



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PAULO BARBOSA DE LIMA JUNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS ENTRE ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL:
ESTUDO DE CASO**

JOÃO PESSOA

2024

PAULO BARBOSA DE LIMA JUNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS ENTRE ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL:
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L732a Lima Junior, Paulo Barbosa de.

Análise comparativa dos custos entre estruturas de concreto armado e alvenaria estrutural em um edifício residencial: estudo de caso / Paulo Barbosa de Lima Junior. - João Pessoa, 2024.

80 f. : il.

Orientação: Enildo Tales Ferreira.

TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Concreto armado. 2. Alvenaria estrutural. 3. Métodos construtivos. 4. Comparação de custos. I. Ferreira, Enildo Tales. II. Título.

UFPB/CT

CDU 624(043.2)

PAULO BARBOSA DE LIMA JUNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS ENTRE ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL:
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

RESULTADO: APROVADO NOTA: 10,0

João Pessoa, 29 de OUTUBRO de 2024.

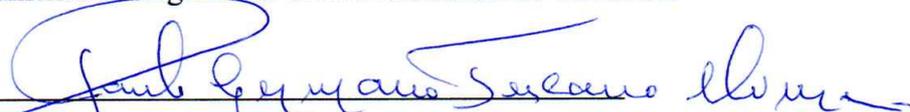
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira (Orientador)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB



Prof. Dr. Claudino Lins Nóbrega Júnior (examinador)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB



Prof. Dr. Paulo Germano Toscano Moura (examinador)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

À minha amada esposa Queren Hapuque, por estar ao meu lado em todos os momentos, pelos sacrifícios que fez e pelo apoio incansável. Dedico esta conquista a você, que acreditou em mim e me inspirou a continuar, mesmo quando o caminho parecia árduo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, meu Senhor e Salvador, por todas as bênçãos concedidas, pela capacitação e força para concluir mais esta etapa de minha vida.

À minha amada esposa, Queren Hapuque, pelo amor, carinho e apoio incondicional em todos os momentos, por seu incentivo constante e palavras de encorajamento ao longo de toda a graduação. Sua confiança no meu potencial foi fundamental para que eu seguisse firme até o fim.

Agradeço profundamente aos meus pais e irmãos, por todo amor, carinho e compreensão, sempre presentes em minha vida, me guiando e apoiando com paciência e dedicação.

Ao meu sogro, Rosivaldo, à minha sogra, Edna, e ao meu cunhado, Hilquias, por suas orações, palavras de motivação e apoio, e por me acompanharem de perto, mesmo que à distância. Suas mensagens de carinho e bom humor foram essenciais em cada etapa dessa jornada.

Ao meu orientador, Professor Enildo Tales Ferreira, expresso minha profunda gratidão por todo o conhecimento compartilhado, pela paciência e por sua orientação firme e competente em cada etapa deste trabalho. Sua dedicação foi crucial para a realização e sucesso deste projeto.

Aos amigos e colegas de curso, em especial André Toscano, Denner Vianna, Gabriella Lima e Witamar Bernardo, agradeço pela parceria, apoio mútuo e pelas trocas de ideias valiosas ao longo desta caminhada. Sem vocês, essa jornada teria sido muito mais difícil.

Não posso deixar de agradecer à empresa JSD Engenharia e Consultoria, representada por Jonathan e Diego, que gentilmente cederam a licença do software Eberick, permitindo que eu pudesse realizar parte importante deste trabalho.

A todos os professores que, ao longo do curso, contribuíram de maneira direta para minha formação, meu mais sincero agradecimento. Um agradecimento especial aos professores Claudino Lins e Paulo Germano, que gentilmente aceitaram o convite para compor a banca examinadora, proporcionando críticas e sugestões valiosas.

RESUMO

Considerando o grande número de obras em andamento no Brasil, construtores, projetistas e incorporadores estão constantemente em busca de soluções construtivas mais eficientes e eficazes, que possibilitem a redução de prazos e custos, tornando os empreendimentos mais lucrativos. Nesse contexto, o trabalho apresenta uma análise comparativa entre os métodos construtivos de concreto armado e alvenaria estrutural, com o objetivo de identificar a solução mais econômica para a estrutura de um edifício residencial multifamiliar localizado na cidade de Patos-PB. Trata-se de um estudo de caso baseado no projeto arquitetônico da referida edificação, no qual foram desenvolvidos projetos estruturais utilizando os softwares *Eberick* e *QiBuilder*. Além do desenvolvimento dos projetos, a metodologia incluiu o levantamento de quantitativos de materiais como aço, concreto, forma, argamassa, blocos de vedação e estruturais, a partir dos quais foram estimados os custos para cada sistema. Os resultados indicam que, enquanto a estrutura independente em concreto armado apresenta maiores custos em aço, concreto e formas, a alvenaria estrutural oferece uma economia significativa, especialmente em obras com as características do imóvel analisado. O custo por metro quadrado da alvenaria estrutural foi 20,97% inferior ao do concreto armado, representando uma vantagem relevante, principalmente para projetos que visam reduzir despesas e otimizar a execução. O trabalho conclui que a escolha do sistema construtivo mais apropriado deve ser baseada nas características específicas de cada edificação, levando em consideração tanto o custo quanto as exigências do projeto arquitetônico. A alvenaria estrutural é mais vantajosa para obras residenciais de pequeno a médio porte, enquanto o concreto armado oferece melhores resultados em edificações maiores e mais complexas.

Palavras-chave: Concreto armado; Alvenaria estrutural; Métodos construtivos; Comparação de custos.

ABSTRACT

Considering the large number of ongoing construction projects in Brazil, builders, designers, and developers are constantly seeking more efficient and effective construction solutions that allow for reduced timelines and costs, making projects more profitable. In this context, the study presents a comparative analysis between the construction methods of reinforced concrete and masonry, with the aim of identifying the most economical solution for the structure of a multifamily residential building located in Patos-PB. This is a case study based on the architectural design of the building in question, where structural designs were developed using Eberick and QiBuilder software. In addition to developing the designs, the methodology included the collection of material quantities such as steel, concrete, formwork, mortar, partition blocks, and structural blocks, from which the costs for each system were estimated. The results indicate that while the independent reinforced concrete structure incurs higher costs in steel, concrete, and formwork, the masonry structure offers significant savings, especially for projects with characteristics similar to the analyzed property. The cost per square meter of the masonry structure was 20.97% lower than that of reinforced concrete, representing a significant advantage, especially for projects aiming to reduce expenses and optimize execution. The study concludes that the choice of the most appropriate construction system should be based on the specific characteristics of each project, considering both cost and architectural requirements. Masonry is more advantageous for small to medium-sized residential projects, while reinforced concrete delivers better results for larger and more complex constructions.

Key words: Reinforced concrete; Structural masonry; Construction methods; Cost comparison.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Famílias de blocos de alvenaria estrutural.....	23
Figura 2 – Amarração em L.....	26
Figura 3 – Amarração em T.....	27
Figura 4 – Amarração em X.....	27
Figura 5 – Utilização do meio bloco.....	28
Figura 6 – Planta Baixa do Térreo.....	29
Figura 7 – Parâmetros gerais do projeto estrutural.....	31
Figura 8 – Características do concreto.....	31
Figura 9 – Diâmetros para as sapatas.....	32
Figura 10 – Diâmetros para os pilares.....	32
Figura 11 – Diâmetros para as vigas.....	32
Figura 12 – Diâmetros para as lajes.....	33
Figura 13 – Características do solo.....	33
Figura 14 – TRRF adotado.....	34
Figura 15 – Variação de temperatura e coeficientes de retração.....	35
Figura 16 – Parâmetros para o projeto de alvenaria estrutural.....	35
Figura 17 – Seleção dos materiais para a planilha dos custos no <i>Eberick</i>	38
Figura 18 – Mapa de isopleias da velocidade básica V_0	43
Figura 19- Concepção estrutural a partir do pré-dimensionamento.....	47
Figura 20- Concepção estrutural otimizada (Pavimento Tipo).....	48
Figura 21- Planta baixa da fiada 9.....	49
Figura 22- Vigas de fundação.....	50
Figura 23- Cargas lineares do reservatório em kgf/m.....	51
Figura 24- Cargas lineares da escada em kgf/m.....	51
Figura 25- Deslocamentos da estrutura.....	52
Figura 26- Planta de Forma Pavimento Tipo.....	53
Figura 27- Imagem 3D da estrutura.....	53
Figura 28- Tensões de compressão na base do Térreo.....	57
Figura 29- Tensões de tração na base do Térreo.....	58
Figura 30- Elevação da alvenaria: Modulação vertical.....	59
Figura 31- Modelo 3D da estrutura em alvenaria estrutural.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Para cargas nos pilares.....	44
Gráfico 2 - Consideração da altura não travada (em metros).....	44
Gráfico 3 - Gráfico para viga de concreto.....	45
Gráfico 4 - Gráfico para lajes de concreto.....	46
Gráfico 5 - Distribuição dos custos por elemento do sistema em concreto armado.....	56
Gráfico 6 - Distribuição dos custos por elemento do sistema em alvenaria estrutural.....	62
Gráfico 7 - Comparativo dos custos das etapas da execução do sistema em alvenaria estrutural e concreto armado.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do coeficiente de majoração do carregamento para pilares.....	14
Tabela 2 - Classificação das edificações quanto a sua ocupação.....	17
Tabela 3 - Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF).....	18
Tabela 4 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas e contínuas (tabela 4 e 5 da NBR 14432/2001).....	19
Tabela 5 - Dimensões mínimas para lajes maciças (tabela 6 e 7 da NBR 14432/2001).....	20
Tabela 6 - Dimensões dos blocos de alvenaria estrutural.....	23
Tabela 7 - Custos do concreto.....	36
Tabela 8 - Custos do aço.....	37
Tabela 9 - Custos das formas.....	37
Tabela 10 - Custos unitário dos blocos estruturais.....	38
Tabela 11 - Coeficientes para escolha das armaduras – Opção 1.....	39
Tabela 12 - Resumo dos materiais – Opção 1.....	39
Tabela 13 - Coeficientes para escolha das armaduras – Opção 2.....	40
Tabela 14 - Resumo dos materiais – Opção 2.....	40
Tabela 15 - Coeficientes para escolha das armaduras – Opção 3.....	40
Tabela 16 - Resumo dos materiais – Opção 3.....	41
Tabela 17 - Valores mínimos das cargas verticais.....	42
Tabela 18 - Descrição dos materiais utilizados no concreto armado.....	54
Tabela 19 - Descrição dos custos dos materiais e mão de obra do projeto em concreto armado.....	55
Tabela 20 - Cálculo da área da alvenaria de vedação.....	56
Tabela 21 - Descrição dos custos dos materiais e mão de obra para a alvenaria de vedação.....	56
Tabela 22 - Descrição dos materiais em concreto armado utilizados na Alvenaria Estrutural.....	60
Tabela 23 - Quantitativo dos materiais utilizados na Alvenaria Estrutural.....	61
Tabela 24 - Descrição dos materiais em concreto armado utilizados na Alvenaria Estrutural.....	61
Tabela 25 - Quantitativo dos materiais utilizados na Alvenaria Estrutural.....	62
Tabela 26 - Comparativo de custos entre os sistemas construtivos	65
Tabela 27 - Comparativo de custos do insumo em relação ao custo total (em %).....	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Objetivo geral	11
1.2. Objetivos específicos	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1. Concreto armado	12
2.2. Pré-dimensionamento dos elementos estruturais (laje, viga e pilar)	16
2.3. Alvenaria estrutural	21
2.4. Modulação e amarração.....	25
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	28
3.1. Apresentação do projeto arquitetônico	29
3.2. Ferramentas para o dimensionamento das estruturas: <i>eberick</i> e <i>qibuilder 2024</i>	30
3.3. Configurações dos softwares	30
3.4. Custos dos materiais e mão de obra.....	36
3.5. Coeficientes de escolhas das armaduras	38
3.6. Cargas adotadas	41
3.7. Pré-dimensionamento dos pilares	43
3.8. Pré-dimensionamento das vigas	45
3.9. Pré-dimensionamento das lajes	45
3.10. Lançamento e processamento da estrutura de concreto armado no <i>eberick</i>	46
3.11. Definições e posicionamento das paredes estruturais no <i>qibuilder</i>	48
3.12. Dimensionamento do projeto em alvenaria estrutural no <i>eberick</i>	49
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
4.1. Processamento da estrutura de concreto armado no <i>eberick</i>	52
4.2. Quantitativos e custos da estrutura de concreto armado.....	54
4.3. Processamento da estrutura de alvenaria estrutural no <i>eberick</i>	57
4.4. Quantitativos e custos da alvenaria estrutural	60
4.5. Comparativo entre os métodos	63
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICES.....	71

1. INTRODUÇÃO

A escolha do sistema construtivo desempenha um papel fundamental na execução de projetos de edificações, influenciando diretamente os custos e a viabilidade da construção. Diante disso, é inevitável a comparação entre métodos que visam otimizar o processo construtivo e alcançar os melhores resultados econômicos, fornecendo qualidade, conforto e segurança.

No Brasil, o concreto armado continua sendo o método mais utilizado. É amplamente aceito pelo mercado devido à capacidade de se moldar a diferentes tipos de peças estruturais, vencer grandes vãos e alturas, além da facilidade na execução. No entanto, apesar do conservadorismo das construtoras, a alvenaria estrutural tem ganhado espaço nas construções residenciais, especialmente em programas sociais. Isso se deve à sua capacidade de reduzir o tempo de execução, racionalizar o uso de materiais e, conseqüentemente, diminuir os custos, tornando-se assim uma opção atraente para os empresários do setor. (KLEIN, 2015).

Neste trabalho, propõe-se uma análise comparativa entre esses dois sistemas construtivos, com o propósito de identificar a solução mais econômica para a estrutura de um edifício residencial multifamiliar. Para isso, serão desenvolvidos os projetos estruturais utilizando os softwares *Eberick* e *QiBuilder*, que possibilitarão uma análise dos quantitativos e custos dos materiais de cada método. Além disso, será analisada a viabilidade de cada sistema construtivo com base na influência do projeto arquitetônico. Aspectos como flexibilidade do layout (coincidência entre as posições das paredes do pavimento superior e inferior), a apresentação de grandes vãos e a compatibilidade com as soluções arquitetônicas serão considerados para determinar como cada método se adapta às exigências do projeto.

Através desta análise, o trabalho busca apresentar resultados que ajudem a definir a opção mais econômica e eficiente para a construção de edifícios residenciais. A escolha do sistema construtivo adequado pode não apenas otimizar os custos, mas também assegurar a qualidade e a adequação da estrutura às necessidades específicas do projeto arquitetônico.

1.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo geral comparar os custos para a execução da estrutura de um Edifício Residencial utilizando os métodos construtivos em concreto armado e alvenaria estrutural.

1.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos, temos:

- Desenvolver os projetos estruturais utilizando os softwares *Eberick* e *QiBuilder*;

- Comparar os custos dos materiais empregados em cada método, verificando o volume de concreto, consumo de aço, área de formas e alvenaria.
- Analisar a viabilidade de cada método considerando a influência do Projeto Arquitetônico;
- Apresentar resultados que possibilitem definir qual seria a escolha mais econômica a ser adotada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inúmeros são os tipos de sistemas estruturais que podem ser utilizados. A escolha do sistema estrutural depende de fatores técnicos e econômicos, como a capacidade do meio técnico para desenvolver o projeto e executar a obra, e a disponibilidade de materiais, mão de obra e equipamentos necessários para a execução, conforme aponta Libânio (2010). Entre os exemplos de sistemas estruturais, temos as estruturas metálicas, estruturas de madeira, o concreto armado, que pode ser moldado in loco ou pré-moldado, e a alvenaria estrutural.

Independentemente do modelo estrutural adotado, deve-se inicialmente efetuar a concepção estrutural. Essa fase envolve a escolha de um sistema estrutural que constitua a parte resistente do edifício, sendo uma etapa crucial no projeto estrutural. Implica selecionar os elementos que constituem a parte resistente do edifício e definir suas posições, formando um sistema estrutural eficiente capaz de absorver os esforços das ações atuantes e transmiti-los para a fundação.

Enquanto a função da arquitetura engloba a funcionalidade, o conforto e a beleza, a solução estrutural adotada no projeto deve garantir os requisitos de qualidade e segurança estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura. O intuito deste trabalho é realizar um estudo de caso do projeto de um edifício residencial multifamiliar, comparando os custos dos materiais da estrutura em concreto armado moldado in-loco e da alvenaria estrutural, sem considerar os índices de produtividade da mão de obra em ambos sistemas, assim como o tempo de execução.

2.1. Concreto armado

O concreto é um material composto por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo. Pode também incluir adições e aditivos químicos para melhorar ou modificar suas propriedades básicas. A produção de concreto envolve um cuidadoso balanceamento das quantidades desses materiais para obter características desejadas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Conforme Bastos (2006), o concreto armado representa uma combinação de concreto simples com uma armadura, usualmente composta por barras de aço. Ambos devem resistir de forma conjunta aos esforços solicitantes, o que é garantido pela aderência. Na construção de um elemento estrutural em concreto armado, as armaduras de aço são previamente posicionadas dentro das fôrmas, e então o concreto fresco é lançado para preencher as fôrmas e envolver as armaduras, sendo simultaneamente adensado. Após a cura e o endurecimento do concreto, as fôrmas são removidas, resultando a peça de concreto armado.

As estruturas de concreto são amplamente utilizadas em todo o mundo, sendo especialmente predominantes no Brasil. Em comparação com estruturas de outros materiais, a ampla disponibilidade de seus componentes e a facilidade de aplicação explicam sua vasta utilização em diversos tipos de obras, como edifícios, pontes, viadutos, reservatórios, barragens, pisos industriais, pavimentos rodoviários, entre outros.

Como qualquer outro material, o concreto armado também possui vantagens e desvantagens quanto ao seu uso estrutural. Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2007), as vantagens são:

- Boa resistência à maioria das solicitações.
- Adaptabilidade a várias formas, oferecendo maior liberdade ao projetista.
- Possibilidade de obter estruturas monolíticas, ao contrário de aço, madeira e pré-moldados.
- Técnicas de execução bem dominadas em todo o país.
- Durabilidade, desde que bem executado conforme normas.
- Melhor resistência ao fogo e durabilidade em comparação a madeira e aço, se os cobrimentos e a qualidade do concreto forem adequados.
- Utilização de pré-moldados permite maior rapidez e facilidade de execução.
- Resistência a choques, vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.

Carvalho e Figueiredo Filho (2007) ainda diz que as características negativas do concreto são:

- Elementos maiores e mais pesados que o aço, resultando em grande peso próprio e, em alguns casos, maior custo.
- Reformas e adaptações frequentemente difíceis de executar.
- Bom condutor de calor e som, necessitando associação com outros materiais para isolamento.

- Necessidade de sistemas de formas e escoramentos, que devem permanecer até o concreto alcançar a resistência adequada, exceto no uso de pré-moldados.

Pilares

Os pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes” (NBR 6118/2023, item 14.4.1.2). A sua principal função é transmitir as ações para a fundação, podendo também transmitir para outros elementos de apoio. Geralmente as cargas são advindas das lajes, que passam para as vigas, e em seguida para os pilares. Além de serem submetidos as cargas verticais, estes elementos também são submetidos a esforços de flexão devido às ações do vento. Assim, podem ser integrados ao sistema de contraventamento, que é responsável por assegurar a estabilidade global dos edifícios contra ações verticais e horizontais.

De acordo com a NBR 6118/2023, a seção transversal dos pilares, qualquer que seja a forma, não deve apresentar dimensão menor que 19 cm. Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 14 e 19 cm, desde que os esforços solicitantes de cálculo sejam multiplicados por um coeficiente de majoração. A tabela 1, apresenta parte da tabela 13.1 da norma com os valores dos coeficientes. Vale ressaltar que em nenhuma hipótese, permite-se pilares com seção transversal de área inferior a 360 cm².

Tabela 1 – Valores do coeficiente de majoração do carregamento para pilares.

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
<p>onde</p> $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b;$ <p><i>b</i> é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).</p> <p>NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.</p>						

Fonte: ABNT NBR 6118/2023.

Vigas

A NBR 6118/2023 no item 14.4.1.1 define que as vigas “são elementos lineares em que a flexão é preponderante”. São elementos estruturais essenciais em qualquer construção, desempenhando funções cruciais para a integridade e estabilidade da edificação. Primariamente, as vigas suportam e distribuem cargas aplicadas sobre elas, transferindo-as para

outros elementos estruturais como pilares e fundações. Essas cargas tanto incluem forças verticais, resultantes do peso das lajes e paredes, quanto forças horizontais, resultantes da ação do vento.

Projetadas para resistir a esforços de flexão e cisalhamento, as vigas são fundamentais para manter a estrutura estável e segura. A resistência à flexão é especialmente importante, pois impede que as vigas se curvem sob a ação das cargas transversais. Além disso, a rigidez das vigas é crucial para limitar as deflexões que podem comprometer a segurança e o desempenho da construção.

A NBR 6118/2023 determina que a seção transversal das vigas não deve apresentar largura menor que 12 cm e a das vigas-parede, menor que 15 cm. Em casos excepcionais, estes limites podem ser reduzidos respeitando o mínimo absoluto de 10 cm, sendo obrigatória a seguintes condições:

- a) Alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e cobrimentos estabelecidos na norma ABNT NBR 6118/2023
- b) Lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931/2004.

Lajes

As lajes são elementos estruturais planos e horizontais que fazem parte da estrutura de edifícios, responsáveis por transmitir cargas verticais para as vigas e, posteriormente, para os pilares e fundações. Elas desempenham um papel crucial na distribuição uniforme das cargas, incluindo o peso próprio, o peso de móveis, pessoas e outras cargas aplicadas sobre a superfície da construção. Entre os tipos mais comuns de lajes de concreto armado estão as lajes maciças, nervuradas e pré-moldadas treliçadas, cada qual com características específicas em termos de espessura, resistência e métodos de construção. Neste trabalho, será utilizada apenas a laje maciça, portanto, nos ateremos somente a ela.

Laje maciça

Rebello (2007) define que a laje maciça “é uma placa de concreto armado cujo plano geralmente é horizontal, podendo algumas vezes apresentar pequenas inclinações, quando utilizadas em coberturas”. Neste tipo de laje, toda a espessura é preenchida de concreto e armaduras de aço, com o objetivo de atender aos esforços de flexão. Geralmente são apoiadas

em vigas ou em paredes ao longo das bordas. Uma das características desse elemento é que elas distribuem suas reações em todas as vigas de contorno, diferentemente das pré-moldadas. Assim, há um aproveitamento maior das vigas no pavimento, tendo cargas com a mesma ordem de grandeza, dependendo apenas dos vãos. Carvalho e Figueiredo Filho (2007), destaca que o custo com formas representa grande parcela da estrutura, principalmente nas lajes maciças. Contudo, o custo de pavimentos com laje maciça diminui consideravelmente quando existe repetição de pavimentos, pois assim, pode-se utilizar as mesmas formas e escoramentos diversas vezes.

A NBR 6118/2023 impõe os valores mínimos para a espessura de lajes maciças que devem respeitar os seguintes limites:

- 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço (de cobertura ou de piso);
- 12 cm para lajes que estejam sujeitas à trânsito de veículos, com até três toneladas;
- 15 cm para lajes que estejam sujeitas à trânsito de veículos, com mais de três toneladas.

2.2. Pré-dimensionamento dos elementos estruturais (laje, viga e pilar)

Antes de iniciar o desenvolvimento do projeto estrutural propriamente dito, é fundamental realizar estimativas sobre as dimensões dos elementos estruturais. A esta etapa chamamos de “pré-dimensionamento”. Este procedimento é bastante utilizado por arquitetos para verificar a compatibilidade dos espaços e volumes do projeto arquitetônico com as prováveis dimensões dos elementos estruturais necessários para a execução da edificação e verificação da compatibilidade nos projetos complementares. Na engenharia, esse processo é utilizado pelo mesmo motivo, mas também para determinar inicialmente o peso próprio dos elementos estruturais, que é essencial para seu dimensionamento.

A literatura especifica diversos métodos e recomendações de vários autores que propõe a utilização de fórmulas ou ábacos simplificados para auxiliar na estimativa dos elementos estruturais. Neste trabalho o pré-dimensionamento dos pilares, vigas e lajes foram realizados segundo o método gráfico proposto por REBELLO (2007).

Outro fator a ser considerado no projeto que pode afetar as dimensões dos elementos estruturais é em atender aos critérios de desempenho e segurança. Nisso podemos citar a prescrição de segurança contra o fogo, onde a NBR 14432/2001 trata sobre as exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Esta norma estabelece as condições que os elementos estruturais das edificações devem cumprir em situações de incêndio para evitar o colapso da estrutura. A importância dessa norma é evidente, pois, embora raros, colapsos em estruturas de concreto armado devido a incêndios podem resultar em desastres graves. A norma exige que as estruturas sejam projetadas para atender ao Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), ou seja, o período mínimo em que um elemento construtivo deve resistir ao fogo. De acordo com a NBR 14432/2001, as edificações de ocupação residencial se enquadram no grupo A da tabela B1 da citada norma que se encontra representada abaixo, na tabela 2. Assim, a divisão A-2, atende as habitações multifamiliares.

Tabela 2 – Classificação das edificações quanto a sua ocupação.

Anexo B (normativo)
Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Tabela B.1 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e semelhantes	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e semelhantes com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
C	Comercial varejista	C-1	Comércio em geral, de pequeno porte	Amarinhos, tabacarias, mercearias, fruteiras, butiques e outros
		C-2	Comércio de grande e médio portes	Edifícios de lojas, lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercado e outros
		C-3	Centros comerciais	Centro de compras em geral (shopping centers)
D	Serviços profissionais pessoais e técnicos	D-1	Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, consultórios, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros laboratórios de análises clínicas sem internação, centro profissionais e outros
		D-2	Agências bancárias	Agências bancárias e semelhantes
		D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados em G e I)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
		E-1	Escolas em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e outros

Fonte: NBR 14432/2001-Tabela B.1

Para definir o TRRF, deve-se observar a tabela A.1 da norma, apresentada aqui na tabela 3. Observa-se que os tempos variam com o sub-solo (se houver) e a altura da edificação.

Tabela 3 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF).

Tabela A.1 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minuto

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte: NBR 14432/2001-Tabela A.1

Em relação à análise dos elementos de concreto em situação de incêndio a NBR 15200/2012 complementa a NBR 14432/2001, nos critérios de projeto de estruturas de concreto armado classificando a edificação de acordo com o TRRF estabelecido anteriormente. Um dos métodos mais práticos presente na NBR 15200/2012 é o tabular, pois para ele, é suficiente que os elementos de concreto atendam às dimensões mínimas recomendadas em tabelas. A seguir pode-se observar na tabela 4 do texto, as tabelas 4 e 5 da norma, definindo para as vigas as dimensões mínimas em função TRRF da edificação e na tabela 5, para as lajes simplesmente apoiadas ou contínuas.

Tabela 4 – Dimensões mínimas para vigas biapoiadas e contínuas (tabela 4 e 5 da NBR 14432/2001).

Tabela 4 – Dimensões mínimas para vigas biapoiadas ^a

TRRF min	Combinações de b_{\min}/c_1 mm/mm				$b_{w\min}$ mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

^a Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Tabela 5 – Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos ^a

TRRF min	Combinações de b_{\min}/c_1 mm/mm				$b_{w\min}$ mm
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	–	–	80
60	120/25	190/12	–	–	100
90	140/37	250/25	–	–	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

^a Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: NBR 14432/2001-Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 5 – Dimensões mínimas para lajes maciças (tabela 6 e 7 da NBR 14432/2001).

Tabela 6 – Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas ^c

TRRF min	h^a mm	c_1 mm		
		Laje armada em duas direções ^b		Laje armada em uma direção $\ell_y/\ell_x > 2$
		$\ell_y / \ell_x \leq 1,5$	$1,5 < \ell_y / \ell_x \leq 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40
180	150	30	40	55

^a Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.
^b Lajes apoiadas nas quatro bordas; caso contrário, a laje deve ser considerada armada em uma direção.
^c Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Tabela 7 – Dimensões mínimas para lajes contínuas ^c

TRRF min	h^a mm	c_1^b mm
30	60	10
60	80	10
90	100	15
120	120	20
180	150	30

^a Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.
^b Válido para lajes armadas em uma ou duas direções.
^c Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: NBR 14432/2001-Tabela 6 e Tabela 7.

Para a escolha do tipo de fundação a ser adotada deve-se considerar a sondagem do solo no terreno onde será executado o projeto. Um tipo de sondagem é o SPT. O ensaio SPT (Standard Penetration Test) é um dos métodos mais utilizados para obter o perfil geotécnico de um solo devido à sua praticidade, precisão e custo-benefício, especialmente em construções residenciais no Brasil. Esse teste mede a resistência do solo ao contar o número de golpes

necessários para cravar um amostrador em diferentes profundidades. A análise do SPT permite identificar características do solo, como granulometria, plasticidade, cor e origem, além de determinar a localização do nível de água subterrânea. Com essas informações, é possível traçar o perfil geológico-geotécnico do terreno, e identificar a resistência do solo essencial para o dimensionamento e especificação das fundações do projeto. A NBR 6484/2001 descreve como deve ser realizado os ensaios.

2.3. Alvenaria estrutural

Camacho (2006) conceitua a alvenaria estrutural como o processo construtivo em que os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria. Esses elementos são projetados, dimensionados e executados de forma racional.

Nesse sistema construtivo, a parede é usada para transmitir esforços, sendo crucial definir as paredes estruturais e os tipos de lajes que vão influir no lançamento estrutural pois, depende do vão que a laje pode vencer. Os principais fatores do projeto incluem o arranjo arquitetônico, coordenação modular, onde é verificada a adequação do projeto arquitetônico à modulação dos blocos, otimização do funcionamento estrutural da alvenaria e racionalização do projeto e produção.

Segundo Camacho (2006), o emprego da alvenaria estrutural pode reduzir os custos em até 30% em comparação ao concreto armado. Essa economia está ligada à correta aplicação de técnicas de planejamento e execução, derivando-se da simplificação das técnicas e da redução do uso de fôrmas e escoramentos. Ramalho e Corrêa (2003) destacam as principais vantagens da alvenaria estrutural quando comparada às estruturas independentes de concreto armado, tais como:

- Economia de fôrmas, limitando seu uso apenas para a concretagem das lajes moldadas in loco.
- Redução significativa nos revestimentos devido ao controle de qualidade na fabricação dos blocos e na execução das alvenarias, diminuindo a espessura dos revestimentos.
- Redução da perda de material e mão de obra, pois as paredes não podem sofrer alterações, eliminando desperdícios e improvisações.
- Redução do número de profissionais, como carpinteiros e armadores.
- Flexibilidade no ritmo de execução; se as lajes forem pré-fabricadas, não há necessidade de tempo de cura exigido em elementos de concreto armado.

Por outro lado, Ramalho e Corrêa (2003) também apontam algumas desvantagens da alvenaria estrutural em comparação com o concreto armado moldado in loco:

- Dificuldade de adaptar a arquitetura a um novo uso, pois as paredes têm função estrutural e não podem ser alteradas.
- Vãos livres limitados.
- Necessidade de mão de obra especializada, exigindo treinamento prévio para evitar erros que comprometam a segurança e a racionalização do processo.
- Limitação do projeto arquitetônico pela concepção estrutural, que não permite a construção de obras arrojadas.

Freitas Júnior (2013) reforça essas observações, afirmando que o sistema de alvenaria estrutural pode proporcionar: a) Redução de 60 a 90% no uso de formas; b) Diminuição de 50% no consumo de aço; c) Economia de 20% no consumo de concreto; d) Redução de até 20% no custo total da obra.

Os principais componentes empregados na execução de edifícios de alvenaria estrutural são os blocos, a argamassa, o graute e as armaduras que podem ser construtivas ou de cálculo. É comum também a presença de elementos pré-fabricados como: vergas, contravergas, coxins, e assessorios, entre outros. Camacho (2006).

Blocos

Os blocos são os componentes mais importantes que compõe a alvenaria estrutural, visto que comandam a resistência à compressão e determinam os procedimentos para aplicação da técnica da modulação nos projetos. Os principais tipos encontrados no mercado são os blocos cerâmicos e de concreto mostrados na (Figura 1), porém, ainda existe os blocos sílicos-calcáreos. As principais propriedades são a resistência à compressão, estabilidade dimensional, vedação e modulação. A NBR 15270-1/2017 dispõe dos requisitos para os blocos de alvenaria, padronizando suas características físicas e geométricas (Tabela 6). Dentre os blocos padronizados pela norma, foi escolhida a família de blocos 14x19.

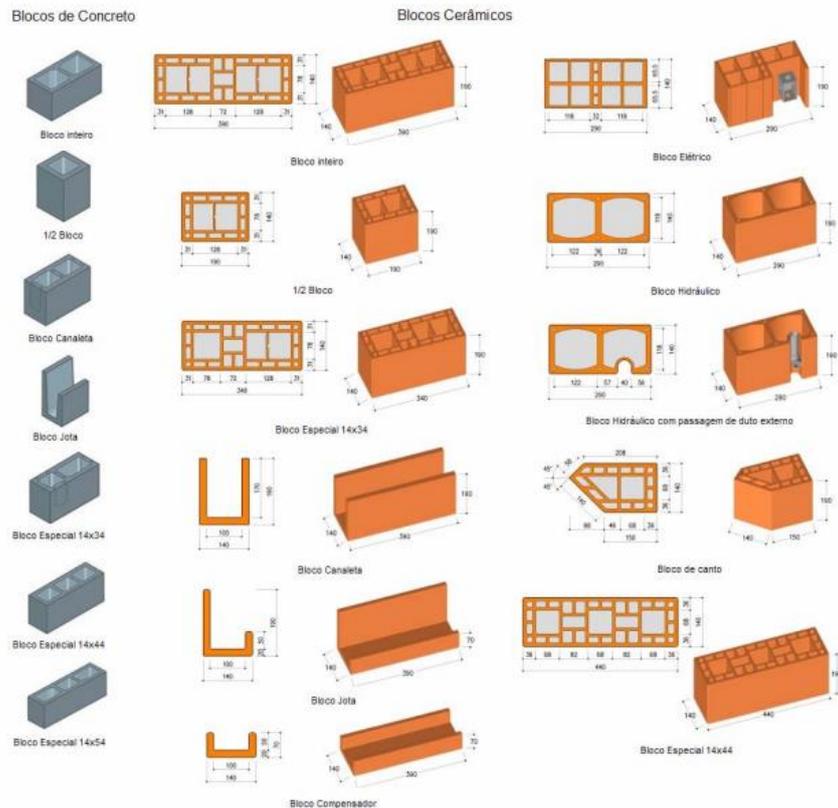
Tabela 6 – Dimensões dos blocos de alvenaria estrutural.

Dimensões modulares $L \times H \times C$ Módulo dimensional $M = 10 \text{ cm}$	Dimensões nominais cm					
	Largura L	Altura H	Comprimento C			
			Bloco principal	1/2 Bloco	Bloco L amarração	Bloco T amarração
$(5/4) M \times (5/4) M \times (5/2) M$	11,5	11,5	24	11,5	–	36,5
$(5/4) M \times (2) M \times (5/2) M$			24	11,5	–	36,5
$(5/4) M \times (2) M \times (3) M$		19	29	14	26,5	41,5
$(5/4) M \times (2) M \times (4) M$			39	19	31,5	51,5
$(3/2) M \times (2) M \times (3) M$	14	19	29	14	–	44
$(3/2) M \times (2) M \times (4) M$			39	19	34	54
$(2) M \times (2) M \times (3) M$			29	14	34	49
$(2) M \times (2) M \times (4) M$	19	19	39	19	–	59
			59	29	–	–

Legenda
 Bloco L é o bloco para amarração em paredes em L.
 Bloco T é o bloco para amarração em paredes em T.
 NOTA 1 Os blocos com largura de 7,0 cm e altura de 19 cm são admitidos, excepcionalmente, somente em funções secundárias (como em shafts ou pequenos enchimentos) e respaldados por projeto com identificação do responsável técnico.
 NOTA 2 Dimensões nominais ou de fabricação diferentes das anteriores podem ser criadas, respeitando a dimensão modular igual a um dos valores indicados somados a 1 cm.

Fonte: NBR 15270-1/2017

Figura 1 – Famílias de blocos de alvenaria estrutural.



Fonte: Camacho (2006)

A ABNT NBR 6136/2007, especifica que as resistências características mínimas à compressão de blocos de concreto sejam de 6 MPa para os blocos de paredes externas sem revestimento e 4,5 MPa para blocos em paredes internas ou externas com revestimento. Estas levando em consideração a área bruta dos blocos. Já a ABNT NBR 7171/1992, cita que a resistência mínima para blocos cerâmicos seja de 4 MPa.

Argamassa

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), a argamassa de assentamento tem a função de unir os blocos, transmitir e uniformizar as tensões entre eles, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e vento na edificação. A combinação do bloco e da argamassa forma o elemento misto conhecido como alvenaria. Nesse contexto, Parsekian e Soares (2010) destacam que a resistência à compressão da argamassa deve ser compatível com a resistência do bloco. Utilizar uma argamassa muito rígida compromete sua capacidade de absorver deformações, enquanto uma argamassa muito fraca resulta em baixa aderência entre os blocos e pouca resistência à compressão, afetando a eficiência da parede portante. A plasticidade da argamassa é crucial para permitir a transferência uniforme das tensões de um bloco para outro.

Graute

O graute consiste em um concreto fino, composto por cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos de pequena dimensão (até 9,5mm), deve apresentar alta fluidez para que possa preencher adequadamente os vazios dos blocos onde serão aplicados. Tendo como funções básicas aumentar a resistência da parede e proporcionar aderência com as armaduras. As propriedades do graute consiste em ter resistência adequada à compressão e boa trabalhabilidade (fluidez).

Considera-se que o conjunto bloco, graute e eventualmente armadura trabalhe monoliticamente, de maneira análoga ao que ocorre com o concreto armado. Para tal, o graute deve envolver completamente as armaduras e aderir tanto a ela quanto ao bloco. De acordo com a NBR 10837/1989, o graute deve ter sua resistência característica maior ou igual a duas vezes a resistência característica do bloco.

Armaduras

As armaduras empregadas na alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas no concreto armado e estão sempre presentes na forma de armadura construtiva ou de cálculo. Tendo como

funções absorver os esforços de tração e/ou compressão e cobrir necessidades construtivas. É importante frisar que sempre que houver armadura, esta deve ser envolvida pelo graute.

2.4. Modulação e amarração

A escolha do tipo de bloco a ser utilizado no projeto é um dos aspectos mais significativos, já que essa decisão influencia diretamente em questões relacionadas ao projeto, à execução, à economia e ao desempenho da obra. Na alvenaria estrutural, a vinculação entre os elementos é essencial para a rigidez global da edificação e o pleno desempenho estrutural. O fato do bloco possuir dimensões conhecidas e de apresentar pequena variabilidade dimensional, possibilita que se aplique a técnica de coordenação modular.

A coordenação modular, ou modulação, envolve ajustar todas as dimensões da construção, tanto horizontais quanto verticais, para que sejam múltiplos da dimensão básica da unidade. O principal objetivo é evitar cortes e desperdícios durante a fase de execução. Durante essa etapa, é necessário prever todos os encontros de paredes, aberturas, pontos de graute e ferragem, ligação entre laje e parede, caixas de passagem, colocação de pré-moldados e instalações em geral.

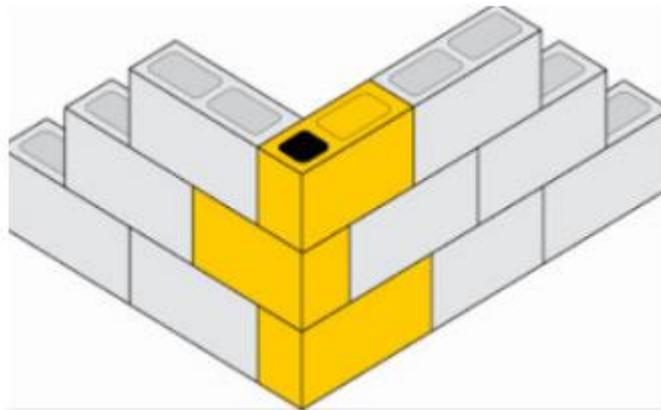
De acordo com a ABNT NBR 16868-1/2020, a amarração pode ser realizada de duas formas: amarração direta, onde as paredes se intertravam alternadamente, e amarração indireta, utilizando armaduras atravessando as interfaces comuns. A eficiência da amarração indireta deve ser comprovada experimentalmente para a transmissão de esforços. As fiadas da alvenaria estrutural são estabelecidas de forma a garantir uma amarração direta entre os blocos. A amarração direta é de extrema importância para garantir a estabilidade, a resistência e a durabilidade da construção. Consiste em posicionar os blocos de forma que haja uma interligação sólida entre eles, criando uma ligação coesa que evita o deslocamento lateral dos blocos e assegura a integridade da estrutura como um todo. Algumas razões pelas quais a amarração direta é tão importante na alvenaria estrutural são os benefícios que ela proporciona, entre os quais podemos citar alguns:

- **Resistência e Estabilidade:** A amarração adequada evita que os blocos se separem e deslizem uns sobre os outros, o que poderia enfraquecer a estrutura como um todo e levar a problemas de estabilidade.
- **Distribuição de Cargas:** A interligação dos blocos através da amarração ajuda a distribuir as cargas verticais e horizontais de maneira uniforme, evitando pontos de concentração de esforços que poderiam causar fissuras ou colapsos.

- **Transmissão de Cargas:** Através da amarração, as cargas transmitidas pelas paredes e lajes são transferidas de maneira mais eficiente para as fundações, garantindo que a estrutura possa suportar as cargas sem deformações excessivas.
- **Resistência a Ações Sísmicas:** A amarração também é fundamental para melhorar a capacidade da estrutura de resistir a ações sísmicas, pois ajuda a dissipar e absorver a energia gerada durante um terremoto, minimizando danos.
- **Redução de Fissuras:** A amarração reduz o risco de fissuras e trincas na alvenaria, já que os blocos trabalham em conjunto para absorver deformações e movimentações.

Para determinar o posicionamento dos blocos no projeto é necessário identificar certas situações de encontro de paredes a fim de adotar a melhor solução possível. De forma geral, foram observadas três circunstâncias principais, sendo elas: amarrações em L, amarrações em T e amarrações em X. Para cada uma delas, segue abaixo nas figuras 2, 3, 4 as ilustrações de como foi adotado o posicionamento das fiadas de forma a garantir a amarração direta.

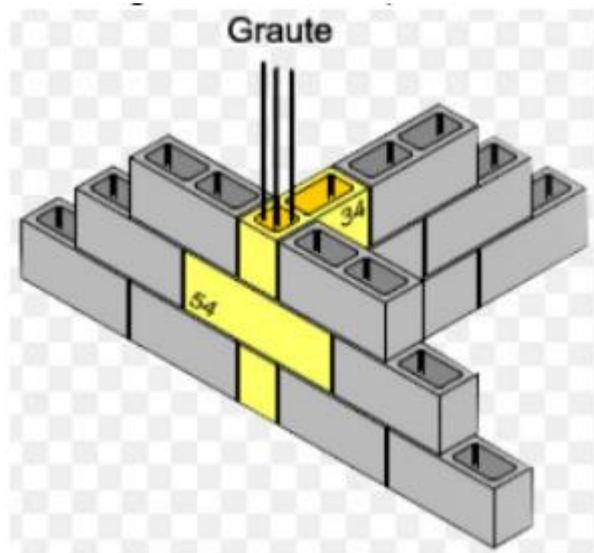
Figura 2 – Amarração em L.



Fonte: Tecpré – Pré moldados

Para este tipo de amarração em L, utilizam-se apenas blocos do tamanho padrão (14x19x29).

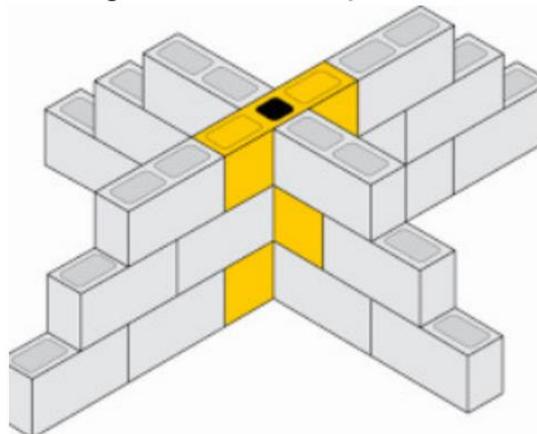
Figura 3 – Amarração em T.



Fonte: Tecpré – Pré moldados

Neste tipo de amarração T, intercalam-se os blocos do tamanho padrão (14x19x29) e o bloco e meio (14x19x44).

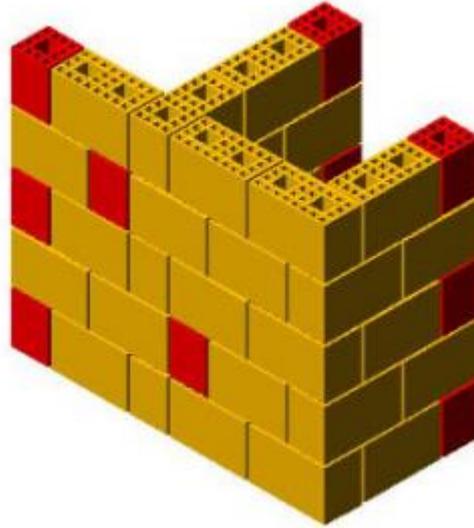
Figura 4 – Amarração em X.



Fonte: Tecpré – Pré moldados

Para a amarração em X, utilizam-se apenas o bloco e meio (14x19x44). Além disso, em casos em que há a existência de aberturas ou que a modulação foge do bloco padrão, utiliza-se o meio bloco (Figura 5) a fim de gerar uma junta a prumo ou preencher espaços que sobraram.

Figura 5 – Utilização do meio bloco.



Fonte: Camacho (2006)

Destaca-se que um projeto bem planejado e claramente definido em termos de modulação permite aproveitar ao máximo as vantagens do sistema de alvenaria estrutural. Isso resulta em facilidade e redução do tempo de execução, minimização ou eliminação de desperdícios e geração de entulhos, proporcionando economia e maior qualidade no produto final.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta do trabalho consiste em um estudo de caso, no qual serão analisados os custos para a execução da estrutura de um edifício residencial multifamiliar utilizando os métodos construtivos em concreto armado e alvenaria estrutural. Para tanto, o desenvolvimento da metodologia seguirá um conjunto de procedimentos sistemáticos que abrangem desde a elaboração dos projetos estruturais até a análise comparativa dos custos e viabilidade dos diferentes métodos construtivos.

Inicialmente, os projetos estruturais serão desenvolvidos utilizando os softwares *Eberick* e *QiBuilder*, ferramentas robustas e amplamente reconhecidas na Engenharia Civil. Esses programas permitirão uma modelagem precisa e detalhada das estruturas, proporcionando uma análise válida dos dados obtidos.

Em seguida, será realizada a comparação dos custos dos materiais empregados em cada método construtivo. Para isso, serão verificados os volumes de concreto, o consumo de aço e a área de formas, quantidades de blocos, necessários para cada solução estrutural em estudo. Essa

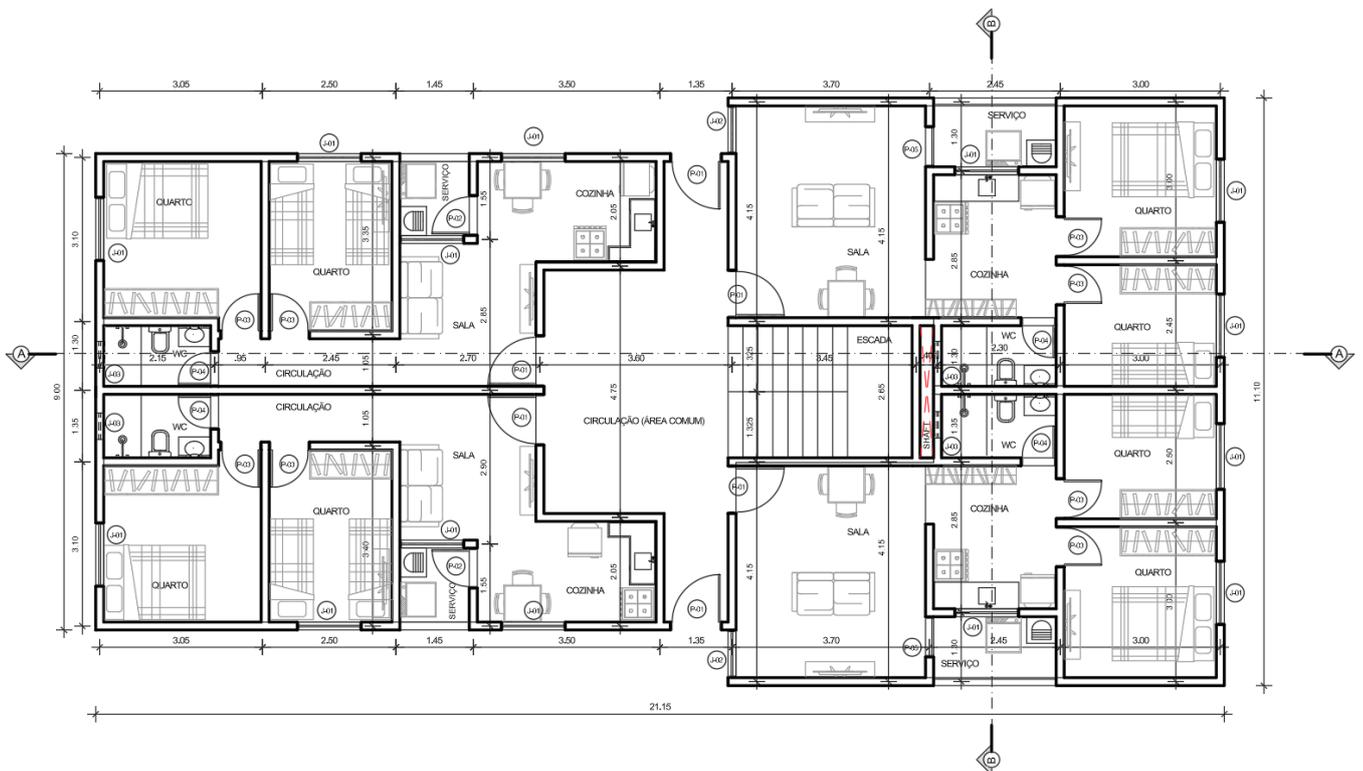
análise quantitativa é de suma importância para identificar e quantificar as diferenças de custo entre os métodos e obter uma base sólida para a decisão econômica.

A análise da viabilidade de cada método construtivo será outro ponto crucial do trabalho. Aqui, será considerada a influência do projeto arquitetônico na escolha do método mais apropriado. Aspectos como a complexidade do layout do projeto, as limitações de espaço e as exigências específicas da obra serão levados em conta para avaliar a praticidade e a eficiência de cada solução.

3.1. Apresentação do projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico em análise é um edifício residencial multifamiliar localizado na cidade de Patos, no estado da Paraíba. A edificação possui quatro pavimentos: térreo, primeiro e segundo andar, e um reservatório superior. Com exceção do reservatório, todos os pavimentos têm o mesmo layout e área de 209,88 m², totalizando 629,64 m² de área construída dos apartamentos e 10,08 m² do reservatório. Cada pavimento possui quatro apartamentos, onde cada apartamento possui duas salas (estar/jantar), dois quartos, banheiro, cozinha e área de serviço. A figura 6 apresenta a planta baixa do pavimento térreo.

Figura 6 – Planta Baixa do Térreo.



Fonte: Autor, 2024.

3.2. Ferramentas para o dimensionamento das estruturas: *Eberick* e *QiBuilder* 2024

Os softwares *Eberick* e *QiBuilder*, são produtos nacionais da empresa *AltoQi*, desenvolvidos para auxiliar na elaboração dos projetos complementares. O *Eberick* é voltado para projetos estruturais, possibilitando o desenvolvimento de projetos em concreto armado moldado in-loco, pré-moldado, protendido e alvenaria estrutural. Por outro lado, o *QiBuilder* é destinado a projetos de instalações hidrossanitárias, elétricas, gás, combate à incêndio, climatização e modelagem da alvenaria estrutural, entre outros.

Os programas fornecem detalhamentos dos elementos e ainda possibilitam a visualização da estrutura em 3D. Além disso, as configurações dos softwares estão de acordo com as normas vigentes para cada projeto, e são atualizadas conforme as novas versões. O dimensionamento no *Eberick* segue a NBR 6118/2023, que regula o projeto de estrutura de concreto, verificando os estados limites últimos (ELU) e estados de limites de serviços (ELS). Os resultados são apresentados em janelas dentro do programa para cada elemento da estrutura.

Na realização da etapa do projeto em concreto armado, foram utilizados no *Eberick* recursos de cálculo para a determinação dos esforços na estrutura, dimensionamento dos elementos, verificação das flechas e geração dos quantitativos de materiais. Já para o projeto em alvenaria estrutural, utilizou-se o *QiBuilder* para modelar a estrutura. Em seguida, exportou-se o projeto de alvenaria para o *Eberick*, permitindo o dimensionamento dos elementos, a análise dos esforços e a geração dos quantitativos de materiais.

3.3. Configurações dos softwares

Para o dimensionamento da estrutura dentro das plataformas serviço, tanto do *Eberick* como no *QiBuilder*, é necessário realizar a configuração dos elementos e dos parâmetros do projeto. Para o concreto, adotou-se uma resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa. Foi adotada a classe de agressividade ambiental II, moderada, em razão da edificação ser considerada em zona urbana. Em relação ao aço, utilizou-se as categorias CA-50 e CA-60 com resistência característica ao escoamento $f_{yk} = 50$ MPa e $f_{yk} = 60$ MPa, respectivamente. Abaixo, pode-se observar os parâmetros gerais do projeto estrutural.

Figura 7 – Parâmetros gerais do projeto estrutural

Materiais e durabilidade

Aplicação
 Projeto inteiro
 Por pavimento

Pavimento
 Pavimento
 Laje
 Laje com pilares
 Laje com pilares e muros
 Laje com pilares e muros e reservatórios

Avisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

Geral
 Classe de agressividade: II (moderada)
 Dimensão do agregado: 19 mm
 Controle rigoroso nas dimensões dos elementos
 Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Abertura máxima das fissuras
 Contato com o solo: 0.2 mm
 Contato com a água: 0.1 mm
 Demais peças: 0.3 mm
 Combinações: Frequentes

Elementos	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-25	3 cm	3 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	3 cm	4.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-25	2.5 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-25	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Muros	C-25			3 cm	Bitolas...
Radier	C-25			3 cm	Bitolas...

Elementos pré-moldados
 Concreto
 Vigas: C-25, Cobrimento (peças externas): 3 cm, Bitolas...
 Pilares: C-25, Cobrimento (peças externas): 3 cm, Bitolas...
 Etapas...
 Tipo: Pré-moldado

Fluência... Barras... Classes... Protensão... OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor, 2024

Após adotar a classe de resistência do concreto o *Eberick* fornece todas as informações sobre módulo de elasticidade, resistência, peso específico de forma automática (Figura 8).

Figura 8 – Características do concreto.

Classes de concreto

Classes de resistência
 C-10
 C-20
 C-25
 C-30
 C-35
 C-40
 C-45
 C-50

Identificação: C-25

Resistência à compressão
 Resistência característica (fck): 250 kgf/cm²
 Coeficiente de minoração (γ_c): 1.4
 Resistência de cálculo (fcd): 178.57 kgf/cm²

Peso específico: 2500 kgf/m³
 Abatimento (slump): 5 cm
 Coeficiente de dilatação térmica: 0.00001 /°C
 Tipo de agregado: granito

Custo
 Material: 641.18 R\$/m³
 Execução: 71.69 R\$/m³

ESG
 Fator de emissão de CO₂: 373 kgCO₂/m³

Módulo de elasticidade
 Obter a partir do fck
 Módulo secante (Ecs): 241500 kgf/cm²
 Módulo inicial (Eci): 280000 kgf/cm²

Resistência à tração
 Obter a partir do fck
 Resistência média (fctm): 25.65 kgf/cm²
 Característica inferior (fctk.inf): 17.95 kgf/cm²
 Característica superior (fctk.sup): 33.34 kgf/cm²
 Resistência de cálculo (fctd): 12.82 kgf/cm²

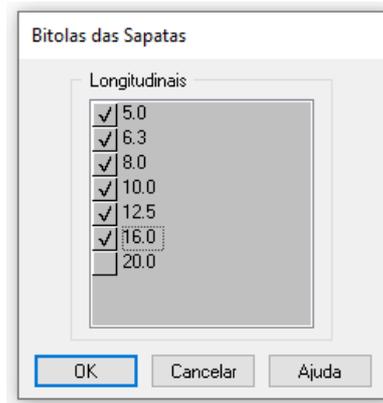
Cimento
 Obter a partir da classe de agressividade
 Consumo: 280 kgf/m³
 Tipo: CP-IV

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor, 2024

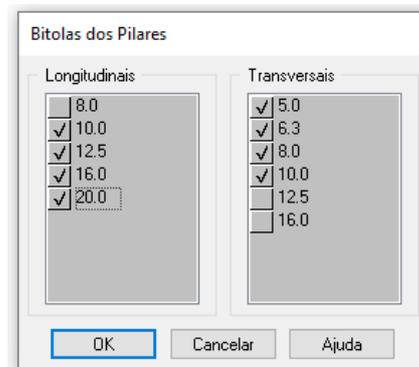
Adotou-se neste trabalho o aço CA -60 para os fios de \varnothing 5mm e aço CA – 50, para as barras utilizadas nas armaduras longitudinais das sapatas (Figura 9), pilares (Figura 10), vigas (Figura 11) e das armaduras positivas e negativas das lajes (Figura 12), conforme diâmetros selecionados.

Figura 9 – Diâmetros para as sapatas.



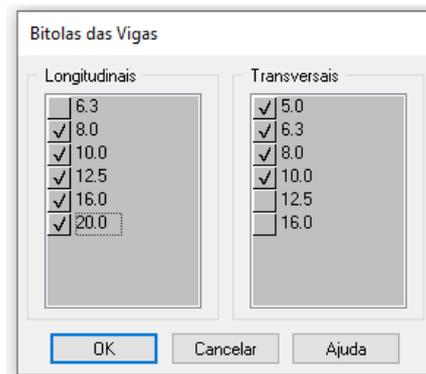
Fonte: Autor, 2024

Figura 10 – Diâmetros para os pilares.



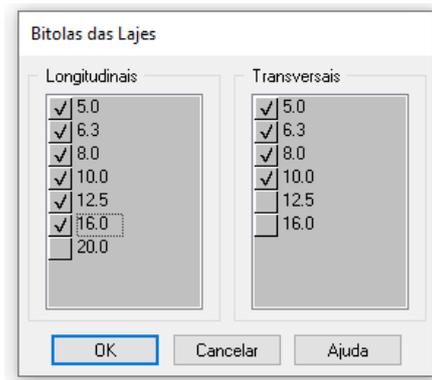
Fonte: Autor, 2024

Figura 11 – Diâmetros para as vigas.



Fonte: Autor, 2024

Figura 12 – Diâmetros para as lajes.



Fonte: Autor, 2024

Devido ao projeto não possuir sondagem para o solo, adotou-se na figura 13 as seguintes características disponibilizadas pelo software que mais se aproximam ao solo da região do projeto em estudo.

Figura 13 – Características do solo.

Fonte: Autor, 2024

Em relação à resistência da estrutura em situações de incêndios, A edificação se enquadra no grupo A, divisão A-2, segundo a NBR 14432/2001. Com isso, temos que o TRRF é de 60 minutos, como podemos observar na figura 14 a seguir:

Figura 14 – TRRF adotado.

Requisitos

Definir TRRF automaticamente

Ocupação: A - Residencial

Definir alturas automaticamente

Altura acima do solo: 1224 cm

Profundidade do subsolo: 0 cm

Permitir redução de TRRF utilizando MTE

Método do tempo equivalente...

Avançado...

Elemento TRRF

Vigas: 60 min

Pilares: 60 min

Lajes: 60 min

Paredes: 60 min

Revestimento

Projeto inteiro

Por pavimento

Elementos	Físico	Eficiência	Efetivo
Vigas	1.5 cm	100 %	1.5 cm
Pilares	1.5 cm	100 %	1.5 cm
Lajes (superior)	1.5 cm	100 %	1.5 cm
Lajes (inferior)	0 cm	100 %	0 cm
Paredes	1.5 cm	100 %	1.5 cm
Vigas PM	0 cm	100 %	0 cm
Pilares PM	0 cm	100 %	0 cm

Fonte: Autor, 2024

Outro ponto importante a considerar são as juntas de dilatação. De acordo com a NBR 6118/2023, item 24.4, elas devem ser previstas a cada 15 metros. Como na estrutura em estudo o maior comprimento é de 21,15 m, excedendo aos 15 metros, é necessário considerar os efeitos da retração térmica do concreto, devido ao calor de hidratação, à retração hidráulica e à variação de temperatura. Para isso, no projeto em concreto armado foi adotada uma variação de temperatura de 15°C informada ao software, com os coeficientes de retração calculados automaticamente pelo programa, conforme ilustrado na figura 15. Em relação ao projeto em alvenaria estrutural a NBR 16868/2020 recomenda prever juntas de dilatação no máximo a cada 24 metros da edificação em planta. Com isso, não foi necessário prever a junta para o edifício em estudo.

Figura 15 – Variação de temperatura e coeficientes de retração.

Variação de temperatura e retração

Caso T1

Tipo: Uniforme

Face superior: 15 °C

Face inferior: 15 °C

Caso T2

Tipo: Uniforme

Face superior: 15 °C

Face inferior: 15 °C

Retração

Calcular automaticamente

Deform. superior: -0.44 %

Deform. inferior: -0.44 %

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor, 2024

Para o projeto em alvenaria estrutural, adotou-se no *QiBuilder* os blocos cerâmicos da família 14x29 com resistência de prisma, argamassa de assentamento e resistência da parede, de 3 MPa. A resistência definida no programa para o graute e a argamassa foi de 15 MPa, como percebe-se na figura 16.

Figura 16 – Parâmetros para o projeto de alvenaria estrutural.

▼ Composição da parede	
Nome	Prisma 3MPa
Código	4
▼ Dados de cálculo	
Resistência do prisma (MPa)	3
Resistência do prisma grauteado (MPa)	4.8
▼ Blocos	
Resistência	Parede vazada (3MPa)
▼ Argamassa de assentamento	
Classe	Argamassas e grautes
Grupo	Argamassa de assentamento
Argamassa	3 MPa
▼ Graute	
Classe	Argamassas e grautes
Grupo	Graute
Argamassa	15 MPa

Fonte: Autor, 2024

3.4. Custos dos materiais e mão de obra

A seguir, serão apresentados os custos dos materiais e da mão de obra disponíveis nas configurações do *Eberick*. Para os custos unitário presente na configuração padrão do *Eberick*, foram utilizadas tabelas de insumos e composições desonerados - sem considerar os encargos sociais referentes a contribuição de 20% de INSS sobre a folha de pagamento, do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), datadas no primeiro semestre de 2024, com preços estipulados para o estado da Paraíba. Destaca-se aqui que o objetivo geral do trabalho é de comparar os custos apenas para a execução das estruturas dos dois métodos construtivos adotados.

No projeto em alvenaria estrutural o *QiBuilder* só fornece os quantitativos dos materiais, com isso utilizou-se a mesma base de dados utilizada no *Eberick* para obter resultados compatíveis. Sabe-se que os custos dos insumos podem variar devido a diversos fatores, como localização, disponibilidade e técnicas empregadas, aspectos que estão fora do escopo deste estudo. No entanto, optou-se por manter os valores fornecidos pelo programa para o cálculo dos custos do concreto e do aço, pois são suficientes para alcançar o objetivo de realizar uma análise comparativa. Os custos relacionados ao concreto são expressos em R\$/m³ e variam de acordo com a classe definida pela resistência característica (fck). Assim, como todos os elementos analisados neste estudo utilizaram o mesmo valor de fck, portanto o custo deles pode ser observado na tabela 7.

Tabela 7 – Custos do concreto.

Custos do concreto (R\$/m³)		
Classe	Material	Execução
C-25	641,18	71,69

Fonte: Autor, 2024

Já para os custos relacionados ao aço são expressos em R\$/kg e variam de acordo com a resistência do aço e a bitola, conforme apresenta a tabela 8.

Tabela 8 – Custos do aço.

Custo do aço (R\$/kg)			
Bitola	Aço	Material	Execução
5.0	CA60	7,70	6,83
6.3	CA50	8,58	6,51
8.0	CA50	8,95	5,08
10.0	CA50	8,44	2,96
12.5	CA50	7,31	2,24
16.0	CA50	7,31	1,66
20.0	CA50	8,66	0,46

Fonte: Autor, 2024

Entretanto para às formas são expressos em R\$/m² e variam conforme o tipo de elemento estrutural que estão apresentados na tabela 9. O software *Eberick* não permite configurar a reutilização de formas, o que pode resultar em uma diferença significativa nos custos. Para mitigar esse problema, pode-se desmarcar a opção de inserir os custos das formas nos pavimentos superiores do projeto, como pode-se observar na figura 17, assumindo assim a reutilização das formas na execução desses pavimentos. Essa abordagem é considerada válida, pois, devido ao porte da estrutura, as formas seriam reutilizadas apenas três vezes.

Tabela 9 – Custos das formas.

Custos das formas (R\$/m²)		
Elemento	Material	Execução
Vigas	77,89	43,27
Pilares	127,7	21,93
Lajes	49,08	0,73
Escadas	120,71	32,39
Fundações	74,64	152,65

Fonte: Autor, 2024

- **Diâmetro das barras:** O programa escolhe barras de menor diâmetro, facilitando o dobramento.

Os coeficientes de escolha das armaduras podem ser configurados individualmente para cada tipo de elemento e variam de 1 a 6. Quanto maior o valor do coeficiente, maior será a relevância do parâmetro correspondente no processo de detalhamento. Após configurar os coeficientes, o programa pondera os valores atribuídos durante o processo de escolha das armaduras. Essa seleção ocorre apenas na sugestão inicial do diâmetro das armaduras para o detalhamento. Caso o usuário altere o diâmetro na janela de dimensionamento, o programa utilizará o valor definido pelo usuário, desconsiderando os coeficientes.

Visando obter um processamento estrutural mais econômico, foram ajustados os coeficientes para identificar os valores que resultassem em uma menor quantidade de aço, permitindo a adoção dessas configurações na geração dos quantitativos de materiais. Dessa forma, foram utilizadas as armaduras sugeridas pelo programa, sem a interferência do projetista da estrutura no detalhamento das ferragens.

Na primeira opção adotou-se os seguintes coeficientes:

Tabela 11 – Coeficientes para escolha das armaduras – Opção 1.

Elemento	Área de aço	Mão de obra	Diâmetro das barras
Sapatas	4	2	1
Pilares	4	2	1
Vigas	2	5	1
Lajes	4	2	1

Fonte: Autor, 2024

O que gerou os quantitativos demonstrados na tabela 12.

Tabela 12 – Resumo dos materiais – Opção 1.

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	2.690,4	1.190,7	1.897,2	217,8	553,4	6.549,5
	CA60	539,2	555,6	1.405,7	1,3	0,0	2.501,8
	Total	3.229,6	1.746,3	3.302,9	219,1	553,4	9.051,3
Volume concreto (m ³)	C-25	44,2	23,0	67,6	3,1	18,0	155,9
Área de forma (m ²)		601,5	329,8	554,4	28,4	29,4	1.543,5
Consumo de aço (kg/m ³)		73,1	76,0	48,9	71,5	30,7	58,1

Fonte: Autor, 2024

Na segunda opção foi adotado os seguintes coeficientes:

Tabela 13 – Coeficientes para escolha das armaduras – Opção 2.

Elemento	Área de aço	Mão de obra	Diâmetro das barras
Sapatas	4	4	2
Pilares	4	4	2
Vigas	4	3	2
Lajes	4	4	2

Fonte: Autor, 2024

O que gerou os seguintes quantitativos:

Tabela 14 – Resumo dos materiais – Opção 2.

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	2.344,2	1.199,1	3.261,3	223,0	555,4	7.583,0
	CA60	529,7	553,1	537,2	1,4	0,0	1.621,4
	Total	2.873,9	1.752,2	3.798,5	224,4	555,4	9.204,4
Volume concreto (m ³)	C-25	44,2	23,0	67,6	3,1	18,1	156,0
Área de forma (m ²)		601,5	329,8	554,4	28,4	29,4	1.543,5
Consumo de aço (kg/m ³)		65,1	76,2	56,2	73,2	30,7	59,0

Fonte: Autor, 2024

Para a terceira opção foi adotado os seguintes coeficientes:

Tabela 15 – Coeficientes para escolha das armaduras – Opção 3.

Elemento	Área de aço	Mão de obra	Diâmetro das barras
Sapatas	2	6	4
Pilares	2	6	4
Vigas	4	6	3
Lajes	2	6	4

Fonte: Autor, 2024

O que gerou os seguintes quantitativos:

Tabela 16 – Resumo dos materiais – Opção 3.

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	2.489,3	1.199,1	3.707,8	256,5	551,2	8.203,9
	CA60	530,1	553,1	556,2	1,4	0,0	1.640,8
	Total	3.019,4	1.752,2	4.264,0	257,9	551,2	9.844,7
Volume concreto (m ³)	C-25	44,2	23,0	67,6	3,1	18,1	156,0
Área de forma (m ²)		601,5	329,8	554,4	28,4	29,5	1.543,6
Consumo de aço (kg/m ³)		68,4	76,2	63,1	84,1	30,4	63,1

Fonte: Autor, 2024

Entre as opções apresentadas, os coeficientes da Opção 1 demonstraram a menor quantidade total de aço, correspondente a uma diferença de 793,4 kg. Portanto, esses valores foram adotados para o presente trabalho. Vale destacar que, nas três opções, observou-se um certo equilíbrio entre os tipos de aço utilizados: à medida que se reduz a quantidade de aço CA60, há um aumento correspondente no uso de CA50. Essa relação permite ao projetista decidir qual tipo de aço será predominantemente utilizado.

3.6. Cargas adotadas

No projeto apresentado, as cargas adotadas para as lajes maciças servirão tanto para o método em concreto armado como alvenaria estrutural.

Cargas verticais

O dimensionamento estrutural deve ser realizado com a máxima precisão, garantindo que elementos como lajes, vigas e pilares suportem os esforços e cargas aplicadas. Para isso, a análise das ações nas estruturas é regida pela NBR 6120/2019, que prescreve os tipos de cargas: permanentes e acidentais. As cargas permanentes são provenientes dos pesos próprios das estruturas, enquanto as cargas acidentais resultam do uso dos espaços.

A determinação do peso próprio depende da geometria do elemento e materiais utilizados. Com isso, é importante destacar que o *Eberick* considera os pesos específicos dos materiais de acordo com a NBR 6120/2019, como observa-se na figura 8. Foi considerado também o carregamento devido a alvenaria de vedação sobre as vigas e lajes, seguindo as paredes definidas no projeto arquitetônico e respeitando a volumetria (largura, altura e comprimento) para através do peso específico do material o programa calcular automaticamente

a carga da parede. Para isso, adotou-se como peso específico o valor de 1300kgf/m³ resultando em cargas de 497 kgf/m.

Para as cargas acidentais em edifícios residenciais, devemos considerar carregamentos variando em cada ambiente de 150 kgf/m² a 300 kgf/m², conforme podemos observar na tabela 10 da NBR 6120/2019, aqui apresentado na tabela 17. Nas lajes dos pavimentos, foram consideradas as características de uso de cada ambiente, adotando assim, o carregamento correspondente.

Tabela 17 – Valores mínimos das cargas verticais.

Tabela 10 (continuação)

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²	Carga concentrada kN
Cozinhas não residenciais ^a	Validar caso a caso, respeitando o valor mínimo indicado nesta Tabela	3	–
	Câmara fria	5	–
Depósitos de uso geral ^a As cargas devem ser validadas caso a caso, porém com os valores mínimos indicados nesta Tabela.	Validar caso a caso, respeitando o valor mínimo indicado nesta Tabela	7,5 kN/m ² até 2,5 m de altura de estoque + 3 kN/m ² por metro de altura de estoque excedente ^p	q
	Locais sujeitos ao acúmulo de mercadorias, incluindo zonas de acesso Materiais de armazenagem (ver 6.9) Supermercados (ver item nesta Tabela)	7,5	q
Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5	–
	Sala, copa, cozinha	1,5	–
	Sanitários	1,5	–
	Dispensa, área de serviço e lavanderia	2	–
	Quadras esportivas	5 ^a	–
	Salão de festas, salão de jogos	3 ^a	–
	Áreas de uso comum	3 ^a	–
	Academia	3 ^a	–
	Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1 ^{a,r}	–
	Sótão	2 ^a	–
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5	–
	Corredores de uso comum	3	–
	Depósitos	3	–
	Áreas técnicas (ver item nesta Tabela)		
Jardins (ver item nesta Tabela)			

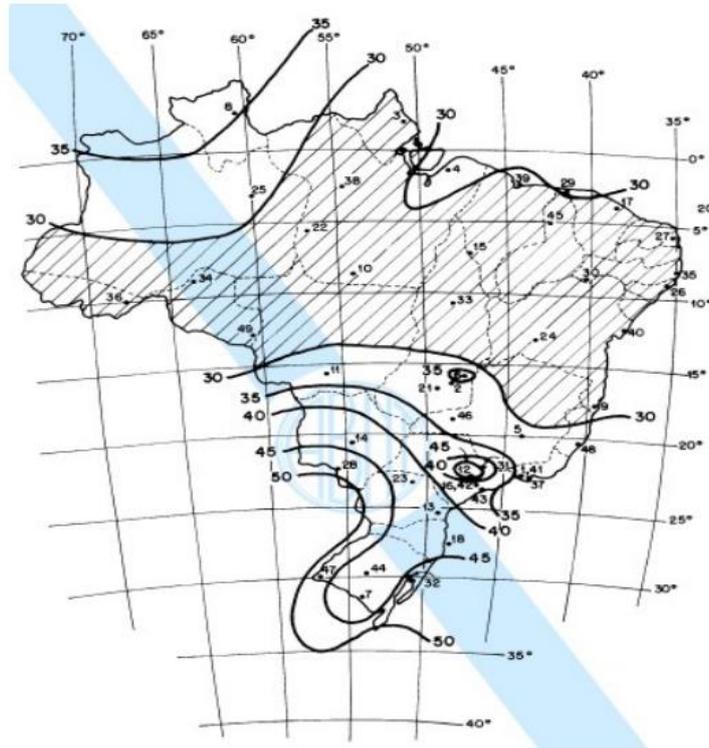
Fonte: NBR 6120/2019 – Tabela 10

Cargas horizontais devido ao vento

Devido ao pequeno porte da estrutura, as ações horizontais foram consideradas, mas não serão abordadas detalhadamente. Contudo, é importante mencionar que o software *Eberick* realiza os cálculos dessas ações de acordo com a NBR 6123/2020. Com isso, a velocidade do

vento foi ajustada no programa para a velocidade básica de vento V_0 de 30 m/s, adequada ao estado da Paraíba, conforme o mapa das isopletas da referida norma (Figura 18).

Figura 18 – Mapa de isopletas da velocidade básica V_0 .



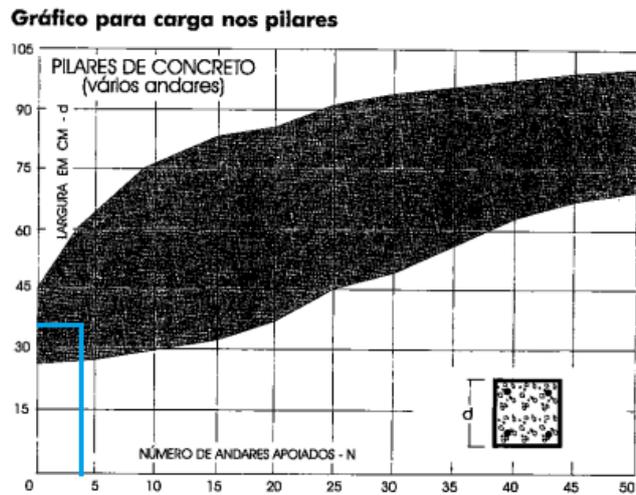
Fonte: NBR 6123/2020 – Figura 1

3.7. Pré-dimensionamento dos pilares

O pré-dimensionamento de um pilar consiste em determinar a área de sua seção transversal. De acordo com o item 13.2.3 da norma NBR 6118/2023, a menor dimensão dos pilares não pode ser inferior a 19 cm e área mínima de 360 cm². Em casos especiais, a norma permite que seja utilizada seção menor que 19, desde que ainda seja superior a 14 cm.

Com isso, foi utilizado o gráfico 1 para averiguar as cargas de compressão nos pilares referente ao número de pavimentos da edificação com a intenção de estimar a seção de concreto e o gráfico 2 com o mesmo propósito de estimar a seção de concreto, porém, agora para atender a flambagem. Como trata-se de um edifício residencial, adotou-se cargas médias. Dessa forma, do gráfico 1 temos uma seção quadrada com lados “d” do gráfico correspondente a (35x35) cm², o que nos dá uma área de concreto de 1225 cm².

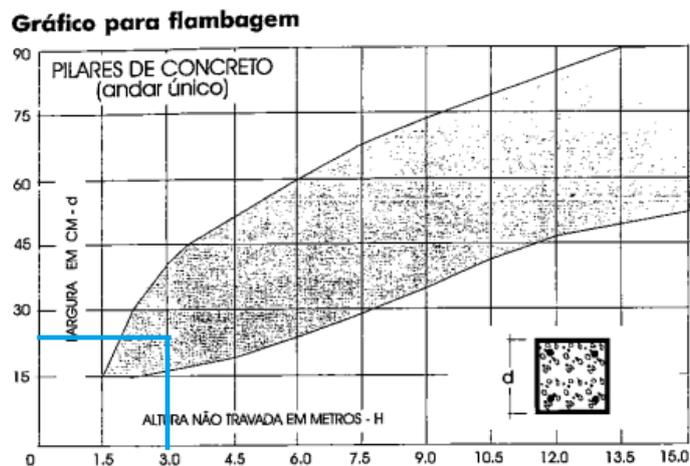
Gráfico 1- Para cargas nos pilares.



Fonte: Rebello, 2007, p.199.

Levando em consideração o gráfico 2, que é para flambagem, ou seja, que leva em consideração a altura não travada de 3 metros, encontramos o valor “d” aproximadamente igual a 25 cm. Adotando um pilar retangular e considerando a largura mínima de 25 cm, para atingir a área mínima encontrada no gráfico anterior a outra dimensão da seção é 49 cm (resultado da divisão da área maior de 1225 cm² pela largura mínima de 25cm). Como trata-se de uma análise realizada com aproximações, será adotado uma seção retangular de (25x50) cm, o que facilita também na execução a confecção de formas e padronização dos pilares.

Gráfico 2- Consideração da altura não travada (em metros).



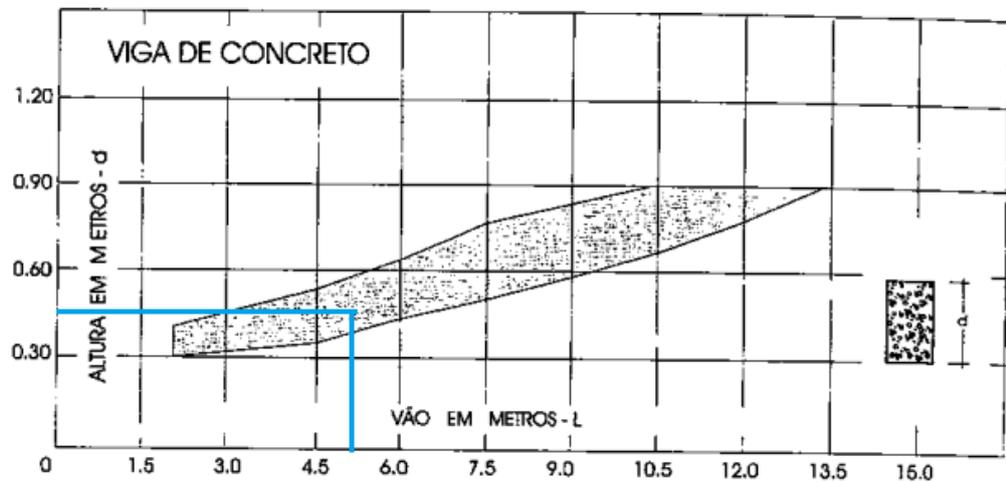
Fonte: Rebello, 2007, p.200.

3.8. Pré-dimensionamento das vigas

De acordo com a NBR 6118/2023 (ABNT, 2023), a largura mínima das vigas é 12 cm. Para o trabalho em questão, adotou-se a largura da viga igual a 15 cm para coincidir exatamente com a largura da parede. O maior vão das vigas possui 5,65 m. Com isso, a partir do gráfico 3, obteve-se uma altura de 45 cm. Assim, a seção da viga estimada é de 15 x 45 cm.

Gráfico 3- Gráfico para viga de concreto.

Uso de gráfico



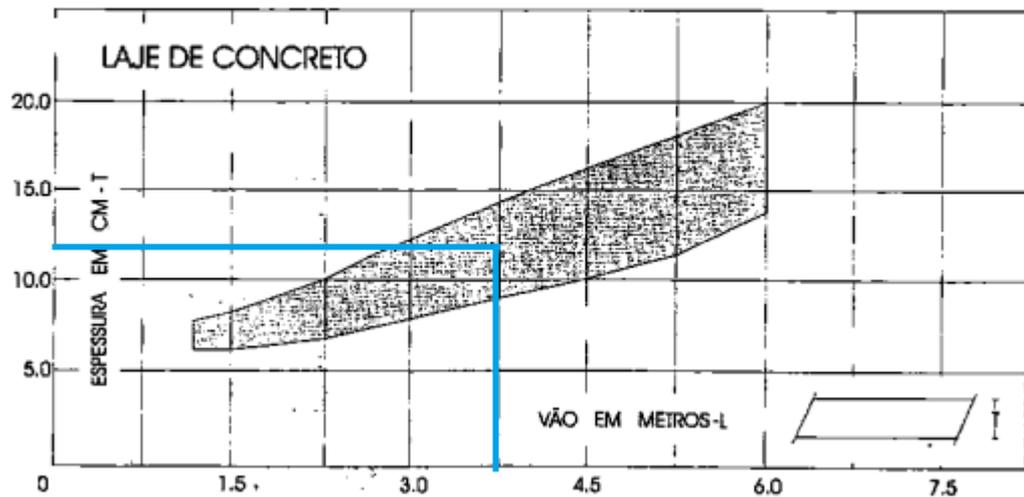
Fonte: Rebello, 2007, p.193.

3.9. Pré-dimensionamento das lajes

Para o desenvolvimento do projeto, adotou-se lajes do tipo maciça. Assim, no pré-dimensionamento das espessuras delas, utilizou-se o valor do maior dos menores vãos entre elas (3,70 m) para obter a informação no gráfico 4 da espessura inicial 12 cm, adotadas para as lajes. Vale ressaltar que esse procedimento é apenas um valor estimado, podendo sofrer alterações em decorrência das exigências normativas dos procedimentos de dimensionamento em relação ao ELU e ELS.

Gráfico 4- Gráfico para lajes de concreto.

Uso de gráfico

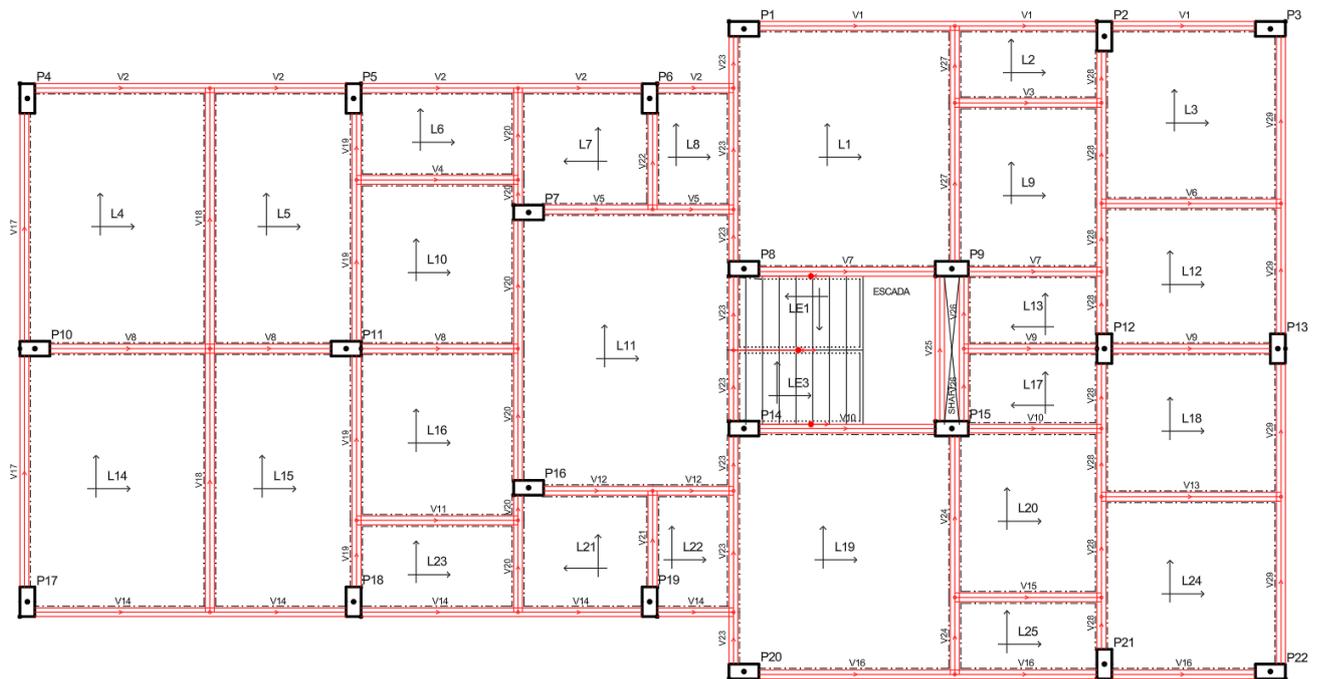


Fonte: Rebello, 2007, p.160.

3.10. Lançamento e processamento da estrutura de concreto armado no *Eberick*

Na utilização do software para iniciar o lançamento da estrutura é necessário importar do projeto arquitetônico as plantas baixas dos níveis para que o programa faça a sobreposição delas, criando então uma organização em árvore da edificação. Para isso, informa-se a quantidade de pavimentos, a altura do pé-esquerdo e a escala. Sobre a planta baixa de cada nível insere-se a seção de cada elemento estrutural devidamente pré-dimensionado e na posição escolhida. Com essas configurações, os pilares, vigas e lajes foram inseridos no programa e o projeto foi processado para que o *Eberick* realizasse os cálculos e verificações da estabilidade global da estrutura, além do dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais. A planta baixa com os elementos lançados está apresentada na figura 19 a seguir.

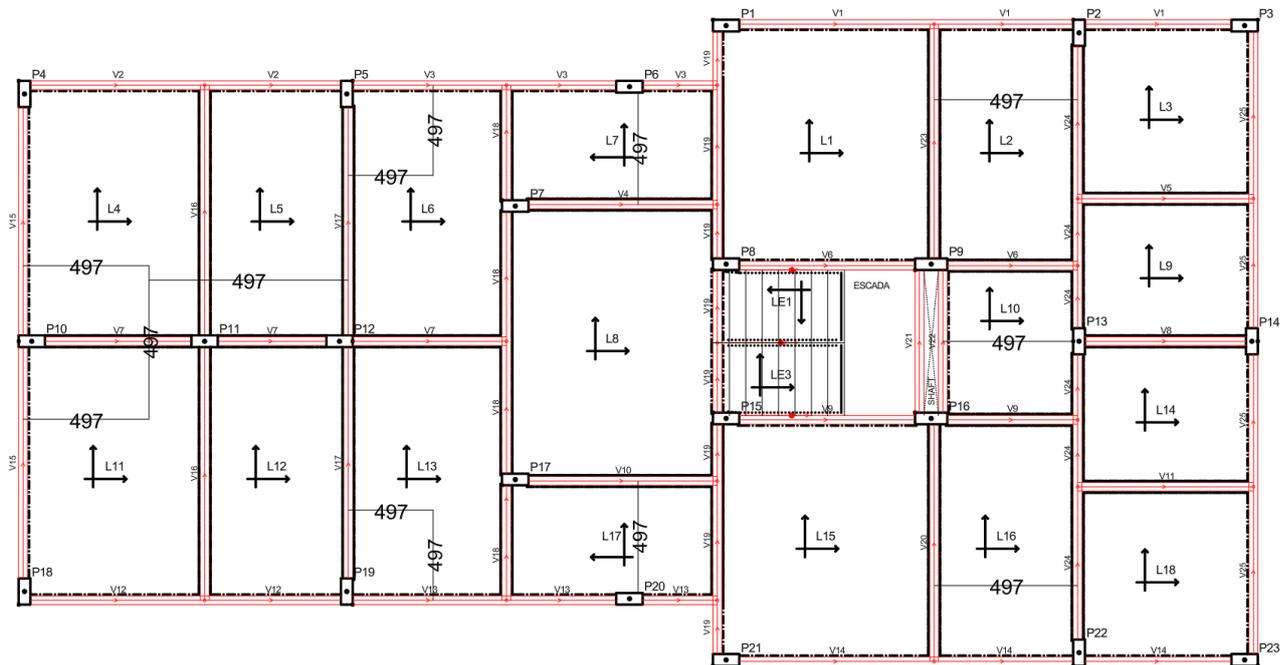
Figura 19- Concepção estrutural do Pavimento Tipo a partir do pré-dimensionamento.



Fonte: Autor, 2024.

Após o processamento da estrutura, constatou-se que, com as dimensões obtidas no pré-dimensionamento, o modelo foi processado sem necessidade de alterações, atendendo aos critérios da NBR 6118/2023 quanto ao ELU e aos limites de deslocamentos. No entanto, visando otimizar a estrutura para torná-la mais econômica e sem comprometer o projeto arquitetônico, foram feitas reduções nas dimensões dos pilares e eliminação de algumas vigas. Assim as cargas de paredes que estavam nelas foram consideradas agora sobre as lajes maciças, porém, foram mantidas as dimensões iniciais das vigas e lajes restantes. Na figura 20 podemos verificar a concepção estrutural otimizada.

Figura 20- Concepção estrutural otimizada (Pavimento Tipo).



Fonte: Autor, 2024.

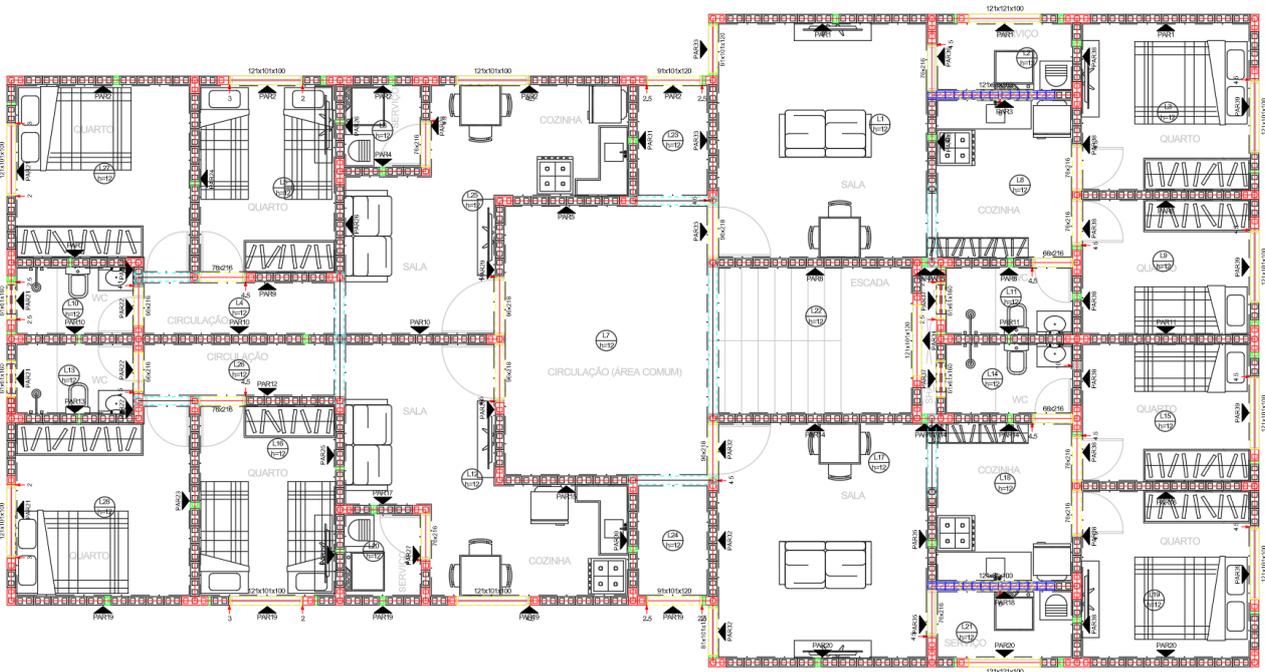
3.11. Definições e posicionamento das paredes estruturais no *QiBuilder*

Para o desenvolvimento do projeto em alvenaria estrutural, o primeiro passo é a análise do projeto arquitetônico. Dadas as medidas, é importante que a arquitetura esteja em conformidade com as dimensões dos blocos, visando uma modulação eficiente e racionalizada, o que evita improvisos na execução. Considerando 1 cm de espessura da argamassa, a modulação vertical deve ser feita em múltiplos de 20 cm, enquanto na horizontal os múltiplos são de 15 cm, acrescidos de 1 cm de argamassa. Após essas verificações, constatou-se que o projeto deste estudo é compatível com a modulação para a família de blocos comerciais de 14x19x29.

Realizadas essas verificações, inserem-se as alvenarias da primeira e segunda fiada, conforme o desenho do projeto arquitetônico, observando os pontos de interseção das paredes dispostas em "L", "T" e "X" para que o contrafiamento seja corretamente executado. Em seguida, são inseridas as aberturas para portas e janelas. É fundamental que as dimensões dessas aberturas também sigam a modulação para evitar a necessidade de cortes nos blocos. Com as paredes e aberturas definidas, prossegue-se para a definição das lajes. A laje adotada no projeto é do tipo maciça com 12 cm de espessura, semelhante ao projeto em concreto armado.

Toda a modelagem foi realizada no *QiBuilder*, apesar do software apenas modelar, deve-se adicionar todos os elementos em concreto armado que façam parte do projeto, como vigas, lajes e barras de aço, para quando exportá-lo, estes elementos sejam dimensionados no *Eberick*. No estudo em questão, os únicos elementos em concreto armado inseridos foram as lajes e as vigas de fundação. Na figura 21, pode-se observar a planta baixa da nona fiada com os blocos, identificação das paredes, aberturas de vãos, portas, janelas e lajes.

Figura 21- Planta baixa da fiada 9.



Fonte: Autor, 2024.

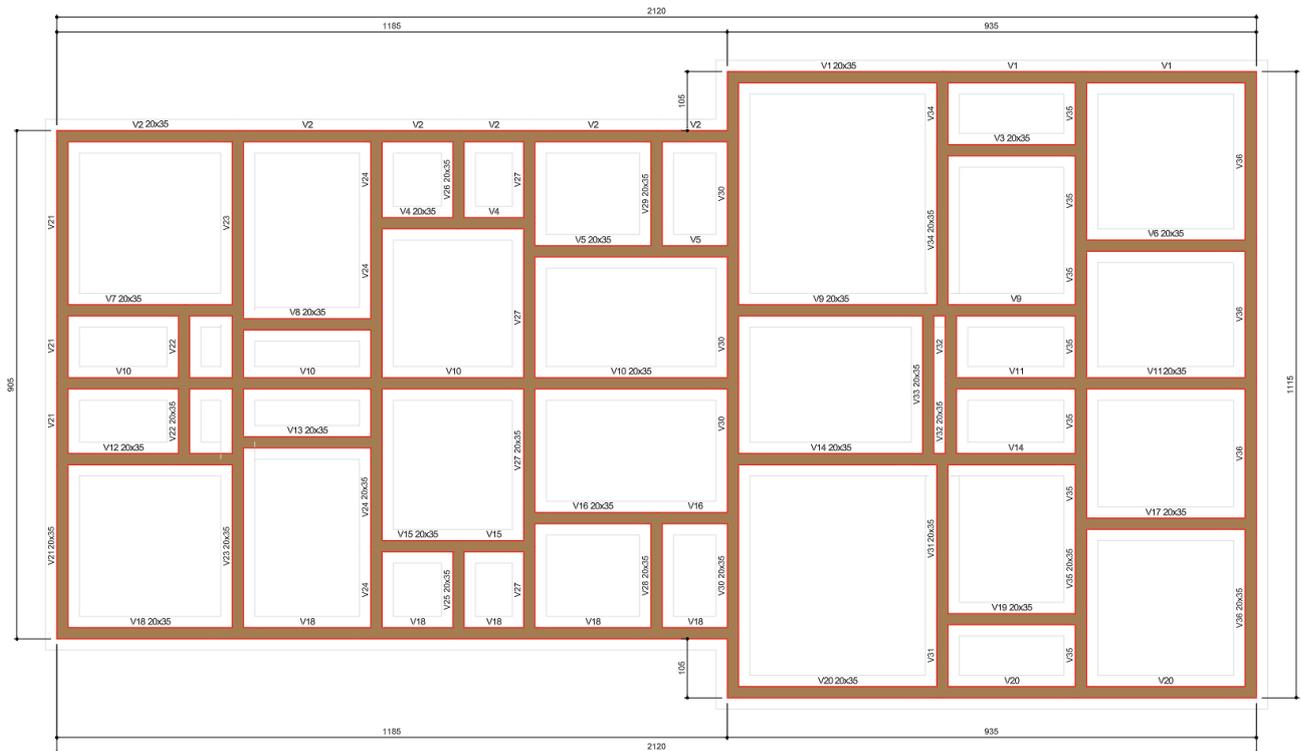
Conforme mencionado anteriormente, para possibilitar o dimensionamento e as verificações necessárias, o projeto de alvenaria deve ser exportado para o *Eberick*. No próximo tópico, será apresentado o processo de dimensionamento do projeto de alvenaria estrutural no *Eberick*.

3.12. Dimensionamento do projeto em alvenaria estrutural no *Eberick*

Após a finalização do lançamento do projeto no *QiBuilder*, é necessário exportar o projeto de alvenaria. Essa ferramenta tem como objetivo agrupar todas as informações do projeto desenvolvido no *Builder* e disponibilizá-las em uma pasta, em um formato compatível com o *Eberick*. Ao criar o projeto de alvenaria no *Eberick*, serão exibidos os pavimentos correspondentes, com as mesmas características dos criados no *Builder*. Em seguida, é necessário incluir o pavimento de fundação, que estará ausente no dimensionamento da

estrutura. O primeiro passo consiste em definir onde as paredes serão apoiadas. Para isso, cria-se um pavimento de transição, que incluirá as vigas de fundação responsáveis pelo suporte das paredes portantes correspondentes. Na figura 22, pode-se observar a planta de forma contendo as vigas de fundação.

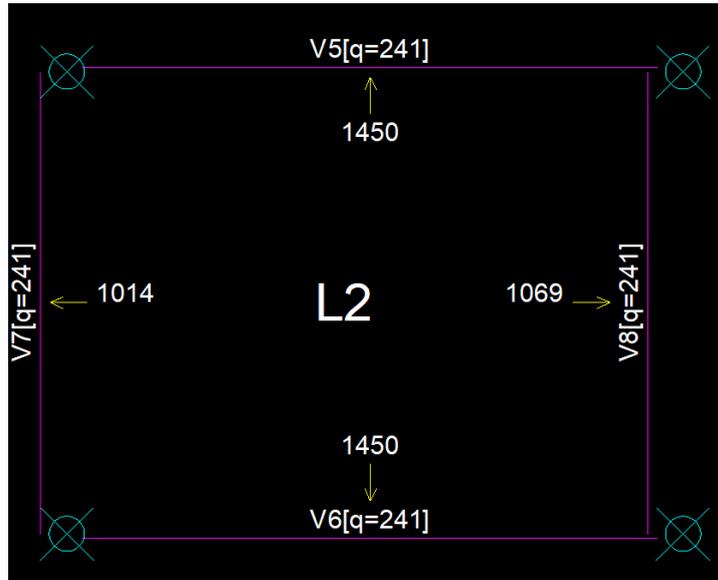
Figura 22- Vigas de fundação.



Fonte: Autor, 2024.

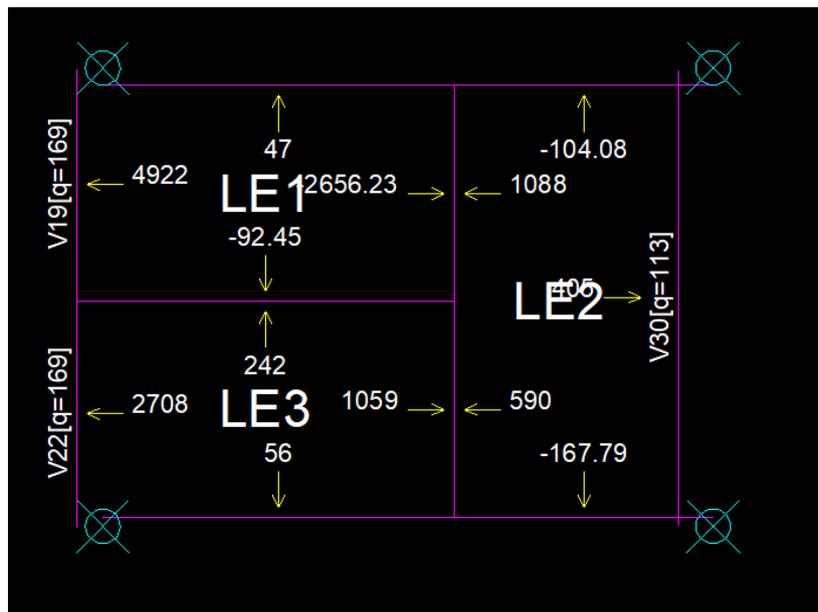
Devido à limitação no número de pavimentos permitidos pela licença do *QiBuilder*, não foi possível incluir o pavimento do reservatório no projeto. Para contornar essa limitação, foi criado um projeto separado, exclusivamente para o reservatório em alvenaria estrutural, com o objetivo de obter as cargas correspondentes nas paredes de apoio do pavimento inferior. Em relação às escadas, como o programa ainda não permite a criação desse elemento, foi adotada a mesma escada do projeto em concreto armado, considerando as cargas distribuídas nas paredes de apoio devido aos elementos citados. As figuras 23 e 24 apresentam os valores das cargas inseridas do reservatório e das escadas, respectivamente.

Figura 23- Cargas lineares do reservatório em kgf/m.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 24- Cargas lineares da escada em kgf/m.



Fonte: Autor, 2024.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

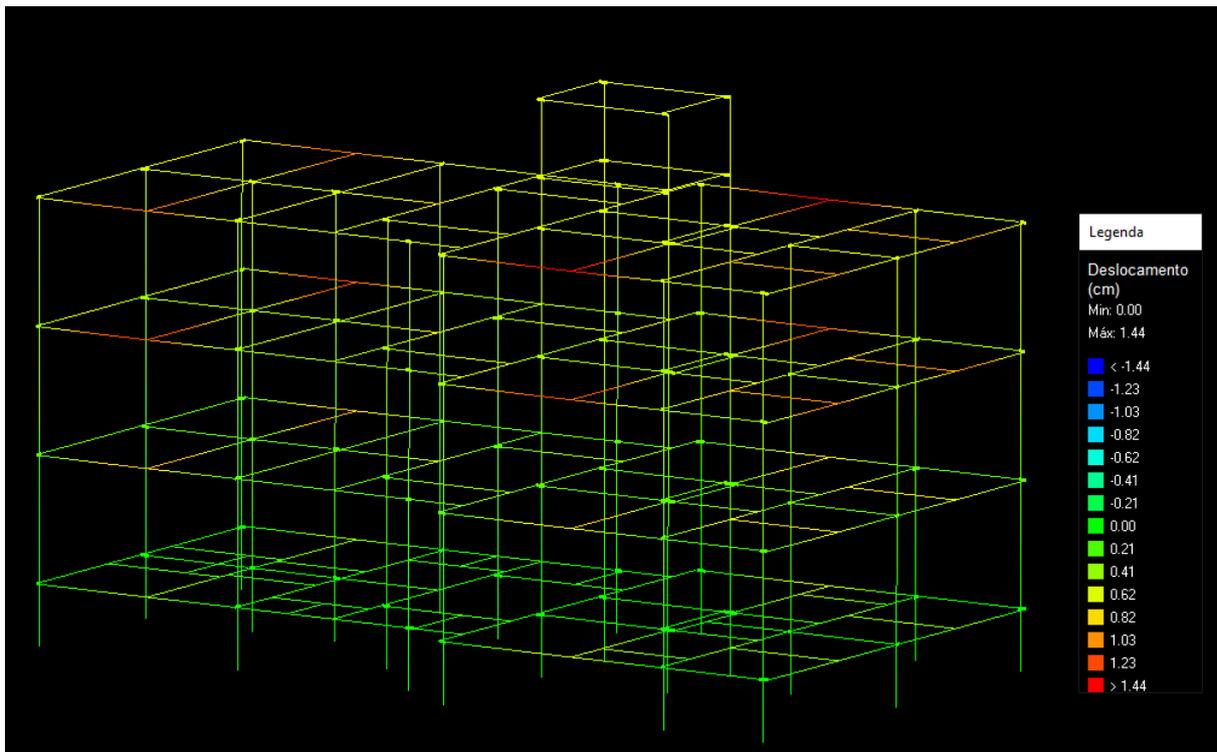
Neste item, serão apresentados de forma detalhada os resultados obtidos nos processamentos das estruturas de concreto armado e alvenaria estrutural. Os quantitativos de volume de concreto, peso do aço, área de forma, número de blocos estruturais, volume de graute e volume de argamassa de assentamento utilizados para a composição dos preços das estruturas,

obtidos por meio dos softwares. Dessa forma, será possível realizar a comparação entre os dois métodos, conforme os objetivos deste trabalho, o que fundamentará as considerações finais deste estudo.

4.1. Processamento da estrutura de concreto armado no *Eberick*

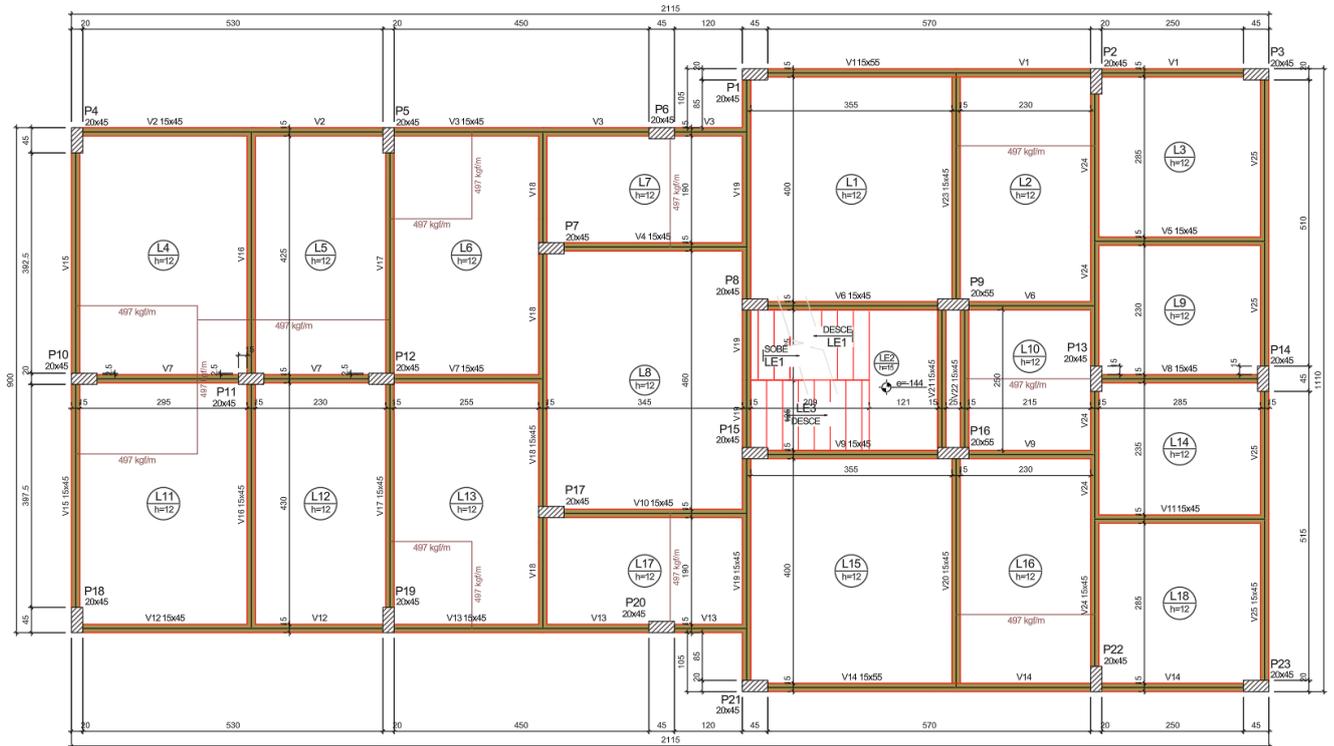
Após a definição da concepção estrutural e a adição dos carregamentos, foi realizado o processamento da estrutura. O sistema adotado não exigiu redimensionamento; no entanto, algumas lajes que estavam rotuladas (apoiadas de forma simples, sem restrições adicionais nos seus movimentos) apresentaram deslocamentos excessivos. Para corrigir o problema, foram modificados os vínculos entre os elementos. Optou-se por engastá-las (fixá-las rigidamente) para reduzir as flechas. Após essa alteração, os deslocamentos passaram a ser de 1,44 cm, mantendo-se dentro dos limites permitidos pela NBR 6118/2023. A figura 25 apresenta o diagrama unifilar com os deslocamentos obtidos, enquanto a planta de forma do pavimento tipo e o modelo 3D estão ilustrados nas figuras 26 e 27.

Figura 25- Deslocamentos da estrutura.



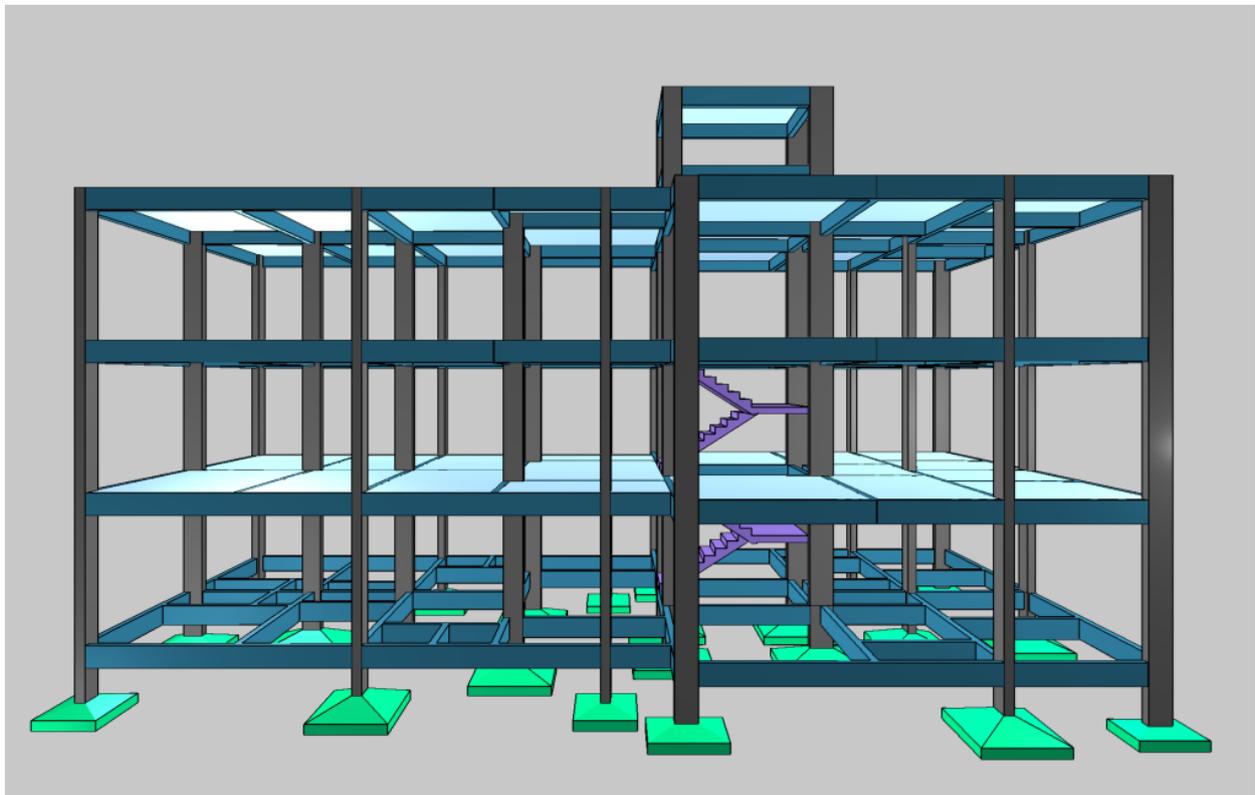
Fonte: Autor, 2024.

Figura 26- Planta de Forma Pavimento Tipo.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 27- Imagem 3D da estrutura.



Fonte: Autor, 2024.

O resumo do consumo de aço, concreto e forma, determinado no *Eberick* para o projeto em concreto armado está detalhado no tópico seguinte.

4.2. Quantitativos e custos da estrutura de concreto armado

Com os dimensionamentos concluídos, foi feito um levantamento dos materiais empregados para a obtenção da estrutura da edificação. Estes quantitativos foram avaliados a partir dos resumos de materiais obtidos pelo software, levando em conta para o sistema construtivo em concreto armado, os seguintes materiais:

- Concreto;
- Aço;
- Formas de madeira;

A tabela abaixo apresenta o resumo dos materiais obtidos no software, separando os materiais por elemento e bitolas:

Tabela 18- Descrição dos materiais utilizados em concreto armado.

Consumo de materiais - Concreto armado							
Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)					
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
CA50	6,3	54,0	0,0	1.013,4	35,5	0,0	1.102,9
CA50	8,0	503,8	0,0	484,0	49,2	151,5	1.188,5
CA50	10,0	464,4	1.205,1	239,3	50,1	399,6	2.358,5
CA50	12,5	743,8	0,0	0,0	82,9	0,0	826,7
CA50	16,0	639,6	0,0	0,0	0,0	0,0	639,6
CA50	20,0	408,1	0,0	0,0	0,0	0,0	408,1
CA60	5,0	535,0	554,3	1.164,3	1,3	0,0	2.254,9
Volume concreto (m ³)	C-25	44,2	23,0	67,6	3,1	18,0	155,9
Área de forma (m ²)		189,6	127,1	193,2	17,6	29,4	556,9
Consumo de aço (kg/m ³)		75,8	76,5	42,9	70,6	30,6	56,3

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados dos custos da estrutura independente em concreto armado são apresentados na tabela 19, onde observa-se os custos separados por pavimentos, elementos, materiais e forma. Nos custos já estão inclusos os valores para execução da estrutura:

Tabela 19- Descrição dos custos dos materiais e mão de obra do projeto em concreto armado.

Custos dos materiais e mão de obra - Concreto Armado					
Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Total
RESERVATÓRIO	Vigas	R\$ 976,55	R\$ 1.048,99	R\$ -	R\$ 2.025,54
	Pilares	R\$ 961,91	R\$ 872,55	R\$ -	R\$ 1.834,46
	Lajes	R\$ 839,36	R\$ 1.188,64	R\$ -	R\$ 2.028,00
	Total	R\$ 2.777,82	R\$ 3.110,18	R\$ -	R\$ 5.888,00
PAV TIPO 2	Vigas	R\$ 7.507,40	R\$ 7.266,84	R\$ -	R\$ 14.774,24
	Pilares	R\$ 5.485,36	R\$ 4.602,72	R\$ -	R\$ 10.088,08
	Lajes	R\$ 13.826,49	R\$ 15.797,80	R\$ -	R\$ 29.624,29
	Total	R\$ 26.819,25	R\$ 27.667,36	R\$ -	R\$ 54.486,61
PAV TIPO 1	Vigas	R\$ 9.867,31	R\$ 7.266,84	R\$ -	R\$ 17.134,15
	Pilares	R\$ 6.034,13	R\$ 4.602,72	R\$ -	R\$ 10.636,85
	Lajes	R\$ 12.526,82	R\$ 15.099,83	R\$ -	R\$ 27.626,65
	Escadas	R\$ 1.458,33	R\$ 1.353,66	R\$ -	R\$ 2.811,99
	Total	R\$ 29.886,59	R\$ 28.323,05	R\$ -	R\$ 58.209,64
TÉRREO	Vigas	R\$ 9.867,31	R\$ 7.266,84	R\$ 15.894,96	R\$ 33.029,11
	Pilares	R\$ 6.034,48	R\$ 4.602,72	R\$ 13.873,39	R\$ 24.510,59
	Lajes	R\$ 12.526,82	R\$ 15.099,83	R\$ 8.792,19	R\$ 36.418,84
	Escadas	R\$ 1.458,33	R\$ 1.353,66	R\$ 1.656,00	R\$ 4.467,99
	Total	R\$ 29.886,94	R\$ 28.323,05	R\$ 40.216,54	R\$ 98.426,53
FUNDAÇÃO	Vigas	R\$ 8.660,11	R\$ 8.625,25	R\$ 22.975,48	R\$ 40.260,84
	Pilares	R\$ 3.276,84	R\$ 1.712,67	R\$ 5.165,98	R\$ 10.155,49
	Fundações	R\$ 6.681,22	R\$ 12.789,06	R\$ 6.650,51	R\$ 26.120,79
	Total	R\$ 18.618,17	R\$ 23.126,98	R\$ 34.791,97	R\$ 76.537,12
CUSTO TOTAL					R\$ 293.547,90

Fonte: Autor, 2024.

Devido ao fato da alvenaria estrutural, atuar como elemento estrutural e elemento de vedação para as estruturas independentes, optou-se por incluir os quantitativos da alvenaria de vedação no projeto de concreto armado para proporcionar uma comparação mais precisa. Dessa forma, ambos os sistemas se encontram no mesmo estágio de execução. Para obter a área da alvenaria de vedação foi considerado o comprimento total de todas as paredes de cada pavimento e multiplicou-se pela altura de 2,55m. A tabela 20 apresenta os valores adotados para cada pavimento.

Tabela 20- Cálculo da área da alvenaria de vedação.

Alvenaria de vedação				
Descrição	Comprimento (m)	Altura (m)	Desconto de aberturas (m ²)	Área (m ²)
Comprimento das paredes do Pavimento Tipo	174,5	2,55	175,08	444,975
Comprimento da parede da platibanda	77,4	1,2	0	92,88
Comprimento das paredes do reservatório	47,4	2,1	0	99,54
Área Total considerando 3 vezes o pavimento tipo (m²)				1352,265

Fonte: Autor, 2024.

Com isso, a tabela 21 apresenta os custos dos materiais e execução da alvenaria de vedação de acordo com o SINAPI. Assim, temos:

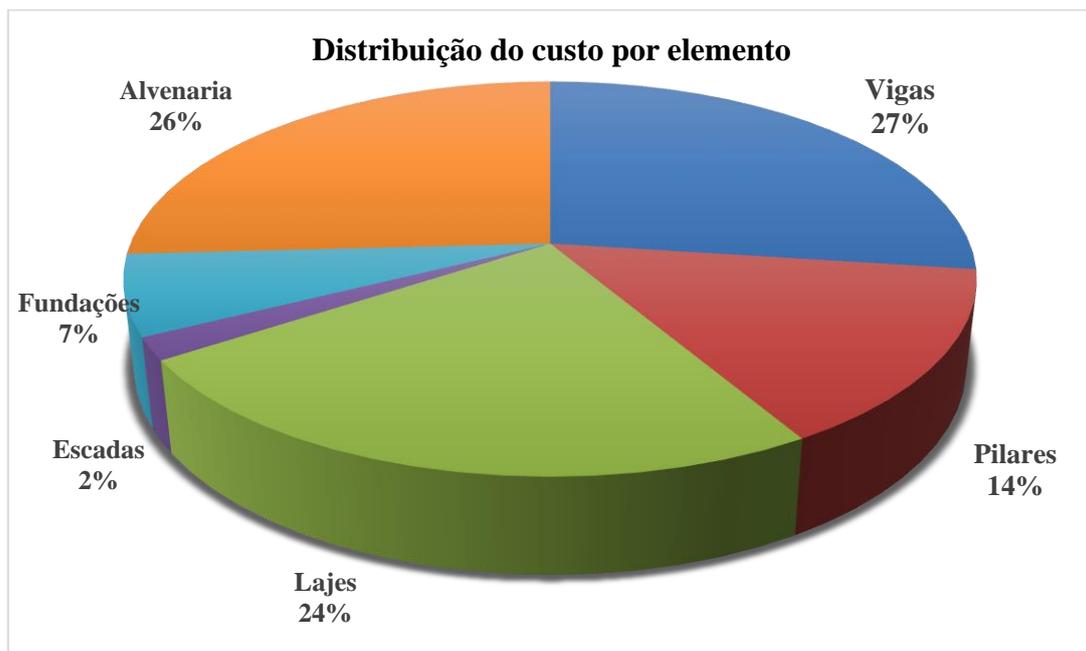
Tabela 21- Descrição dos custos dos materiais e mão de obra para a alvenaria de vedação.

Código Sinapi	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total
103330	Alvenaria de vedação	m ²	1.352,3	R\$ 75,66	R\$ 102.312,37

Fonte: Autor, 2024.

Ao somar os valores do custo da estrutura em concreto armado com a alvenaria de vedação, obtém-se um montante final de **R\$ 395.860,27** (trezentos e noventa e cinco mil, oitocentos e sessenta reais e vinte e sete centavos). Em seguida temos no gráfico 5 a distribuição dos custos por elemento.

Gráfico 5- Distribuição dos custos por elemento do sistema em concreto armado.

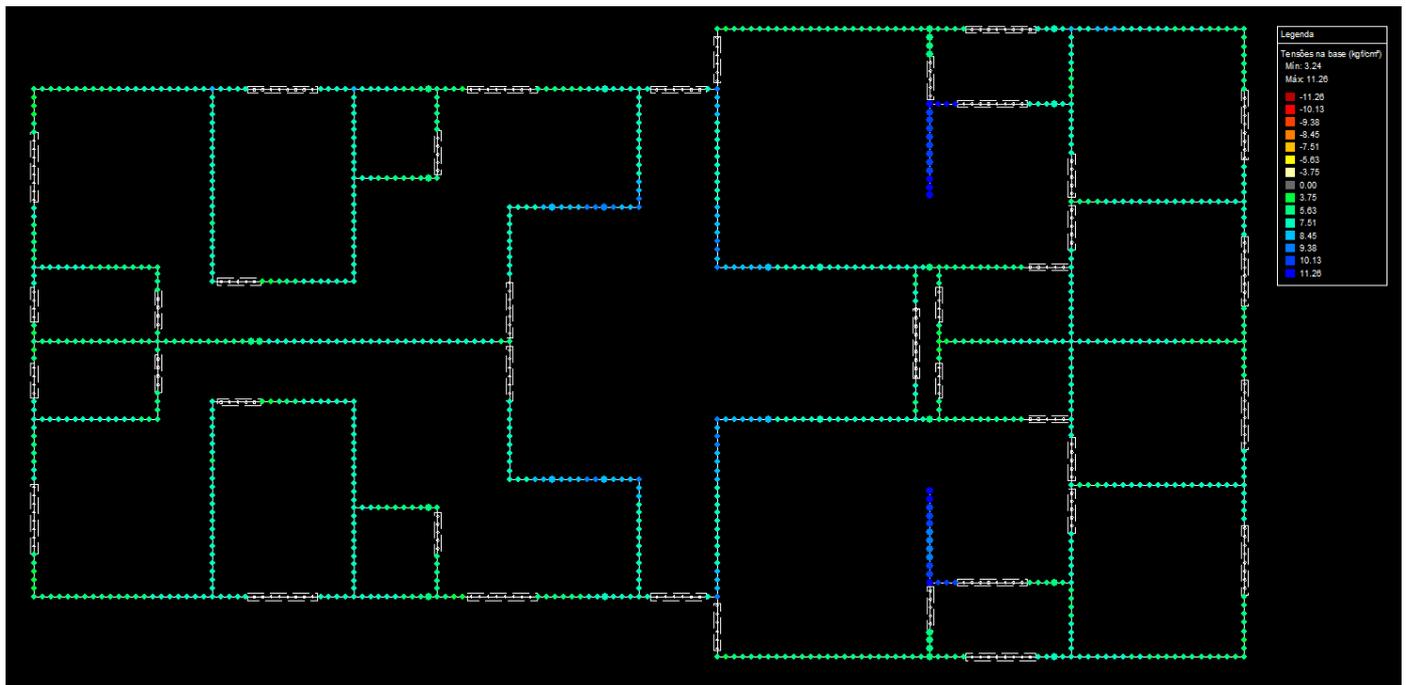


Fonte: Autor, 2024.

4.3. Processamento da estrutura de alvenaria estrutural no *Eberick*

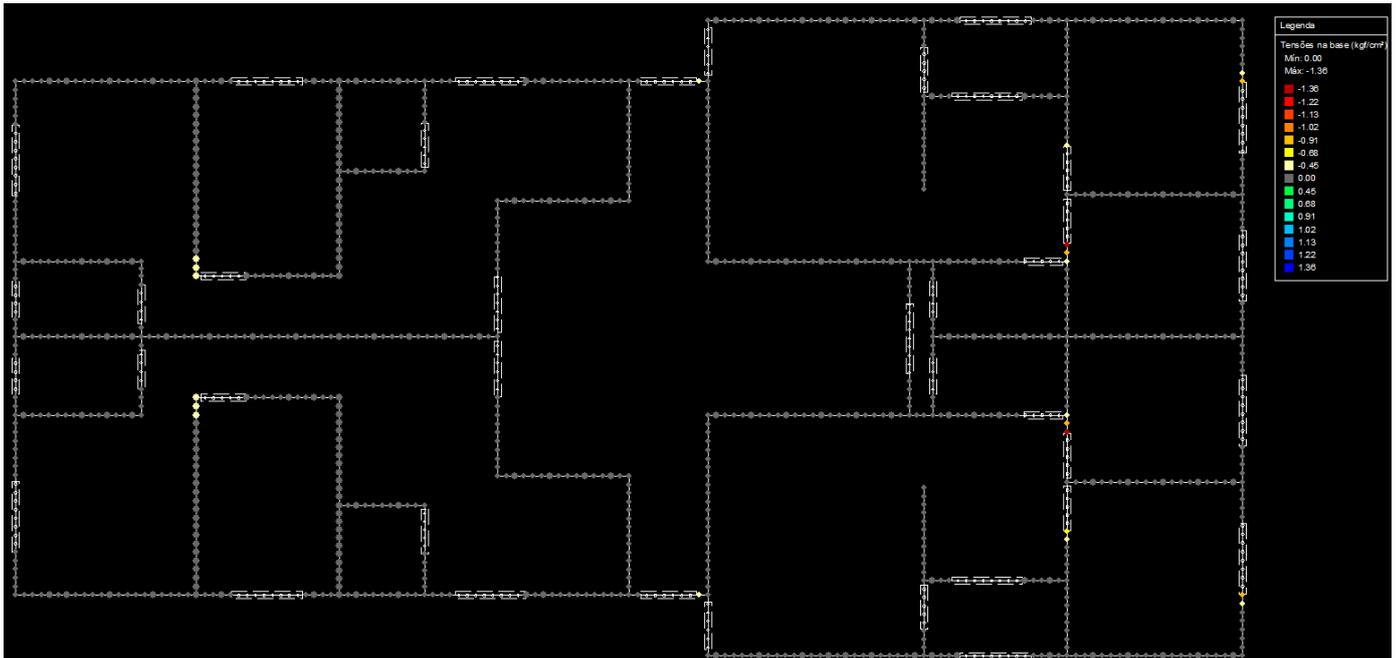
Com a estrutura de alvenaria concebida e a transição nos programas efetivadas com as vinculações e carregamentos definidos no modelo, inicia-se a análise estrutural do edifício. Nesse estágio, realiza-se o processamento da estrutura no *Eberick*, verificando as informações de dimensionamento das paredes e avaliando as principais situações de erro de dimensionamento emitido pelo programa que geralmente surgem em projetos de alvenaria. Após o processamento, constatou-se que a estrutura não apresentou erros, no entanto, a análise dos resultados indicou a necessidade de incluir pontos de graute nos pavimentos, principalmente no térreo, e adicionar armaduras para resistir às tensões de tração e compressão geradas em áreas onde a resistência do conjunto de paredes não é suficiente para suportar os esforços solicitados. Na figura 28 podemos observar que as tensões de compressão na alvenaria variaram entre 3,24 kgf/cm² (0,32 Mpa) e 11,26 kgf/cm² (1,10 Mpa) e na figura 29, as tensões de tração alcançou um máximo de 1,36 kgf/cm² (0,13 Mpa) na base do térreo.

Figura 28- Tensões de compressão na base do Térreo.



Fonte: Autor, 2024.

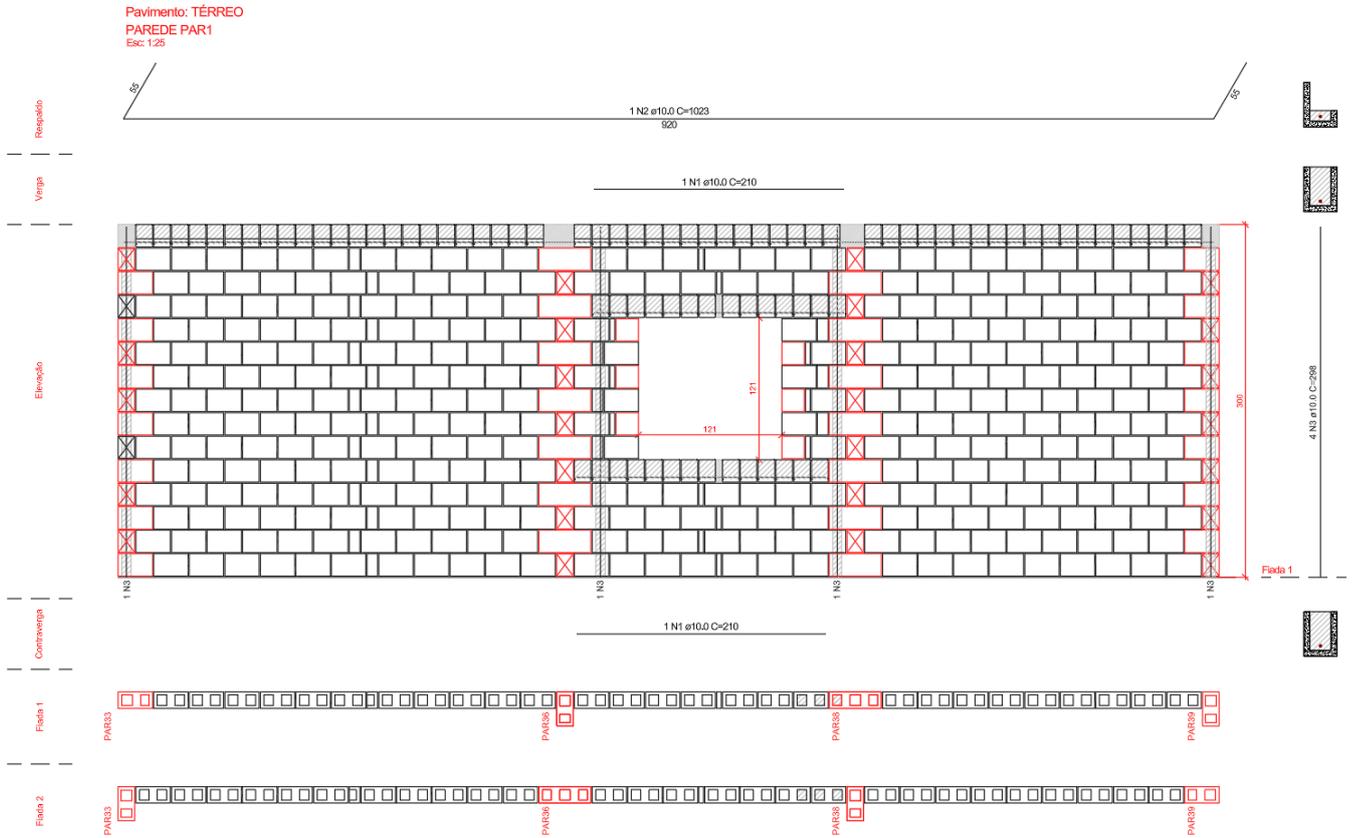
Figura 29- Tensões de tração na base do Térreo.



Fonte: Autor, 2024.

Ao finalizar o dimensionamento, é necessário atualizar as pranchas para que o *QiBuilder* reconheça a inclusão das armaduras e dos grautes, representando-os nas elevações e no detalhamento da alvenaria. Na figura 30, observa-se a parede 1 do térreo dimensionada e detalhada. No detalhamento da alvenaria, são observadas as indicações das fiadas, tipos de canaleta, bitolas das armaduras, vergas e contravergas, bem como as cotas da altura total e das aberturas, quando presentes. Já na figura 31, tem-se o 3D da estrutura, onde é possível observar as vigas de fundação e elevação das alvenarias.

Figura 30- Elevação da alvenaria: Modulação vertical.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 31- Modelo 3D da estrutura em alvenaria estrutural.



Fonte: Autor, 2024.

Após a finalização do dimensionamento, o *Eberick* gera um resumo dos materiais utilizados no projeto. Dessa forma, foi possível obter o quantitativo de aço, concreto e formas

das lajes, permitindo a comparação dos materiais, conforme o objetivo deste estudo. As quantidades dos blocos estruturais, volume de graute e argamassa foram obtidas pelo *QiBuilder*.

4.4. Quantitativos e custos da alvenaria estrutural

Para o sistema em alvenaria estrutural foram considerados os seguintes insumos:

- Blocos cerâmicos de alvenaria estrutural;
- Graute;
- Concreto;
- Argamassa de assentamento;
- Aço;
- Formas de madeira;

A tabela 22 a seguir, apresenta o resumo dos materiais dos elementos em concreto armado, obtidos no software, separando os materiais por elemento e bitolas:

Tabela 22- Descrição dos materiais em concreto armado utilizados na Alvenaria Estrutural.

Consumo de Materiais - Alvenaria estrutural				
Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)		
		Vigas	Lajes	Total
CA50	6,3	387,4	178,8	566,2
CA50	8,0	184,3	209,8	394,1
CA50	10,0	82,4	0,0	82,4
CA50	12,5	472,1	0,0	472,1
CA60	5,0	451,0	1.052,9	1.503,9
Volume concreto (m ³)	C-25	33,1	67,6	100,7
Área de forma (m ²)		106,4	193,2	299,6
Consumo de aço (kg/m ³)		47,4	21,3	31,1

Fonte: Autor, 2024.

O quantitativo dos blocos e demais elementos encontram-se na tabela 23 a seguir:

Tabela 23- Quantitativo dos materiais utilizados na Alvenaria Estrutural.

Descrição	Unidade	Quantidade
Bloco inteiro (14 x 29 x 19)	un	20.051,0
Meio bloco (14 x 14 x 19)	un	558,0
Bloco e meio (14 x 44 x 19)	un	691,0
Canaleta	un	2.557,0
Meio canaleta J (14 x 14 x 19 x 07)	un	1.556,0
Contrafiamento compensador (14 x 19 x 19)	un	2.231,0
Pastilha (14 x 09 x 19)	un	2.088,0
Argamassa de assentamento 3MPa	m ³	24,1
Graute 15 MPa	m ³	13,8

Fonte: Autor, 2024.

Em relação aos custos, a parte do projeto de alvenaria que será executada em concreto armado foi orçada automaticamente pelo *Eberick*. Para os quantitativos da alvenaria estrutural, a fim de tornar a comparação mais precisa, utilizou-se a mesma base de dados do SINAPI empregada no *Eberick*. Dessa forma, a tabela 24 apresenta os custos relacionados à parte em concreto armado, enquanto a tabela 25 mostra os custos da alvenaria estrutural.

Tabela 24- Descrição dos materiais em concreto armado utilizados na Alvenaria Estrutural.

Custos dos materiais e mão de obra - Alvenaria Estrutural					
Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Total
RESERVATÓRIO	Lajes	R\$ 839,36	R\$ 1.188,64	R\$ -	R\$ 2.028,00
	Total	R\$ 839,36	R\$ 1.188,64	R\$ -	R\$ 2.028,00
PAV. 2	Vigas	R\$ 507,97	R\$ 289,43	R\$ -	R\$ 797,40
	Lajes	R\$ 7.101,04	R\$ 15.715,47	R\$ -	R\$ 22.816,51
	Total	R\$ 7.609,01	R\$ 16.004,90	R\$ -	R\$ 23.613,91
PAV. 1	Vigas	R\$ 507,97	R\$ 289,43	R\$ -	R\$ 797,40
	Lajes	R\$ 6.839,02	R\$ 15.004,76	R\$ -	R\$ 21.843,78
	Escadas	R\$ 1.458,33	R\$ 1.353,66	R\$ 1.656,00	R\$ 4.467,99
	Total	R\$ 8.805,32	R\$ 16.647,85	R\$ 1.656,00	R\$ 27.109,17
TÉRREO	Vigas	R\$ 507,97	R\$ 289,43	R\$ 775,30	R\$ 1.572,70
	Lajes	R\$ 6.839,02	R\$ 15.004,76	R\$ 8.736,83	R\$ 30.580,61
	Escadas	R\$ 1.458,33	R\$ 1.353,66	R\$ 1.656,00	R\$ 4.467,99
	Total	R\$ 8.805,32	R\$ 16.647,85	R\$ 11.168,13	R\$ 36.621,30
VIGAS DE FUNDAÇÃO	Vigas	R\$ 18.902,89	R\$ 22.813,62	R\$ 11.404,18	R\$ 53.120,69
	Total	R\$ 18.902,89	R\$ 22.813,62	R\$ 11.404,18	R\$ 53.120,69
CUSTO TOTAL - PARTE EM CONCRETO ARMADO					R\$ 142.493,07

Fonte: Autor, 2024.

Observa-se que os itens referentes à escada são os mesmos da estrutura em concreto armado, visto que foi considerado a mesma escada para os dois modelos.

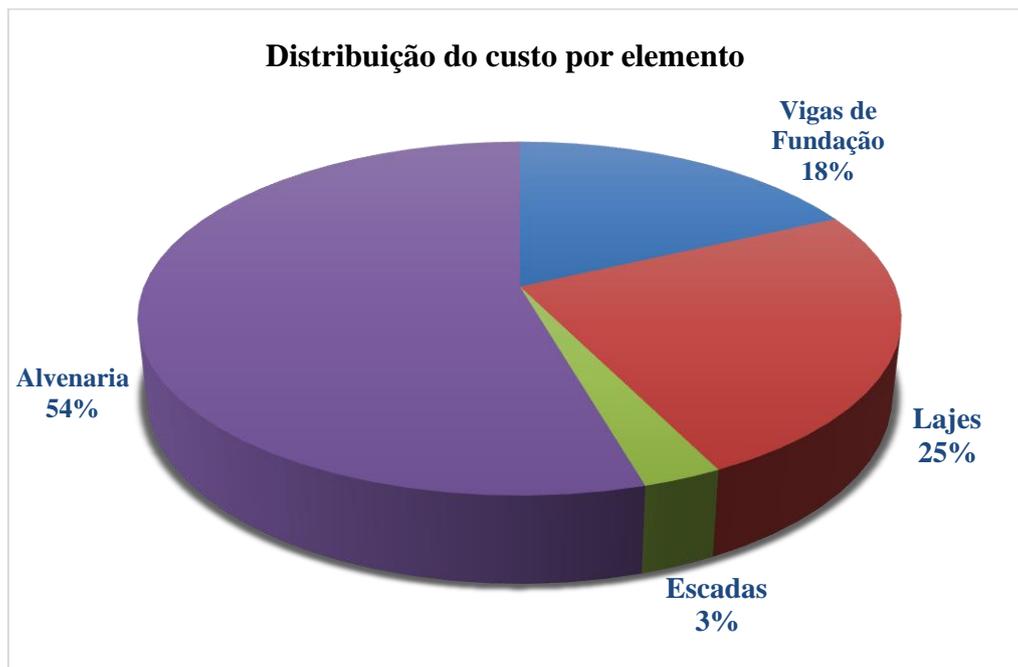
Tabela 25- Quantitativo dos materiais utilizados na Alvenaria Estrutural.

Código Sinapi	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total
34586	Bloco inteiro (14 x 29 x 19)	un	20.051,0	R\$ 1,91	R\$ 38.297,41
34788	Meio bloco (14 x 14 x 19)	un	558,0	R\$ 1,29	R\$ 719,82
-	Bloco e meio (14 x 44 x 19)	un	691,0	R\$ 3,00	R\$ 2.073,00
34649	Canaleta	un	2.557,0	R\$ 2,31	R\$ 5.906,67
-	Meio canaleta J (14 x 14 x 19 x 07)	un	1.556,0	R\$ 2,00	R\$ 3.112,00
-	Contrafiamento compensador (14 x 19 x 19)	un	2.231,0	R\$ 3,50	R\$ 7.808,50
-	Pastilha (14 x 09 x 19)	un	2.088,0	R\$ 3,50	R\$ 7.308,00
87289	Argamassa de assentamento 3MPa	m ³	24,1	R\$ 525,08	R\$ 12.654,43
90278	Graute 15 MPa	m ³	13,8	R\$ 482,38	R\$ 6.656,84
88309	Pedreiro com encargos complementares	m ²	1630,5	R\$ 25,37	R\$ 41.365,79
88316	Servente com encargos complementares	m ²	1630,5	R\$ 19,97	R\$ 32.561,09
90000	Armação de verga e contraverga	kg	984,732	R\$ 12,07	R\$ 11.885,72
TOTAL - ALVENARIA ESTRUTURAL					R\$ 170.349,26

Fonte: Autor, 2024.

Ao somar os valores dos elementos da estrutura em concreto armado com os custos da alvenaria estrutural, obtém-se um montante final de **R\$ 312.842,33** (trezentos e doze mil, oitocentos e quarenta e dois reais e trinta e três centavos). Em seguida temos no gráfico 6 a distribuição dos custos por elemento.

Gráfico 6- Distribuição dos custos por elemento do sistema em alvenaria estrutural.



Fonte: Autor, 2024.

4.5. Comparativo entre os métodos

Com base nos dados coletados nos projetos das edificações com diferentes sistemas construtivos foi possível comparar seus quantitativos, destacando as principais etapas construtivas para permitir uma análise mais eficaz entre os sistemas. As etapas foram classificadas da seguinte forma:

- **Infraestrutura: Fundações**

Para o sistema de concreto armado, a etapa de fundação considerou sapatas, pilares de fundação e vigas baldrame. Já para a alvenaria estrutural, foram consideradas apenas as vigas de fundação.

- **Supraestrutura: Elementos em concreto armado**

No método de construção em concreto armado, foram considerados os pilares, vigas e escadas dos pavimentos. Para o método de alvenaria estrutural, foram consideradas as vigas de apoio da escada e a própria escada.

- **Alvenaria**

Nesta etapa, foram considerados os elementos necessários para a construção das alvenarias estruturais na edificação que utiliza essa técnica. Para a edificação em concreto armado, foram consideradas as alvenarias de vedação das unidades.

- **Lajes**

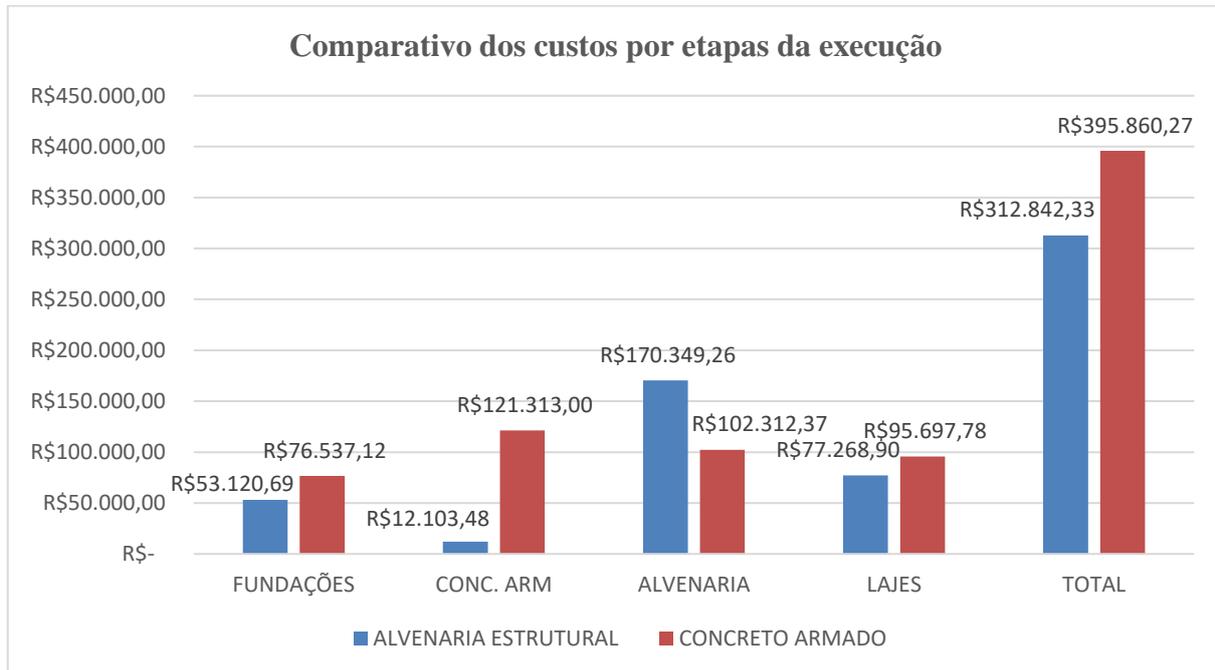
Embora ambos os sistemas utilizem lajes maciças, optou-se por analisar de forma separada dos demais elementos para verificar a influência em cada método construtivo.

- **Custo total**

Nesta etapa, foram considerados os custos totais de material e mão de obra para a execução das estruturas em concreto armado e alvenaria estrutural, incluindo os custos com a alvenaria de vedação no projeto em concreto armado.

Para facilitar a compreensão, será apresentado um gráfico comparativo dos custos das etapas de cada sistema, além de tabelas onde obtiveram-se os valores globais das estruturas do sistema de concreto armado e alvenaria estrutural. No gráfico 7, são comparados os valores totais de cada etapa construtiva, onde se observa que, em quase todas as etapas, o custo da estrutura em concreto armado, neste estudo, apresentou valores superiores aos do sistema em alvenaria estrutural.

Gráfico 7- Comparativo dos custos das etapas da execução do sistema em alvenaria estrutural e concreto armado.



Fonte: Autor, 2024.

Nas fundações, a diferença de custo entre os sistemas foi de R\$ 23.416,43, representando 30,59% do custo da estrutura em concreto armado. Para os elementos em concreto armado, a diferença foi de 90,02%, o que equivale a R\$ 109.209,52. Essa discrepância se deve ao fato de que, na alvenaria estrutural, não foram utilizados pilares, apenas vigas de apoio para as escadas. Como era esperado, a alvenaria estrutural apresentou custos maiores na etapa de alvenaria em comparação com a alvenaria de vedação do sistema em concreto armado, com uma diferença de R\$ 68.036,89, equivalente a 39,94%. Para as lajes, a diferença foi de 19,26%, com um custo de R\$ 18.428,88. Apesar de ambas utilizarem lajes maciças de mesma espessura, o aumento do custo no projeto em concreto armado ocorreu devido à necessidade de engastar algumas lajes, a fim de reduzir as flechas excessivas geradas, o que resultou em um aumento da armadura.

Diante dos resultados obtidos, a estrutura em alvenaria estrutural apresentou uma economia significativa em relação à estrutura em concreto armado. O custo final da execução até a etapa de alvenaria nos dois métodos construtivos resultou em uma diferença de R\$ 83.017,94, representando uma vantagem para o sistema em alvenaria estrutural de 20,97%. Ao analisar o custo dos pavimentos, observa-se que, em ambos os métodos, os pavimentos de fundação e térreo são mais onerosos. No entanto, à medida que a estrutura é elevada, o custo diminui. Essa redução se deve à reutilização das formas nos pavimentos subsequentes.

A tabela 26 abaixo, apresenta uma comparação dos custos dos principais insumos utilizados nos métodos construtivos. Já a tabela 27, apresenta os custos em forma de percentual.

Tabela 26- Comparativo de custos entre os sistemas construtivos.

Descrição do insumo	Concreto armado (R\$)	Alvenaria estrutural (R\$)	Economia entre os métodos construtivos (%)
Aço	R\$ 107.988,77	R\$ 44.961,90	58,36%
Formas	R\$ 75.008,51	R\$ 22.572,31	69,91%
Concreto	R\$ 110.550,62	R\$ 73.302,86	33,69%
Alvenaria	R\$ 102.312,37	R\$ 163.692,41	37,50%
Graute	R\$ -	R\$ 6.656,84	-
Total geral	R\$ 395.860,27	R\$ 312.842,33	20,97%
Custo por m ²	R\$ 465,94	R\$ 368,22	20,97%

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 27- Comparativo de custos do insumo em relação ao custo total (em %).

Descrição do insumo	Concreto armado (%)	Alvenaria estrutural (%)
Aço	27,28%	14,37%
Formas	18,95%	7,22%
Concreto	27,93%	23,43%
Alvenaria	25,85%	52,32%
Graute	0,00%	2,13%

Fonte: Autor, 2024.

Ao comparar os principais materiais usados nos dois métodos, o aço e o concreto têm os maiores custos, exceto na alvenaria, onde o valor da alvenaria estrutural é mais alto. Isso acontece porque a alvenaria estrutural não usa pilares e vigas, o que diminui o uso de aço, concreto e formas. O sistema de concreto armado gasta mais com aço, formas e concreto, enquanto a alvenaria estrutural tem custos menores nesses itens, embora a própria alvenaria seja mais cara. O custo por metro quadrado da alvenaria estrutural do projeto analisado é de R\$ 368,22 bem menor que o do concreto armado, que é de R\$ 465,94, mostrando uma vantagem econômica importante para a alvenaria estrutural, principalmente em projetos que buscam economia e eficiência.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo analisar de forma separada dois sistemas construtivos, bastante utilizados no Brasil, a alvenaria estrutural e a estrutura independente em concreto armado, para a execução de um edifício residencial multifamiliar com um pavimento térreo, dois pavimentos tipo e um reservatório. O estudo de caso foi baseado na elaboração dos projetos

estruturais para cada sistema escolhido utilizando os softwares *Eberick* e *QiBuilder* da empresa *AltoQi* e adotando as prescrições das normas técnicas vigentes da ABNT, principalmente a NBR 6118/2023, essencial para o dimensionamento das estruturas. Ademais, o trabalho limitou-se à comparação dos custos de execução da estrutura, sem considerar os índices de produtividade da mão de obra nos diferentes métodos construtivos e o tempo de execução.

O estudo mostrou que, embora a alvenaria estrutural tenha menor custo no concreto e no aço, ela apresenta um maior custo relacionado à própria alvenaria. Por outro lado, o sistema de estrutura em concreto armado concentra seus maiores custos no aço e no concreto. De forma global, a alvenaria estrutural demonstrou uma vantagem econômica de 20,97% em relação ao concreto armado, valor que está alinhado com os intervalos apresentados por Freitas Júnior (2013) e Camacho (2006). Além disso, os resultados em percentuais obtidos para economizar os materiais aço, formas e concreto foram de 58,36%, 69,91% e 33,69%, respectivamente, demonstrando assim, coerência com os dados de Freitas Júnior (2013), para a alvenaria estrutural.

Sob a ótica exclusivamente econômica, a alvenaria estrutural pode ser o sistema construtivo mais adequado. No entanto, a escolha do sistema construtivo não deve ser baseada apenas no custo. Fatores como a disponibilidade de mão de obra qualificada e proximidade dos fornecedores dos materiais também influenciam diretamente o custo final do empreendimento. A ausência desses recursos pode aumentar significativamente os custos, alterando os resultados esperados.

Como mostrado acima, a estrutura de concreto armado apresentou um custo superior à alvenaria estrutural pelos fatores apresentados. Entretanto é relevante comentar os fatos observados no desenvolvimento dos dois projetos em relação ao comportamento diferenciado das lajes. Enquanto, na alvenaria estrutural, as lajes maciças estão apoiadas sobre as paredes e, conseqüentemente, têm mais apoios e menores vãos livres, na estrutura em concreto armado, elas se apoiam somente em vigas, proporcionando assim, maiores vãos e esforços tendo como resultado maior consumo de aço.

Também vale mencionar que, no caso da alvenaria estrutural, o *QiBuilder* gera apenas os quantitativos, sem incluir diretamente os custos. A adaptação ao usar a tabela SINAPI pode ter introduzido pequenas diferenças nos valores finais.

Vale ressaltar que a escolha entre os métodos avaliados em concreto armado e alvenaria estrutural é diretamente influenciada pelo projeto arquitetônico. Projetos mais complexos, com grandes vãos ou geometrias variadas, de acordo com as informações acadêmicas, são mais adequadas ao uso da estrutura em concreto armado. Em contrapartida, a alvenaria estrutural é

mais eficiente em projetos modulares com plantas regulares. Embora a alvenaria ofereça vantagens em economia e prazos, sua menor flexibilidade em relação ao uso das paredes e particularidades em relação à execução das instalações pode ser uma desvantagem.

A escolha pela utilização de lajes maciças nesse estudo de caso foi influenciada no modelo existente da construção real do edifício apresentado. Uma opção para reduzir os custos, pode ser a utilização de lajes treliçadas, já que se trata de uma edificação residencial com carregamentos usuais. Portanto, como esse tipo de laje apresenta menor peso próprio e permite a estrutura menor solicitação de cargas e de esforços, assim, assevera Muniz (1991) apud Spohr (2008) que a laje treliçada resulta em menor consumo de materiais.

Por fim, diante do cenário analisado e das limitações do estudo, espera-se que os dados obtidos sejam suficientes e relevantes para influenciar de forma positiva empresas, construtores ou até mesmo o cliente final, na escolha do sistema construtivo a ser utilizado em edificações similares à estudada. Assim, busca-se promover decisões mais conscientes e fundamentadas em informações técnicas confiáveis. Sugere-se, para estudos futuros, a análise de edificações com mais pavimentos, a fim de verificar até que ponto, para um determinado projeto arquitetônico, a alvenaria estrutural continua sendo vantajosa em comparação ao concreto armado, considerando a utilização de lajes treliçadas.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15200:2012**. Projeto de estruturas de concreto em situações de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR 15270-1 Componentes cerâmicos – Parte 1: Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria – Requisitos. ABNT: Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. 3º ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. NBR 7171: Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR-10837 – Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

_____. NBR 16868-1: Alvenaria Estrutural – Parte 1 - Projeto. 1.ed. Rio de Janeiro, 2020.

ALTOQI. **Eberick**: software de cálculo estrutural. Versão 2024. Florianópolis: AltoQi Tecnologia em Informática Ltda., 2024. Software.

ALTOQI. **QiBuilder**: software de projetos de instalações. Versão 2024. Florianópolis: AltoQi Tecnologia em Informática Ltda., 2024. Software.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de Concreto. Notas de aula, Disciplina Estruturas de Concreto I**, Bauru/SP, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia – Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2015, 215p. Disponível em: < wwwp.feb.unesp.br/pbastos>. Acesso em: 01 ago. 2024.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (Brasil). **SINAPI: Índices da Construção Civil.** Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

CAMACHO, J. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** Ilha Solteira: UNESP, 2006. Notas de aula. Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/projeto-de-edificios-de-alvenaria-estrutural.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2024.

CARVALHO, R. C. F. & FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo de Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado.** 3ª Ed. São Carlos: EDUFSCAR, 2007.

Cerâmica Roque. **Família de Blocos Estruturais.** Disponível em: <https://www.ceramicaroque.com.br/web/produtos/alvenaria-estrutural>. Acesso em: 29 jun. 2024.

FREITAS JÚNIOR, José de Almendra. **Construção civil II: alvenaria estrutural.** Curitiba: UFPR, 2013. Disponível em: <https://dcc.ufpr.br/wp-content/uploads/2020/04/TC-025-Alvenaria-estrutural_2020.pdf>. Acesso em: 7 out. 2024.

KLEIN, Tiago Augusto. **Estudo comparativo entre edificações com estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural.** Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/989/1/2015TiagoAugustoKlein.pdf>>. Acesso em: 17 de julho de 2024.

LIBÂNIO M. PINHEIRO; CASSIANE D. MUZARDO; SANDRO P. SANTOS. Estruturas de concreto – capítulo 3. USP. São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://arquitetonica.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/11/fundamentos-do-concreto-eesc-usp.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2024.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos.** 1ª edição. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2011. 238p.

PIMENTEL, Roberto. **Curso de Alvenaria Estrutural.** João Pessoa, PB. UFPB. 2024. Power Point. 63 slides. color.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 2003. 174p.

REBELO. Y.C.P. **Bases para projeto estrutural na arquitetura**. 1 ed. São Paulo: Ziguarte, 2007.

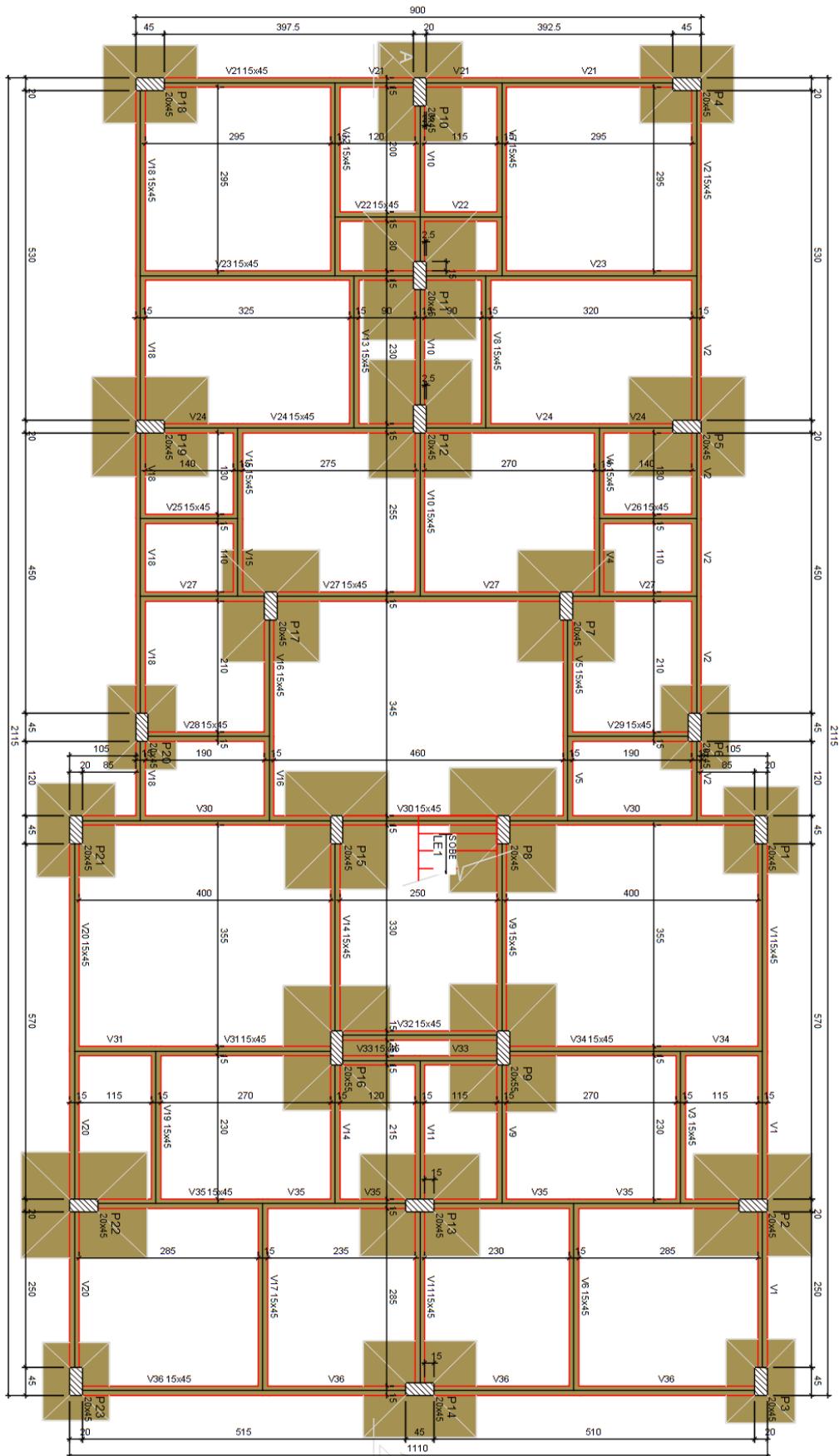
SPOHR, V.H. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. 2008. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, Santa Maria. 2008.

APÊNDICES

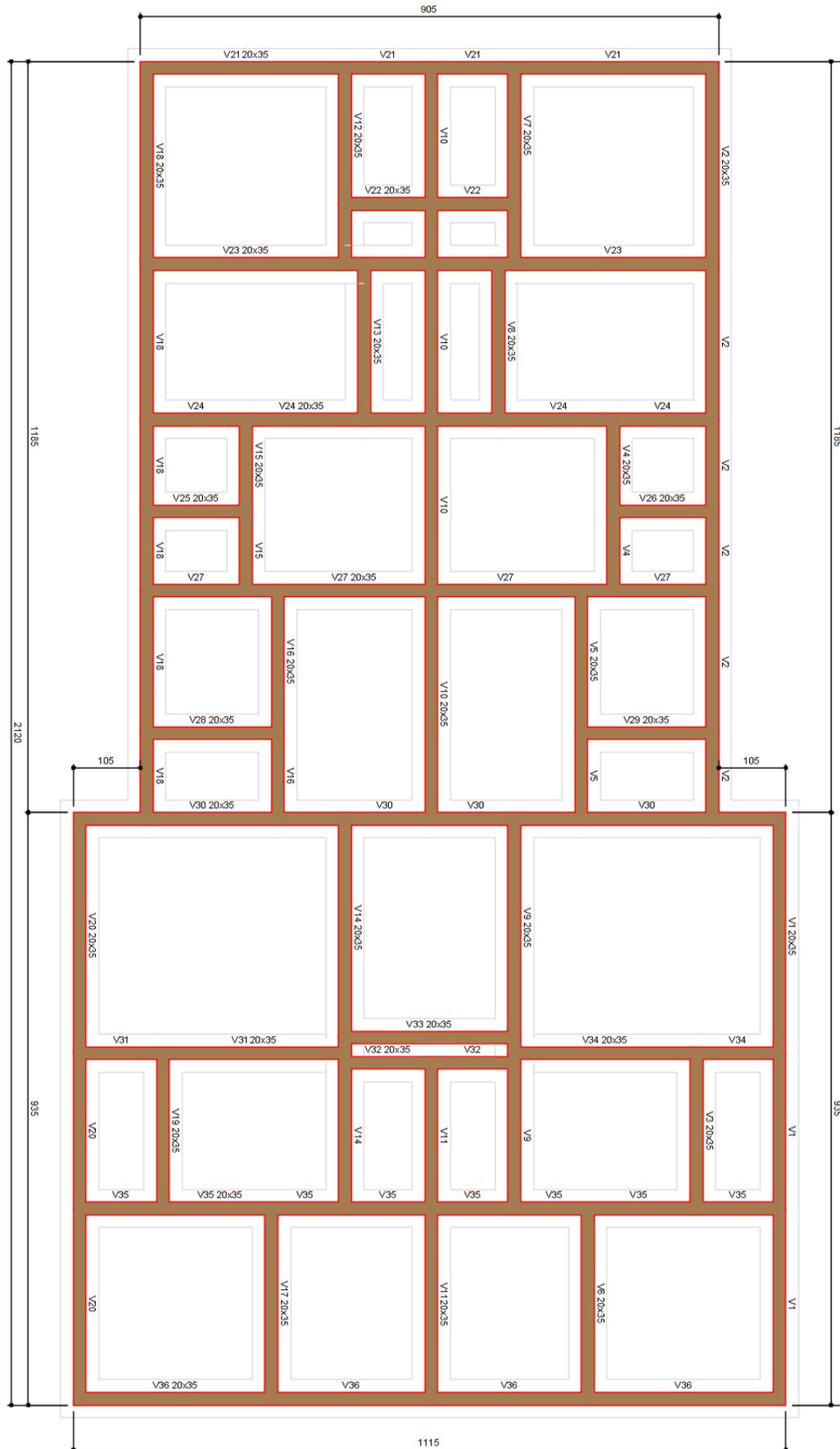
LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Planta de Forma da Fundação da estrutura em concreto armado.....	73
Apêndice B – Planta de Forma da Fundação da estrutura em alvenaria estrutural.....	74
Apêndice C – Armadura positiva das lajes da estrutura em concreto armado.....	75
Apêndice D – Armadura negativa das lajes da estrutura em concreto armado.....	76
Apêndice E – Armadura positiva das lajes da estrutura em alvenaria estrutural.....	77
Apêndice F – Armadura positiva das lajes da estrutura em alvenaria estrutural.....	78
Apêndice G – Modulação da fiada 01 da alvenaria estrutural.....	79
Apêndice H – Modulação da fiada 02 da alvenaria estrutural.....	80

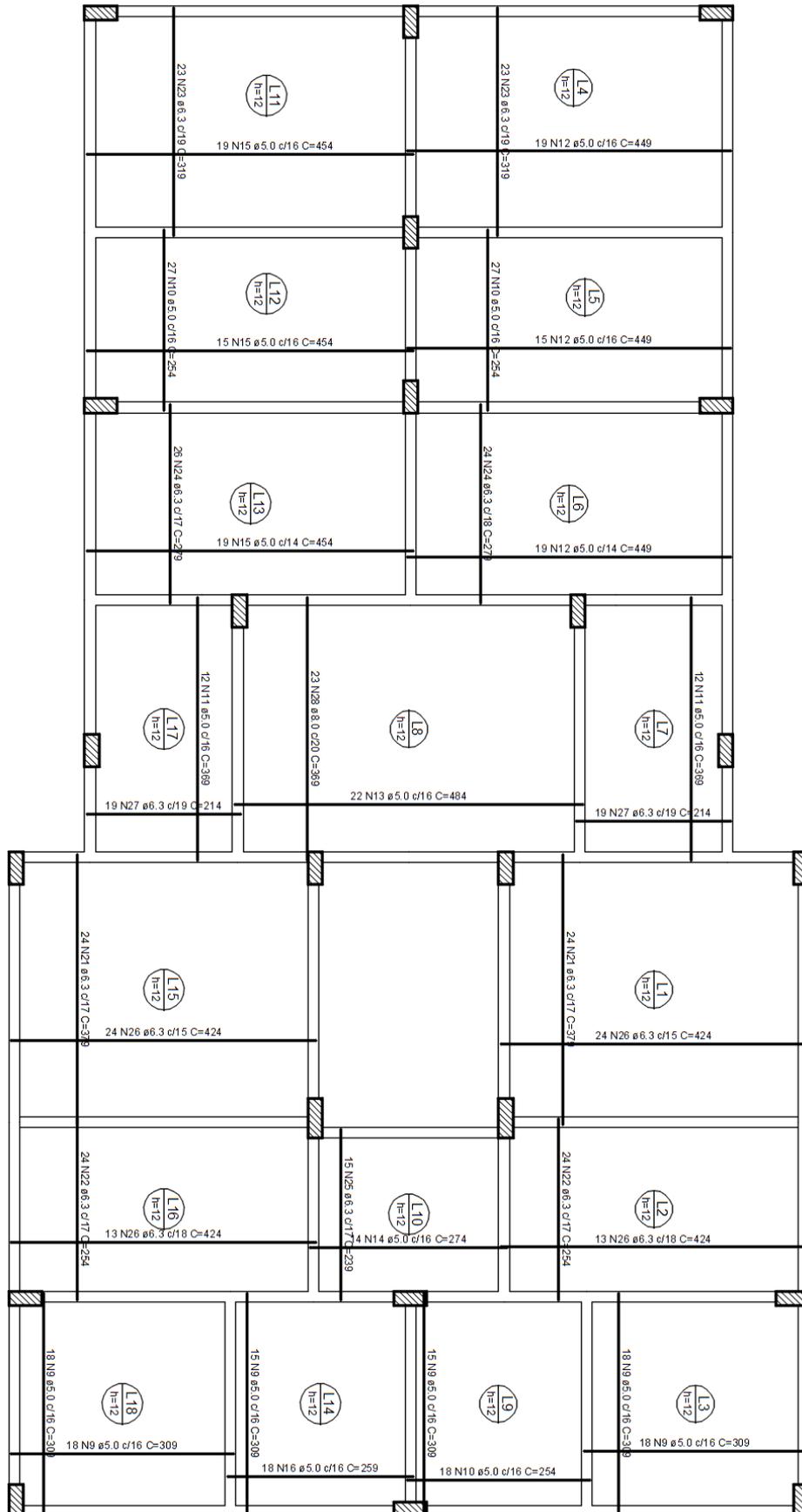
APÊNDICE A - Planta de Forma da Fundação da estrutura em concreto armado.



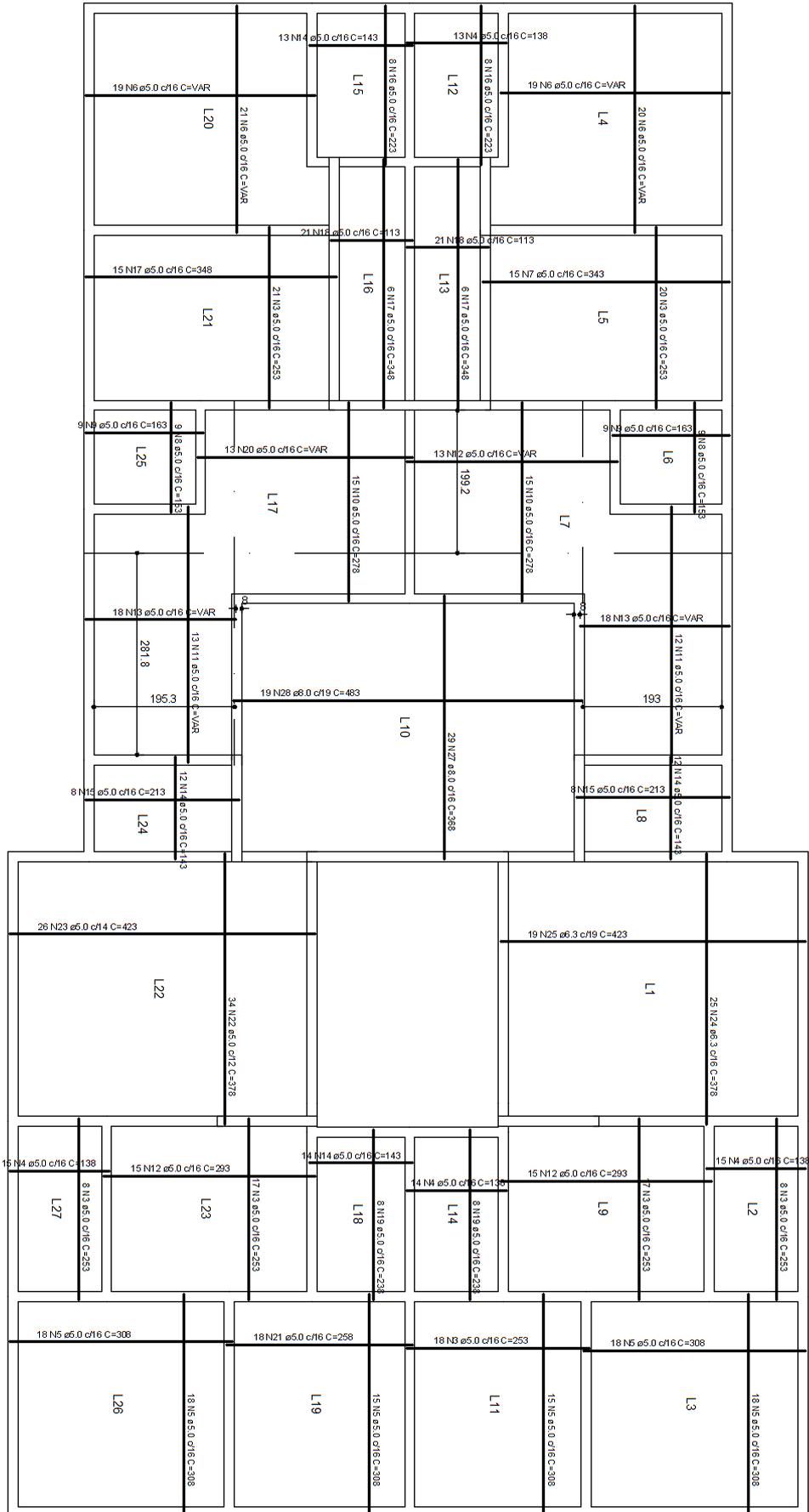
APÊNDICE B - Planta de Forma da Fundação da estrutura em alvenaria estrutural.



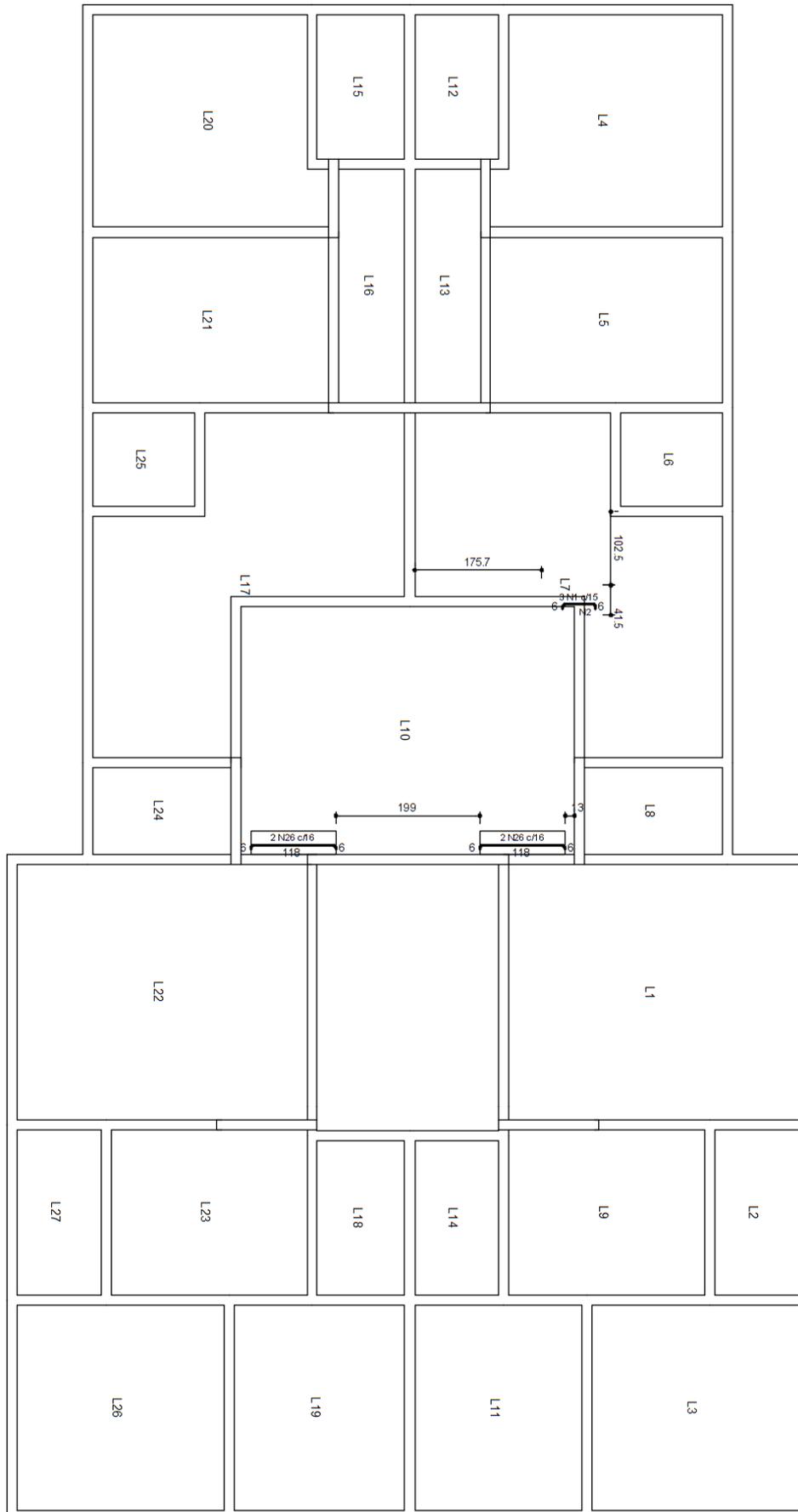
APÊNDICE C - Armadura positiva das lajes da estrutura em concreto armado.



APÊNDICE E - Armadura positiva das lajes da estrutura em alvenaria estrutural.



APÊNDICE F - Armadura negativa das lajes da estrutura em alvenaria estrutural.



APÊNDICE G - Modulação da fiada 01 da alvenaria estrutural.

