentos fixos, os empuxos devido ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes aplicadas;
 - b) Ações permanentes indiretas: protensão, recalques de apoio e retração dos materiais.
- 2) Ações variáveis: são ações que sofrem variações significativas ao longo do tempo, como as cargas acidentais nas edificações, os efeitos das forças de frenagem, de impacto e centrífugas, efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito, pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas. Podem ser divididas em normais ou especiais.
 - a) Ações variáveis normais: são as que possuem probabilidade de ocorrência suficientemente grande para serem obrigatoriamente consideradas em projeto;
 - b) Ações variáveis especiais: em estruturas nas quais devem ser consideradas certas ações especiais, tais como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou intensidade especiais, estas devem ser consideradas também como ações variáveis.

- 3) Ações excepcionais: são as que possuem o tempo de duração extremamente curto e baixa probabilidade de ocorrência ao longo do tempo. Decorrem de explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

Para o presente estudo as ações serão determinadas a partir da ABNT NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas e edificações.

2.5 Modelos de distribuição das ações verticais

O primeiro passo para o dimensionamento de uma estrutura concebida em alvenaria estrutural, assim como para as estruturas em concreto armado, é a quantificação das ações verticais atuantes na estrutura. Posteriormente são definidos os caminhos das cargas até que cheguem nas fundações e sejam transmitidas para o solo. Tal processo é denominado como distribuição das ações.

Para alvenaria estrutural, de acordo com Ramalho e Corrêa (2003), os modelos experimentais mais indicados para a distribuições de cargas verticais são os de paredes isoladas e grupos isolados de paredes, os quais serão utilizados para o dimensionamento proposto, além dos modelos de grupos de paredes com interação e a modelagem tridimensional em elementos finitos.

2.5.1 Paredes isoladas

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), este procedimento considera cada parede como sendo um elemento independente, ou seja, desconsidera qualquer interação das mesmas com os demais elementos da estrutura.

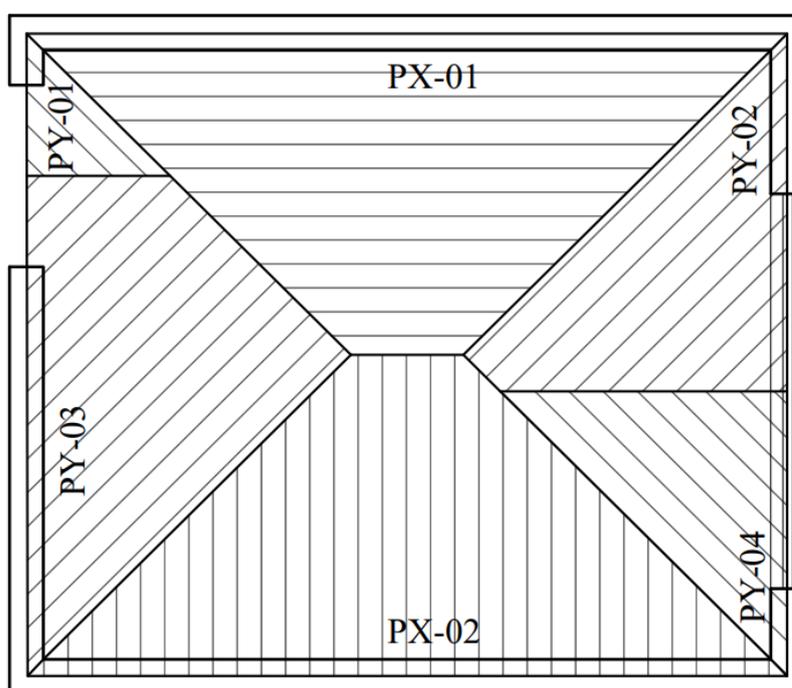
Além de simples, este modelo também se mostra muito seguro para as paredes, pois, na ausência da uniformização das cargas, as resistências determinadas para os blocos sempre resultarão mais elevadas caso a uniformização fosse considerada. Por outro lado, essa segurança vai contra a economia, uma vez que blocos mais resistentes possuem maior custo.

Outro fator negativo para este modelo é que considerar as paredes isoladas não é condizente com o que de fato ocorre na estrutura, uma vez que fatores como a amarração entre as paredes resultam na interação entre elas.

Sendo assim as paredes trabalham de forma conjunta na edificação e, portanto, este é um modelo mais indicado para edifícios onde a altura é relativamente pequena, pois, dessa forma seus efeitos negativos serão menos perceptíveis.

Neste modelo, para se obter as cargas em uma determinada parede basta somar o peso próprio da parede estudada e as cargas provenientes dos pavimentos que estão acima do nível considerado. A Figura 10 representa um exemplo para distribuição de cargas por meio das áreas de influências de cada parede em relação à laje.

Figura 10 – Área de influência da laje para as paredes.



Fonte: Do autor (2022).

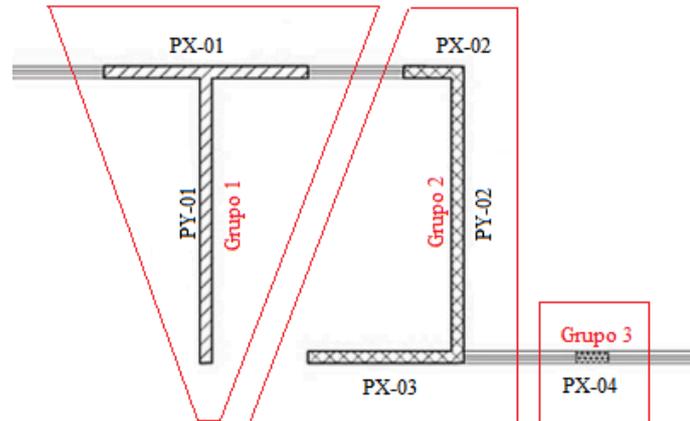
2.5.2 Grupos isolados de paredes

Este modelo propõe a divisão da estrutura em subestruturas, chamadas de grupos de paredes. Os grupos são formados por conjuntos de paredes que são solidárias, ou seja, paredes que interagem entre si. Normalmente os grupos são delimitados pela presença de aberturas, portas e janelas.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), as cargas nesse modelo são consideradas totalmente uniformizadas nos grupos, porém, nas aberturas as forças de interação são desconsideradas. Sendo assim, os grupos de paredes trabalham isoladamente uns dos outros.

Como definido anteriormente, os grupos são compostos pelas paredes solidárias e separados pela presença de aberturas. Dessa forma, na Figura 11, o Grupo 1 é formado pelas paredes PX-01 e PX-02, já o Grupo 2 é constituído pelas paredes PX-02, PX-03 e PY-02 e, por fim, o Grupo 3 é constituído pela parede P3.

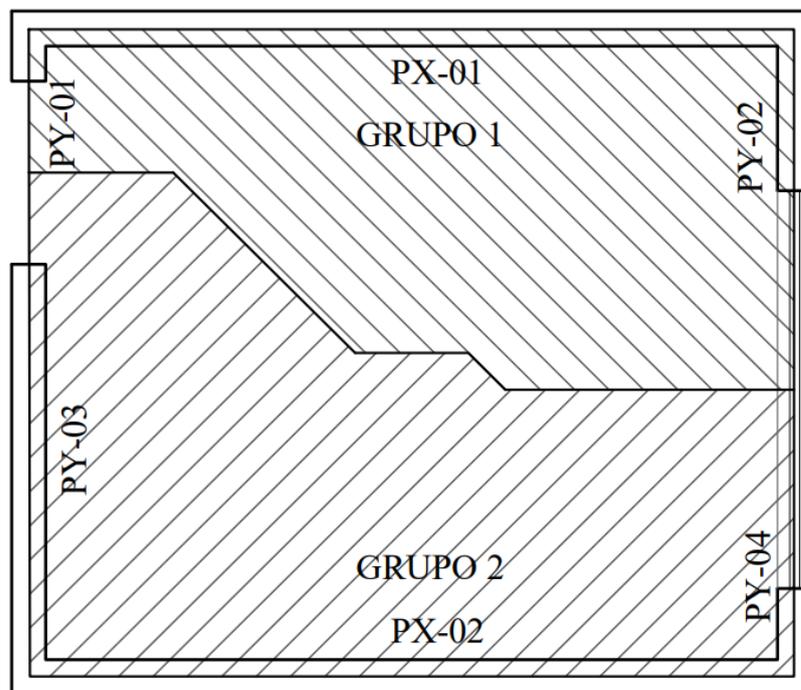
Figura 11 – Exemplo para grupos isolados de paredes.



Fonte: Adaptada Ramalho e Corrêa (2003).

Assim como no modelo apresentado anteriormente, as ações atuantes nos grupos são obtidas por meio do traçado de triângulos e trapézios, os quais representam as linhas de ruptura das lajes de concreto. A Figura 12 representa a aplicação do modelo de grupos isolados de paredes para o exemplo apresentado na Figura 10.

Figura 12 – Área de influência da laje considerando grupos isolados de paredes.



Fonte: Do autor (2022).

A uniformização das ações verticais se dá pela soma das ações distribuídas e concentradas atuantes em um grupo, redistribuídas uniformemente para as paredes que compõem o mesmo, sendo as ações atuantes nos trechos de aberturas transformadas em forças concentradas aplicadas nos grupos vizinhos.

Este modelo também é considerado simples e de fácil desenvolvimento, uma vez que após obtidas as cargas atuantes em determinado grupo basta redistribuí-las uniformemente para as paredes pertencentes ao grupo. Além disso, de acordo com Ramalho e Corrêa (2003), esse método é considerado seguro, principalmente por considerar as aberturas como os limites dos grupos. Outro fator importante a ser levado em consideração é o fato de que este modelo produz reações adequadas para a estrutura de apoio.

Ao contrário do modelo de paredes isoladas, este modelo não apresenta limitações quanto à altura da edificação, uma vez que produz resultados para a resistência dos blocos mais adequadas, o que também o torna mais viável economicamente.

2.5.3 Grupos de paredes com interação

Este modelo é bem mais trabalhoso que os dois citados anteriormente. No modelo de grupos de paredes com interação são consideradas também a existência de forças de interação sobre as aberturas, e não mais apenas em cantos e bordas como no modelo de grupos isolados de paredes.

Como citado por Ramalho e Corrêa (2003), para se determinar a interação entre os grupos não basta se limitar apenas na uniformização do carregamento, uma vez que isso implicaria basicamente em encontrar o carregamento vertical de um pavimento e dividí-lo pelo comprimento total das paredes, obtendo-se um carregamento médio comum para todos os elementos. Sendo assim, se faz necessário definir uma taxa de interação que representará o quanto da diferença de cargas entre os grupos de paredes que interagem entre si deve ser uniformizado em cada nível.

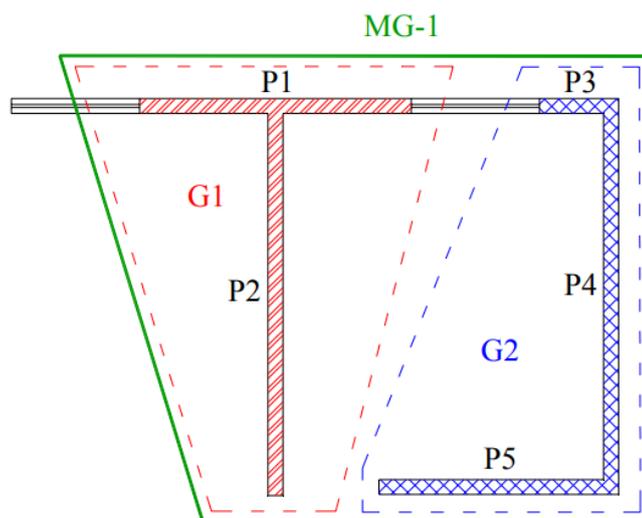
De acordo com Capuzzo Neto (2005), a interação entre diferentes grupos segundo uma taxa forma um macrogrupo. Essa taxa pode ser estimada mediante modelo teórico ou por procedimento experimental, e representa qual a diferença de carga entre os grupos que interagem deve ser uniformizada entre dois pavimentos sucessivos.

Uma taxa igual a zero representa a não transferência de ações entre os grupos, ou seja, os mesmos são considerados como grupos isolados. Por outro lado, uma taxa de 100% representa que há homogeneização de todas as ações.

De acordo com Capuzzo Neto (2000), neste modelo também 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.

A Figura 13 mostra um exemplo de macrogrupo (MG-1), sendo este composto pelos grupos G1 e G2.

Figura 13 – Exemplo de macrogrupo de paredes



Fonte: Capuzzo Neto (2005).

Esse modelo é mais trabalhoso que os mencionados anteriormente, sendo recomendado por autores a automatização dos processos por meio de planilhas eletrônicas. Além disso, esse método demanda experiência do projetista, visto que a divisão dos grupos, a taxa de interação e os grupos que interagem entre si são definidos pelo mesmo. O modelo se mostra confiável, seguro e ainda mais econômico que o modelo de grupos isolados de paredes.

2.5.4 Análise por elementos finitos

Este modelo trata de modelar-se a estrutura discretizada com elementos de membrana ou chapa, com as respectivas cargas aplicadas a cada pavimento. Sendo assim, a uniformização se dará através da compatibilização dos deslocamentos em cada nó.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), este modelo é bastante interessante, mas apresenta alguns inconvenientes, como dificuldades na montagem dos dados e na interpretação dos resultados, além da dificuldade da definição de elementos que possam representar a alvenaria estrutural. Sendo assim, afirma-se que este modelo ainda não é viável para projetos usuais, sendo necessárias ainda pesquisas adicionais, sobretudo com o desenvolvimento de elementos especiais para a simulação da alvenaria, para que essa possa realmente ser utilizada com eficiência e segurança.

2.6 Lajes

Em se tratando de alvenaria estrutural, as lajes apresentam um importante papel na edificação, sendo ela a responsável por uniformizar e transferir as cargas às paredes. As lajes são consideradas elementos planos bidimensionais, uma vez que, apresentam duas de suas dimensões consideravelmente maiores que uma terceira, nesse caso a espessura.

2.6.1 Lajes pré-moldadas

As lajes pré-moldadas, ou nervuradas, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – procedimento, podem ser moldadas in loco ou com nervuras pré-moldadas, sendo que a zona de tração para momentos positivos se localiza nas nervuras, entre as quais pode-se ou não adicionar material inerte, como o EPS ou lajotas cerâmicas.

Essa é uma solução interessante, uma vez que o concreto tracionado, o qual não desempenha papel efetivo na estrutura, é substituído por um material mais leve ou até por vazios, reduzindo-se consideravelmente o peso próprio do elemento. A Figura 14 ilustra uma laje pré-moldada do tipo treliçada com preenchimento de lajota cerâmica.

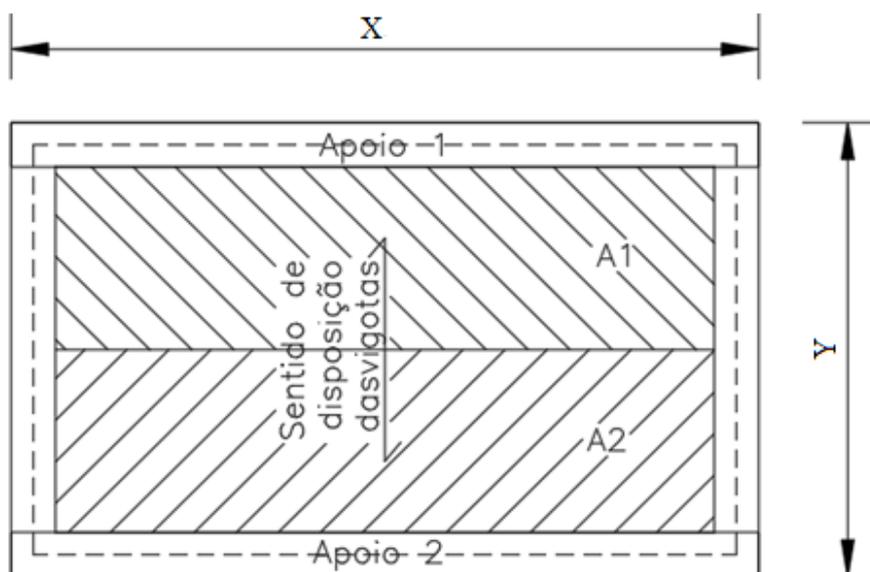
Figura 14 – Laje treliçada.



Fonte: www.leroymerlin.com.br.

As reações de apoio para lajes pré-moldadas, considerando-se vigotas dispostas em apenas uma direção, podem ser calculadas apenas multiplicando-se a carga distribuída sobre a laje pelo vão paralelo ao vão estudado, e por fim divide-se o valor obtido pelo número de apoios, neste caso 2. Isso ocorre, pois a charneira obtida por esse modelo se dá por uma linha perpendicular ao sentido da disposição das vigotas, como apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Esquema para determinação das reações de apoio



Fonte: Do autor (2022).

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014), uma parcela desse carregamento deve ser considerada nos apoios paralelos à direção da armação da laje. Os autores constataram por meio de análises experimentais que essa parcela de carregamento pode chegar a 25% da carga distribuída na laje, ou seja, 12,5% para cada apoio paralelo ao sentido da armação. Porém, para o presente estudo essas parcelas não são consideradas para cálculos, uma vez que as paredes com maior solicitação serão as que servem de apoio para a laje.

2.7 Dimensionamento

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), em se tratando da alvenaria estrutural, a compressão é o parâmetro de resistência mais importante, fato este que justifica a quantidade de trabalhos desenvolvidos a fim de quantificá-la.

Conforme os autores, a compressão simples, objetivo de análise do presente estudo, é a solicitação mais comum e simples a ser verificada, sendo as paredes e pilares (elementos cujo comprimento deve ser menor que cinco vezes a sua espessura) os elementos mais usuais para essa verificação.

2.7.1 Parâmetros para o dimensionamento

A resistência da alvenaria (f_k) à compressão simples é determinada com base no ensaio de paredes. Para alvenarias de blocos com 190mm de altura e junta de argamassa de 10mm, esse valor pode ser estimado a partir da resistência característica de compressão simples de prismas e pequenas paredes.

Sendo assim, apresentam-se as seguintes relações partir dos ensaios:

- $f_k = f_{par,k}$ - (Resistência característica de paredes, ensaio de no mínimo 3 paredes de 1,20 metros de largura e 2,60 metros de altura).
- $f_k = 0,85 \cdot f_{ppk}$ - (Resistência característica de pequenas paredes, obtida a partir do ensaio de no mínimo 6 pequenas paredes com 2 blocos de largura por 5 de altura, não inferior a 70cm, sendo que o número de fiadas ao longo de sua altura deve ser ímpar).
- $f_k = 0,70 \cdot f_{pk}$ - (Resistência característica de prismas, obtida a partir do ensaio de no mínimo 6 prismas, composto por 1 bloco de comprimento e 2 blocos de altura).
- $f_k = 0,60 \cdot f_{pk}$ - (Resistência característica de prismas de tijolos, devem ser utilizados 4 tijolos sobrepostos e 3 juntas de assentamento. Nesse caso, a altura do prisma deve ser de no mínimo o dobro da largura do tijolo).

A partir daí, para que sejam definidas as resistências de cálculo, têm se:

- $f_d = f_k / \gamma_m$

Em que:

f_d = resistência à compressão simples de cálculo da alvenaria;

f_k = resistência característica à compressão simples da alvenaria;

γ_m = coeficiente de ponderação das resistências.

Para o estado limite-último (ELU) os valores de γ_m indicados pela ABNT NBR 16868-1:2020 – Alvenaria estrutural – Projeto, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de 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: ABNT NBR 16868-3:2020.

Para verificações no estado limite de serviço (ELS) deve-se utilizar $\gamma_m = 1,0$.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), a estimativa da resistência da parede através da resistência de prismas representa um grande avanço do ponto de vista de se obter um método de dimensionamento válido para praticamente qualquer condição de unidade, argamassa ou até mesmo graute.

Para Parsekian (2014), as limitações das máquinas de ensaio, quanto a sua capacidade máxima em relação às dimensões limites, além de outros aspectos, acabam por inviabilizar o uso de paredes em escalas reais ou reduzidas. Sendo assim, o prisma acabou por se tornar o principal corpo de prova para a avaliação de alvenarias.

Dessa forma, se faz importante citar que esse tipo de dimensionamento é previsto pela ABNT NBR 16868-1:2020, sendo que a mesma também apresenta que algumas propriedades de componentes devem ser atendidas de acordo com as normas pertinentes, como:

- Blocos e tijolos:

Para tijolos cerâmicos aplicam-se as propriedades apresentadas pela ABNT NBR 15270-1:2017 – Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Requisitos. Já os blocos de concreto, são abordados pela ABNT NBR 6136:2016 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos.

- Argamassa e graute:

Argamassas para o assentamento da alvenaria devem atender aos requisitos presentes na ABNT NBR 13281:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto. Além disso, sua resistência deve ser determinada de acordo com as especificações da ABNT NBR 16868-2:2020, Anexo A.

- Armaduras:

As armaduras, quando necessárias, devem atender as especificações da ABNT NBR 7480:2008 – Aço destinado a armaduras para estrutura de concreto armado – Especificação.

Por fim, tem-se ainda conforme a ABNT NBR 16868-1:2020 as seguintes correlações:

- A resistência característica à compressão simples da alvenaria f_k deve ser necessariamente determinada de acordo com as especificações previstas na ABNT NBR 16868-3:2020;

- Para casos em que as juntas horizontais forem assentadas com argamassa parcial (argamassa disposta somente sobre as paredes longitudinais dos blocos), e 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 da alvenaria deve ser corrigida por um fator de 0,80;
- Quando a geometria do bloco não permitir alinhamento vertical entre os septos transversais dos blocos na elevação da parede, o cálculo deve ser feito considerando argamassa parcial, podendo-se desconsiderar pontos eventuais de desalinhamentos. Tais correlações podem alteradas desde que sejam realizados os ensaios.

2.7.2 Dimensionamento à compressão simples

De acordo com a ABNT NBR 16868-1: 2020, para um elemento de alvenaria em estado limite-último, a verificação de segurança para uma estrutura em alvenaria estrutural se dá pela comparação entre os esforços solicitantes de cálculo (S_d) e os esforços resistentes de cálculo (R_d) conforme a Equação (1).

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

Dessa forma tem-se que, a força normal resistente de cálculo para paredes e pilares não armados são obtidas pelas Equações (2) e (3), respectivamente:

- Para paredes:

$$N_{rd} = f_d \cdot A \cdot R \quad (2)$$

- Para pilares:

$$N_{rd} = 0,9 \cdot f_d \cdot A \cdot R \quad (3)$$

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.

Sendo R obtido pela Equação (4).

$$R = \left[1 - \left(\frac{\lambda}{40} \right)^3 \right] \quad (4)$$

Em que:

λ = esbeltez da parede ou pilar obtida pela relação h_e/t_e sendo:

h_e = altura efetiva;

t_e = espessura efetiva.

A partir daí, expandindo as Equações (2) e (3) obtêm-se a seguinte relação:

$$\gamma_f \cdot N_k \leq A \cdot \begin{pmatrix} 1,0 \text{ para paredes} \\ 0,9 \text{ para pilares} \end{pmatrix} \cdot \frac{0,7 \cdot f_{pk}}{\gamma_m} \cdot \left[1 - \left(\frac{h_e}{40 \cdot t_e} \right)^3 \right] \quad (5)$$

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;

A partir da Equação (5) pode-se determinar o valor da resistência característica para o prisma (f_{pk}), e, a partir dele, especificar a resistência necessária do bloco (f_{bk}), por meio da Tabela 3.

Tabela 3 – Recomendação para especificação dos materiais da alvenaria estrutural.

Tipo de bloco	f_{bk}	f_a	f_{gk}	$\frac{f_{pk}}{f_{bk}}$	$\frac{f_{pk*}}{f_{bk}}$	f_{pk}	f_{pk*}
	Mpa					Mpa	
Bloco vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14x39cm)	3,0	4,0	15,0	0,8	2,0	2,4	4,8
	4,0	4,0	15,0	0,8	2,0	3,2	6,4
	6,0	6,0	15,0	0,8	1,8	4,5	7,9
	8,0	6,0	20,0	0,8	1,8	6,0	10,5
	10,0	8,0	20,0	0,7	1,8	7,0	12,3
	12,0	8,0	25,0	0,7	1,6	8,4	13,4
	14,0	12,0	25,0	0,7	1,6	9,8	15,7
	16,0	12,0	30,0	0,7	1,6	10,4	16,6
	18,0	14,0	30,0	0,7	1,6	11,7	18,7
	20,0	14,0	35,0	0,6	1,6	12,0	19,2
Bloco cerâmico de parede vazada, conforme ABNT NBR 15270-1 (ref. 14x29cm)	4,0	4,0	15,0	0,5	1,6	2,0	3,2
	6,0	6,0	15,0	0,5	1,6	3,0	4,8
	8,0	6,0	20,0	0,5	1,6	4,0	6,4
	10,0	8,0	25,0	0,5	1,6	4,5	7,2
	12,0	8,0	25,0	0,5	1,6	5,4	8,6
Bloco cerâmico de parede maciça, conforme ABNT NBR 15270-1 (ref. 14x29cm)	10,0	8,0	20,0	0,6	1,6	6,0	9,6
	14,0	12,0	25,0	0,6	1,6	8,4	13,4
	18,0	15,0	30,0	0,6	1,6	10,8	17,3

f_{pk*} = resistência de prisma cheio

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

3 DESENVOLVIMENTO

Apresentada a parte teórica, parte-se para a modelagem. Nesta etapa é proposto o projeto arquitetônico da edificação bem como a sua modulação, com de blocos cerâmicos estruturais. Também serão definidas as ações verticais atuantes na edificação. Nesta etapa são utilizados os *softwares* AutoCAD® (versão estudantil) para os desenhos e aferições de medidas, SketchUp® (versão gratuita) e V-Ray® (versão gratuita) para as elevações e vistas 3D.

3.1 Projeto arquitetônico

Para o desenvolvimento do projeto arquitetônico partiu-se de um lote hipotético com dimensões de 12 metros de largura por 22 metros de comprimento, situado na cidade de Campo Belo – MG. Sendo assim, utilizou-se o código de obras do município para a elaboração da arquitetura da edificação.

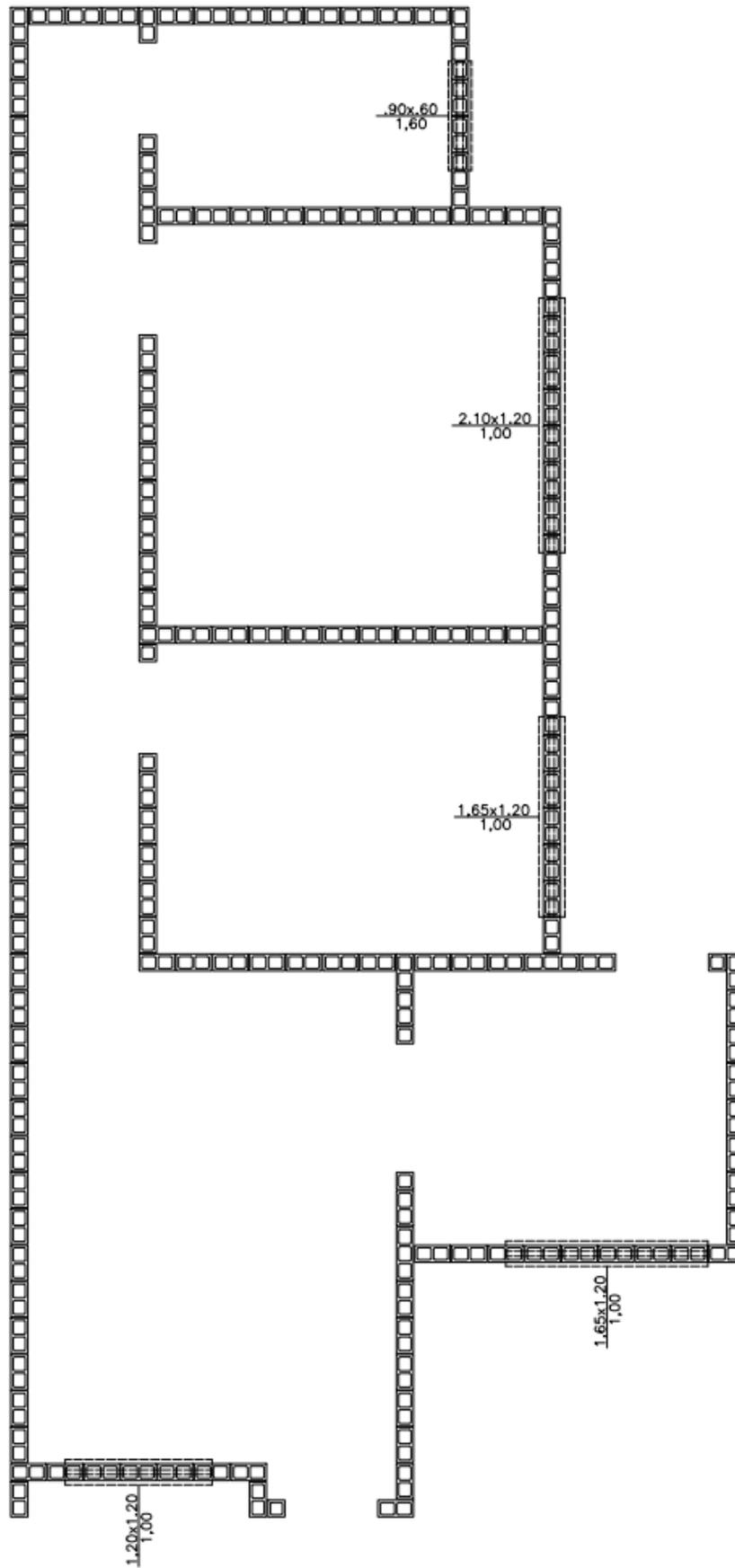
A fim de se enquadrar nos parâmetros do programa Casa Verde e Amarela, a edificação será composta por: sala, dois quartos, cozinha, banheiro e área de serviço, podendo esta última ser interna ou externa à edificação, como previsto pela portaria nº 959 (2021), do Diário Oficial da União (2004).

Conforme o projeto arquitetônico apresentado no Apêndice A, a edificação tem 56,09m² de área construída, valor superior aos 36 m² mínimos exigidos para o programa, e 6 metros de largura. Dessa forma a edificação ocuparia apenas meio lote, sendo possível a implementação de duas residências para lotes com a medida proposta.

3.2 Modulação

Definida a arquitetura da edificação, já com as dimensões modulares, múltiplas de 15cm e pé direito de 2,80 metros, foi possível prosseguir para a modulação da primeira e segunda fiadas do projeto, representadas nas Figuras 16 e 17. Para tais, como especificado anteriormente, foram utilizados blocos cerâmicos 14 x 19cm, bem como os blocos especiais de amarração, conforme a Tabela 1.

Figura 17 – Modulação da segunda fiada.



Fonte: Do autor (2022).

Considerou-se graute vertical em todos os pontos de amarração entre paredes, além disso, devido ao comprimento da parede lateral, considerou-se também pontos de graute ao longo da mesma.

A partir das modulações das duas primeiras fiadas, partiu-se para as elevações, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Elevação.



Fonte: Do autor (2022).

A Figura 19 representa uma amarração T com bloco especial 14 x 44 cm.

Figura 19 – Amarração T.



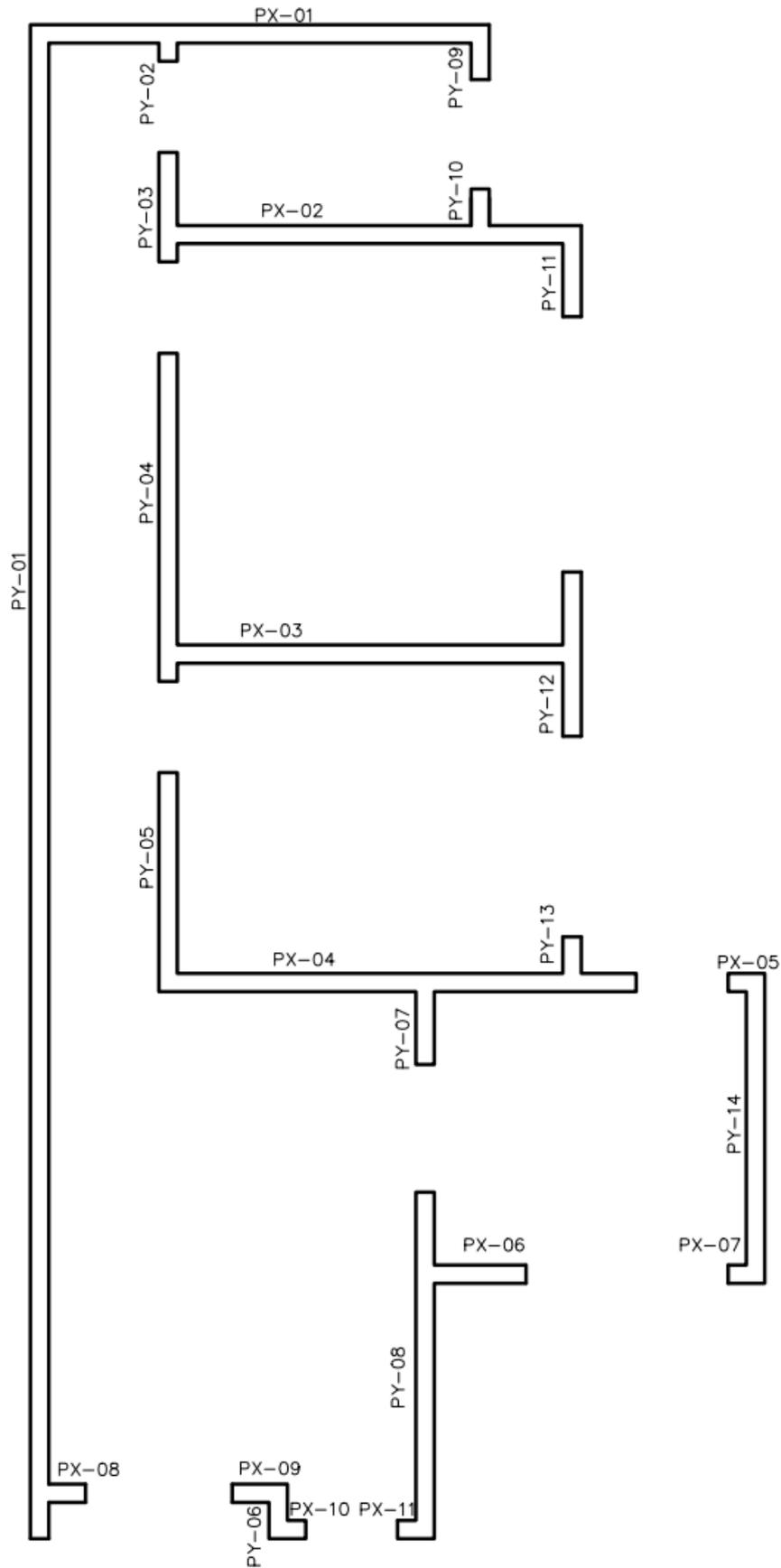
Fonte: Do autor (2022).

3.3 Definição das paredes estruturais e dos grupos isolados

Para a análise estrutural e a distribuição das ações é necessário definir e nomear as paredes estruturais. Para isto, os limites de cada parede são determinados pela existência de vãos ou mudanças de direção, e suas dimensões obtidas pelas distâncias entre os eixos das paredes.

Cada parede foi nomeada segundo a sua direção “X” ou “Y” e sua numeração dada da esquerda para a direita e de cima para baixo. A Figura 20 representa a nomeação das paredes estruturais.

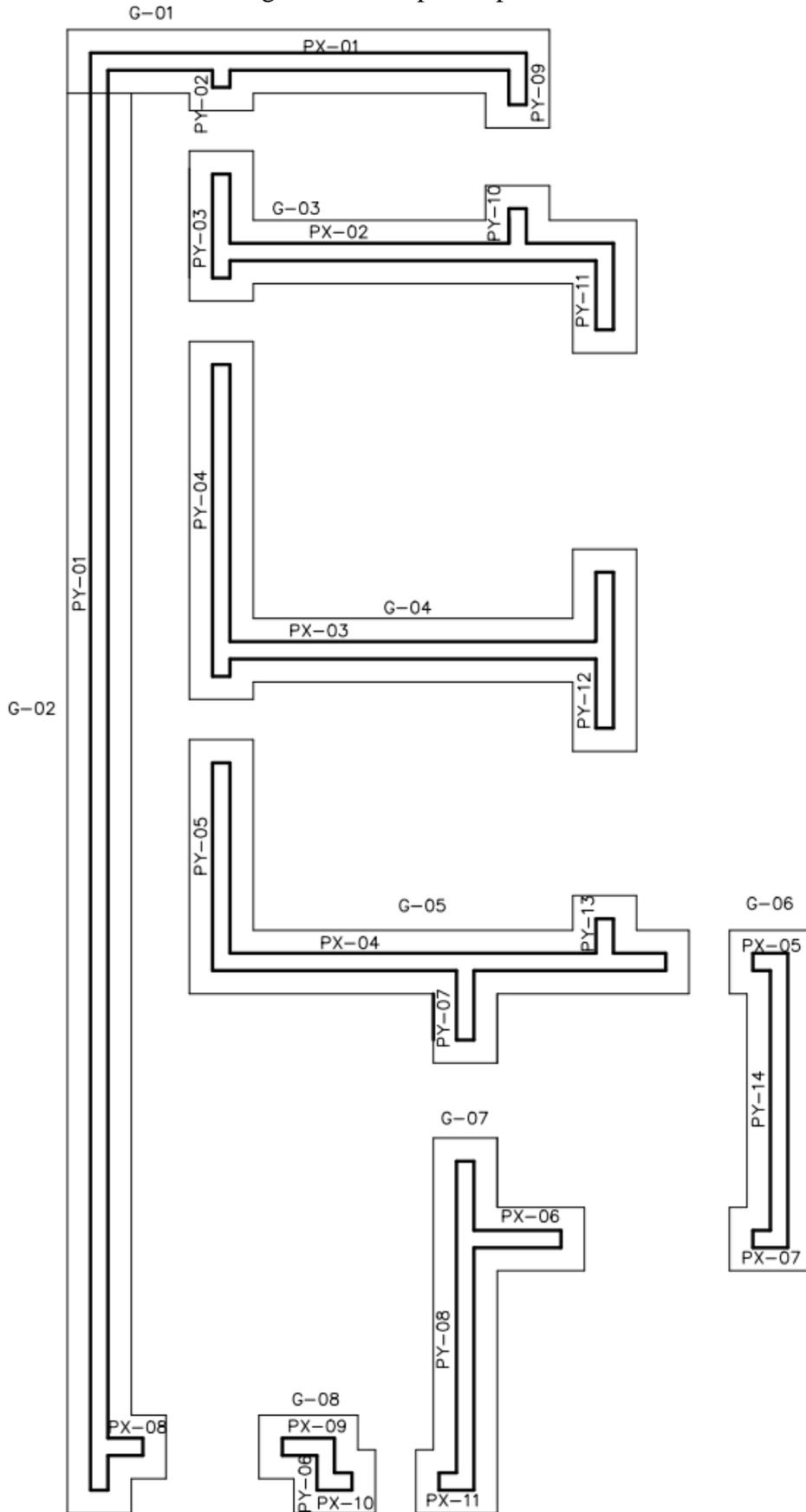
Figura 20 – Paredes estruturais.



Fonte: Do autor (2022).

Após a definição das paredes, partiu-se para a divisão dos grupos isolados de paredes, apresentado na Figura 21. Para tal, adotou-se a presença de vãos como limite entre os grupos, conforme mencionado no item 2.5.2 *Grupos isolados de paredes*, exceto para as paredes PX-01, PX-08, PY-01, PY-02 e PY-09, para as quais optou-se por desmembrar em dois grupos, um deles composto pelas paredes PX-01, PY-02 e PY-09 e o outro pelas paredes PX-08 e PY-01, uma vez que o comprimento da parede PY-01 acabaria por gerar resultados não representativos ao grupo.

Figura 21 – Grupos de paredes.



Fonte: Do autor (2022).

Com as paredes e os grupos definidos, foi possível determinar o comprimento de cada parede, assim como o comprimento equivalente dos grupos, apresentados na Tabela 4, valores estes que serão utilizados para a distribuição das cargas.

Tabela 4 – Comprimento das paredes e dos grupos.

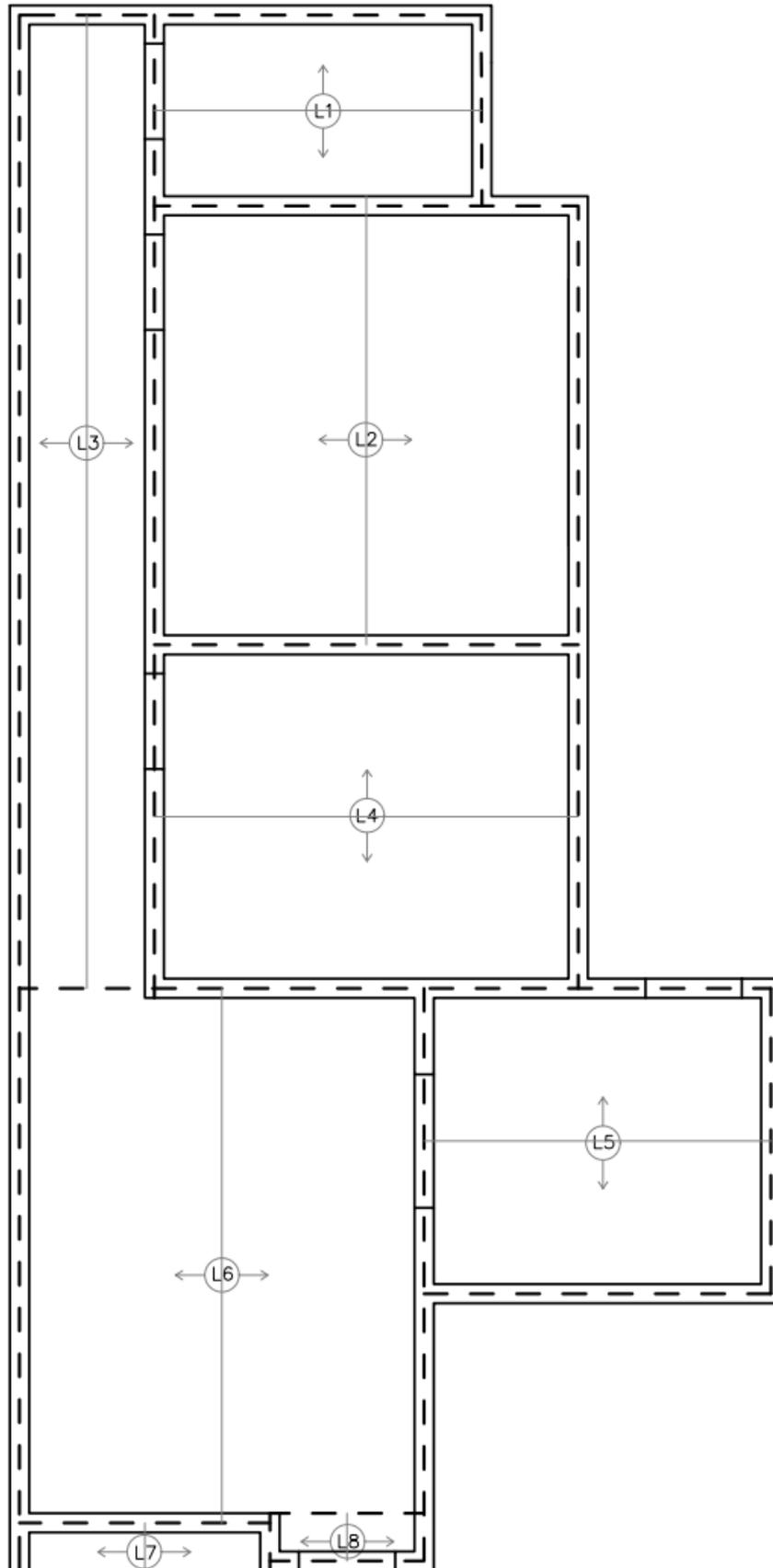
Parede	Comprimento (m)	Grupo	Comprimento do Grupo (m)
PX-01	3,600	G1	4,200
PY-02	0,225		
PY-09	0,375		
PX-08	0,375	G2	12,750
PY-01	12,375		
PX-02	3,300	G3	5,250
PY-03	0,900		
PY-10	0,375		
PY-11	0,675		
PX-03	3,300	G4	7,350
PY-04	2,700		
PY-12	1,350		
PX-04	3,825	G5	6,600
PY-05	1,725		
PY-07	0,675		
PY-13	0,375		
PX-05	0,225	G6	2,850
PX-07	0,225		
PY-14	2,400		
PX-06	0,825	G7	3,825
PX-11	0,225		
PY-08	2,775		
PX-09	0,375	G8	0,900
PX-10	0,225		
PY-06	0,300		

Fonte: Do autor (2022).

3.4 Lajes pré-moldadas

Conforme determinado anteriormente, adotou-se para o projeto lajes pré-moldadas. Sendo assim, prosseguiu-se para a elaboração das plantas de forma da edificação apresentada na Figura 22.

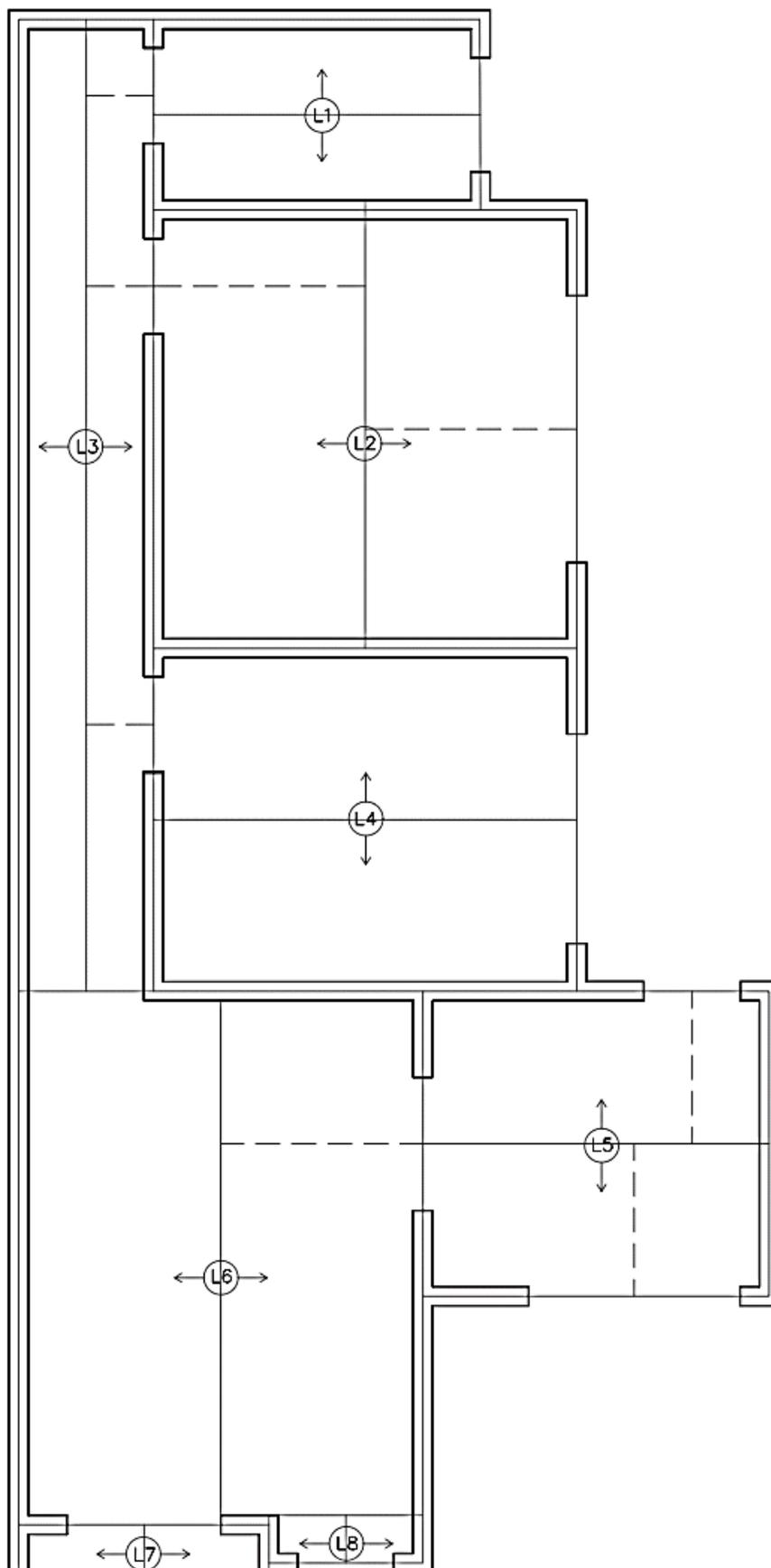
Figura 22 – Planta de forma das lajes.



Fonte: Do autor (2022).

Seguindo-se as recomendações de concreto armado, considerou-se as lajes armadas de acordo com o menor vão, uma vez que este é o de maior solicitação, exceto para a Laje 7 (L7), para a qual foi adotado o maior vão para armação, uma vez que a armação no sentido do menor vão não seria possível, pois nesse sentido a laje tem um bordo livre (beiral). Dessa forma definiu-se as áreas de influência das lajes sobre as paredes, como ilustrado na Figura 23. As áreas de influência são indicadas na Tabela 5.

Figura 23 – Áreas de influência.



Fonte: Do autor (2022).

Tabela 5 – Áreas de influência das lajes sobre as paredes.

Parede	Comprimento (m)	Área de influência (m ²)	Grupo
PX-01	3,600	2,100	G1
PY-02	0,225	0,390	
PY-09	0,375	0,000	
PX-08	0,375	0,000	G2
PY-01	12,375	11,080	
PX-02	3,300	2,100	G3
PY-03	0,900	0,788	
PY-10	0,375	0,000	
PY-11	0,675	2,846	
PX-03	3,300	4,455	G4
PY-04	2,700	6,514	
PY-12	1,350	0,000	
PX-04	3,825	6,975	G5
PY-05	1,725	1,103	
PY-07	0,675	1,890	
PY-13	0,375	0,000	
PX-05	0,225	0,720	G6
PX-07	0,225	1,262	
PY-14	2,400	0,000	
PX-06	0,825	1,978	G7
PX-11	0,225	0,000	
PY-08	2,775	4,866	
PX-09	0,375	0,000	G8
PX-10	0,225	0,000	
PY-06	0,300	0,591	

Fonte: Do autor (2022).

3.5 Ações verticais

Para determinar as ações verticais na estrutura foram considerados, os pesos específicos dos materiais e sobrecargas de utilização de acordo com a ABNT NBR 6120:2019.

3.5.1 Telhado

A determinação do peso do telhado foi feita a partir da *Tabela 6 – Telhados*, da ABNT NBR 6120:2019, a qual estabelece o peso de 0,4 kN/m² na superfície horizontal para cobertura com telhas de fibrocimento onduladas, com espessura até 5mm e estrutura de madeira.

Após a definição do peso do telhado as cargas variáveis em coberturas foram verificadas conforme a subseção 6.4 *Cargas variáveis em coberturas*, da ABNT NBR 6120:2019, a qual determina uma carga variável de 0,25 kN/m² para manutenção em telhados com inclinação superior a 3%, como é o caso da cobertura analisada.

Sendo assim as cargas da cobertura são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Cargas provenientes da cobertura.

Tipo de telhado	Inclinação (%)	Peso próprio (kN/m ²)	Cargas variáveis (kN/m ²)
Telhas de fibrocimento (com espessura até 5mm) e estrutura de madeira.	10	0,40	0,25

Fonte: Do autor (2022).

3.5.2 Caixa d'água

Para a determinação da carga proveniente do reservatório de água atuante sobre a laje considerou-se a mesma totalmente apoiada sobre a Laje 1 (L1). Dessa forma considerou-se o peso do reservatório, de 500 litros, totalmente cheio, distribuído na área de laje, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Carga proveniente do reservatório de água.

Volume do reservatório (m ³)	Peso específico da água (kN/m ³)	Carga (kN)	Área da laje (m ²)	Carga distribuída (kN/m ²)
0,50	10	5	3,82	1,31

Fonte: Do autor (2022).

3.5.2 Peso próprio da parede

Para o peso próprio das paredes, conforme definido previamente, foram adotados blocos cerâmicos estruturais da família 14 x 29cm e com paredes vazadas, por acrescentar menor peso específico. altura do pé direito de 2,80 metros, platibanda com 1 metro de altura e fechamento para a torre do reservatório de água com 2,20 metros de altura.

Determinado o tipo de bloco utilizado e a partir da *Tabela 2 – Alvenarias* da ABNT NBR 6120, obtém-se o peso por metro quadrado de parede de 2,10 kN/m², valor este já considerando a aplicação de 1cm de revestimento em cada face e argamassa de assentamento de 1cm na vertical e na horizontal.

Além disso, para as paredes de áreas molhadas, tais como banheiro e cozinha, considerou-se revestimento de porcelanato (25kN/m^3) com espessura de 1,2cm. Dessa forma, tem-se a carga das paredes estruturais conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Carga das paredes estruturais.

Parede estrutural	Carga por metro quadrado (kN/m^2)
Sem porcelanato	2,10
Revestimento de porcelanato apenas em uma face	2,40
Revestimento de porcelanato nas duas faces	2,70

Fonte: Do autor (2022).

3.5.3 Peso próprio da laje

Para o cálculo das ações proveniente das lajes, considerou-se o peso próprio de $1,73\text{kN/m}^2$, valor obtido para a laje TB L8 da fabricante BELGO, para uma laje pré-moldada com altura total de 11cm e preenchimento com bloco cerâmico, já se considerando a capa. Além disso, considerou-se também 1 cm de revestimento em argamassa, a mesma considerada para a parede, com peso específico de 19kN/m^3 . Por se tratar da cobertura não se considerou a camada de regularização do piso. Dessa forma, definiu-se a carga das lajes conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Peso próprio das lajes

Laje pré-moldada	Peso próprio (incluindo capa) (kN/m^2)	Revestimento (kN/m^2)	Peso Total (kN/m^2)
	1,73	0,19	1,92

Fonte: Do autor (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Definidas as cargas das paredes, neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para os modelos de paredes isoladas e grupos isolados de paredes.

Os resultados apresentados foram obtidos a partir de planilhas eletrônicas.

4.1 Paredes isoladas

Os carregamentos obtidos de acordo como modelo de paredes isoladas para as paredes são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados para as cargas de acordo com o modelo de paredes isoladas.

Parede	Comprimento (m)	Área (m ²)	Reação das lajes (kN/m)	Peso próprio da parede (kN/m)	Platibanda (kN/m)	Carga total distribuída (kN/m)	Peso (kN)
PX-01	3,600	2,100	1,88	6,72	4,62	13,22	47,60
PX-02	3,300	2,100	2,05	6,72	4,62	13,39	44,20
PX-03	3,300	4,455	2,59	5,88	0,00	8,47	27,96
PX-04	3,825	6,975	3,50	6,72	2,10	12,32	47,13
PX-05	0,225	0,720	6,14	6,72	2,10	14,96	3,37
PX-06	0,825	1,978	4,60	6,72	2,10	13,42	11,07
PX-07	0,225	1,262	10,77	6,72	2,10	19,59	4,41
PX-08	0,375	0,000	0,00	5,88	0,00	5,88	2,21
PX-09	0,375	0,000	0,00	5,88	0,00	5,88	2,21
PX-10	0,225	0,000	0,00	5,88	2,10	7,98	1,80
PX-11	0,225	0,000	0,00	5,88	2,10	7,98	1,80
PY-01	12,375	11,080	1,88	5,88	2,10	9,86	122,07
PY-02	0,225	0,390	3,33	6,72	4,62	14,67	3,30
PY-03	0,900	0,788	1,68	6,72	4,62	13,02	11,72
PY-04	2,700	6,514	4,63	5,88	0,00	10,51	28,38
PY-05	1,725	1,103	1,23	5,88	0,00	7,11	12,26
PY-06	0,300	0,591	6,26	5,88	0,00	12,14	3,64
PY-07	0,675	1,890	5,38	6,72	0,00	12,10	8,16
PY-08	2,775	4,866	3,37	6,72	2,10	12,19	33,82
PY-09	0,375	0,000	0,00	7,56	4,62	12,18	4,57
PY-10	0,375	0,000	0,00	7,56	4,62	12,18	4,57
PY-11	0,675	2,846	8,10	5,88	2,10	16,08	10,85
PY-12	1,350	0,000	0,00	5,88	2,10	7,98	10,77
PY-13	0,375	0,000	0,00	5,88	2,10	7,98	2,99
PY-14	2,400	0,000	0,00	6,72	2,10	8,82	21,17

Fonte: Do autor (2022)

Os carregamentos lineares foram obtidos a partir da multiplicação da área de influência da laje para cada parede pelo carregamento da laje (em kN/m²). Posteriormente, para a obtenção das cargas totais (em kN), as quais serão utilizadas para os cálculos do carregamento distribuído nos grupos, bastou multiplicar a carga total distribuída pelo comprimento das paredes.

Algumas considerações a respeito da Tabelas.

- Para a Laje 1, na qual o reservatório de água foi apoiado, o valor da reação proveniente do reservatório foi somado junto ao valor da reação da laje;
- O peso da platibanda apoiada sobre a Laje 7 foi considerado distribuído sobre a mesma;
- Para as paredes PX-01, PX-02, PX-04, PX-05, PX-06, PX-07, PY-02, PY-03, PY-07, PY-08, PY-09 e PY-14, nas quais foram considerados o peso do revestimento, considerou-se o mesmo em todo o comprimento das paredes;
- Para as paredes PY-09 e PY-10 considerou-se revestimento em ambas as faces.
- Nas paredes com reações da platibanda PX-01, PX-02, PX-04, PX-05, PX-06, PX-07, PX-10, PX-11, PY-01, PY-02, PY-03, PY-08, PY-09, PY-10, PY-11, PY-12, PY-13 e PY-14 considerou-se o carregamento por todo o comprimento da parede. Além disso, para as paredes PX-01 e PX-02, que apresentam reações de diferentes paredes do pavimento cobertura ao longo do seu comprimento, considerou-se o maior, proveniente da parede da torre do reservatório, ao longo de todo seu comprimento.

Com os dados obtidos, foi determinado se o elemento seria calculado como parede ou pilar e, a partir daí prosseguiu-se para a determinação da resistência de prisma necessária (f_{pk}) por meio da Equação (8). Dessa forma, isolando-se a resistência necessária do prisma e utilizando os valores para o coeficiente de ponderação das resistências ($\gamma_m = 2$) e para o coeficiente de ponderação das ações ($\gamma_f = 1,4$), foi possível se calcular o f_{pk} para cada parede de cada pavimento conforme indicado na Tabela 11.

Tabela 11 – f_{pk} necessário de acordo com o modelo de paredes isoladas.

Parede	Comprimento (m)	Elemento	f_{pk} necessário (MPa)
PX-01	3,600	PAREDE	0,43
PX-02	3,300	PAREDE	0,44
PX-03	3,300	PAREDE	0,28
PX-04	3,825	PAREDE	0,40
PX-05	0,225	PILAR	0,54
PX-06	0,825	PAREDE	0,44
PX-07	0,225	PILAR	0,71
PX-08	0,375	PILAR	0,21
PX-09	0,375	PILAR	0,21
PX-10	0,225	PILAR	0,29
PX-11	0,225	PILAR	0,29
PY-01	12,375	PAREDE	0,32
PY-02	0,225	PILAR	0,53
PY-03	0,900	PAREDE	0,43
PY-04	2,700	PAREDE	0,34
PY-05	1,725	PAREDE	0,23
PY-06	0,300	PILAR	0,44
PY-07	0,675	PILAR	0,44
PY-08	2,775	PAREDE	0,40
PY-09	0,375	PILAR	0,44
PY-10	0,375	PILAR	0,44
PY-11	0,675	PILAR	0,58
PY-12	1,350	PAREDE	0,26
PY-13	0,375	PILAR	0,29
PY-14	2,400	PAREDE	0,29

Fonte: Do autor (2022).

A partir das resistências de prisma necessárias para as paredes, foi possível especificar as resistências dos blocos cerâmicos (f_{bk}) por meio da Tabela 3. As resistências de blocos consideradas estão indicadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Resistência dos blocos (f_{bk}) de acordo com o modelo de paredes isoladas.

Parede	f_{pk} necessário (MPa)	f_{pk} adotado (MPa)	f_{bk} (MPa)
PX-01	0,43	2,00	4,00
PX-02	0,44	2,00	4,00
PX-03	0,28	2,00	4,00
PX-04	0,40	2,00	4,00
PX-05	0,54	2,00	4,00
PX-06	0,44	2,00	4,00
PX-07	0,71	2,00	4,00
PX-08	0,21	2,00	4,00
PX-09	0,21	2,00	4,00
PX-10	0,29	2,00	4,00
PX-11	0,29	2,00	4,00
PY-01	0,32	2,00	4,00
PY-02	0,53	2,00	4,00
PY-03	0,43	2,00	4,00
PY-04	0,34	2,00	4,00
PY-05	0,23	2,00	4,00
PY-06	0,44	2,00	4,00
PY-07	0,44	2,00	4,00
PY-08	0,40	2,00	4,00
PY-09	0,44	2,00	4,00
PY-10	0,44	2,00	4,00
PY-11	0,58	2,00	4,00
PY-12	0,26	2,00	4,00
PY-13	0,29	2,00	4,00
PY-14	0,29	2,00	4,00

Fonte: Do autor (2022)

Observa-se a partir da Tabela 12 que, para o modelo analisado, o bloco cerâmico vazado de paredes vazadas, com resistência de 4MPa foi suficiente para resistir às solicitações presentes para todas as paredes estruturais.

A partir dos resultados, ressalta-se que apesar dos valores de resistência de prisma adotados assim como a resistência dos blocos terem sido as mesmas para todas as paredes, os valores para as resistências de prisma necessário apresentam uma grande variação, o que pode ser explicado pelo fato do modelo não considerar a interação entre as paredes. Dessa forma, paredes com comprimentos pequenos, que recebem cargas da laje diretamente, como a PX-07 e a PY-11 apresentam valores elevados quando comparados com paredes mais extensas, e ainda maiores quando comparados com paredes que não recebem cargas diretamente das lajes como a PX-08 e a PX-09, que apresentaram os menores valores para este modelo, uma vez que estas devem suportar apenas as cargas provenientes do seu peso próprio.

4.1 Grupos isolados de paredes

Após a realização dos cálculos para paredes isoladas, o processo para o dimensionamento por meio do modelo de grupos isolados de paredes se torna relativamente simples. Uma vez definidos os grupos, basta que sejam somadas as cargas equivalentes concentradas de cada parede que compõe o grupo analisado, e então divide-se o valor encontrado pelo comprimento equivalente do grupo, sendo este a soma dos comprimentos das paredes que compõe o grupo.

A partir dos comprimentos dos grupos, apresentados na Tabela 4, e do somatório das cargas concentradas em cada parede, apresentados na Tabela 10, foram calculadas as cargas distribuídas para os grupos conforme a Tabela 13.

Tabela 13 – Cargas nos grupos isolados de paredes.

Grupo	Comprimento do Grupo (m)	Somatório das cargas (kN)	Carga distribuída (kN/m)
G1	4,200	55,47	13,21
G2	12,750	124,28	9,75
G3	5,250	71,34	13,59
G4	7,350	67,11	9,13
G5	6,600	70,55	10,69
G6	2,850	28,94	10,16
G7	3,825	46,69	12,21
G8	0,900	7,64	8,49

Fonte: Do autor (2022)

A partir dos carregamentos obtidos, prosseguiu-se para a determinação da resistência de prisma necessária (f_{pk}), por meio da Equação (5). A resistência prisma necessária para cada grupo é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – f_{pk} necessário para grupos isolados de paredes.

Grupo	Comprimento do Grupo (m)	Elemento	f_{pk} necessário (MPa)
G1	4,200	PAREDE	0,43
G2	12,750	PAREDE	0,32
G3	5,250	PAREDE	0,44
G4	7,350	PAREDE	0,30
G5	6,600	PAREDE	0,39
G6	2,850	PAREDE	0,33
G7	3,825	PAREDE	0,44
G8	0,900	PAREDE	0,31

Fonte: Do autor (2022).

Determinadas as resistências de prisma necessárias para os grupos isolados de paredes, assim como feito para as paredes isoladas, foi possível determinar as resistências dos blocos cerâmicos (f_{bk}) por meio da Tabela 3, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Resistência dos blocos (f_{bk}) de acordo com o modelo de grupos isolados de paredes.

Grupo	f_{pk} necessário	f_{pk} adotado (MPa)	f_{bk} (MPa)
G1	0,43	2,00	4,00
G2	0,32	2,00	4,00
G3	0,44	2,00	4,00
G4	0,30	2,00	4,00
G5	0,39	2,00	4,00
G6	0,33	2,00	4,00
G7	0,44	2,00	4,00
G8	0,31	2,00	4,00

Fonte: Do autor (2022).

Observa-se na Tabela 15 que, assim como para o modelo de paredes isoladas, o bloco cerâmico de paredes vazadas, com resistência de 4MPa mostrou-se capaz de resistir a solicitações para todos os grupos isolados de paredes.

A partir dos resultados obtidos para a resistência de prisma necessária para o modelo de grupos isolados de parede, percebe-se uma menor variação nos valores quando comparado com o modelo de paredes isoladas. Observando-se a variação entre os maiores valores e os menores valores calculados, a diferença não passou de 50% para o modelo de grupos de paredes, enquanto para o modelo de paredes isoladas o maior valor obtido foi 3,38 vezes maior que o menor valor obtido.

Notou-se que, apesar dos valores para a resistência de prisma adotada, assim como os valores de resistência dos blocos terem sido os mesmos para ambos os modelos apresentados, a diferença de resistência de prisma necessária chegou a 62% quando comparados os maiores valores obtidos para cada modelo.

5 CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos para os modelos de distribuição propostos percebeu-se que, apesar das resistências dos blocos terem sido as mesmas, os valores calculados para a resistência de prisma apresentaram variações de até 62% quando analisados os maiores valores obtidos em cada modelo, uma vez que para o modelo de paredes isoladas foram observadas algumas situações críticas, como paredes curtas com áreas razoáveis de influência das lajes.

Notou-se também que, para o modelo de paredes isoladas os valores calculados para a resistência de prisma apresentaram variações consideráveis, sendo que, o maior valor obtido foi 3,38 vezes superior ao menor valor obtido, fato este observado devido a presença de paredes com cargas provenientes apenas do seu peso próprio e evidenciado pela desconsideração das interações entre as paredes. Ressalta-se também que, por isso, este modelo não representa o que de fato ocorre na estrutura, uma vez que a mesma foi modulada considerando-se a amarração das paredes.

Por outro lado, para o modelo de grupos isolados de paredes, os resultados obtidos apresentaram uma menor variação entre os valores calculados para cada grupo, o que se deve a uniformização das cargas nos grupos, o que de fato representa melhor o comportamento da estrutura, uma vez que este modelo considerada as interações entre as paredes dos grupos.

Dessa forma, conclui-se que, apesar das variações nos resultados obtidos, para a edificação em estudo, ambos os modelos se mostraram eficazes, uma vez que devido as suas proporções os efeitos negativos do modelo de paredes isoladas não foram evidenciados quando observados os valores da resistência dos blocos.

Por fim, como sugestão para possíveis trabalhos futuros, podem ser realizar os projetos complementares, assim como os dimensionamentos à flexão simples, flexocompressão e cisalhamento, além de se realizar um estudo econômico para o projeto proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1: Componentes Cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: Norma de Desempenho**, Rio de Janeiro, 2013.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas e edificações**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas**. Rio de Janeiro, 2004.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. Portaria n.º 959, de 18 de maio de 2021. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 de mai. 2021. Seção 1, p155.
- BROCK, L. **The contemporary brick wall**. 1994. 10p. International Brick and Block Masonry Conference, Calgary, 1994.
- CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. 1998. 167p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 1998.

CAPUZZO NETO, V. **Estudo teórico e experimentação da interação de paredes de alvenaria estrutural submetida a ações verticais**. 2000. 111p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CAPUZZO NETO, V. **Interação de paredes em alvenaria estrutural cerâmica sob ações verticais**. 2005. 322p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

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.

JÚNIOR, E. L da S. et al. **Viabilidade Econômica entre alvenaria estrutural e estrutura convencional em concreto armado para empreendimento em Recife- PE**. Recife. 5p. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - Centro Universitário Maurício de Nassau, 2018.

PARSEKIAN, G. A., Hamid, A. A., Drysdale, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. 2ª Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

PRUDÊNCIO Jr., L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria Estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002.

MORAES, R. S. de. **Análise de sistemas mistos de concreto armado e alvenaria**. 2012. 153p. Dissertação (Pós-graduação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

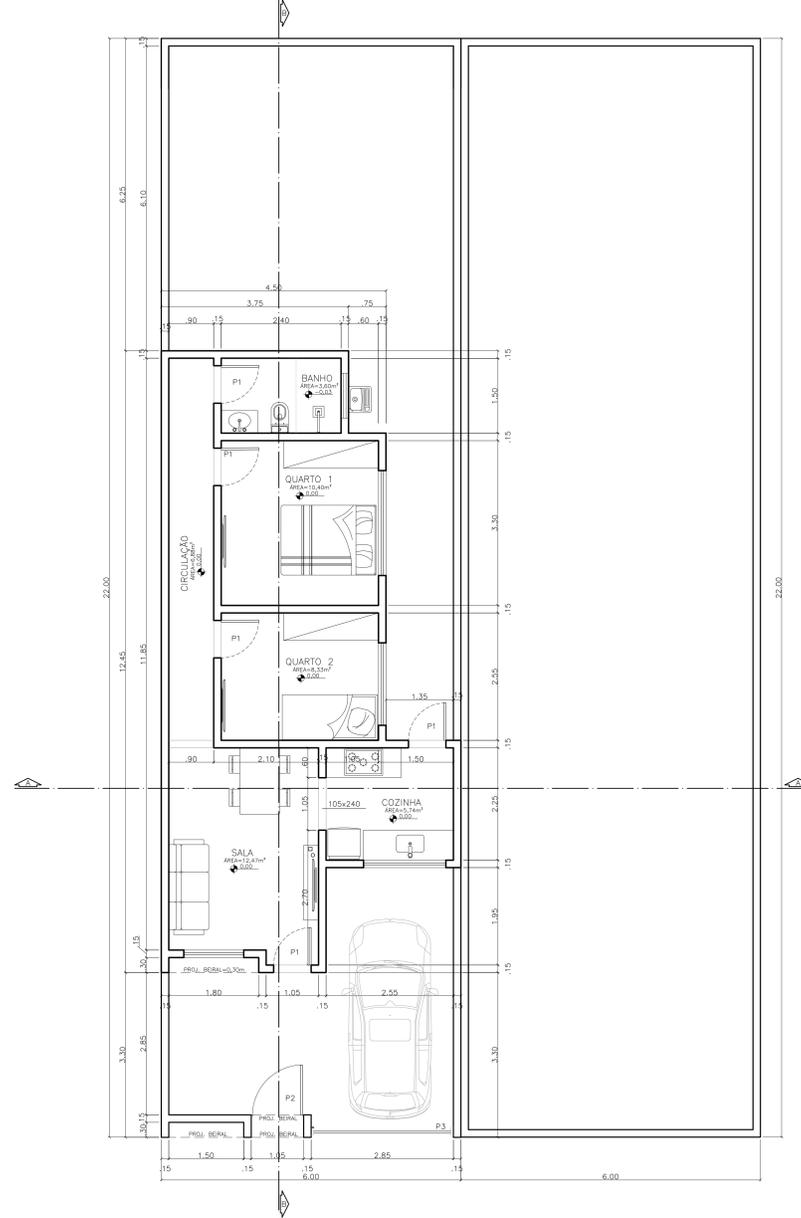
RAMALHO, M. A. CORRÊA, M. R. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2003.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: Uma análise de confiabilidade e da conformidade**. 2007. 175p. Dissertação (Pós-graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

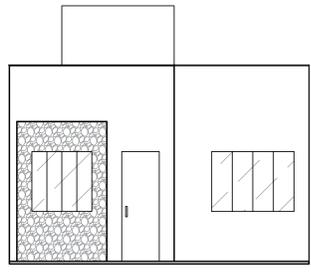
Fundação João Pinheiro. **Deficit habitacional no Brasil – 2016-2019**. 2021. 159p. Belo Horizonte, 2021.

Fundação João Pinheiro. **Metodologia do deficit habitacional e da inadequação de domicílios no Brasil – 2016-2019**. 2020. 158p. Belo Horizonte. 2020.

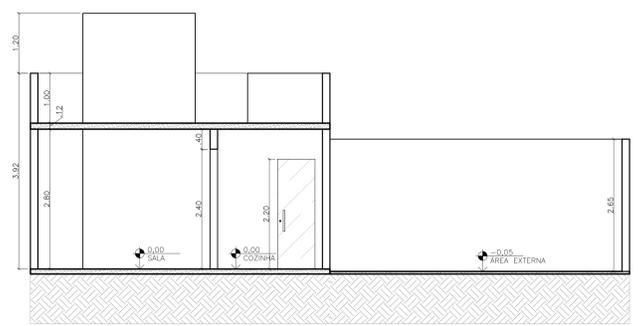
APÊNDICE A



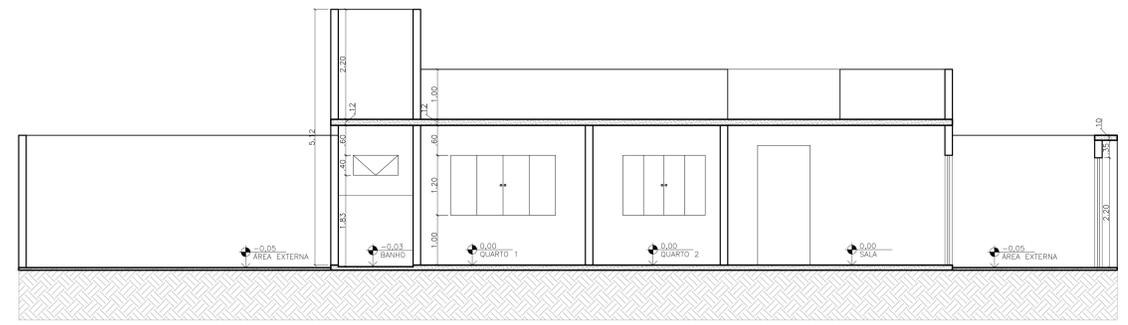
PLANTA BAIXA
esc: 1:50



FACHADA
esc: 1:50

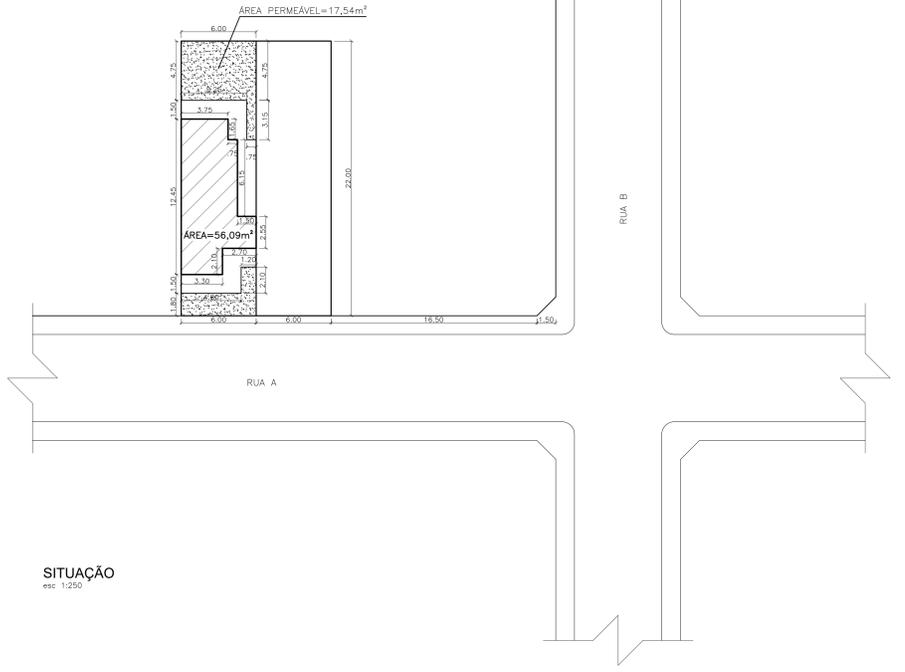


CORTE AA
esc: 1:50



CORTE BB
esc: 1:50

PORTAS				JANELAS			
ITEM	DIMENSÕES	QUANT.	MODELO	ITEM	DIMENSÕES	QUANT.	MODELO
P1	75 x 2,20	03	ABRIR	J1	90 x 60	1,63	01
P2	1,00 x 2,20	01	ABRIR	J2	2,10 x 1,20	1,00	01
P3	2,85 x 2,40	01	BASCULANTE	J3	1,65 x 1,20	1,00	02
				J4	1,20 x 1,20	1,00	01



SITUAÇÃO
esc: 1:250

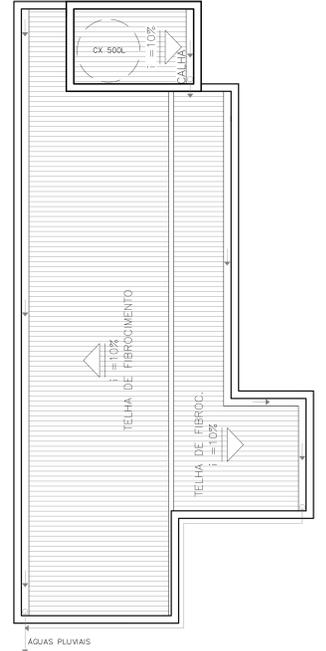


DIAGRAMA DE COBERTURA
esc: 1:50

TÍTULO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		
CONTEÚDO: PLANTA BAIXA, CORTE AA, CORTE BB, DIAGRAMA DE COBERTURA, SITUAÇÃO, FACHADA		
AUTOR: AMADOR INÁCIO MOREIRA		
RESPONSÁVEL TÉCNICO: XXXXXXXXXXXXXXXXXX ENG. XXXXXXXX - C.R.E.A. XXXXXXXX-D - MG		
DATA: 30/08/2022	REVISÃO DATA: 30/08/2022	PROJETO N.º:
ESCALA: INDICADA	ÁREA: 56,09 m²	DESENHO N.º:
DESENHO: XXXXXXXXXXXXXXXXXX	DIGITALIZAÇÃO: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	FOLHA: 01/01
RTR: XXXXXX		